

Innovationsprojekt "Saatgut für den Biologischen Landbau - Österreichische Biosortenzüchtung"

Endbericht 2005

Eigenschaften von Luzernesorten

Wissenschaftlicher Projektleiter:
Univ.-Prof. Dr. Bernhard Freyer

Wissenschaftliche SachbearbeiterInnen:
Dr. Gabriele Pietsch

Projekt-MitarbeiterInnen: AO Univ. Prof. Dr. Jürgen K. Friedel, DI Walter Starz,
Dr. Helmut Wagenristl

Institut für Ökologischen Landbau (IfÖL)
Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)
Gregor Mendel Strasse 33, A-1180 Wien
+43-1-47654-3751 (fax – 3792)

bernhard.freyer@boku.ac.at oder gabriele.pietsch@boku.ac.at

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
1.1	Problemstellung und Stand des Wissens	4
1.2	Ziele des Projektes.....	4
2	Methoden	4
2.1	Standort.....	4
2.2	Versuchsdesign.....	5
2.3	Zeitlicher Ablauf der Projektarbeiten	7
2.4	Methoden	7
2.4.1	Ertragsparameter und Stickstoffgehalt	7
2.4.2	Blattflächenindex (LAI).....	8
2.4.3	N ₂ -Fixierungsleistung	8
2.4.4	Wassernutzungseffizienz (WUE).....	9
2.4.5	Gesamtwasserpotential und Druck-Volumen-Kurven.....	11
3	Ergebnisse und Diskussion	13
3.1	Witterungsverlauf im Versuchszeitraum	13
3.2	Bestandesentwicklung.....	15
3.3	Biomasse-Erträge.....	17
3.4	N-Gehalt und N-Ertrag	23
3.5	Stickstofffixierungsleistung.....	25
3.6	Wassernutzungseffizienz (WUE).....	26
3.7	Gesamtwasserpotential und Druck-Volumen-Kurven.....	28
3.8	Sortenvergleich	31
4	Zusammenfassung	35
5	Literatur	36
6	Anhang.....	38

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Geprüfte Luzerne-Sorten - Versuchsvarianten.....	5
Tabelle 2: Zeitliche Abfolge von Tätigkeiten im Teilprojekt	7
Tabelle 3: Untersuchungsparameter im Innovationsprojekt.....	7
Tabelle 4: Absolute (in kg ha^{-1}) und relative (in % des Höchstwertes bzw. Mittelwertes) TM-Schnittguterträge der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin	18
Tabelle 5: Absolute (in kg ha^{-1}) und relative (in % des Höchstwertes bzw. Mittelwertes) TM-Erträge der Ernterückstände (Stoppeln und Wurzeln 0-60 cm) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin.....	21
Tabelle 6: TM-Ertrag und N-Ertrag-Verhältnis (oberirdische zu unterirdische Biomasse) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005	22
Tabelle 7: Wurzelmasse- und Schnittguterträge von Luzerne im 1. und 2. Hauptnutzungs-jahr auf verschiedenen Standorten.....	23
Tabelle 8: Gesamtpflanzliche N-Fixierleistung (kg ha^{-1}) und Anteil N aus der Luft (N_{dfa} in %) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005 bzw. Jahresstickstofffixierleistung (Gesamt).....	25
Tabelle 9: Korrelationen zwischen TM-Erträgen, N-Erträgen, N-Gehalt und N-Fixierleistung der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005	25
Tabelle 10: Stickstofffixierleistung (N_{fix}) und Anteil N aus der Luft (N_{dfa}) von Luzerne zum 1. Erntetermin am Standort Raasdorf.....	26
Tabelle 11: Wassernutzungseffizienz der Produktivität (WUE_p), ^{13}C -Diskriminierung ($\Delta^{13}\text{C}$) Schnittgut und TM-Schnittgutertrag von Luzerne am Standort Raasdorf.....	27
Tabelle 12: Wassernutzungseffizienz der Photosynthese (WUE_{ph}): $\delta^{13}\text{C}$ -Wert und $\Delta^{13}\text{C}$ Schnittgut der geprüften Luzernesorten zum 1. und 2. Erntetermin 2005.....	28
Tabelle 13: Klimatische Parameter, Sättigungsdefizit der Luft und Bodenwasser-potential der Dauermess-Stelle in Raasdorf zum 1. und 2. Erntetermin 2005 (nach Rinnofer et al. 2005 und Pietsch et al. 2006b).....	30
Tabelle 14: Osmotisches Potential bei voller Sättigung der geprüften Luzerne-Varianten zum 2. Erntetermin 2005	30
Tabelle 15: Rangordnung der geprüften Luzerne-Sorten hinsichtlich diverser Parameter	34
Tabelle 16: TM-Ertrag Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln (kg ha^{-1}) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005.....	38
Tabelle 17: N-Gehalt in Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln (%) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005.....	39
Tabelle 18: N-Ertrag Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln (kg ha^{-1}) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005.....	40

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Schematischer Versuchsplan der Versuchsanlage in Raasdorf	6
Abbildung 2: Aufbau einer Druckkammer nach SCHOLANDER.....	12
Abbildung 3: Schematische Darstellung einer pV -Kurve in der Typ II Transformation.....	13
Abbildung 4: Klimadaten für den Versuchszeitraum 1-12/2004 am Standort Raasdorf	14
Abbildung 5: Klimadaten für den Versuchszeitraum 1-12/2005 am Standort Raasdorf	14
Abbildung 6: Wuchshöhe (cm) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Ernte-termin 2005.....	15
Abbildung 7: Entwicklungsstadien der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005	16
Abbildung 8: Blattflächenindex der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Ernte-termin 2005.....	16
Abbildung 9: Blatt/Stängel-Verhältnis der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005	17
Abbildung 10: TM-Ertrag Schnittgut (kg ha^{-1}) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005	18
Abbildung 11: TM-Ertrag Stoppeln (kg ha^{-1}) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005	19
Abbildung 12: TM-Ertrag Wurzeln (kg ha^{-1}) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. Erntetermin 2005	20
Abbildung 13: TM-Ertrag Wurzeln (kg ha^{-1}) der geprüften Luzerne-Varianten zum 2. Erntetermin 2005	20
Abbildung 14: N-Ertrag Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln 0-60 cm (kg ha^{-1}) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. Erntetermin 2005.....	24
Abbildung 15: N-Ertrag Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln 0-60 cm (kg ha^{-1}) der geprüften Luzerne-Varianten zum 2. Erntetermin 2005.....	24
Abbildung 16: $\delta^{13}\text{C}$ -Wert (‰) Schnittgut der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005	26
Abbildung 17: Gesamtwasserpotential Ψ_t (-MPa) zur Mittagszeit der geprüften Luzerne- Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005.....	29
Abbildung 18: Osmotisches Potential am Turgorverlustpunkt ($\Psi_{o(tvp)}$) und Gesamtwasserpotential (Ψ_t) zur Mittagszeit der geprüften Luzerne-Varianten zum 2. Erntetermin 2005	31

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Stand des Wissens

Die Luzerne zählt zu den wichtigsten Kulturen im Ökologischen Landbau. Im Trockengebiet ist sie als Grünbrachepflanze für die Versorgung der Fruchtfolge mit Stickstoff und des Bodens mit Kohlenstoff unverzichtbar. Die Stickstofffixierleistung, die Wassernutzungseffizienz und der Biomasseertrag, sowie die Verteilung der Biomasse (oberirdisch / unterirdisch) sind wesentliche Kriterien für die Auswahl von Sorten in der Praxis, wobei die Sortenlisten nur über den Biomasseertrag sowie die Krankheitsanfälligkeit Auskunft geben.

Zunehmende Trockenheit rückt den Umgang mit Wasser der einzelnen Sorten in den Mittelpunkt des Interesses. Die Luzerne gilt im Allgemeinen als Kulturart mit einem hohen Wasserverbrauch. Es gibt aber auch Luzernesorten, welche aufgrund von modifizierten Spaltöffnungsmechanismen und physiologischen Reaktionen effizienter mit dem Wasserangebot umgehen als andere. Für die Praxis ist es daher von großem Interesse, bei der Auswahl der Luzerne-Sorten die Faktoren Wasserverbrauch je kg fixierter Stickstoff und Biomasse, sowie Biomasseverteilung und N₂-Fixierungsleistung berücksichtigen zu können. In Österreich, insbesondere im Marchfeld, gibt es zu dieser Fragestellung keine Untersuchungen. Im Frühjahr 2004 wurde ein Versuch zum Vergleich verschiedener Luzernesorten auf den Versuchsflächen der Universität für Bodenkultur in Raasdorf angelegt.

1.2 Ziele des Projektes

Ziel dieses Teilprojektes (im Rahmen des Innovationsprojektes) war, eine Auswahl der gängigsten Luzerne-Sorten in einem 2-jährigen Anbauversuch vor allem hinsichtlich ihres Wasserverbrauches (Wassernutzungseffizienz), aber auch hinsichtlich des Biomasseertrages (ober- und unterirdisch) und der N₂-Fixierungsleistung zu prüfen. Aus den Untersuchungen können Empfehlungen für die Luzernesortenwahl an die Praxis weitergegeben werden. Für die Sortenzüchtung können geeignete Sorten zur Kreuzung empfohlen werden. Für den Saatguthandel werden beschreibende Sortenmerkmale bereitgestellt.

2 Methoden

2.1 Standort

Der Feldversuch wurde auf den biologisch bewirtschafteten Flächen in Raasdorf (Marchfeld, Niederösterreich), die Teile der Versuchswirtschaft Gross-Enzersdorf der Universität für Bodenkultur Wien sind, angelegt. Die Versuchsflächen wurden 1998 auf biologische Wirtschaftsweise umgestellt (die Ernte 2001 wurde erstmals als Bioware anerkannt).

Der Boden der Versuchsanlage kann als tiefgründiger Tschernosem aus Löss bei einer Lössmächtigkeit von zumeist 1 m angesprochen werden. Die Bodenart im humosen Bereich (Untergrenze: 40 - 90 cm) ist schluffiger Lehm mit einer geringen bis mittleren Lagerungs-

dichte und einem Porenvolumen von etwa 50%. Der Boden ist gut durchlüftet und zeichnet sich durch eine hohe nutzbare Wasserkapazität (geschätzte nFK ~ 200mm) und eine gute Wasserleitfähigkeit aus. Schotter steht erst unter 2 m an. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff beträgt im Mittel 2,2% bei pH-Werten von 7,5 bis 7,6 (pH_{CaCl2}) im Ap-Horizont. Die Bodenoberfläche ist leicht wellig mit Höhenunterschieden von ca. 10 cm. Bei ausreichender Wasserversorgung verfügt der Standort über ein hohes Ertragspotential. Der Klimaraum ist durch heiße, trockene Sommer und kalte, schneearme Winter geprägt. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,8°C, die mittlere Niederschlagssumme 546 mm und die durchschnittliche relative Luftfeuchte 75 %.

2.2 Versuchsdesign

In diesem Versuch wurden 13 in- und ausländische Luzernesorten miteinander verglichen (siehe Tabelle 1). Auswahlkriterien waren Hinweise von Züchtern bzw. des Saatguthandels über die Trockenresistenzen, Ertrags- und N₂-Fixierungsleistungen der zu prüfenden Luzernesorten.

Tabelle 1: Geprüfte Luzerne-Sorten - Versuchsvarianten

Variante	Luzerne-Sorte ¹	Herkunft
A	Sanditi	Holland
B	Alpha	Holland
C	Niva	Tschechien
D	Oslava	Tschechien
E	Plato	Deutschland
F	Pomposa	Deutschland
G	Lidiya	Ukraine
H	Vanda	Slowakei
I	SYN P2-23	Slowakei
J	SYN P3-141	Slowakei
K	SYN P4-420	Slowakei
L	NS-BANAT ZMS II	Serbien
M	NS-MEDIANA ZMS V	Serbien

¹: Saatstärke für alle Luzerne-Sorten 25 kg ha⁻¹

Weitere, im österreichischen Saatguthandel erhältliche Luzerne-Sorten, wurden zeitgleich im Rahmen des BIOfix-Projektes¹ überprüft (Sorten: Vlasta, Tango, Sitel, Verko). Pro Variante wurde ein Streifen von 6 m x 4,05 m (= 24,3 m²) der jeweiligen Luzerne-Sorte (siehe Abbildung 1) als Untersaat in Roggen angelegt (d.h. 1 Wiederholung pro Variante; Luzerne-Saat quer zur Saatrichtung des Roggens).

¹ BIOfix-Projekt: Biological nitrogen fixation of different legume species under water stress - BIOfix – Project; BOKU-Forschungsstimulierung (BMBWK)

IVP - Streifenversuch

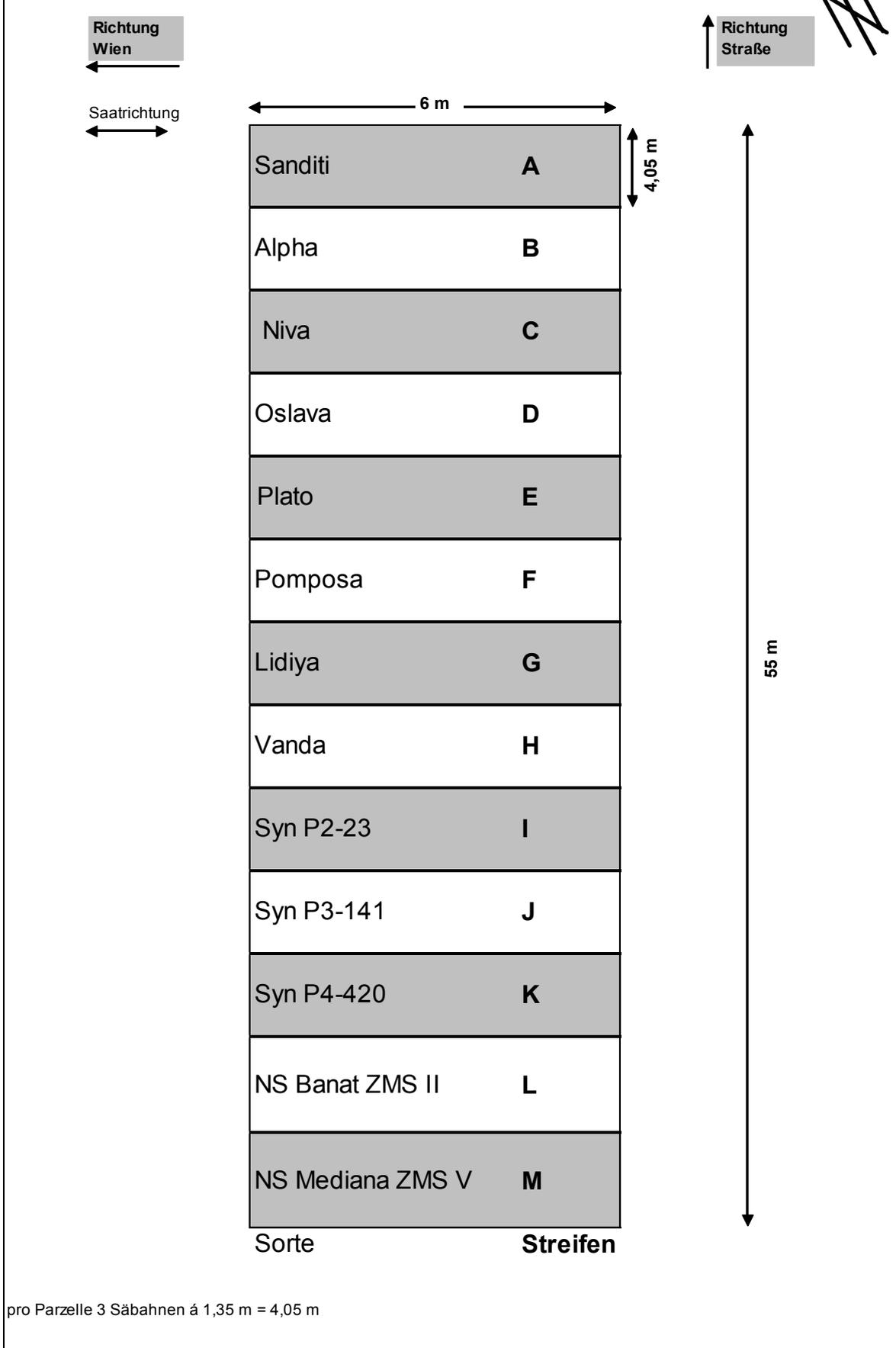


Abbildung 1: Schematischer Versuchsplan der Versuchsanlage in Raasdorf

2.3 Zeitlicher Ablauf der Projektarbeiten

Die in Tabelle 2 angeführten Tätigkeiten wurden im Rahmen dieses Projektes durchgeführt:

Tabelle 2: Zeitliche Abfolge von Tätigkeiten im Teilprojekt

Tätigkeit	Termin
Winterroggen-Saat (Deckfrucht)	Oktober 2003
Luzerne-Saat (Untersaat in Winterroggen)	Ende März 2004
Ernte der Deckfrucht Winterroggen	Juli 2004
Pflanzenbauliche Bonitur vor Winterbeginn	November 2004
Pflanzenbauliche Bonitur vor Vegetationsbeginn	März 2005
1. Erntetermin	Juni 2005
2. Erntetermin	August 2005

Der Ertrag der Deckfrucht Winterroggen betrug ca. 4000 kg ha⁻¹. Das erste Hauptnutzungsjahr der Luzerne war das Jahr 2005, in dem 2 Nutzungen stattgefunden haben (Juni und August 2005).

2.4 Methoden

Die Untersuchungen im Rahmen des Innovationsprojektes wurden an das Forschungsprojekt BIOfix (siehe 2.2) angekoppelt, um die vorhandenen Ressourcen optimal zu nutzen (Versuchsanlage, Messgeräte etc.). Eine Übersicht der untersuchten bzw. berechneten Parameter gibt die Tabelle 3.

Tabelle 3: Untersuchungsparameter im Innovationsprojekt

Parameter	Termin
TM-Ertrag Schnittgut, Stoppeln, Wurzeln	1., 2. und 3. Erntetermin
Verteilung der Biomasse (ober-/unterirdisch)	1., 2. und 3. Erntetermin
N-Gehalt (%) Schnittgut, Stoppeln, Wurzeln	1., 2. und 3. Erntetermin
N ₂ -Fixierungsleistung und Anteil N aus der Luft (Ndfa in %)	1., 2. und 3. Erntetermin
Wassernutzungseffizienz der Photosynthese (¹³ C-Methode)	1., 2. und 3. Erntetermin
Stressresistenz/Gesamtwasserpotential	1., 2. und 3. Erntetermin
Wuchshöhe, Entwicklungsstadium	1., 2. und 3. Erntetermin
Bestandesdichte (Pflanzenzahl/m ²)	Bestand vor und nach Winter
Auftreten von Beikräutern und Schädlingen	alle Erntetermine

Als Nutzungsform wurde für alle Versuchsvarianten die im viehlosen ökologischen Landbau übliche Gründüngungsnutzung gewählt.

2.4.1 Ertragsparameter und Stickstoffgehalt

Die Luzernebestände wurden zu zwei Terminen geerntet. Der Schnittzeitpunkt bzw. Erntetermin orientierte sich an dem Entwicklungsstadium der Pflanzen (Blühbeginn-Vollblüte von Luzerne). Um die Flächenheterogenität auszugleichen, wurden zu jedem Erntetermin auf

2 x ½ m² pro Streifen (bzw. Sorte) das Schnittgut und die Stoppeln der Luzerne-Pflanzen zur Ertragsbestimmung geerntet (Schnitthöhe der Sprosse 5 cm). Im Anschluss daran wurde das Pflanzenmaterial sortiert (Auftrennung Kulturpflanze, Beikräuter), gesäubert, getrocknet und gemahlen.

Die Wurzeln wurden nach der Bohrkernmethode mit einer Rammkernsonde gewonnen, die mit einem Schlaghammer in den Boden getrieben wird (in 2 Schichten: 0 - 30 cm, 30 - 60 cm; 2 Einstiche/Streifen). Die Auftrennung der entnommenen Proben erfolgte mit einer Wurzelwaschanlage (Hydropneumatic Elutriation System, Gillison's Variety Fabrication Inc., USA), die die organischen Bestandteile (Wurzeln, Samen, Strohreste) von den mineralischen Bestandteilen (Boden) mit Hilfe eines hydropneumatischen Wasch-Stromes (Luft und Wasser) voneinander trennt. Das Wurzelmaterial wurde getrocknet, gemahlen und ebenso wie das Schnittgut und die Stoppeln für die Bestimmung des N-Gehaltes und ¹⁵N-Isotopenverhältnis² verwendet.

2.4.2 Blattflächenindex (LAI)

Der Blattflächenindex (oder LAI: Leaf area index) wurde mit einem transportablem Blattflächenindex-Messgerät (AM 100, ADC) in m² Blattfläche / m² Bodenfläche zu beiden Ernteterminen wie folgt bestimmt:

$$LAI = A_{\text{Blätter}} / A_{\text{Boden}}$$

Formel 1

A: Area, Fläche

2.4.3 N₂-Fixierungsleistung

Methode der natürlichen Häufigkeit von ¹⁵N (natural ¹⁵N abundance method):

Grundlage der Methode sind geringe Unterschiede in der Häufigkeit des Vorkommens der stabilen N-Isotope ¹⁴N und ¹⁵N im pflanzenverfügbaren Bodenstickstoff (Boden: 0,3672 atom% ¹⁵N) und molekularem Luftstickstoff (molekularer Luftstickstoff: 0,3663 atom% ¹⁵N). Diese Unterschiede werden zur Schätzung der biologisch fixierten Stickstoffmenge genutzt, indem das Verhältnis von ¹⁵N/¹⁴N in der Pflanzensubstanz einer Nicht-Leguminose (spiegelt das Verhältnis im Stickstoffpool des Bodens wider) mit dem Verhältnis in der fixierenden Leguminose verglichen wird. Die wichtigste Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Methode ist, dass der δ¹⁵N-Wert der Referenzpflanze (stellvertretend für den δ¹⁵N-Wert des Bodens) signifikant (mindestens 5‰) vom δ¹⁵N-Wert der Luft abweicht (Shearer und Kohl 1993). In Vorversuchen wurde festgestellt, dass der δ¹⁵N des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs am Versuchsstandort unter 5‰ liegt. Daher wird das Potential der Versuchsvarianten zur symbiotischen N₂-Fixierung (%Ndfa und pro Fläche fixierte N-Menge im oberirdischen Pflanzenaufwuchs und in der Wurzelmasse) mit der ¹⁵N-Verdünnungsmethode erfasst.

² Bestimmung von N-Gehalt und ¹⁵N-Isotopenverhältnis des Pflanzenmaterials erfolgt mittels Stickstoff-Elementaranalysator und nachgeschaltetem Massenspektrometer im Isotopenlabor der Georg-August-Universität in Göttingen

Die ^{15}N -Verdünnungsmethode (^{15}N isotope dilution method):

Bei dieser Methode wird der pflanzenverfügbare Bodenstickstoff durch eine ^{15}N -Düngung im ^{15}N -Isotopengehalt angereichert, mit dem Ziel, die Differenz zwischen dem $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ -Verhältnis der Luft und dem pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden künstlich zu vergrößern. Auf dem ^{15}N angereicherten Boden werden analog zur $\delta^{15}\text{N}$ -Verdünnungsmethode eine Stickstoff fixierende Leguminose und eine nicht fixierende Referenzpflanze angebaut, aus deren Isotopenzusammensetzungen der Anteil Stickstoff in der Leguminose aus der N_2 -Fixierung (N_{dfa}) berechnet werden kann (McAuliffe et al. 1958):

$$\text{Ndfa} = [1 - (\text{atom\% } ^{15}\text{N excess}_{\text{Leguminose}} / \text{atom\% } ^{15}\text{N excess}_{\text{Referenzpflanze}})] \times 100$$

Formel 2

Ndfa = Nitrogen derived from atmosphere (Anteil N aus der Luft)
 $\text{Atom\% } ^{15}\text{N excess}$ = Messwert - 0,3663 atom% ^{15}N (molekularer Luftstickstoff)

Für die Anwendung dieser Methode wurden Teilflächen (je $3 \times 1 \text{ m}^2$ pro Variante) in den Luzerne-Streifen im Frühjahr 2005 mit ^{15}N -angereichertem Kaliumnitrat markiert (ca. 1 kg Kaliumnitrat mit 10 at% ^{15}N pro ha). Als Referenzpflanzen wurden die im benachbarten BIOfix-Projekt angelegten Referenzfruchtparzellen³ verwendet. Die in den Leguminosen befindliche, symbiotisch fixierte Stickstoffmenge (z.B. im Schnittgut) wurde wie folgt berechnet:

$$\text{N}_{\text{fix}} \text{ Schnittgut } [\text{kg ha}^{-1}] = \text{Ndfa} \times (\text{N-Gehalt Schnittgut} \times \text{TM-Ertrag } [\text{kg ha}^{-1}]_{\text{Leguminosen}})$$

Formel 3

N_{fix} = fixierte N-Menge
 Ndfa = Nitrogen derived from atmosphere (Anteil N aus der Luft)
 TM-Ertrag = Trockenmasse-Ertrag der Leguminosen im Schnittgut

2.4.4 Wassernutzungseffizienz (WUE)

Man unterscheidet zwischen:

Wassernutzungskoeffizient der Produktivität (WUE_p):

darunter versteht man das Verhältnis zwischen produzierter Biomasse (oberirdische Trockenmasse) und der Wassermenge, die von der Pflanze für diese Produktion verbraucht und ist definiert als:

$$\text{WUE}_p = \text{organische Trockensubstanzproduktion} / \text{Wasserverbrauch } [\text{g TS} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$$

Formel 4

Stoffproduktion und Wasserverbrauch können entweder auf die Einzelpflanze (Basis ist die Gesamtpflanze) oder den ganzen Pflanzenbestand (Basis ist die vegetationsbedeckte Bodenfläche) bezogen sein. Für den Wasserverbrauch wird die Evapotranspiration (Verdunstung aus Pflanzen und Boden) eingesetzt. Die Messung des WUE_p erfolgt durch

³ Referenzpflanzen: Grasgemenge bestehend aus je 25% Glatthafer, Knautgras, Rotschwingel, Deutsches Weidelgras (Saatstärke 25 kg ha^{-1})

laufende Registrierung der Evapotranspiration und Ernte der Feldfrucht am Ende der Vegetationsperiode zur Bestimmung der Trockensubstanz. Diese Methode ist sehr genau, allerdings sehr arbeits- und kostenintensiv. Deshalb wird in dem vorliegenden Projekt die Wassernutzungskoeffizient der Photosynthese (WUE_{Ph}) ermittelt. Durch das auf der benachbarten Versuchsfläche durchgeführte *BIOfix*-Projekt, in dem sowohl die WUE_{Ph} als auch die WUE_P ermittelt werden soll, ist es jedoch möglich, einen Vergleich der beiden Untersuchungsmethoden anzustellen.

Wassernutzungskoeffizient der Photosynthese (WUE_{Ph}):

beschreibt das Verhältnis zwischen Photosynthese und Transpiration bzw. die Wasserausnutzung der Photosynthese (Larcher 1994) und wird folgendermaßen berechnet:

$$WUE_{Ph} = Ph / Tr [\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Formel 5

Die Werte des WUE_{Ph} schwanken sowohl im Tagesgang als auch im saisonalen Verlauf beträchtlich. Über die Spaltöffnungen nimmt die Pflanze CO_2 aus der Umgebungsluft auf und gibt Wasser in Form von Wasserdampf an die Atmosphäre ab. Durch Regulation der Spaltöffnungen kann die Pflanze den Wasserverlust verringern, reduziert damit aber gleichzeitig die CO_2 -Aufnahme. Es muss also ein Kompromiss zwischen CO_2 -Aufnahme und Wasserabgabe angestrebt werden, der am ehesten bei mäßig verengten Spaltöffnungen erreicht wird.

Für die Ermittlung der WUE_{Ph} wurde die **$\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenmethode** verwendet. Das Isotopenverhältnis zwischen ^{13}C zu ^{12}C in der Trockensubstanz der Pflanzen wird auf einen Standard bezogen und in Promille ausgedrückt ($\delta^{13}\text{C}\text{‰}$; eine größere Anreicherung wird durch ein negativeres $\delta^{13}\text{C}$ angezeigt). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ändern sich in Abhängigkeit von der Pflanze (C_3 -Pflanzen haben niedrigere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als C_4 -Pflanzen), von den Witterungsbedingungen (besonders bei Dürre), vom Lichtgenuss der Blätter, nach Aufnahme von CO_2 aus der Bodenluft, bei niedrigen Wuchstemperaturen, bei Abnahme des Luftdrucks und unter Ozonbelastung. Nachdem die WUE_{Ph} negativ mit den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten korreliert, können durch Bestimmung der $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnisse in der oberirdischen Biomasse der Pflanzen mögliche Unterschiede in der Wassernutzungseffizienz der Luzerne-Sorten abgeschätzt werden (Farquhar et al. 1989).

Der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Probe wird durch das Verhältnis zwischen $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio (R_{Probe}) relativ zum Standard PeeDee Belemnit (R_{Standard} : -8‰) ausgedrückt (nach Craig 1957):

$$\delta^{13}\text{C-value [‰]} = (R_{\text{Probe}}/R_{\text{Standard}} - 1) \times 1000$$

Formel 6

Der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert wird für die Abschätzung der Isotopendiskriminierung (Δ) verwendet (siehe Farquhar et al. 1989):

$$\Delta = (\delta^{13}\text{C}_{\text{Luft}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Pflanze}})/(1 + \delta^{13}\text{C}_{\text{Pflanze}})$$

Formel 7

Das C-Isotopenverhältnis wurde an den Sprossproben der Luzernepflanzen mit einem Massenspektrometer (ThermoQuest Finnigan DELTA^{plus}) im Labor der Universität für Göttingen bestimmt.

2.4.5 Gesamtwasserpotential und Druck-Volumen-Kurven

Gesamtwasserpotential (Ψ_t):

Das Wasserpotential ist ein Maß für den Energiegehalt des Wassers in einem bestimmten System und wird definiert als die Energie, die erforderlich ist, um im jeweiligen System gebundenes Wasser auf das Energieniveau reinen Wassers zu heben. Als Triebkraft für den Wassertransport durch das Kontinuum aus Boden, Pflanze und Atmosphäre wirkt ausschließlich der Potentialunterschied (Energieunterschied) des Wassers zwischen Boden und freier Atmosphäre. Wasser, das als Wasserdampf in der Atmosphäre vorhanden ist, hat einen geringeren Energiegehalt als Wasser im Boden. Energiereicherer Wasser strömt freiwillig zu Orten mit energieärmerem Wasser (Kikuta 2003). Das Gesamtwasserpotential (Ψ_t) ist der zentrale Parameter im Wasserhaushalt der Pflanzen und beschreibt den Energiezustand des Wassers im Kontinuum aus Boden, Pflanze und Atmosphäre (Soil-Plant-Atmosphere Continuum; als SPAC abgekürzt).

Das Gesamtwasserpotential der Luzernepflanzen (Ψ_t) wurde zu beiden Ernteterminen (Juni und August 2005) bestimmt. Dazu wurde die Druckkammermethode (nach Scholander et al. 1965) angewandt. Die Druckkammermethode (Soilmoisture Equipment Corp.) ist eine einfache, feldtaugliche Methode, um das Gesamtwasserpotential zu bestimmen.

Messprinzip:

Im Xylem einer intakten, transpirierenden Pflanze steht die Wassersäule unter negativem Druck (Spannung). Das Gesamtwasserpotential im Xylem wird hauptsächlich durch die Druckkomponente bestimmt. Wird nun ein Blatt oder ein Zweig von der Pflanze abgeschnitten, so erfolgt in diesem Organ ein Ausgleich des Druckunterschiedes, d.h. der Unterdruck wird durch den umgebenden Atmosphärendruck ersetzt. Die elastische Verformung der Leitelemente geht zurück. Das Wasser im Xylem wird nach Aufheben des Unterdruckes energiereicher, das Xylemwasserpotential weniger negativ. Die Idee der Erfinder der Druckkammermethode bestand darin, dass auf die Mesophyllzellen ein Überdruck ausgeübt wird. Dadurch wird die ursprüngliche Druckdifferenz zwischen Außenluft und Xylem wiederhergestellt und der Wasserfluss erfolgt aus den lebenden Zellen in Richtung Xylem. Das Gefäßwasser wird erneut an die Schnittstelle gehoben. Der auf das Blatt einwirkende Überdruck entspricht größenordnungsmäßig dem im Xylem vorhandenen negativen Druck der intakten Pflanze vor Abtrennen des Organs (Kikuta 2003).

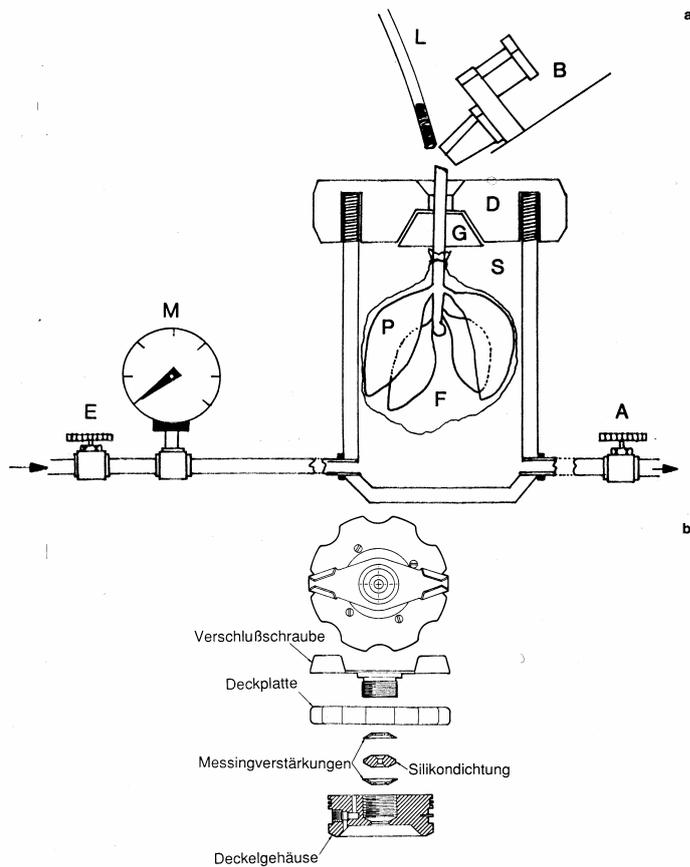


Abbildung 2: Aufbau einer Druckkammer nach SCHOLANDER

(a) Einlassventil (E), Auslassventil (A), Probe (P), in Folie (F) gehüllt, Gummistopfen mit Bohrung (G), Deckel (D), Druckgefäß aus Edelstahl (S), Manometer (M), Binokular (B), Lichtleiter (L). (b) Deckel mit Bajonettverschluss und auswechselbaren Silikondichtungen. Beilagscheiben aus Messing stabilisieren den Dichtungsgummi (nach Von Willert et al., 1995)

Druck-Volumen (pV)-Kurve:

Druck-Volumen-Kurven beschreiben das Verhältnis zwischen dem Gesamtwasserpotential (Ψ_t) und dem relativen Wassergehalt (R) von lebenden Pflanzenorganen. Im Diagramm wird der relative Wassergehalt als Volumenkomponente auf der x-Achse, das Wasserpotential als Druckkomponente auf der y-Achse aufgetragen. Dabei sind zwei Arten der Darstellung möglich: Das Wasserpotential wird gegen den Kehrwert des Volumens aufgetragen (Ψ_t vs. $1/R$; Typ I Transformation). Der Kehrwert des Wasserpotentials wird gegen das Volumen aufgetragen ($1/\Psi_t$ vs. R; Typ II Transformation). Beide Transformationen haben bestimmte Vorteile. Die Typ I Transformation macht es möglich, den gesamten Turgorbereich darzustellen. Die Typ II Transformation wird zur Bestimmung des osmotischen Potentials bei voller Sättigung (s. u.) durch lineare Regression herangezogen (Kikuta 2003; Kikuta und Richter 1992). In der vorliegenden Studie wurde die Typ II Transformation verwendet (siehe Abbildung 3). Im Verlauf der Austrocknung des Pflanzenorgans wird das Gesamtwasserpotential kontinuierlich negativer und der relative Wassergehalt nimmt ab. Mit zunehmender Trockenheit des Gewebes fällt die Kurve exponentiell bis zum Turgorverlustpunkt (TVP) ab, das Organ wird welk. Unterhalb des TVP entspricht das Gesamtwasserpotential dem osmotischen Potential, da das Turgorpotential Null ist. Aus der Differenz zwischen Gesamtwasserpotential und osmotischem Potential kann das Turgorpotential berechnet werden. Die Extrapolation des linearen Abschnittes des Diagramms ($\Psi_t = \Psi_o$) in Richtung des

Bereiches voller Sättigung ermöglicht die Bestimmung des osmotischen Potentials bei voller Sättigung ($\Psi_{o(sat)}$). Das osmotische Potential am Turgorverlustpunkt ($\Psi_{o(TVP)}$) und der relative Wassergehalt am TVP ($R_{(TVP)}$) können entweder grafisch aus dem Diagramm oder rechnerisch mit Hilfe von Algorithmen ermittelt werden (Kikuta 2003).

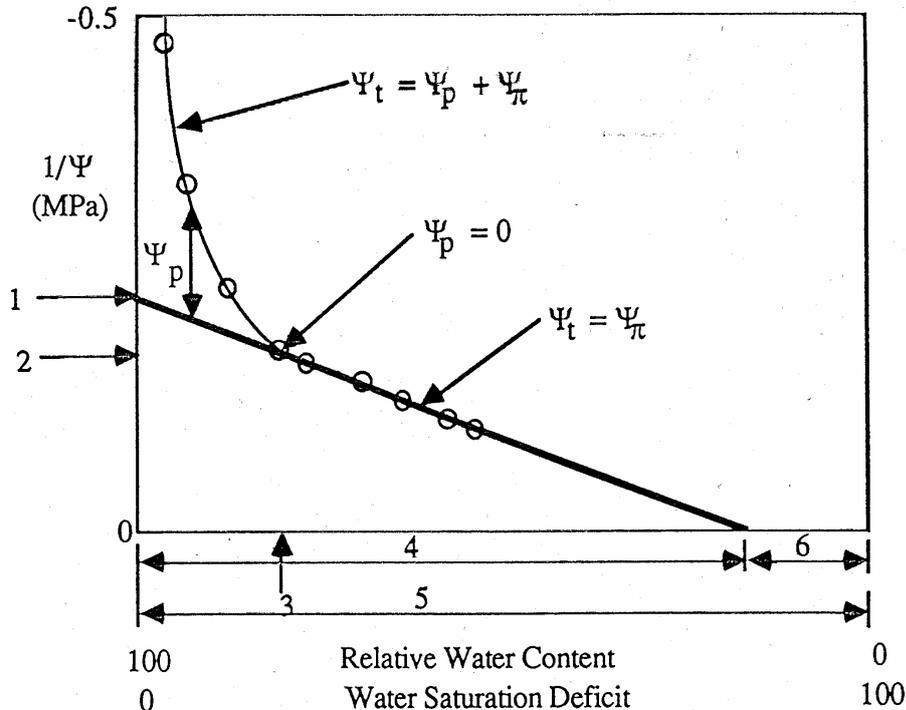


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer pV -Kurve in der Typ II Transformation

Ψ_t : Gesamtwasserpotential, Ψ_p : Turgorpotential, Ψ_π : osmotisches Potential. Auf der y-Achse ist der Kehrwert des Wasserpotentials aufgetragen. Auf der x-Achse kann der relative Wassergehalt oder das Wassersättigungsdefizit aufgetragen werden. (1) Durch lineare Regression wird das osmotische Potential bei voller Sättigung ermittelt. (2) bezeichnet das osmotische Potential am TVP, (3) den relativen Wassergehalt am TVP. (4) gibt den Symplastenwassergehalt, (6) den Apoplastenwassergehalt an.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Witterungsverlauf im Versuchszeitraum

Die Messdaten des Witterungsverlaufes wurden durch die Klimamessstation des Institutes für Pflanzenbau (Universität für Bodenkultur, Wien) in Raasdorf ermittelt. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, glich der Temperaturverlauf von Jänner bis Oktober 2004 dem Temperaturverlauf des langjährigen Mittels. Im genannten Zeitraum fielen nur um 7 mm weniger Niederschläge als im langjährigen Mittel, die Verteilung der Niederschläge unterschied sich jedoch stark von den langjährigen Werten. So gab es im Jahr 2004 im Frühling und Herbst mehr Niederschläge (vor allem in den Monaten März, Juni und Oktober; 150 – 200% des langjährigen Durchschnitts), dagegen regnete es in den Sommermonaten Juli – September 2004 weniger als im langjährigen Durchschnitt (minus 47%; d.s. minus 88 mm).

Die hohen Niederschlagssummen im Frühling führten zu einer guten Bestandsetablierung der Untersaat Luzerne. Die Reduktion der Niederschläge im Sommer wurde durch eine Beregnung ausgeglichen (Anfang September, 2 x 5 mm).

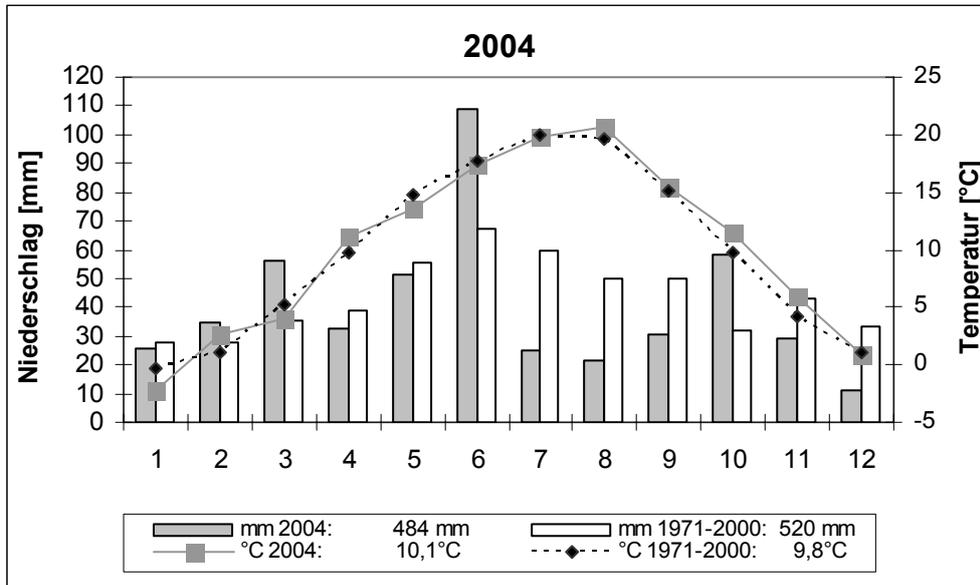


Abbildung 4: Klimadaten für den Versuchszeitraum 1-12/2004 am Standort Raasdorf

Der Temperaturverlauf des Jahres 2005 (siehe Abbildung 5) deckt sich weitgehend mit dem langjährigen Durchschnitt des Standortes. Im Jahr 2005 lag die jährliche Niederschlags-summe mit 413 mm um etwa 100 mm unter dem langjährigen Durchschnitt. Das Jahr begann mit einem trockenen Frühling und ging in einen niederschlagsreichen Hochsommer über.

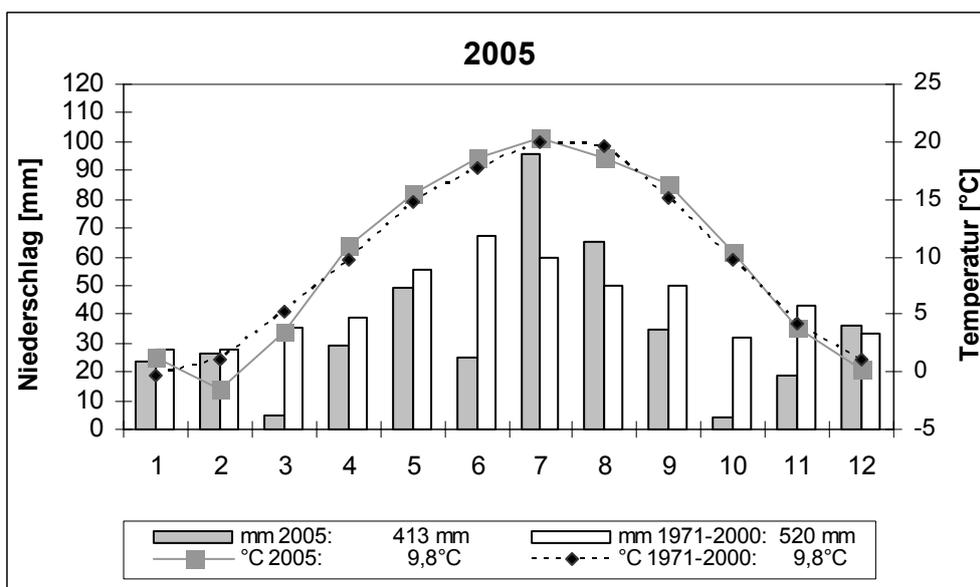


Abbildung 5: Klimadaten für den Versuchszeitraum 1-12/2005 am Standort Raasdorf

3.2 Bestandesentwicklung

Die Ende März 2004 angebauten Luzerne-Pflanzen entwickelten sich gut als Untersaat in der Deckfrucht Winterroggen. Ende August, d.h. etwa 1 Monat nach der Ernte des Winterroggens erreichten die Luzerne-Pflanzen bereits eine Wuchshöhe von 10 - 15 cm. Die Bestandesdichte der Luzerne-Pflanzen im April 2005 ergab 248 (Sorte Vanda) bis 306 (Sorte NS Mediana ZMS V) Pflanzen pro m². Der Schädlings- und Beikrautdruck war im Frühling 2005 gering und nicht unterschiedlich zwischen den Sorten.

Beim 1. Erntetermin war die Wuchshöhe der Luzernepflanzen mit Ausnahme der Variante M (Sorte NS Mediana ZMS V) höher als beim zweiten Erntetermin (Mittelwert 1. Erntetermin: 65 cm, 2. Erntetermin: 55 cm; siehe Abbildung 6). Ein möglicher Grund dafür ist die endständige Lage der Versuchsparzelle, durch die die Variante M von starkem Wildverbiss betroffen war. Zum 2. Erntetermin konnte kein Schaden durch Wildverbiss beobachtet werden.

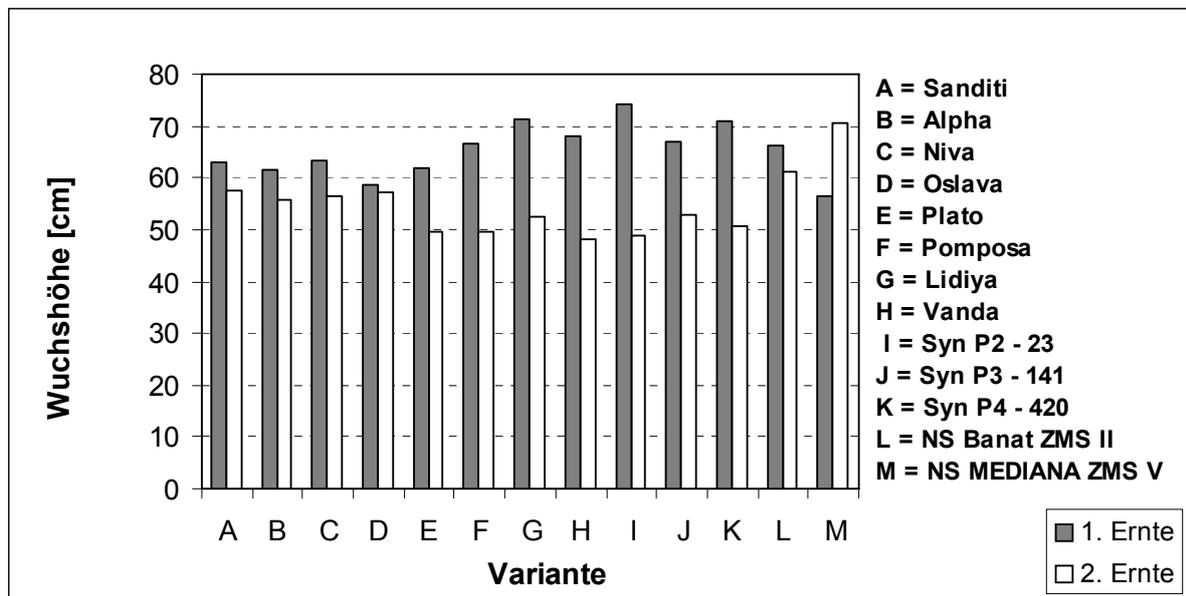


Abbildung 6: Wuchshöhe (cm) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

Das Entwicklungsstadium der Luzerne zu den Ernteterminen wurde nach der KDC-Skala (Buhtz et al., 1990) bewertet. Zum 1. Erntetermin waren 9 der 13 Luzerne-Sorten bereits in Vollblüte (Stadium 65: 70% in Blüte; siehe Abbildung 7). Zum 2. Erntetermin waren nur 6 Luzerne-Sorten in Vollblüte, die anderen Sorten wurden in einem früheren Entwicklungsstadium geerntet. Die Varianten L und M (Sorte NS Banat ZMS II und NS Mediana ZMS V) waren zu beiden Ernteterminen in einem früheren Entwicklungsstadium als die anderen geprüften Sorten, ein Zeichen für Spätreife unter den am Standort gegebenen Witterungsbedingungen (siehe Abbildung 7).

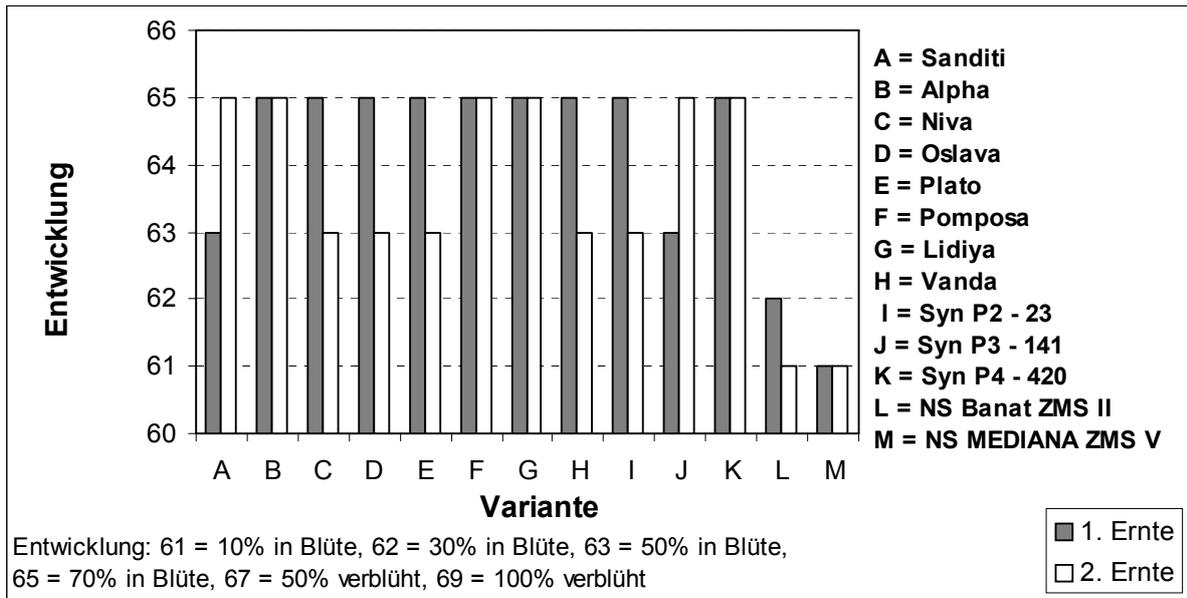


Abbildung 7: Entwicklungsstadien der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

Der Blattflächenindex (LAI) war beim 1. Erntetermin bei fast allen Varianten geringer als beim 2. Erntetermin (siehe Abbildung 8). Zum 1. Erntetermin waren die Pflanzen in Vollblüte, teilweise schon am Beginn der Hülsenentwicklung, und hatten deshalb eine geringere Blattdichte. Der Blattflächenindex war zum 2. Erntetermin höher, weil die Entwicklung der Luzernepflanzen noch nicht so fortgeschritten war (siehe Abbildung 7).

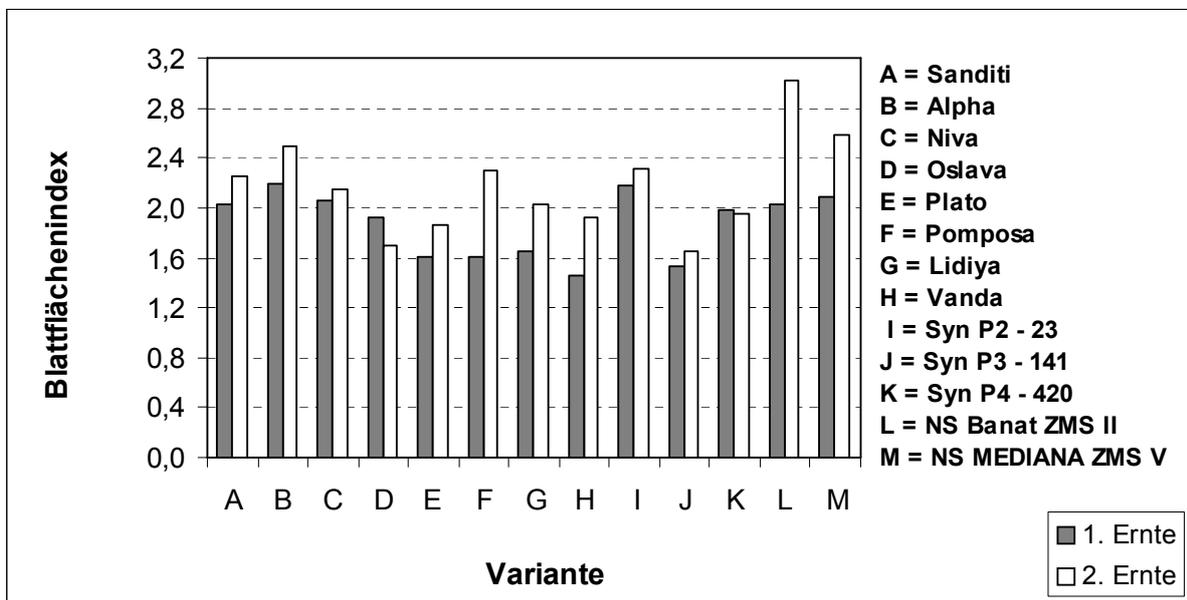


Abbildung 8: Blattflächenindex der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

Aufgrund des fortgeschrittenen Entwicklungsstadiums zum 1. Erntetermin begannen einige Luzerne-Pflanzen bereits ihre Blätter zu verlieren und das Blatt/Stängel-Verhältnis wurde im Durchschnitt aller Sorten gegenüber dem 2. Erntetermin um ca. 0,2 reduziert (siehe Abbildung 9). Nur die Variante G und I (Sorte Lidiya und Syn P2-23) wiesen zum 1.

Erntetermin weniger Blatt- als Stängelmasse auf, bei allen anderen geprüften Sorten lag das Blatt/Stängel-Verhältnis über 1.

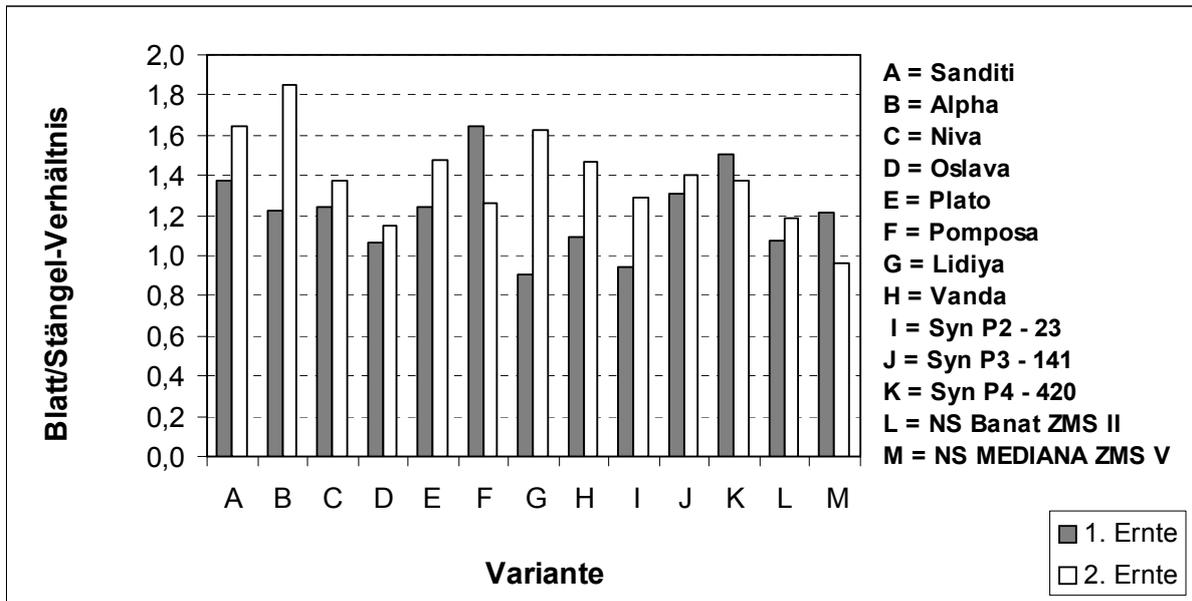


Abbildung 9: Blatt/Stängel-Verhältnis der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

3.3 Biomasse-Erträge

Die Schnittguterträge der Luzerne-Sorten waren mit Ausnahme der Variante M (Sorte NS Mediana ZMS V, siehe Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) beim 1. Erntetermin höher als beim 2. Erntetermin. Dies entspricht den Erfahrungen für den Standort Raasdorf. Die Schnittguterträge zum 1. Erntetermin ergaben 2072 kg ha⁻¹ (Sorte NS Mediana ZMS V) bis 5609 kg ha⁻¹ (Sorte Syn P2-23) sowie 1531 kg ha⁻¹ (Sorte Plato) bis 2683 kg ha⁻¹ (Sorte Alpha) zum 2. Erntetermin (siehe Tabelle 16 im Anhang).

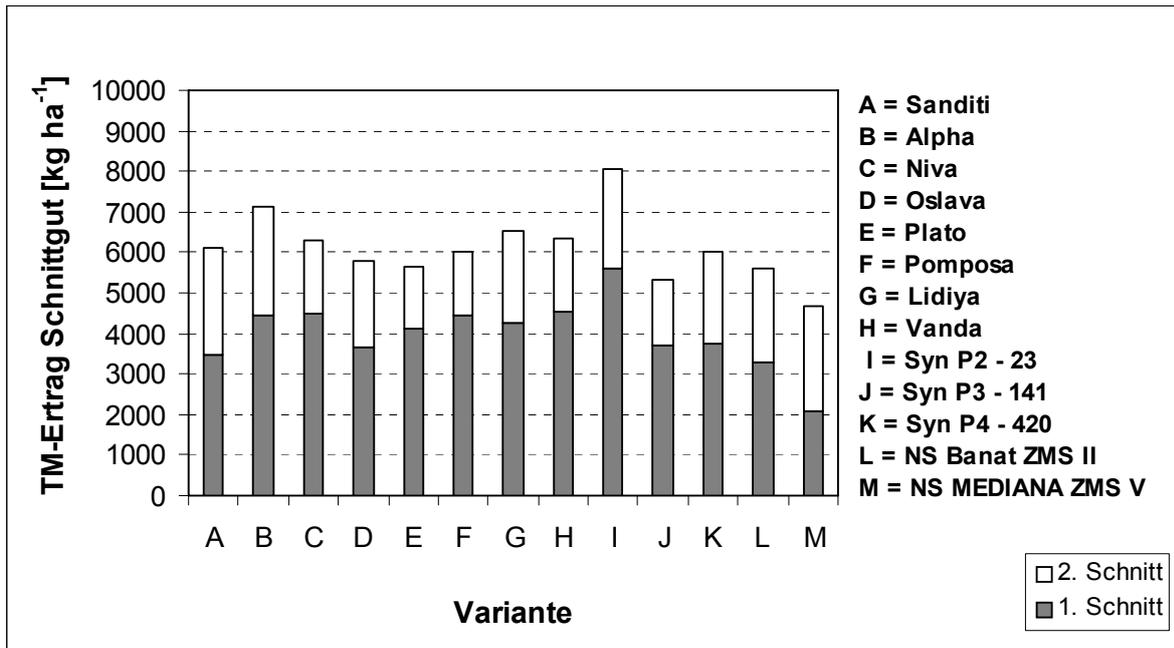


Abbildung 10: TM-Ertrag Schnittgut (kg ha⁻¹) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

Der Mittelwert der Schnittgut-TM-Erträge zum 1. Erntetermin ergab 3987 kg ha⁻¹. 7 der geprüften Luzerne-Sorten erreichten einen Schnittgutertrag, der höher als der Mittelwert aller 13 Sorten war. Je 6 Sorten hatten einen Schnittgutertrag, der 75-100% bzw. 50-75% des Höchstwertes entsprach (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Absolute (in kg ha⁻¹) und relative (in % des Höchstwertes bzw. Mittelwertes) TM-Schnittguterträge der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin

Schnittgut TM-Ertrag	1. Erntetermin			2. Erntetermin		
	Variante / Sorte	[kg ha ⁻¹]	% HW	% MW	[kg ha ⁻¹]	% HW
A / Sanditi	3450	62	87	2660	99	125
B / Alpha	4453	79	112	2683	100	126
C / Niva	4489	80	113	1825	68	85
D / Oslava	3660	65	92	2136	80	100
E / Plato	4118	73	103	1531	57	72
F / Pomposa	4427	79	111	1612	60	75
G / Lidiya	4261	76	107	2288	85	107
H / Vanda	4536	81	114	1810	67	85
I / Syn P2 - 23	5609	100	141	2424	90	113
J / Syn P3 - 141	3712	66	93	1604	60	75
K / Syn P4 - 420	3740	67	94	2299	86	108
L / NS Banat ZMS II	3303	59	83	2296	86	107
M / NS Mediana ZMS V	2072	37	52	2604	97	122

HW: Höchstwert, MW: Mittelwert

Zum 2. Erntetermin wurde ein Mittelwert aller Sorten von 2136 kg ha⁻¹ berechnet. Der Schnittgutertrag von 8 Luzerne-Sorten war höher als der Mittelwert der 13 Sorten. 8 Sorten

erreichten einen Schnittgutertrag, der 75-100% des Höchstwertes entsprach, 5 Sorten bildeten nur 50-75% der ertragreichsten Sorte aus. Die Unterschiede im Schnittgutertrag zwischen der ertragreichsten und der ertragschwächsten Sorte waren beim 2. Erntetermin (Differenz 3537 kg ha⁻¹) weniger stark ausgeprägt als beim 1. Erntetermin (1152 kg ha⁻¹). Die Stoppelerträge zum 1. Erntetermin lagen zwischen 503 kg ha⁻¹ (Sorte NS Banat ZMS II) und 891 kg ha⁻¹ (Sorte Oslava) sowie zwischen 519 (Sorte Pomposa) und 1099 kg ha⁻¹ (Sorte Syn P3-141, siehe Abbildung 11 und Tabelle 16 im Anhang) zum 2. Erntetermin.

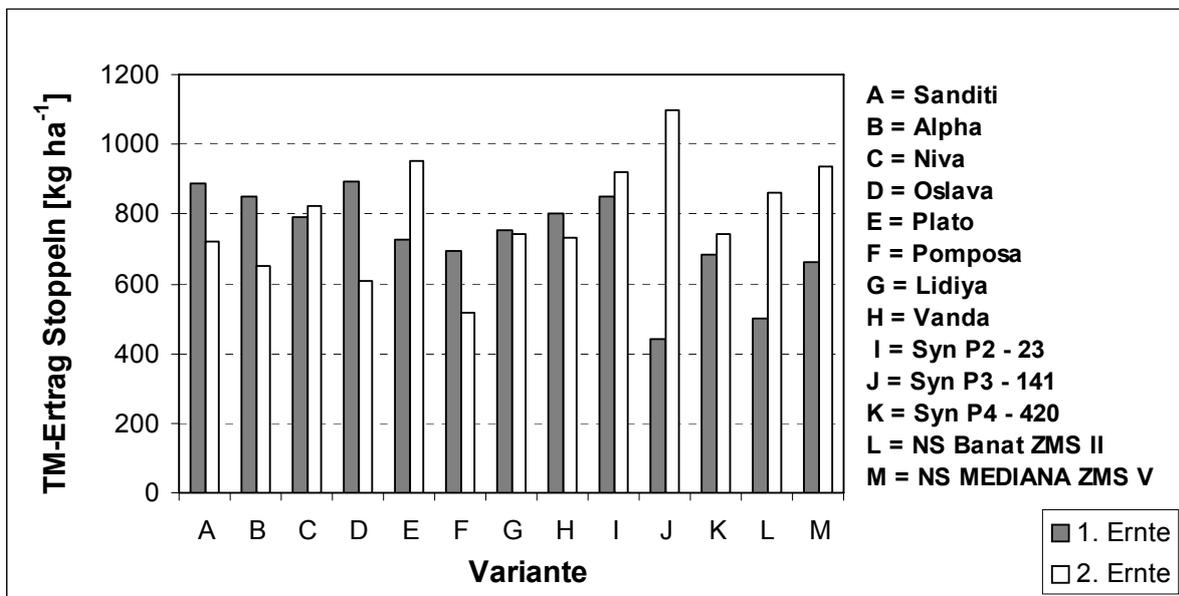


Abbildung 11: TM-Ertrag Stoppeln (kg ha⁻¹) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

Die Erhebung der Wurzelbiomasse ergab eine Zunahme der Wurzelträge vom 1. zum 2. zweiten Erntetermin für die Sorten A-C, F-I und L-M (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Die Schwankungsbreite der Wurzelträge des 1. Erntetermines lag zwischen 3622 kg ha⁻¹ (Sorte NS Banat ZMS II) bis 11672 kg ha⁻¹ (Sorte Vanda). Zum 2. Erntetermin wurden Wurzelträge von 4178 kg ha⁻¹ (Sorte Oslava) bis 13669 kg ha⁻¹ (Sorte Syn P2-23) erhoben.

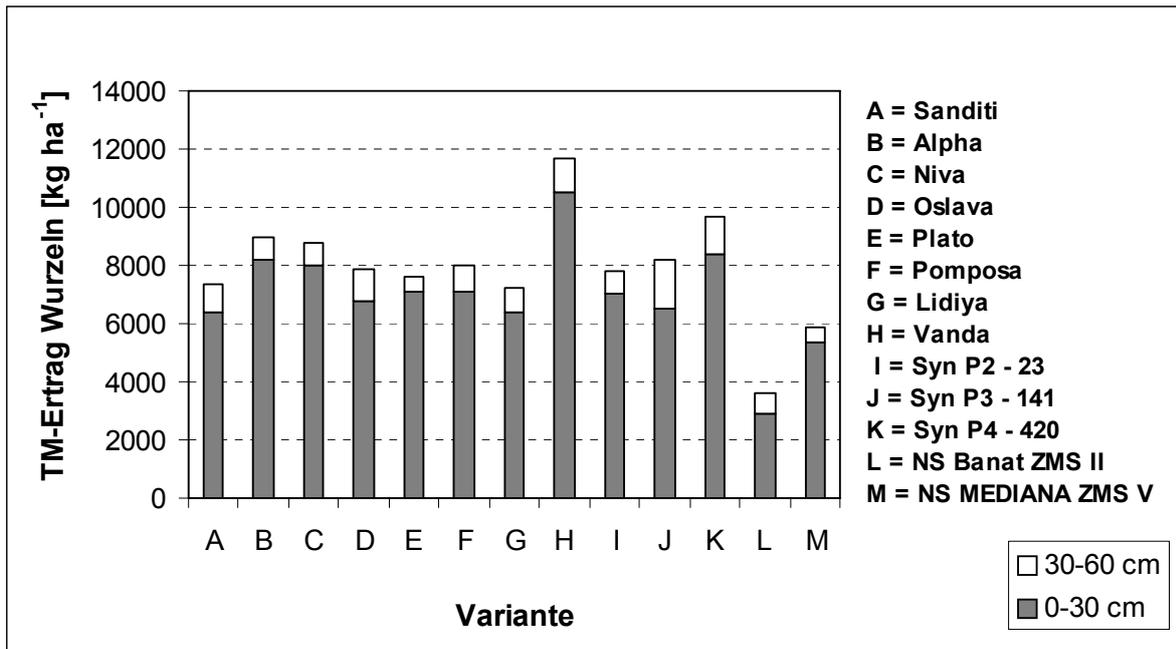


Abbildung 12: TM-Ertrag Wurzeln (kg ha⁻¹) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. Erntetermin 2005

Nach Diepenbrock et al. (1999: 348) besitzt die Luzerne neben einer tiefreichenden Pfahlwurzel auch eine ausgeprägte Nebenbewurzelung, wobei sich mehr als 70 % der Gesamtwurzelmasse in der Beprobungstiefe von 0-30 cm befinden. Am Standort Raasdorf ermittelte Pietsch (2004) in 2 Versuchsjahren 81-88% der gesamten Wurzelbiomasse in einer Tiefe von 0-30 cm. Im vorliegenden Projekt wurden sowohl zum 1. als auch zum 2. Erntetermin 88% der gesamten Wurzelbiomasse der Luzerne-Pflanzen in der Beprobungstiefe von 0-30 cm erhoben (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13 sowie Tabelle 7 im Anhang).

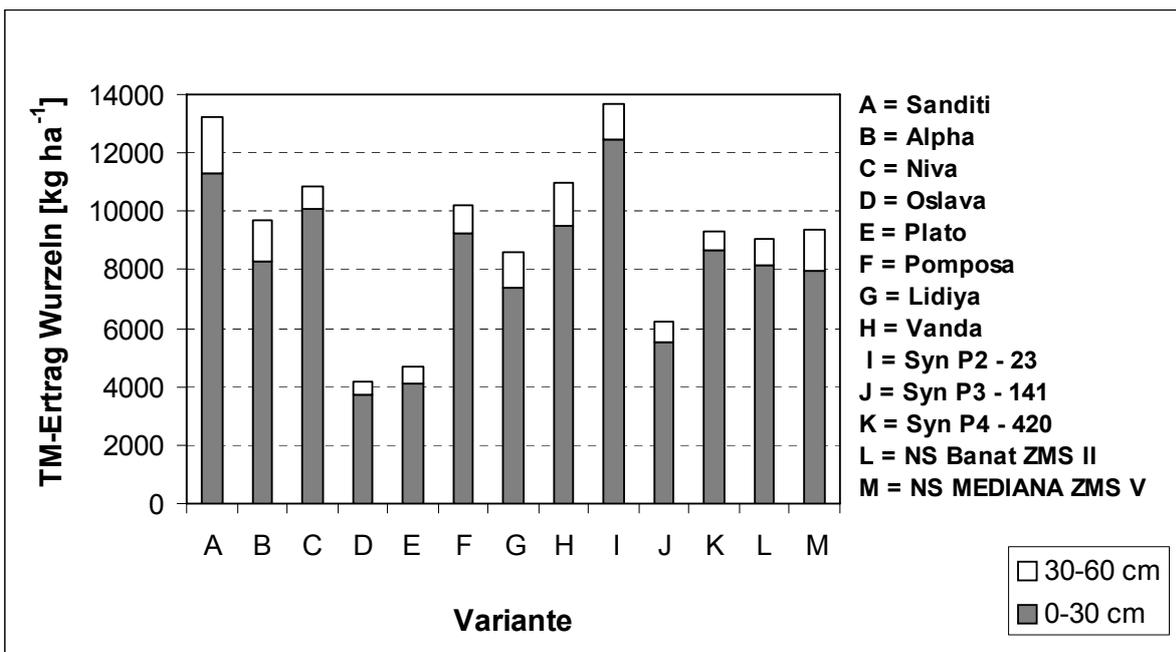


Abbildung 13: TM-Ertrag Wurzeln (kg ha⁻¹) der geprüften Luzerne-Varianten zum 2. Erntetermin 2005

Der Mittelwert der Ernterückstände ergab 8635 kg ha^{-1} zum 1. Erntetermin und 10028 kg ha^{-1} zum 2. Erntetermin. Die Biomasse der Ernterückstände von je 8 Sorten war zu beiden Ernteterminen höher als der Mittelwert der 13 Sorten. Bei 4 Sorten wurden zu beiden Ernteterminen 75-100% des Höchstwertes festgestellt, 8 Sorten erreichten zum 1. Erntetermin und 7 Sorten zum 2. Erntetermin nur 50-75% des Höchstwertes (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Absolute (in kg ha^{-1}) und relative (in % des Höchstwertes bzw. Mittelwertes) TM-Erträge der Ernterückstände (Stoppeln und Wurzeln 0-60 cm) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin

Ernterückstände Variante / Sorte	1. Erntetermin			2. Erntetermin		
	[kg ha^{-1}]	% HW	% MW	[kg ha^{-1}]	% HW	% MW
A / Sanditi	8265	66	96	13947	96	139
B / Alpha	9843	79	114	10367	71	103
C / Niva	9592	77	111	11656	80	116
D / Oslava	8740	70	101	4784	33	48
E / Plato	8366	67	97	5634	39	56
F / Pomposa	8701	70	101	10704	73	107
G / Lidiya	7973	64	92	9338	64	93
H / Vanda	12474	100	144	11725	80	117
I / Syn P2 - 23	8657	69	100	14588	100	145
J / Syn P3 - 141	8632	69	100	7315	50	73
K / Syn P4 - 420	10338	83	120	10041	69	100
L / NS Banat ZMS II	4124	33	48	9922	68	99
M / NS Mediana ZMS V	6552	53	76	10342	71	103

HW: Höchstwert, MW: Mittelwert

Das mittlere TM-Ertragsverhältnis zwischen ober- und unterirdischen Biomasse der Luzernepflanzen betrug $0,62 : 1$ zum ersten und $0,35 : 1$ zum zweiten Erntetermin (siehe Tabelle 6). Da der N-Gehalt im Schnittgut höher war, als in den Stoppeln und Wurzeln (siehe 3.4), war das N-Ertragsverhältnis zu beiden Ernteterminen höher, als das TM-Ertragsverhältnis (1. Ernte: $0,96 : 1$, 2. Ernte: $0,41 : 1$).

Auch Pietsch et al (2006b) stellten am Standort Raasdorf im Jahr 2005 Ertragsverhältnisse einer ähnlichen Größenordnung fest (MW von 4 Sorten, siehe Tabelle 16). In den Untersuchungen von Könekamp (1934) war der unterirdische Ertrag von Luzerne etwa 4x so groß wie der oberirdische Ertrag (Verhältnis oberirdische zu unterirdischer Biomasse = $1 : 3,8$). Bichara (1983), Jung (2003) und Anthes (2005) stellten bei Luzerne einen geringere Wurzelmassebildung fest (Bichara 1983: $1:0,4$; Wurzelsertrag 0-60 cm = $5,4-5,9 \text{ t ha}^{-1}$).

Tabelle 6: TM-Ertrag und N-Ertrag-Verhältnis (oberirdische zu unterirdische Biomasse) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

Variante / Sorte	TM-Ertrag Verhältnis		N-Ertrag Verhältnis	
	Ernte 1	Ernte 2	Ernte 1	Ernte 2
<i>Innovationsprojekt:</i>				
A / Sanditi	0,59	0,26	0,99	0,36
B / Alpha	0,59	0,34	0,87	0,38
C / Niva	0,60	0,24	0,88	0,28
D / Oslava	0,58	0,66	0,85	0,64
E / Plato	0,63	0,53	1,09	0,59
F / Pomposa	0,64	0,21	0,96	0,29
G / Lidiya	0,69	0,35	1,11	0,52
H / Vanda	0,46	0,23	0,70	0,28
I / Syn P2 – 23	0,83	0,24	1,17	0,29
J / Syn P3 – 141	0,51	0,43	0,77	0,50
K / Syn P4 – 420	0,46	0,33	0,64	0,45
L / NS Banat ZMS II	1,05	0,35	1,61	0,42
M / NS Mediana ZMS V	0,46	0,38	0,90	0,34
<i>Mittelwert von A-M</i>	<i>0,62</i>	<i>0,35</i>	<i>0,96</i>	<i>0,41</i>
Pietsch et al 2006b	0,52	0,22	0,80	0,32

Pietsch (2004) stellte auf der Versuchsfläche in Raasdorf zum 2. und 3. Erntetermin von Luzerne im 1. und 2. HNJ eine höhere Wurzelbiomasse im Vergleich zum Schnittgut fest (siehe Tabelle 7). Auch in den Untersuchungen von Pietsch et al. (2006a und 2006b), die ebenfalls im Jahr 2005 in Raasdorf stattgefunden haben, wurden 2-4x so hohe Wurzelmassen im Vergleich zur oberirdischen Biomasse ermittelt (siehe Tabelle 7). Diese Beobachtungen können Ausdruck für den Einfluss des pflanzenverfügbaren Wasserangebotes zur Hauptwachstumsperiode sein. Pflanzen unter Wasserstress sind in der Lage durch die Umlagerung von Assimilaten aus dem Spross in die Wurzel ein ausgedehnteres Wurzelsystem auszubilden, als unter normalen Befeuchtungsverhältnissen (Antolin et al. 1995; Ehlers 1996:167). Die Versuche von Jung (2003) und Anthes (2005) fanden im niederschlagsreichen Mitteldeutschland statt (Göttingen: 648 mm im langjährigen Mittel). Am Standort Raasdorf war die Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode 2005 um -16% (Pietsch et al. 2006b und 2006a 2. HNJ), im Jahr 2004 (Pietsch et al 2006b 1. HNJ) um -6% und in den Jahren 2001 und 2002 (Pietsch et al 2004, 2. HNJ) um -10% gegenüber dem langjährigen Mittel reduziert.

Generell ist die Quantifizierung der Wurzelbiomasse ein sehr aufwendiger Prozess und stark von der verwendeten Methode abhängig. In vielen Fällen wird eine geringere als die tatsächliche Wurzelmasse erfasst. Wurzelmasseuntersuchungen wie sie z.B. Köhnlein und Vetter (1953: 55) vornahmen, ergaben Werte bis 42 dt ha⁻¹ (z.B. 2-jährige Luzerne 0 - 45 cm). Rauhe et al. (1987) berücksichtigten die jährlich bereits abgestorbenen, feineren Wurzeln und erfassten die Bodenschicht bis 80 cm. Über dieses Verfahren konnten deutlich höhere Wurzelmasse von 87 dt TM ha⁻¹ bei dreijährigem und 124 dt TM ha⁻¹ bei vierjährigem Luzerneanbau ermittelt werden. Damit wird deutlich, wie schwierig es ist, Wurzelmasseangaben in der Literatur miteinander zu vergleichen. Da es jedoch nicht auf einen Vergleich von absoluten Wurzelmenngen ankommt, die an verschiedenen Standorten ermittelt wurden, sondern auf einen Vergleich verschiedener Luzernesorten am Standort Raasdorf, soll dies nur am Rande erwähnt werden.

Tabelle 7: Wurzelmasse- und Schnittguterträge von Luzerne im 1. und 2. Hauptnutzungsjahr auf verschiedenen Standorten

Quelle	HNJ	Wur			Sch		
		E1	E2 [t ha ⁻¹]	E3	E1	E2 [t ha ⁻¹]	E3
Jung (2003)* Hannover/Göttingen (ÜJ)	1+2	-	-	4,4	-	-	9,2
Anthes (2005) Göttingen (FS)	1	2,3	4,7	5,1	3,0	5,8	7,2
Pietsch (2004) Raasdorf (ÜJ)	1	3,0	3,3	3,6	4,7	1,9	2,1
	2	3,0	3,9	4,3	6,5	2,2	1,7
Pietsch et al. (2006a) Raasdorf (FS)	1	-	3,4	-	3,9	1,3	-
	2	4,1	4,1	-	2,7	1,4	-
Pietsch et al. (2006b) Raasdorf (US-ÜJ)	1	6,8	11,1	-	2,8	1,7	-
Innovationsprojekt** Raasdorf (US-ÜJ)	1	7,9	9,2	-	3,9	2,1	-

HNJ: Hauptnutzungsjahr; E1: 1. Ernte, E2: 2. Ernte, E3: 3. Ernte; Wur: Wurzelmasse, Sch.: Schnittgutertrag; FS: Frühjahrssaat als Hauptfrucht; US-ÜJ: Untersaat in Roggen im Frühjahr, 1. HNJ im folgenden Jahr; ÜJ: überjährige Ansaat im Sommer als Hauptfrucht; *Schnittgutertrag aller Aufwüchse, Mittelwert von 1. und 2. HNJ und je 3 Standorten; **: Mittelwert aller Sorten

3.4 N-Gehalt und N-Ertrag

Die Stickstoffgehalte der einzelnen Pflanzenteile zu den beiden Ernteterminen unterschieden sich nicht gravierend (siehe Tabelle 17 im Anhang). Beim ersten Erntetermin wurde ein N-Gehalt im Schnittgut zwischen 3,1% (Sorte NS Banat ZMS II) und 3,8% (Sorte Plato), beim zweiten Erntetermin ein N-Gehalt von 2,1% (Sorte NS Mediana ZMS V) bis 3,7% (Sorte Sanditi) festgestellt. Die N-Gehalte der Stoppeln unterschieden sich zwischen erstem und zweitem Erntetermin nur geringfügig (1. Ernte 1,7 – 2,6%; 2. Ernte 1,4 – 2,1%).

Durch die getrennte Analyse des N-Gehaltes in den Blättern und Stängeln konnte gezeigt werden, dass in den Blättern mehr als doppelt soviel Stickstoff vorhanden ist als in den Stängeln. In den Blättern wurden bei beiden Ernteterminen N-Gehalte zwischen 3,8% (Sorten Pomposa und Syn P3-141) und 4,5% (Sorte NS Mediana ZMS V) ermittelt. Der N-Gehalt der Stängel ergab 1,4% (Sorte Syn P4 - 420) bis 2% (Sorte Syn P3 – 1 41).

Die N-Gehalte in den Wurzeln der Beprobungstiefe von 0-30 cm waren etwas höher als in der Tiefe von 30-60 cm. Zum ersten Erntetermin wurde in den Wurzeln von 0-30 cm ein N-Gehalt von 1,6% bis 2,4%, von 30-60 cm von 1,4% bis 2,1% festgestellt, zum zweiten Erntetermin wurden Werte von 2,1% bis 2,7% in 0-30 cm und von 2,1% bis 2,5% von 30-60 cm ermittelt (siehe Tabelle 17 im Anhang).

Der gesamt-pflanzliche N-Ertrag der geprüften Luzerne-Varianten ergab 174 (Sorte NS Mediana ZMS V) bis 414 kg ha⁻¹ (Sorte Syn P2 - 23) zum 1. Erntetermin (siehe Abbildung 14). Da der N-Ertrag das Produkt aus TM-Ertrag und N-Gehalt darstellt, ist die Reihung der Sorten nach N-Erträgen der Reihung nach TM-Erträgen gleichzusetzen.

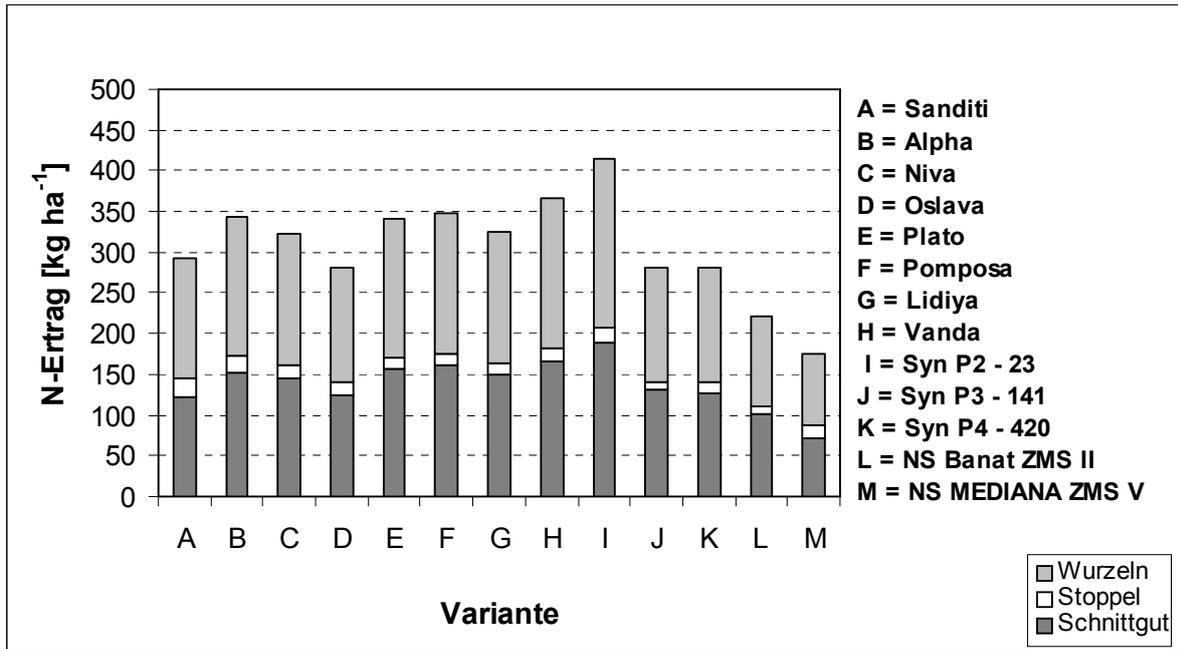


Abbildung 14: N-Ertrag Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln 0-60 cm (kg ha⁻¹) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. Erntetermin 2005

Zum 2. Erntetermin wurden gesampflanzliche N-Erträge von 130 (Sorte Pomposa) bis 218 kg ha⁻¹ (Sorte Sanditi) berechnet. Der Mittelwert des gesampflanzlichen N-Ertrages aller überprüften Sorten zum 2. Erntetermin war mit 162 kg ha⁻¹ nur etwa halb so groß wie der Mittelwert zum 1. Erntetermin mit 307 kg ha⁻¹. Grund dafür war, dass die Luzerne-Sorten zum 2. Erntetermin im Mittel nur etwa 57% des TM-Schnittgutertrages zum 1. Erntetermin erreichten (siehe Abbildung 10).

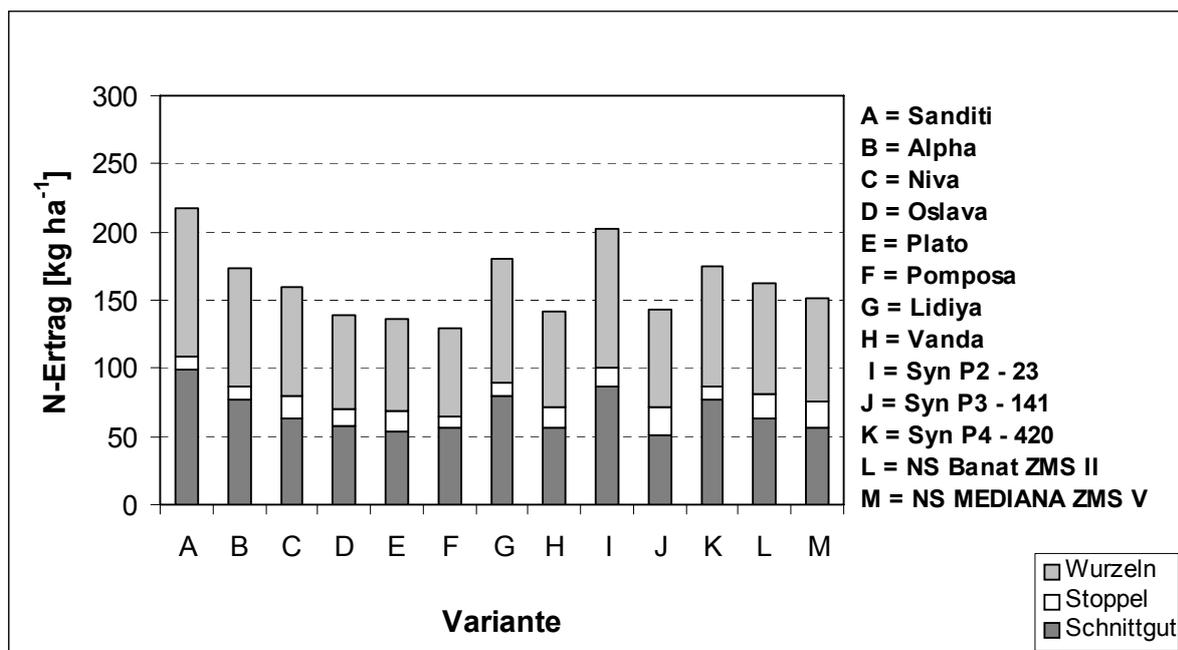


Abbildung 15: N-Ertrag Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln 0-60 cm (kg ha⁻¹) der geprüften Luzerne-Varianten zum 2. Erntetermin 2005

3.5 Stickstofffixierleistung

Die gesamt-pflanzliche Stickstofffixierleistung der Luzerne-Sorten ergab Werte von 112 (Sorte NS Mediana ZMS V) bis 323 kg ha⁻¹ (Sorte Vanda) zum ersten und 74 (Sorte Oslava) bis 327 kg ha⁻¹ (Sorte Syn P2 -23) zum zweiten Erntetermin (siehe Tabelle 8). Der Mittelwert aller überprüften Sorten zur ersten Ernte war 228 kg ha⁻¹, zur zweiten Ernte 172 kg ha⁻¹. Der ertragsunabhängige Anteil N aus der Luft-Wert (N_{dfa} in %) sank vom 1. Erntetermin (71%) zum 2. Erntetermin (61%) ab. Die Sorte Syn P2 – 23 erreicht mit 453 kg ha⁻¹ die höchste Jahresstickstofffixierleistung, die Sorte Oslava mit 167 kg ha⁻¹ den niedrigsten Wert (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Gesamtpflanzliche N-Fixierleistung (kg ha⁻¹) und Anteil N aus der Luft (N_{dfa} in %) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005 bzw. Jahresstickstofffixierleistung (Gesamt)

N-Fixierleistung Variante / Sorte	1. Erntetermin		2. Erntetermin		Gesamt N-Fix [kg ha ⁻¹]
	N-Fix [kg ha ⁻¹]	N _{dfa} [%]	N-Fix [kg ha ⁻¹]	N _{dfa} [%]	
A / Sanditi	230	86	254	66	359
B / Alpha	234	74	101	35	214
C / Niva	256	84	187	55	309
D / Oslava	217	74	74	59	167
E / Plato	229	71	79	42	191
F / Pomposa	234	68	155	57	265
G / Lidiya	205	69	141	59	245
H / Vanda	323	66	225	63	334
I / Syn P2 - 23	277	67	327	71	453
J / Syn P3 - 141	237	78	131	70	234
K / Syn P4 - 420	275	63	228	78	307
L / NS Banat ZMS II	141	75	152	62	227
M / NS Mediana ZMS V	112	52	177	80	215

Gesamt: N-Fixierleistung 1. Erntetermin Schnittgut + 2. Erntetermin gesamte Pflanze

Die Stickstofffixierleistung zum 1. Erntetermin korrelierte positiv mit dem TM-Ertrag Schnittgut und Wurzeln 0-30 cm, sowie mit dem N-Ertrag Schnittgut, N-Ertrag Gesamt und N-Gehalt Wurzeln 0-30 cm (siehe Tabelle 9). Auch zur 2. Ernte zeigten sich positive Korrelationen zwischen der Stickstofffixierleistung und dem TM-Ertrag Wurzeln 0-30 cm, sowie N-Ertrag Schnittgut und N-Ertrag Gesamt.

Tabelle 9: Korrelationen zwischen TM-Erträgen, N-Erträgen, N-Gehalt und N-Fixierleistung der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

Parameter	TM-Ertrag	TM-Ertrag Wurzeln 0-30 cm	N-Ertrag Schnittgut	N-Ertrag Gesamt	N-Gehalt Wurzeln 0-30 cm
N-Fix 1. Ernte	0,754**	0,858**	0,786**	0,957**	0,822**
N-Fix 2. Ernte		0,879**	0,576*	0,856**	

*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; Korrelationskoeffizienten nach Pearson

Die mittlere gesamt-pflanzliche Stickstofffixierleistung zum 1. Erntetermin war mit 228 kg ha⁻¹ (Mittelwert aller 13 Sorten) verglichen mit anderen, bisher am gleichen Standort geschätzten N-Fixierleistungen recht hoch (siehe Tabelle 10). Der geschätzte mittlere N_{dfa}-Wert von 71% entsprach den bisherigen Erfahrungen mit einer Luzerne-Grünbrache am Standort.

Tabelle 10: Stickstofffixierleistung (N_{fix}) und Anteil N aus der Luft (N_{dfa}) von Luzerne zum 1. Erntetermin am Standort Raasdorf nach Pietsch (2004) im Jahr 2000 und 2001, Hrbek (2005) im Jahr 2004 und Pietsch et al. (2006b) im Jahr 2005

Year	N _{fix} [kg ha ⁻¹]	N _{dfa} [%]	Reference
2000	61*	48	Pietsch (2004)
2001	110*	59	Pietsch (2004)
2004	87	70	Hrbek (2005)
2005	163	60	Pietsch et al. (2006b)
2005	228**	71	Innovationsprojekt

*2000 and 2001: Stickstofffixierleistung im Schnittgut; 2004 and 2005: Stickstofffixierleistung in der gesamten Pflanze; **: Mittelwert von 13 Sorten

3.6 Wassernutzungseffizienz (WUE)

Die Wassernutzungseffizienz (WUE_{Ph}) korreliert im Allgemeinen negativ mit den δ¹³C-Werten (siehe dazu 2.4.4). Sorten mit einem weniger negativen δ¹³C-Wert, z.B. Oslava und Vanda zum 1. Erntetermin sowie Oslava, Plato und Pomposa zum 2. Erntetermin (siehe Abbildung 16 und Tabelle 12), nutzten das zur Verfügung stehende Wasserangebot effizienter, als Sorten mit einem negativeren δ¹³C-Wert, wie z.B. Alpha zum 1. Erntetermin und NS Mediana ZMS V zum 2. Erntetermin).

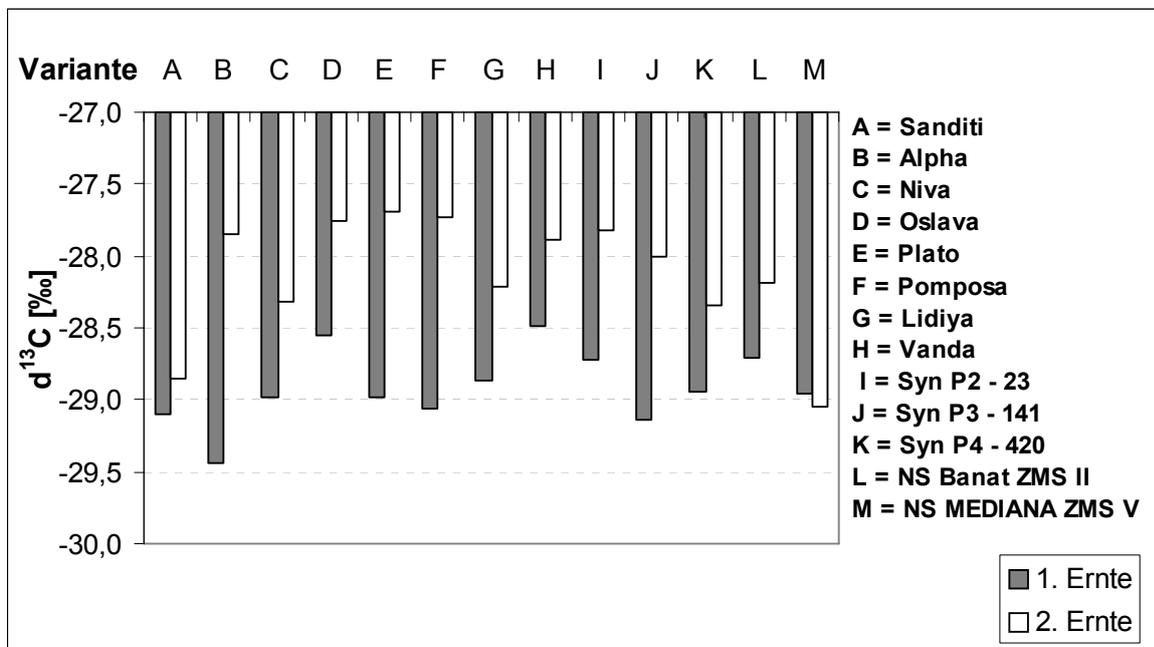


Abbildung 16: δ¹³C-Wert (‰) Schnittgut der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

Die Wassernutzungseffizienz der Luzernepflanzen war zur 2. Ernte besser als zur 1. Ernte, da der Mittelwert des $\delta^{13}\text{C}$ -Wertes zum 2. Erntetermin weniger negativ war (-28,1 ‰ im Vergleich zu -28,9 ‰ zur 1. Ernte). Die Wassernutzungseffizienz (WUE = water use efficiency) ist als der Ertrag bezogen auf die Gesamtmenge des Wasserverbrauches eines Kulturbestandes definiert. Die WUE ist von der potentiellen Verdunstung abhängig, d.h. sie stellt keine konstante, pflanzenspezifische Größe dar (Ehlers 1996). Deshalb ist ein Vergleich mit Literaturwerten schwierig, bei denen die Angabe der potentiellen Verdunstung fehlt. Für Luzerne wird in der Literatur eine WUE von 9.7 bis 18.1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ angegeben (Sheaffer et al. 1988, Bolger and Matches 1990, Hirth et al. 2001, Carter and Sheaffer 1983, Badaruddin und Meyer 1989). Pietsch (2004) und Pietsch et al. (2006b) ermittelten am Standort Raasdorf Werte von 11,0-34,4 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (siehe Tabelle 11). In den letztgenannten Untersuchungen am Standort Raasdorf korrelierte die Wassernutzungseffizienz (WUE_p) positiv mit den TM-Schnittguterträgen (siehe Tabelle 11). Dies bedeutet, dass die Effizienz des Wasserverbrauches für die Produktion von Leguminosenbiomasse in ertragsreicheren Pflanzenbeständen zunimmt, obwohl der Wasservorrat des Bodens zu einem früheren Zeitpunkt erschöpft wird.

Tabelle 11: Wassernutzungseffizienz der Produktivität (WUE_p), ¹³C-Diskriminierung ($\Delta^{13}\text{C}$) Schnittgut und TM-Schnittgutertrag von Luzerne am Standort Raasdorf

Jahr	Ernte	WUE _p [kg ha ⁻¹ mm ⁻¹]	$\Delta^{13}\text{C}$ [‰]	Ertrag [t ha ⁻¹]	Quelle
2000	1-3	18,6	-	6,0	Pietsch (2004)
2001	1-3	34,4	-	9,8	Pietsch (2004)
2005	1	17,1	20,1	2,8	Pietsch et al. (2006b)*
2005	2	11,0	19,7	1,7	Pietsch et al. (2006b)*
2005	1	-	20,3	3,9	Innovationsprojekt**
2005	2	-	19,6	2,1	Innovationsprojekt**

*: Mittelwert von 4 Sorten; **: Mittelwert von 13 Sorten

Da im vorliegenden Projekt die WUE_p nicht ermittelt wurde und die ¹³C-Isotopen-Diskriminierung ($\Delta^{13}\text{C}$ -Wert) nach Johnson und Tieszen (1994) negativ mit der WUE_{ph} korreliert ($r = -0,63$ to $-0,73$), wurde neben dem $\delta^{13}\text{C}$ - der $\Delta^{13}\text{C}$ -Wert der Luzernesorten für die Einschätzung der Wassernutzungseffizienz herangezogen (siehe Tabelle 12). Zum 1. Erntetermin war der Mittelwert des $\Delta^{13}\text{C}$ -Wertes aller Sorten (20,3‰) wie auch der TM-Schnittgutertrag höher (siehe Tabelle 11), als zum 2. Erntetermin (19,6‰). Ein Zusammenhang zwischen dem $\Delta^{13}\text{C}$ -Wert und dem TM-Schnittgutertrag gab es nur zum 2. Erntetermin ($r = 0,56^*$). Da in der Untersuchung von Pietsch et al. (2006b) keine Korrelationen zwischen dem $\Delta^{13}\text{C}$ -Wert und der WUE_p festgestellt wurden, wurde im vorliegenden Projekt darauf verzichtet, auf Grundlage des $\Delta^{13}\text{C}$ -Wertes einen Zusammenhang zwischen der Höhe des Schnittgutertrages und der WUE zu formulieren. In einem Luzerne Sorten-Versuch stellten Ray et al. (1998) signifikante Unterschiede im $\Delta^{13}\text{C}$ -Wert zwischen den Sorten fest. Am Standort Raasdorf wurden geringe Unterschiede im $\Delta^{13}\text{C}$ -Wert zwischen den Sorten nur zum 1. Erntetermin ermittelt (Pietsch et al. 2006b).

Tabelle 12: Wassernutzungseffizienz der Photosynthese (WUE_{ph}): $\delta^{13}C$ -Wert und $\Delta^{13}C$ Schnittgut der geprüften Luzernesorten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

WUE_{ph}	1. Erntetermin		2. Erntetermin	
Variante / Sorte	$\delta^{13}C$ [‰]	$\Delta^{13}C$ [‰]	$\delta^{13}C$ [‰]	$\Delta^{13}C$ [‰]
A / Sanditi	-29,10	20,51	-28,86	20,27
B / Alpha	-29,44	20,82	-27,85	19,31
C / Niva	-28,99	20,40	-28,31	19,75
D / Oslava	-28,55	19,98	-27,75	19,22
E / Plato	-28,98	20,39	-27,69	19,16
F / Pomposa	-29,07	20,47	-27,73	19,20
G / Lidiya	-28,87	20,28	-28,22	19,66
H / Vanda	-28,48	19,91	-27,89	19,35
I / Syn P2 - 23	-28,72	20,14	-27,83	19,29
J / Syn P3 - 141	-29,14	20,54	-28,00	19,46
K / Syn P4 - 420	-28,94	20,35	-28,34	19,78
L / NS Banat ZMS II	-28,71	20,13	-28,19	19,63
M / NS Mediana ZMS V	-28,96	20,37	-29,05	20,45

3.7 Gesamtwasserpotential und Druck-Volumen-Kurven

Zum 1. Erntetermin war das Gesamtwasserpotential Ψ_t der Sorten Sanditi, Niva, Oslava und NS Mediana ZMS V (0,95 -MPa) weniger negativ als das der anderen überprüften Sorten (siehe Abbildung 17). Zum 2. Erntetermin hatten die Sorte Sanditi, Lidiya und NS Mediana ZMS V ein weniger negatives Gesamtwasserpotential als die anderen Luzerne-Sorten. Da im Verlauf der Austrocknung eines Pflanzenorganes das Gesamtwasserpotential kontinuierlich negativer wird (Kikuta 2003), waren die zuvor genannten Luzerne-Sorten anscheinend resistenter gegen die Austrocknung. In einer Untersuchung von Pietsch et al. (2006b) am gleichen Standort, wurden keine Unterschiede zwischen den 4 überprüften Luzerne-Sorten hinsichtlich deren Gesamtwasserpotential festgestellt.

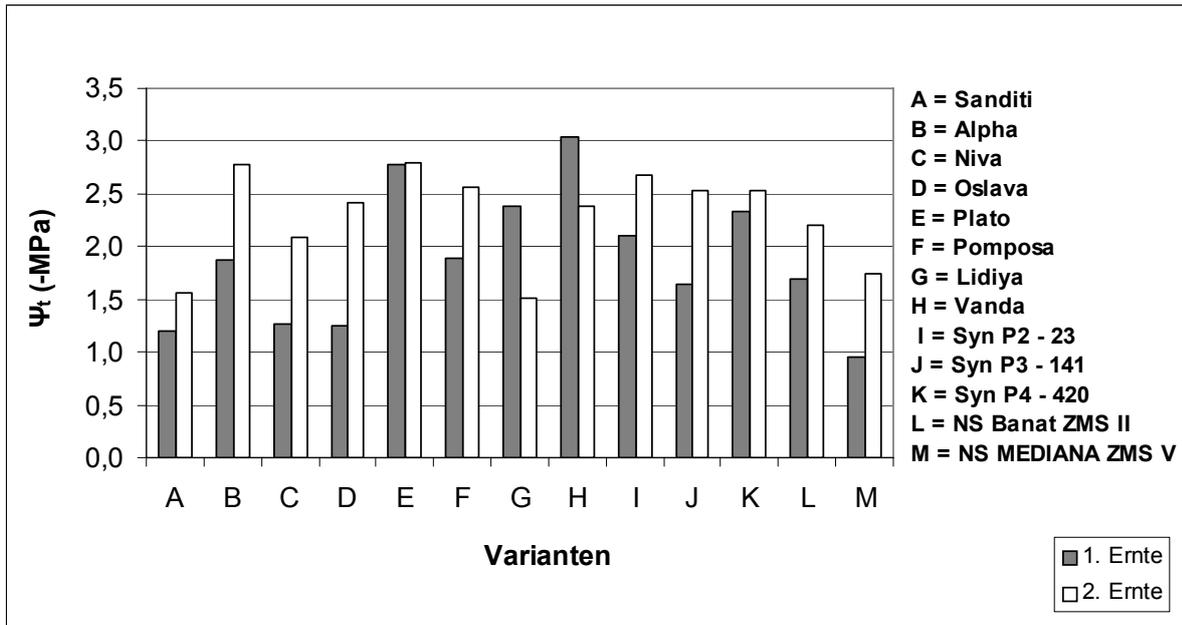


Abbildung 17: Gesamtwasserpotential Ψ_t (-MPa) zur Mittagszeit der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

Der Mittelwert aller Sorten betrug zum 1. Erntetermin und 2,29 -MPa zum 2. Erntetermin. Auch im Luzerne-Sortenversuch von Pietsch et al. (2006b) wurde ein weniger negatives Gesamtwasserpotential zum 1. Erntetermin (1,47 -MPa) ermittelt, als zum 2. Erntetermin (1,81 -MPa). Die Unterschiede im Gesamtwasserpotential zwischen den beiden Ernteterminen sind entweder durch eine Reduktion des Bodenwasserpotentials oder durch einen Anstieg des Reibungspotentials bedingt (siehe Formel 8). Nach Kikuta (2003) kann das Gesamtwasserpotential jeden beliebigen Punktes in der Pflanze ausgedrückt werden als:

$$(-)\Psi_t = (-)\Psi_{Bo} + (-)\Psi_G + (-)\Psi_R$$

Formel 8

Ψ_{Bo} quantifiziert den Wasserzustand des Bodens bzw. des Substrates

Ψ_G ist das Gravitationspotential ca. -0.1 MPa pro 10 m Höhe)

Ψ_R ist das Reibungspotential (Summe der Produkte der Teilflüsse und Teilwiderstände entlang der verzweigten Leitstrecke vom Boden bis zum Messpunkt in der Pflanze)

Das Reibungspotential in der Pflanze steigt an, wenn die Transpiration hoch ist. Da zum 2. Erntetermin sowohl die Temperatur als auch das Sättigungsdefizit der Luft geringer und die Luftfeuchtigkeit höher waren (siehe Tabelle 13) als zum 1. Erntetermin, wird eine höhere Transpirationsrate zum 2. Erntetermin ausgeschlossen. Das bedeutet, dass das verglichen mit dem 1. Erntetermin negativere Gesamtwasserpotential zum 2. Erntetermin durch eine Reduktion des Bodenwasserpotentials bedingt war. Auch Luis et al. (1999) stellten fest, dass Luzerne unter limitierten Bodenwasserbedingungen ein negatives Gesamtwasserpotential erreichen.

Tabelle 13: Klimatische Parameter, Sättigungsdefizit der Luft und Bodenwasserpotential der Dauermess-Stelle in Raasdorf zum 1. und 2. Erntetermin 2005 (nach Rinnofner et al. 2005 und Pietsch et al. 2006b)

Ernte	Temp [°C]	LF [%]	Wind [m s ⁻¹]	Sat. defizit [-hPa]	Bodenwasserpotential [-hPa]					
					10	30	80	120	140	160 cm
1	21,6	53	4,5	12,1	1438	489	382	---	239	704*
2	16,9	63	1,8	7,2	1865	2529	---	792	>800	>800

Temp (Temperatur), LF (Luftfeuchtigkeit), Wind: Tagesmittelwerte; Sat. defizit Sättigungsdefizit der Luft; Bodenwasserpotential um 6:00: Ernte 1: Daten der Dauermess-Stelle in Raasdorf nach Rinnofner et al. (2005); Ernte 2: Daten der Dauermess-Stelle in Raasdorf nach Pietsch et al. 2006b; *: Daten vom 27.5.

Zur genaueren Interpretation der vorliegenden Daten ist es erforderlich, Informationen über das osmotische und Turgorpotential der Sorten zu erhalten. Dazu wurden für alle überprüften Sorten pV -Kurven erstellt (Messung von 4 vergleichbaren Pflanzensprossen pro Sorte; pV -Kurven siehe 2.4.5).

Die Ergebnisse der Druck-Volumen-Kurven ergaben, dass die Sorten Niva, Oslava und NS Banat ZMS II ein weniger negatives osmotisches Potential bei voller Sättigung ($\Psi_{o(sat)}$) zum 2. Erntetermin erreichten, als die anderen geprüften Sorten. Diese Sorten akkumulieren anscheinend mehr osmotisch aktive Substanzen in ihren Protoplasten als die anderen geprüften Luzerne-Sorten und zeigen somit eine osmotische Adaption unter Wasserstressbedingungen. Grousse et al. (1996) berichten, dass die Prolinkonzentration im Phloemsaft von Luzerne mit dem am meisten negativen Gesamtwasserpotential (-2.0 MPa) 60-fach so groß war, wie bei nicht gestressten Pflanzen. Prolin ist ein Osmotikum, das die cytosolischen Enzyme und Membranstrukturen schützt (Lahrer et al. 1993).

Tabelle 14: Osmotisches Potential bei voller Sättigung der geprüften Luzerne-Varianten zum 2. Erntetermin 2005

(Mittelwert von 4 Pflanzen pro Variante) zum Erntetermin 2 (kalkuliert mittels Druck-Volumen-Kurven, Type II Transformation)

Variante / Sorte	Ernte 2 $\Psi_{o(sat)}$ MPa	Variante / Sorte	Ernte 2 $\Psi_{o(sat)}$ MPa
A / Sanditi	-1,26	H / Vanda	-1,33
B / Alpha	-1,31	I / Syn P2-23	-1,15
C / Niva	-0,90	J / Syn P3-141	-1,43
D / Oslava	-0,87	K / Syn P4-420	-1,10
E / Plato	-1,82	L / NS Banat ZMS II	-0,83
F / Pomposa	-1,41	M / NS Mediana ZMS V	-1,31
G / Lidiya	-1,17		

$\Psi_{o(sat)}$: Osmotisches Potential bei voller Sättigung

Das Gesamtwasserpotential (Ψ_t), das osmotische Potential (Ψ_o) und das Turgor- oder Druckpotential (Ψ_p) sind durch folgende Gleichung miteinander verbunden:

$$(-)\Psi_t = (-)\Psi_o + (\pm)\Psi_p$$

Formel 9

Der Turgordruck einer lebenden, turgesczten Pflanzenzelle ist positiv und verringert sich beim Welken des Pflanzengewebes auf Atmosphärendruck (Kikuta 2003). Das Turgorpotential in einem Pflanzenorgan bleibt solange positiv, wie das osmotische Potential mehr negativ bleibt, als das Gesamtwasserpotential. Da das Turgorpotential ein Kontrollfaktor für viele Prozesse im Metabolismus der Pflanze ist (z.B. Wachstum, Öffnen der Stomata), ist es von Vorteil für die Pflanze, ein positives Turgorpotential unter limitierenden Wasserbedingungen aufrechtzuerhalten. Zum 2. Erntetermin war in den Sorten Alpha, Niva, Plato, Vanda, Syn P2-23, Syn P3-141, Syn P4-420 und NS Banat ZMS II das Gesamtwasserpotential zur Mittagszeit mehr negativ, als das osmotische Potential am Turgorverlustpunkt (siehe Abbildung 18). Nur die Sorten Sanditi, Oslava, Pomposa, Lidiya und NS Mediana ZMS V konnten einen positiven Turgordruck unter Feldbedingungen aufrechterhalten.

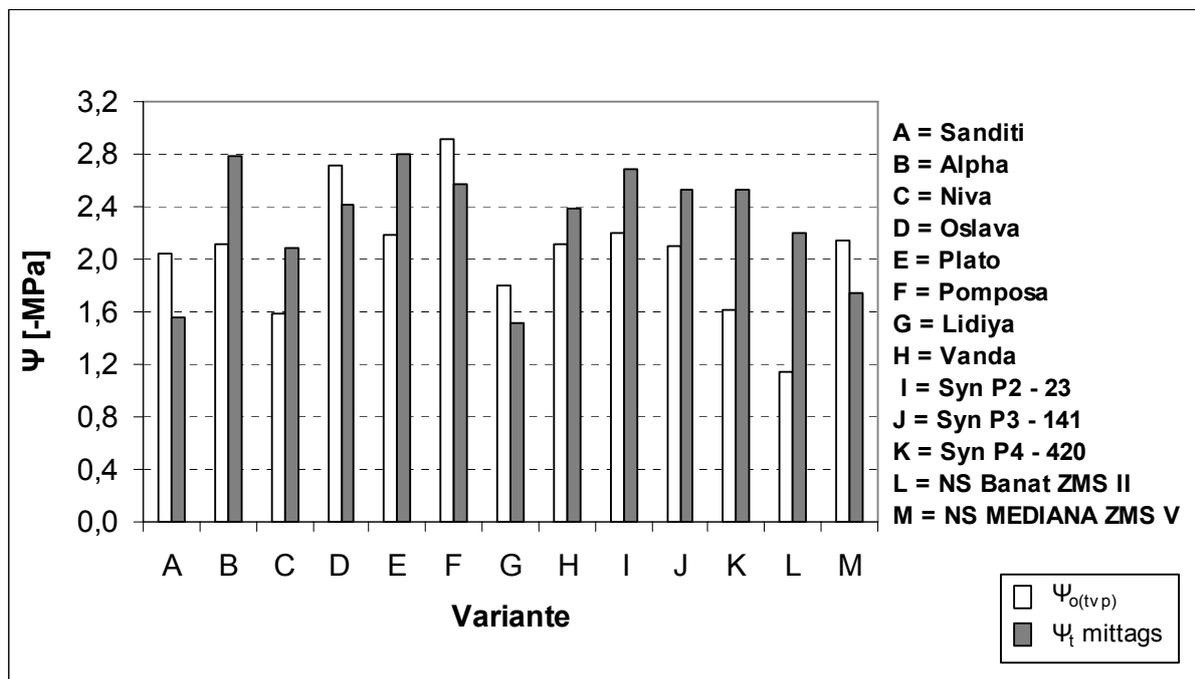


Abbildung 18: Osmotisches Potential am Turgorverlustpunkt ($\Psi_{o(tv p)}$) und Gesamtwasserpotential (Ψ_t) zur Mittagszeit der geprüften Luzerne-Varianten zum 2. Erntetermin 2005

3.8 Sortenvergleich

Nachstehend werden die wichtigsten Ergebnisse betreffend der überprüften Sorten zusammengefasst:

Die holländische Sorte **Sanditi** (Variante A) erreichte zum 1. Erntetermin mit 3450 kg ha^{-1} einen im Mittel aller geprüften Luzerne-Sorten unterdurchschnittlichen TM-Schnittgut- und N-Ertrag. Auch der Wurzelmasseertrag von 7380 kg ha^{-1} (von 0-60 cm) und Wurzel-N-Ertrag war unterdurchschnittlich. Zum 2. Erntetermin bildete die Sorte Sanditi mit 2660 kg ha^{-1} hingegen 99% des höchsten TM-Schnittgutertrages aus und die Ernterestmenge war überdurchschnittlich hoch. Die geschätzte Jahres-Stickstofffixierleistung lag mit 359 kg N ha^{-1} fast $+90 \text{ kg N ha}^{-1}$ über dem Durchschnitt. Zu beiden Ernteterminen war das Gesamtwasserpotential zur Mittagszeit der Sorte Sanditi wenig negativ, zum 2. Erntetermin konnte

die Sorte Sanditi einen positiven Turgordruck unter Feldbedingungen aufrechterhalten, was ein Hinweis auf eine osmotische Anpassung unter Wasserstress sein kann.

Die holländische Sorte **Alpha** (Variante B) erreichte mit 4453 kg ha^{-1} zum 1. Erntetermin 79% des höchsten TM-Schnittgutertrages aller Sorten, zum 2. Erntetermin mit 2683 kg ha^{-1} sogar 100%. Auch der Wurzelmasseertrag war zu beiden Ernteterminen überdurchschnittlich hoch. Die geschätzte N-Fixierleistung war mit 234 kg ha^{-1} zum 1. Erntetermin durchschnittlich, zum 2. Erntetermin lag die N-Fixierleistung mit 101 N kg ha^{-1} um -71 kg N ha^{-1} unter dem Mittelwert aller Sorten. Die Sorte Alpha zeigte weder in ihrer Wassernutzungseffizienz, noch im Gesamtwasser- und osmotischen Potential Vorteile gegenüber den anderen überprüften Sorten.

Die tschechischen Sorte **Niva** (Variante C) bildete einen TM-Schnittgutertrag von 4489 kg ha^{-1} (80% des Höchstwertes) zum 1. Erntetermin und 1825 kg ha^{-1} (68%) zum 2. Erntetermin aus. Die Masse der Ernterückstände war zu beiden Terminen überdurchschnittlich hoch. Die Gesamtjahres-Stickstofffixierleistung lag mit 309 kg N ha^{-1} über dem Mittelwert aller Sorten. Zum 1. Erntetermin hatte die Sorte Niva ein wenig negatives Gesamtwasserpotential und osmotische Potential bei voller Sättigung, was ein Hinweis auf die Adaption unter Wasserstressbedingungen sein kann.

Die tschechische Sorte **Oslava** (Variante D) hatte einen TM-Schnittgutertrag von 3660 kg ha^{-1} (65% des Höchstwertes) zum 1. Erntetermin und 2136 kg ha^{-1} (80% des Höchstwertes) zur 2. Ernte. Zum 1. Erntetermin war die Ernterestmenge durchschnittlich, zum 2. Erntetermin erreichte sie nur 48% des Mittelwertes aller Sorten. Auch die N-Fixierleistung lag mit 167 kg N ha^{-1} um $-104 \text{ kg N ha}^{-1}$ unter dem Mittelwert aller Sorten. Dafür nutzte die Sorte Oslava das zur Verfügung stehende Wasserangebot zu beiden Ernteterminen sehr effizient. Das Gesamtwasserpotential zum 1. Erntetermin sowie das osmotische Potential bei voller Sättigung zum 2. Erntetermin waren wenig negativ, das Turgorpotential war positiv unter limitierenden Wasserbedingungen. Diese Sorte weist eine gewisse Austrocknungsresistenz auf, möglicherweise durch die Akkumulation von osmotisch aktiven Substanzen.

Die deutsche Sorte **Plato** (Variante E) erreichte einen TM-Schnittgutertrag von 4118 kg ha^{-1} (= 73% des Höchstwertes) zum 1. Erntetermin und nur 1531 kg ha^{-1} (57% des Höchstwertes) zur 2. Ernte. Zu beiden Ernteterminen war die Masse der Ernterückstände unterdurchschnittlich, auch die Jahresfixierleistung lag mit 191 kg N ha^{-1} um -80 kg N ha^{-1} unter dem Mittelwert aller Sorten. Zum 2. Erntetermin nutzte die Sorte Plato das zur Verfügung stehende Wasserangebot sehr effizient.

Die deutsche Sorte **Pomposa** (Variante F) bildete einen TM-Schnittgutertrag von 4427 kg ha^{-1} (79% des Höchstwertes) zum 1. Erntetermin, aber nur 1612 kg ha^{-1} (60% des Höchstwertes) zum 2. Erntetermin aus. Die Ernterestmenge und die Jahresfixierleistung (265 kg N ha^{-1}) lagen im guten Durchschnitt. Zum 2. Erntetermin war die Wassernutzungseffizienz der Sorte Pomposa hoch und sie konnte einen positiven Turgordruck unter Feldbedingungen aufrechterhalten.

Die Sorte **Lidiya** aus der Ukraine (Variante G) erreichte durchschnittliche TM-Schnittguterträge zu beiden Ernteterminen (1. Ernte: 4261 kg ha^{-1} oder 76% des Höchst-

wertes; 2. Ernte: 2288 kg ha⁻¹ oder 85% des Höchstwertes). Die Masse der Ernterückstände und die Jahresfixierleistung lagen ein wenig unter dem Durchschnitt der anderen Sorten (N-Fixierleistung: 245 kg N ha⁻¹). Zum 2. Erntetermin war das Gesamtwasserpotential der Sorte Lidiya wenig negativ, die Sorte konnte ein positives Turgorpotential aufrechterhalten.

Die slowakische Sorte **Vanda** (Variante H) erreichte 81% des höchsten Schnittgut-Trockenmasseertrages zum 1. Erntetermin (4536 kg ha⁻¹) und 67% zur 2. Ernte mit 1810 kg ha⁻¹. Zum 1. Erntetermin war die Ernterestmenge der Sorte Vanda die höchste aller Sorten, zum 2. Erntetermin waren die Ernterückstände überdurchschnittlich hoch. Auch die Jahres-Fixierleistung lag mit 334 kg N ha⁻¹ um +63 kg N ha⁻¹ über dem Mittelwert aller Sorten. Die Wassernutzungseffizienz der Sorte Vanda war zum 1. Erntetermin recht hoch.

Die slowakische Sorte **Syn P2-23** (Variante I) bildete den höchsten TM-Schnittgutertrag aller überprüften Sorten zum 1. Erntetermin mit 5609 kg ha⁻¹ aus, zur 2. Ernte erreichte sie 90% des Höchstwertes mit 2424 kg ha⁻¹. Die Ernterückstände lagen zur 1. Ernte im Durchschnitt, zum 2. Erntetermin erreichte diese Sorte sogar den Höchstwert aller überprüften Sorten. Mit geschätzten 453 kg ha⁻¹ war die Jahres-Stickstofffixierleistung der Sorte Syn P2-23 am höchsten von allen Luzerne-Sorten und lag um +182 kg N ha⁻¹ über dem Mittelwert. Die Wassernutzungseffizienz diese Sorte war durchschnittlich.

Der TM-Schnittgutertrag der slowakischen Sorte **Syn P3-141** (Variante J) war mit 3712 kg ha⁻¹ zum 1. Erntetermin knapp unter dem Durchschnitt, mit 1604 kg ha⁻¹ zur 2. Ernte erreichte sie nur 60% des Höchstwertes. Die Ernterestmenge war zur 1. Ernte durchschnittlich, zum 2. Erntetermin mit nur 50% des Höchstwertes unter dem Mittelwert aller Sorten. Aufgrund der geringen Ertragsleistung zum 2. Erntetermin war auch die Jahres-Fixierleistung mit 234 kg N ha⁻¹ um -37 kg N ha⁻¹ geringer, als der Mittelwert aller Sorten. Die Wassernutzungseffizienz diese Sorte war durchschnittlich.

Die slowakische Sorte **Syn P4-420** (Variante K) zeigte mit einem TM-Schnittgutertrag von 3740 kg ha⁻¹ (67% des Höchstwertes) zum 1. Erntetermin und 2299 kg ha⁻¹ (86% des Höchstwertes) zum 2. Erntetermin eine durchschnittliche Ertragsbildung. Die Ernterestmenge war zur 1. Ernte überdurchschnittlich hoch, zum 2. Erntetermin genau durchschnittlich. Die geschätzte Jahresfixierleistung lag mit 307 kg N ha⁻¹ um +36 kg N ha⁻¹ über dem Mittelwert aller Sorten. Die Wassernutzungseffizienz diese Sorte war durchschnittlich.

Die serbische Sorte **NS Banat ZMS II** (Variante L) hatte einen TM-Schnittgutertrag von 3303 kg ha⁻¹ zur 1. Ernte (59% des Höchstwertes) und 2296 kg ha⁻¹ zum 2. Erntetermin (86% des Höchstwertes). Die Sorte bildete bis zum 1. Erntetermin weniger als 50% vom Mittelwert an Ernterückständen aus, bis zum 2. Erntetermin war die Masse der Ernterückstände durchschnittlich. Die Jahresfixierleistung war mit 227 kg N ha⁻¹ um -44 kg N ha⁻¹ geringer als der Mittelwert aller geprüften Sorten. Da das osmotische Potential der Sorte zum 2. Erntetermin weniger negativ war, akkumuliert diese Sorte möglicherweise mehr osmotisch aktive Substanzen als die anderen geprüften Sorten.

Der TM-Schnittgutertrag der serbischen Sorte **NS MEDIANA ZMS V** (Variante M) war zum 1. Erntetermin mit 2072 kg ha⁻¹ unterdurchschnittlich niedrig (37% des Höchstwertes), zur 2. Ernte wurden 97% des Höchstwertes mit 2604 kg ha⁻¹ erreicht. Die Ernterestmenge war ebenfalls unterdurchschnittlich zur 1. Ernte, zum 2. Erntetermin entsprach sie dem Mittelwert

aller geprüften Sorten. Mit einer geschätzten Jahresfixierleistung von 215 kg N ha⁻¹ wurde um -56 kg N ha⁻¹ weniger Stickstoff fixiert, als im Mittel aller Sorten. Zu beiden Ernteterminen nutzte diese Sorte das zur Verfügung stehende Wasserangebot nicht effizient, das Gesamtwasserpotential war hingegen weniger negativ, als das der anderen überprüften Sorten. Unter limitierenden Wasserbedingungen zum 2. Erntetermin blieb das Turgorpotential dieser Sorte positiv.

In der Tabelle 15 wurde versucht, den geprüften Luzerne-Sorten eine Reihenfolge mittels Rangordnung zuzuordnen. Nach dieser Methode gilt die Sorte mit der geringsten Rangordnungs-Summe als die am besten geeigneten Sorten für den Standort Raasdorf betrachtet werden, d.h. dass ist die slowakische Sorte **Syn P2-23** (Variante I), die tschechischen Sorte **Niva** (Variante C) und die slowakische Sorte **Vanda** (Variante H). Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass diese Ergebnisse nur dem Einfluss der Witterungsbedingungen des Versuchsjahres 2005 entstanden sind und eine Weiterführung des Versuches über mehrere Vegetationsperioden zur Verifizierung der Sortenunterschiede sinnvoll wäre. Außerdem ist die Anlage der Sorten in mehrfacher Wiederholung für die statistische Überprüfung der Ergebnisse zu empfehlen. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind also im Hinblick auf die Versuchsanlage und Versuchsdauer möglicherweise zu relativieren.

Tabelle 15: Rangordnung der geprüften Luzerne-Sorten hinsichtlich diverser Parameter

Variante / Parameter	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1. Erntetermin													
Schnittgutertrag	11	4	3	10	7	5	6	2	1	9	8	12	13
Ernterestmenge	10	3	4	5	9	6	11	1	7	8	2	13	12
WUE _{Ph}	11	13	9	2	8	10	5	1	4	12	6	3	7
Ψ _t	2	7	4	3	12	8	11	13	9	5	10	6	1
2. Erntetermin													
Schnittgutertrag	2	1	9	8	13	11	7	10	4	12	5	6	3
Ernterestmenge	2	6	4	13	12	5	10	3	1	11	8	9	7
WUE _{Ph}	12	5	10	3	1	2	9	6	4	7	11	8	13
Ψ _t	2	12	4	7	13	10	1	6	11	9	8	5	3
Ψ _{o(sat)}	7	8	3	2	13	11	6	10	5	12	4	1	9
Ψ _p	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+
1. und 2. Erntetermin													
N-Ertrag Gesamt*	2	5	3	13	12	6	7	4	1	11	8	9	10
Jahres-N-Fixierleistung	2	11	4	13	12	6	7	3	1	8	5	9	10
Summe	63	75	57	79	112	80	80	59	48	104	75	81	88

1 = günstigster Rang, 13 = ungünstigster Rang; Ψ_t: Gesamtwasserpotential zur Mittagszeit, Ψ_{o(sat)}: osmotisches Potential bei voller Sättigung, Ψ_p: Turgorpotential, N-Ertrag Gesamt: Schnittgut 1. Erntetermin + gesamte Pflanze 2. Erntetermin

4 Zusammenfassung

In der Ackerbauregion im Osten von Österreich spielt der Anbau von Luzerne zur Deckung des N-Bedarfes in Fruchtfolgesystemen des Ökologischen Landbaus eine entscheidende Rolle. Die Nutzung der Luzerne erfolgt in den vorwiegend viehlosen Betrieben hauptsächlich als Grünbrache (Mulchnutzung). Im Vegetationsjahr 2005 wurde zu 2 Ernteterminen der Biomasseertrag (ober- und unterirdisch), die N₂-Fixierungsleistung und die Wassernutzungseffizienz von 13 Luzerne-Sorten erhoben. Der Feldversuch wurde auf den biologisch bewirtschafteten Flächen der Universität für Bodenkultur in Raasdorf im Marchfeld durchgeführt. Dieser Standort ist durch spezifische pannonische Klimabedingungen geprägt (geringe Niederschlagssummen von 500 - 550 mm im Jahr, Dürreperioden von 3 - 6 Wochen pro Jahr, Jahresdurchschnittstemperatur 9,8° C). Ziel dieser Untersuchung war, der Praxis erste Ergebnisse für die Auswahl geeigneter Luzerne-Sorten für das Trockengebiet im Osten Österreichs zur Verfügung zu stellen.

Die Niederschlagssumme in der Periode von März bis Juli 2005 lag trotz des niederschlagsreichen Sommers um 61mm unter dem langjährigen Mittel. Der gesamte Schnittgutertrag der überprüften Luzerne-Sorten betrug 4676 bis 8033 kg ha⁻¹, die Summe der Ernterückstände bzw. die Ernterestmenge (Stoppeln, Wurzeln 0-60 cm) zum 2. Erntetermin ergab 4784 bis 14588 kg ha⁻¹. Die gesamt-pflanzliche Jahres-Stickstofffixierleistung der Luzerne-Sorten betrug 167 bis 453 kg N ha⁻¹.

Beim Vergleich der 13 Luzerne-Sorten erreichte die slowakische Sorte Syn P2-23 den höchsten jährlichen Schnittgut-Trockenmasseertrag, Jahres-Stickstofffixierleistung sowie Ernterestmenge zum 2. Erntetermin bei einer durchschnittlichen Wassernutzungseffizienz. Zum 1. Erntetermin zeigte die tschechische Sorte Niva ein weniger negatives Gesamtwasser- und osmotisches Potential bei voller Sättigung, ein möglicher Hinweis auf eine Adaption unter Wasserstressbedingungen. Die slowakische Sorte Vanda bildete einen überdurchschnittlich hohen Schnittgut-Trockenmasseertrag, Ernterestmenge und Jahres-Stickstofffixierleistung bei einer hohen Wassernutzungseffizienz zum 1. Erntetermin aus.

Um eine abgesicherte Aussage über geeignete Luzerne-Sorten für die niederschlagsarme Region Ostösterreichs treffen zu können, bedarf es weiterer Untersuchungen (z.B. verschiedene Versuchsstandorte, mehrere Versuchsjahre) mit mehreren Wiederholungen pro Sorte. Insbesondere für die Abschätzung des Wasserverbrauches und der Wassernutzungseffizienz der Pflanzen sowie für die Beschreibung der physiologischen Reaktionen und Adaptionen der Luzerne-Sorten bei wasserlimitierenden Bedingungen wird empfohlen, einen Sortenversuch unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus durchzuführen.

5 Literatur

- Anthes, J. (2005): Beitrag von Ackerbohne (*Vicia faba* L.), Luzerne (*Medicago sativa* L.) und Saatwicke (*Vicia sativa* L.) zur Selbstregulierung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen.
- Antolin, M.C., Yoller, J. und Sanchez-Diaz, M. (1995): Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen-fixing alfalfa plants. *Plant Science* 107: 159-165.
- Badaruddin, M. und Meyer, D. W. (1989): Water use by legumes and its effect on soil water status. *Crop Science* 29: 1212-1216.
- Bichara, D.C. (1983): Vergleichende Untersuchungen bei Luzerne und Wundklee auf Ertrag, Qualitätsmerkmale und Vorfruchtwert unter dem Einfluss verschiedener Anbaumaßnahmen. Dissertation Universität Hohenheim.
- Bolger, T. P. (1989): Water use, yield, quality and dinitrogen fixation of sainfoin and alfalfa under gradient irrigation. Dissertation Abstracts International B 50, 376B. Texas Tech. Universität Lubbock.
- Bolger, T. P. and Matches, A. G. (1990): Water-Use Efficiency and yield of sainfoin and alfalfa. *Crop Science* 30 (1/2): 143-148.
- Buhtz, E., Boese, L., Grunert, C. und Hamann, W. (1990): Koordinierter Dezimalcode (KDC) der phänologischen Entwicklung für landwirtschaftliche Kulturpflanzen, Gemüse, Obst und Sonderkulturen. *Feldversuchswesen* 7: 17-38.
- Carter, P. R. and Sheaffer, C. C. (1983): Alfalfa response to soil water deficits. I. Growth, forage quality yield, water use, and water-use efficiency. *Crop Science* 23: 669-675.
- Claypool, D., Delaney, R., Ditterline, R. und Lockermann, R. (1997): Genetic improvement of alfalfa to conserve water. Poster at Wyoming Water Conference, 21-23. April 1997, Casper, Wyoming.
- Diepenbrock, W., Fischbeck, G., Heyland, K.U. und Knauer, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau, 3. Auflage. UTB Verlag, Stuttgart.
- Ehlers, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Farquhar, G. D., Ehleringer, J. R. und Hubick, K. T. (1989): Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 40: 503-537.
- Girousse, C., Bournoville, R. und Bonnemain, J. L. (1996): Water deficit-induced changes in concentration in praline and some other amino acids in the phloem sap of alfalfa. *Plant Physiol.* 111: 109-113.
- Hirth, J. R., Haines, P. J., Ridley, A. M. and Wilson, K. F. (2001): Lucerne in crop rotations on the Riverine Plains 2. Biomass and grain yields, water use efficiency, soil nitrogen, and profitability. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 279-293.
- Hrbek, R. (2005). Auswirkungen variierter Nutzungstermine auf den Ertrag, die Stickstofffixierleistung und auf die Beikrautentwicklung in Luzernebeständen im pannonischen Klimaraum Österreichs. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Johnson, R. C. and Tieszen (1994): Variation for water-use efficiency in alfalfa germplasm. *Crop Science* 34: 452-458.
- Jung, R. (2003): Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.) Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen. Experimentelle Grundlagen und Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der Stickstoff-Flächenbilanz. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen.

- Kikuta, S. B. and Richter, H. (1992): A simplified pressure-volume method for the estimation of osmotic adjustment with the pressure chamber. *Die Bodenkultur* 43: 307-318.
- Kikuta, S. (2003): Skript zur Vorlesung: Methoden zur Untersuchung der Stressresistenz von Pflanzen. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Köhnlein, J. und Vetter, H. (1953): *Ernterückstände und Wurzelbild*. Verlag Parey, Berlin-Hamburg.
- Könekamp, A.H. (1934): Beitrag zur Kenntnis des Wurzelwachstums einiger Klee- und Grasarten. *Landwirtschaftliche Jahrbücher*, Bd. 80: 571 – 588.
- Lahrer, F., Lepoint, L., Petrivalsky, M. and Chappart, M. (1993): Effectors for the osmoinduced praline response in higher plants. *Plant Physiol. Biochem.* 31: 911-922.
- Larcher, W. (1994): *Ökophysiologie der Pflanzen*. 5. Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Luis, D., Irigoyen, J. J. And Sanchez-Diaz, M. (1999): Elevated CO₂ enhances plant growth in droughted N₂-fixing alfalfa without improving water status. *Physiologia Plantarum* 107: 84-89.
- McAuliffe, C., Chamblee, D. S., Uribe-Arango, H. und Woodhouse, W. W. (1958): Influence of inorganic nitrogen on nitrogen fixation by legumes as revealed by N¹⁵. *Agronomy Journal* 50: 334-337.
- Pietsch, G. (2004): N₂-Fixierungsleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im Ökologischen Landbau unter den klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. Dissertation Universität für Bodenkultur, Wien.
- Pietsch, G., Hrbek, R. and Friedel, J. K. (2006a): The effects of different mulching dates on yield and nitrogen fixation of green manure Lucerne. Submitted.
- Pietsch, G., Friedel, J. K., Starz, W., Kikuta, S., Loiskandl, W., Strauss-Sieberth, A. und Freyer, B. (2006b): Biological nitrogen fixation of different legume species under water stress - *BIOfix* – Project. Final report. Auftraggeber: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Wien.
- Rauhe, K., Leithold, G. und Michel, D. (1987): Untersuchungen zur Ertrags- und Humusproduktionsleistung der Luzerne auf sandigem Lehmboden in Trockenlagen. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde*, Band 31, Heft 11: 695-702.
- Ray, I. M., Townsend, M. S. and Henning, J. A. (1998): Variation for yield, water-use efficiency, and canopy morphology among nine alfalfa germplasms. *Crop Science* 38: 1386-1390.
- Rinnofner, T., Farthofer, R., Friedel, J. K., Pietsch, G., Strauss-Sieberth, A., Loiskandl, W. und Freyer, B. (2005): Stickstoffaufnahme und Biomasseertrag von Zwischenfrüchten und deren Auswirkungen auf Ertrag und Qualität der Folgekultur und Nitratgehalt in der Bodenlösung unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus im pannonischen Klimagebiet. Endbericht Projekt Nr. 1246, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Scholander, P. F., Hammel, H.T., Bradstreet, E. D. and Hemmingsen, E. A. (1965): Sap pressure in vascular plants, *Science* 148: 339-346.
- Sheaffer, C. C., Tanner, C. B. and Kirkham, M. B. (1988): Alfalfa water relations and irrigation. In: A. A. Hanson et al. (ed.) *Alfalfa and alfalfa improvement*. *Agronomy* 29: 373-409.
- Shearer, G. und Kohl, D. H. (1993): Natural abundance of ¹⁵N: fractional contribution of two sources to a common sink and use of isotope discrimination. In: *Nitrogen isotope techniques*. R. Knowles & T.H. Blackburn. Academic Press, San Diego: 89-125.
- Von Willert, D.J., Matyssek, R., Herppich, W. (1995): *Experimentelle Pflanzenökologie - Grundlagen und Anwendungen*. Thieme, Stuttgart.

6 Anhang

Tabelle 16: TM-Ertrag Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln (kg ha⁻¹) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

TM-Ertrag [kg ha⁻¹]	1. Erntetermin				
Variante / Sorte	Schnittgut	Stoppeln	Wurzeln 0-30 cm	Wurzeln 30-60 cm	Wurzeln 0-60 cm
A / Sanditi	3450	886	6381	999	7380
B / Alpha	4453	850	8185	808	8993
C / Niva	4489	792	7972	828	8800
D / Oslava	3660	891	6780	1069	7849
E / Plato	4118	726	7109	531	7640
F / Pomposa	4427	693	7071	938	8008
G / Lidiya	4261	754	6395	825	7220
H / Vanda	4536	802	10494	1178	11672
I / Syn P2 - 23	5609	853	7048	756	7804
J / Syn P3 - 141	3712	441	6512	1679	8191
K / Syn P4 - 420	3740	685	8379	1274	9653
L / NS Banat ZMS II	3303	503	2924	698	3622
M / NS Mediana ZMS V	2072	661	5343	548	5891
	2. Erntetermin				
Variante / Sorte	Schnittgut	Stoppeln	Wurzeln 0-30 cm	Wurzeln 30-60 cm	Wurzeln 0-60 cm
A / Sanditi	2660	720	11289	1938	13227
B / Alpha	2683	650	8258	1458	9716
C / Niva	1825	825	10073	758	10831
D / Oslava	2136	606	3709	469	4178
E / Plato	1531	952	4106	577	4683
F / Pomposa	1612	519	9226	960	10185
G / Lidiya	2288	744	7401	1193	8594
H / Vanda	1810	729	9485	1511	10996
I / Syn P2 - 23	2424	919	12433	1236	13669
J / Syn P3 - 141	1604	1099	5509	707	6216
K / Syn P4 - 420	2299	744	8657	640	9297
L / NS Banat ZMS II	2296	862	8129	931	9060
M / NS Mediana ZMS V	2604	935	7976	1431	9407

Tabelle 17: N-Gehalt in Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln (%) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

N-Gehalt [%]	1. Erntetermin					
Variante / Sorte	Schnittgut	Stoppeln	Blatt	Stängel	Wurzeln 0-30 cm	Wurzeln 30-60 cm
A / Sanditi	3,6	2,6	4,4	1,9	2,0	1,8
B / Alpha	3,4	2,2	4,1	1,8	2,2	2,0
C / Niva	3,2	2,0	4,0	1,7	2,1	1,9
D / Oslava	3,4	1,7	4,2	1,9	2,1	2,0
E / Plato	3,8	1,9	3,9	1,7	2,1	1,9
F / Pomposa	3,6	1,9	3,8	1,5	2,3	2,1
G / Lidiya	3,5	1,7	4,2	1,7	2,0	2,0
H / Vanda	3,7	2,1	4,4	1,7	2,2	2,1
I / Syn P2 - 23	3,4	2,1	4,2	1,7	2,4	1,4
J / Syn P3 - 141	3,5	2,2	3,8	2,0	2,3	2,1
K / Syn P4 - 420	3,4	2,1	4,1	1,4	2,3	2,1
L / NS Banat ZMS II	3,1	1,9	4,2	1,8	1,9	1,9
M / NS Mediana ZMS V	3,5	2,3	4,3	1,7	1,6	1,9
	2. Erntetermin					
Variante / Sorte	Schnittgut	Stoppeln	Blatt	Stängel	Wurzeln 0-30 cm	Wurzeln 30-60 cm
A / Sanditi	3,7	1,4	4,1	1,8	2,3	2,1
B / Alpha	2,9	1,6	3,9	1,8	2,4	2,1
C / Niva	3,5	2,0	4,3	1,6	2,7	2,3
D / Oslava	2,7	1,9	4,3	1,6	2,4	2,2
E / Plato	3,5	1,5	4,0	1,6	2,6	2,1
F / Pomposa	3,5	1,7	4,0	1,3	2,3	2,3
G / Lidiya	3,5	1,4	4,1	1,6	2,1	2,1
H / Vanda	3,1	2,0	3,9	1,6	2,3	2,3
I / Syn P2 - 23	3,6	1,5	4,2	1,5	2,6	2,5
J / Syn P3 - 141	3,2	1,9	4,3	1,4	2,4	2,4
K / Syn P4 - 420	3,3	1,4	4,2	1,6	2,1	2,4
L / NS Banat ZMS II	2,7	2,1	4,1	1,7	2,1	2,2
M / NS Mediana ZMS V	2,1	2,1	4,5	1,5	2,3	2,3

Tabelle 18: N-Ertrag Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln (kg ha⁻¹) der geprüften Luzerne-Varianten zum 1. und 2. Erntetermin 2005

N-Ertrag [kg ha⁻¹]	1. Erntetermin				
Variante / Sorte	Schnittgut	Stoppeln	Wurzeln 0-30 cm	Wurzeln 30-60 cm	Wurzeln 0-60 cm
A / Sanditi	123	23	129	18	147
B / Alpha	153	19	183	16	198
C / Niva	145	16	168	15	183
D / Oslava	125	15	144	21	165
E / Plato	157	14	146	10	156
F / Pomposa	161	13	163	19	182
G / Lidiya	150	13	130	16	146
H / Vanda	166	17	236	25	261
I / Syn P2 - 23	189	18	166	11	177
J / Syn P3 - 141	131	10	147	35	183
K / Syn P4 - 420	126	15	192	26	219
L / NS Banat ZMS II	101	10	55	14	69
M / NS Mediana ZMS V	72	16	87	10	97
	2. Erntetermin				
Variante / Sorte	Schnittgut	Stoppeln	Wurzeln 0-30 cm	Wurzeln 30-60 cm	Wurzeln 0-60 cm
A / Sanditi	99	10	265	42	307
B / Alpha	77	10	203	27	230
C / Niva	63	16	273	17	290
D / Oslava	58	12	91	18	109
E / Plato	54	14	106	11	117
F / Pomposa	56	9	211	12	224
G / Lidiya	80	10	156	18	175
H / Vanda	56	14	216	33	249
I / Syn P2 - 23	87	14	324	28	351
J / Syn P3 - 141	51	21	130	13	143
K / Syn P4 - 420	77	11	180	15	195
L / NS Banat ZMS II	63	18	165	27	192
M / NS Mediana ZMS V	56	20	188	31	220