

1 Einleitung

Die Intensivierung der Landwirtschaft in Deutschland hatte im 20. Jahrhundert einen starken Wandel in der Ausprägung des Kulturgraslands zur Folge. Durch hohe Mineraldünger-Gaben, eine hohe Schnittfrequenz, einen frühen ersten Schnitt auf Wiesen und Mähweiden sowie durch einen dichten Viehbesatz entwickelte sich kräuterreiches Grünland zu landwirtschaftlichen Produktionsflächen, die vielen Tier- und Pflanzenarten kaum noch Lebensraum bieten. Besonders kleinwüchsige Pflanzen mit geringeren Nährstoffansprüchen, die in ein- bis zweischürigen Wiesen ihren Verbreitungsschwerpunkt haben, zählen in der heutigen Zeit zu den im Rückgang begriffenen oder mittlerweile bereits gefährdeten Arten (DIERSCHKE & BRIEMLE 2002, BRIEMLE 2003).

Der Trend zur Intensivierung oder Aufgabe relativ unproduktiver Grünlandflächen ist auch im Hunsrück (Rheinland-Pfalz) zu erkennen (RUTHSATZ et al. 2004). Die hier anzutreffenden artenreichen Wiesen kalkarmer Standorte sind im Gegensatz zu den Lebensgemeinschaften der Kalkmagerrasen nicht grundsätzlich geschützt. Der Erhalt dieses Magergrünlands sollte jedoch von allgemeinem Interesse sein, da ihm nicht nur ein landwirtschaftlicher Nutzwert zukommt. Magerwiesen tragen in hohem Maße zur Biodiversität bei. Darüber hinaus steigern kräuterreiche Wiesen durch ihre Blütenvielfalt den Erholungswert einer Kulturlandschaft für den Menschen (DIERSCHKE & BRIEMLE 2002).

Eine Vielzahl von Leguminosen (Familie der Schmetterlingsblütengewächse, *Fabaceae*) sind in extensiv genutztem Grünland heimisch. Diese Pflanzen haben die Fähigkeit atmosphärischen Stickstoff (N_2) biologisch zu fixieren, indem sie Symbiosen mit stickstoffsammelnden Bodenbakterien der Gattungen *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* u. a. eingehen (WERNER 1992). Bei einer reduzierten Stickstoff-Düngung kann die biologische N-Bindung der Leguminosen einen Teil des zum Wachstum des Pflanzenbestandes notwendigen Stickstoffs ersetzen (RIEDER 1983).

Der Anteil der Leguminosen in den Wiesen und die Höhe der N_2 -Fixierung ist von vielen biotischen und abiotischen Faktoren abhängig, wobei der allgemeinen Nährstoffversorgung eine große Bedeutung zukommt (MARTIN 1990, HARTWIG 1998, CREWS 1999, SPRENT 1999, SCHUBERT et al. 2003, SADOWSKY 2005). Während für die meisten intensiv genutzten landwirtschaftlichen Anbausysteme (Feldfutterbau, Intensivweiden) bereits umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der symbiotischen N-Bindung von Leguminosen vorliegen, fehlen diese für extensiv genutzte Grünlandflächen weitgehend. Insbesondere fehlt eine Übersicht über den Beitrag der krautigen Leguminosen zum Stickstoffhaushalt artenreicher Wiesen kalkarmer Böden der Mittelgebirgslagen.

Die Kenntnis über die Höhe der symbiotischen Stickstoff-Bindung der Leguminosen ist in der landwirtschaftlichen Praxis von großer Bedeutung, um eine möglichst exakte N-Bilanz für die jeweiligen Flächen erstellen zu können. Dies dient nicht nur der Kosteneinsparung (weniger Düngemittel), sondern liefert auch einen Beitrag zum Grundwasserschutz sowie zum Landschafts- und Biotopschutz.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollen zu einem besseren Verständnis der Bedeutung der Leguminosen für den Stickstoff-Haushalt von Magerwiesen beitragen.

Im Wesentlichen wurde folgenden Fragen nachgegangen:

- Wie hoch ist der symbiotisch gebundene N-Anteil an der N-Menge im Sprossmaterial der Grünland-Leguminosen?
- Welche N-Mengen werden über symbiotische N-Bindung in die Magerwiesen eingebracht?
- Wie hoch ist der Leguminosenanteil an der Biomasse der ungedüngten oder sporadisch gedüngten Magerwiesen typischerweise?
- Ist die N-Bindungseffizienz der Leguminosen in Magerwiesen ähnlich hoch wie im Feldfutterbau und in der Weidewirtschaft?
- Eignet sich die $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (^{15}N natürliche Abundanz-Methode) für Untersuchungen in artenreichem Dauergrünland?

2 Literaturübersicht

2.1 Die Entwicklung der artenreichen Wiesen im Hunsrück

Artenreiche Wiesen dienen nicht nur der Nahrungsproduktion (Tierfutter bzw. tierische Erzeugnisse), sondern sind auch Indikatoren für die ökologischen Leistungen der Landwirtschaft (nachhaltige Nutzung). Gleichzeitig bieten sie durch ihre Ästhetik dem Menschen einen wertvollen Erholungsraum (Naherholung, Tourismus). Mit ihrer Vielfalt an Tier- und Pflanzenarten gehören Magerwiesen zu den artenreichsten Ökosystemen Mitteleuropas (DIERSCHKE & BRIEMLE 2002, BRIEMLE 2003).

Durch den Strukturwandel in der Landwirtschaft und die Intensivierung der Nutzung ist der mengenmäßige Anteil artenreichen Grünlands extensiver bis halbextensiver Nutzung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts stark zurückgegangen. Zu den im Rückgang begriffenen Dauergrünlandtypen zählen auch die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Glatthaferwiesen magerer Ausprägung sowie die in höheren Lagen des Hunsrücks vorkommenden Bärwurz-Goldhaferwiesen. Nach DIERSCHKE & BRIEMLE (2002) ist der flächenmäßige Anteil der Glatthafer-Talwiesen (*Arrhenatherion elatioris*) am gesamten Grasland Deutschlands seit 1950 von 35 % auf 5 % gesunken. In der gleichen Zeit nahm auch der Anteil der Goldhafer-Bergwiesen (*Polygono-Trisetion*) von 10 auf 5 % ab. Entsprechend wurde eine Zunahme der artenarmen Vielschnittwiesen, Mähweiden und Intensivweiden registriert. Grünlandtypen extensiver Nutzungsform gehören zu den am stärksten gefährdeten Vegetationsformen in Deutschland. Annähernd 500 der 870 gefährdeten Pflanzenarten sind in extensivem Grünland zu finden (BRIEMLE 2003).

In den klimatisch ungünstigeren Lagen der Mittelgebirge ist im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands relativ viel Magergrünland erhalten. So zeigt auch das Hunsrück-Gebirge eine eher traditionelle Kulturlandschaft mit einer Durchmischung von Ackerflächen und futterbaulich genutztem Grasland. Doch auch im Hunsrück hat die Intensivierung der Landwirtschaft seit den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts stetig zugenommen, so dass hier ebenfalls ein Rückgang der durch vielfältige Funktionen für den Naturhaushalt wertvollen, mageren Grünlandflächen zu verzeichnen ist (HASEMANN 1986, SMOLLICH & BERNERT 1986, MANZ 1989, RUTHSATZ et al. 2004). Im Kreis Trier-Saarburg, in dem die Untersuchungsflächen liegen, hatte das Dauergrünland¹ im Jahr 2003 mit ca. 14.500 ha einen Anteil von etwa 43 % an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2005). Mäßig bis sehr intensiv

¹ Dauergrünland im Sinne der Landwirtschaft ist definiert als Grünland, welches ohne Unterbrechung durch andere Kulturen zur Futtergewinnung durch Abmähen oder Abweiden genutzt wird (STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ 2005). Der Grasanbau auf dem Ackerland (Feldfutterbau) zählt nicht hierzu, wohl aber ein- und nachgesäte Grünlandflächen.

genutztes Grünland (inklusive Ansaaten und Nachsaaten) überwiegt flächenmäßig gegenüber extensiv bis mäßig extensiv genutztem (FRANKENBERG & RUTHSATZ 2001). Zwar gibt es in der Hunsrück-Region immer noch traditionell, d. h. extensiv wirtschaftende Landwirte, doch die Gefahr der Hof-Aufgabe mit Abgabe der Flächen an intensiv wirtschaftende Vollerwerbsbetriebe ist hoch. Diese Tendenz war in den letzten Jahrzehnten bereits zu beobachten (RUTHSATZ 2001). Bei einer Nutzungsintensivierung werden aus den artenreichen Blumenwiesen relativ schnell kräuterarme, grasreiche Fettwiesen. Ein weiteres Problem stellen aus naturschutzfachlicher Sicht der Umbruch von Grünland sowie Neuansaaten und Nachsaaten mit artenarmen Saadmischungen (insbesondere mit produktiven Gräser-Sorten) dar.

Aufgrund der kurzlebigen Samen vieler Wiesenpflanzen (5 bis 10 Jahre) ist eine Rückführung einer langjährig intensiv genutzten, artenarmen Wiese in eine artenreiche Wiese fast unmöglich (DIERSCHKE & BRIEMLE 2002, BRIEMLE 2003). Dies gilt insbesondere, wenn in der Umgebung ausschließlich Intensivlandwirtschaft betrieben und ein Einwandern selten gewordener Arten somit zusätzlich erschwert wird. Umso wichtiger ist der Schutz des verbliebenen extensiv genutzten Graslands. Die Erhaltung oder Wiederherstellung regionaltypischen artenreichen Grünlands wird von den deutschen Bundesländern mit verschiedenen Agrar-Umweltprogrammen unterstützt. Beispiele dafür sind die Kulturlandschaftsprogramme (KULAP) in Bayern, Thüringen und weiteren Bundesländern, das Programm Marktentlastung und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA bzw. MEKA II) in Baden-Württemberg oder das Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL mit dem Grünlandextensivierungsprogramm FUL 2) in Rheinland-Pfalz². Für die vertragliche Einhaltung bestimmter Auflagen, die den Artenreichtum auf den Vertragsflächen fördern, erhalten die Landwirte eine Aufwands- bzw. bei verminderten Ernten eine Ertragsentschädigung. Statt einer rein maßnahmenorientierten Förderung wird derzeit eine ergebnisorientierte Förderung mit einer Erfolgskontrolle anhand floristischer Kartierungen angestrebt (OPPERMANN 2003, BERTKE et al. 2003a und b).

Eine Nutzungsintensivierung auf von Natur aus ungünstigen Standorten - wie beispielweise auf den flachgründigen Schieferböden im Hunsrück - ist auf lange Sicht ohnehin unrentabel (RUTHSATZ et al. 2004). Durch eine Nutzungseinschränkung - mit Beibehaltung der Mahd - wäre dagegen vielerorts eine Erhaltung oder Wiederherstellung artenreicher Wiesen realisierbar. Einige der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Wiesen wurden im Grünlandextensivierungsprogramm FUL 2 gefördert. Optimal wäre es, wenn viele Landwirte Extensivwiesen in ihren Betrieb integrieren würden, so dass in der Fläche eine breit gestreute Verteilung dieses Biotoptyps entstehen kann.

² Das Förderprogramm umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) wird im Jahr 2007 durch das Programm Agrar-Umwelt-Landschaft (PAULa) abgelöst (Kreisverwaltung Mayen-Koblenz, http://www.kvmyk.de/r_presse/presse2006/oktober2006/presse_330.htm, 10.11.2006).

Die Maßnahmen tragen neben der Erhaltung der Artenvielfalt und des Biotoptyps der mageren Glatthafer- bzw. Goldhaferwiesen auch zum Erhalt einer vielfältigen und strukturierten Kulturlandschaft bei. Die Verringerung der Düngung schützt zudem Boden und Grundwasser vor zu hohen Stoffeinträgen wie insbesondere Nitrat (DIERSCHKE & BRIEMLE 2002).

2.2 Die Funktion der Leguminosen im Grünland

In den artenreichen Wiesen mittlerer Standorte finden sich zahlreiche krautige Leguminosen (Familie *Fabaceae* LINDL. = *Papilionaceae* GISEKE, Schmetterlingsblütengewächse in der Ordnung *Fabales* = *Leguminosae*, Hülsenfrüchtler). Neben den auch in intensiver genutztem Grünland verbreiteten Klee-Arten *Trifolium repens* (Weiß-Klee) und *Trifolium pratense* (Rot-Klee) kommen auf den halbextensiv genutzten Wiesen des Hunsrücks weitere Kleinklee-Arten wie *Trifolium dubium* (Kleiner Klee) und *T. campestre* (Feld-Klee) sowie Hornklee-Arten, Wundklee, Wicken, Platterbsen und Ginster-Arten vor.

Leguminosen bilden aufgrund ihrer Fähigkeit zur symbiotischen N₂-Fixierung eine eigene funktionelle Gruppe in der Grünlandvegetation. Sie sind für den N-Kreislauf ihres Ökosystems von Bedeutung. Ein Biodiversitätsverlust trifft einen Bestand stärker, wenn Arten mit wichtiger Funktion wie z. B. Leguminosen verloren gehen. SPEHN et al. (2002) stellten in experimentellem Grünland (BIODEPTH-Projekt, Deutschland) einen großen Einfluss der Leguminosen auf die Biomasseproduktion und die N-Akkumulation in der Biomasse fest. Dieser wurde mit der symbiotischen N₂-Fixierung der Leguminosen begründet. Auch PALMBORG et al. (2005) bestätigten in ihrem Biodiversitäts-Experiment den positiven Effekt der Leguminosen (*Trifolium*-Arten und *Lotus corniculatus*) auf die Höhe der Biomasseproduktion in artenreichen Grünlandbeständen. Die Autoren vermuten, dass Gräser und nicht-fixierende Kräuter von einer verbesserten N-Verfügbarkeit profitierten, da die Menge des anorganischen Stickstoffs im Boden durch das Vorkommen von N₂-fixierenden Leguminosen erhöht wurde. Einen engen Zusammenhang zwischen dem prozentualen Anteil der Leguminosen und dem N-Gehalt sowie dem $\delta^{15}\text{N}$ -Wert im oberirdischen Pflanzenmaterial eines experimentellen Grünlands stellten MULDER et al. (2002) fest. Auch hier erhöhte der durch symbiotische N₂-Fixierung gewonnene Stickstoff die N-Verfügbarkeit für die nicht-fixierenden Pflanzen und führte so zu einer Steigerung der oberirdischen Biomasse.

Die Nutzung von Leguminosen im Grünland und Feldfutterbau hat positive Effekte in Bezug auf die Tierernährung. OPITZ VON BOBERFELD & LASER (1999) betonen die Möglichkeit der Verbesserung des Futterwertes protein- und energiearmer Aufwüchse extensiv bewirtschafteter Flächen durch Leguminosen wie *Trifolium repens*. Leguminosen besitzen einen hohen Rohproteingehalt, der sich bei der physiologischen Alterung der Pflanzen weniger verringert als es bei Gräsern zu beobachten ist. Das gilt jedoch z. B. für *Lotus corniculatus* nur eingeschränkt, da die Art durch hohe Ligninkonzentrationen und einen niedrigen P/E-Quotienten (Protein/Umsetzbare Energie-Quotient) andere Eigenschaften als z. B. *Trifolium repens* aufweist. Jedoch wurden auf Extensivweiden auch durch *Lotus*

corniculatus die Nährelementgehalte (Ca, P, Mg) in Gräsern wie *Festuca rubra* und *Agrostis capillaris* gesteigert (OPITZ VON BOBERFELD & LASER 1999). *Trifolium pratense* kann neben einer Steigerung des Rohproteingehalts auch den Mineralstoffgehalt (P, K, Mg, Ca) eines Graspartners im Bestand verbessern (LEHMANN & MEISTER 1982). Verschiedene Futterwert-Parameter von in naturnahem Grünland vorkommenden Leguminosen sind einer Übersicht von SCHUBERT et al. (2003) zu entnehmen.

Nicht zuletzt bringen Leguminosen dem landwirtschaftlichen Betrieb einen ökonomischen Vorteil, da die symbiotische N-Bindung den Boden bzw. den gesamten Pflanzenbestand mit Stickstoff anreichert und so die mineralische N-Düngung deutlich reduziert werden kann (ROCHON et al. 2004).

2.3 Höhe der N₂-Fixierungsleistung von Grünland-Leguminosen

Im Stoffhaushalt der Pflanzen steht der Stickstoff an erster Stelle, da er entscheidenden Einfluss auf das Wachstum und auf die Artenkombination von Pflanzenbeständen ausübt (DIERSCHKE & BRIEMLE 2002). Spätestens seit der Entdeckung durch Hermann Hellriegel und Hermann Wilfahrt im Jahr 1886 ist bekannt, dass Leguminosen mit Hilfe von Knöllchenbakterien elementaren Luftstickstoff für ihr Wachstum nutzen können (BURRIS 1974, BÖHM 1986).

Daten zur symbiotischen N₂-Fixierungsleistung von Leguminosen sind nicht leicht zu ermitteln, da eine direkte Meßmethode für die Anwendung im Freiland fehlt. Bisher angewandte in-situ-Methoden (siehe Kap. 2.4) beruhen auf indirekten Ableitungen und werden daher als Schätzmethode bezeichnet. Beim Vergleich von Literaturdaten stellen sich daher mehrere Probleme: Zum einen muss die verwendete Schätzmethode berücksichtigt werden, zum anderen beziehen sich die angegebenen Werte auf unterschiedliche Pflanzenorgane (Spross, Wurzel oder Gesamtpflanze). Darüber hinaus spielen die Wachstumsbedingungen eine Rolle. Die vorhandenen Daten zu den heimischen *Trifolium*-Arten und *Lotus corniculatus* stammen überwiegend aus pflanzenbaulichen Versuchen zur Futterherstellung. Die dort gefundenen Unterschiede sind durch unterschiedliche Standortbedingungen sowie durch die Bewirtschaftung geprägt.

Für Fixierungsleistungen des Weißklee in Dauergrünland bei Mahdnutzung sei auf eine Übersicht bei LEDGARD (2001) verwiesen. Die Spanne der beobachteten N₂-Fixierung wurde dort mit 45 bis 315 kg gebundenem N je Hektar und Jahr angegeben (Bestimmung durch ¹⁵N-Anreicherungsmethode). Eine weitere Zusammenstellung von Literaturdaten für die N-Bindung bei Weiß- und Rotklee findet sich bei CARLSSON & HUSS-DANELL (2003). In dieser Arbeit werden Fixierungsleistungen von 1 bis 283 kg N ha⁻¹ a⁻¹ für Weißklee und von 8 bis 373 kg N ha⁻¹ a⁻¹ für Rotklee genannt (bei max. 20 kg N-Dünger ha⁻¹ a⁻¹, Bestimmung durch ¹⁵N-Anreicherungsmethode).

Zur symbiotischen N-Bindung bei *Lotus corniculatus* gibt SCHNOTZ (1995) eine Übersicht. Es werden fixierte N-Mengen von 16 bis 232 kg N ha⁻¹ a⁻¹ aufgeführt. Eine Spanne von 49 bis

109 kg N ha⁻¹ a⁻¹ wird von PEOPLES et al. (1995) genannt. OPITZ VON BOBERFELD & LASER (1999) geben für *Lotus corniculatus* in Reinsaat eine symbiotische N-Bindung in Höhe von maximal 260 kg N ha⁻¹ a⁻¹ an. Von SEGUIN et al. (2000) wurde für Hornklee eine durchschnittliche Fixierung von 145 kg N ha⁻¹ a⁻¹ nachgewiesen.

Zu den in dieser Arbeit untersuchten *Vicia*-Arten, zu *Lathyrus linifolius* sowie zu *Trifolium dubium* waren keine Angaben hinsichtlich der symbiotischen N-Bindung zu finden.

Zu bedenken ist, dass es sich bei den Angaben überwiegend um frisch angesäte Klee-Gras-Bestände mit hohen Anteilen der jeweiligen Leguminose oder um Reinbestände im Feldfutterbau handelt. Die niedrigsten in den genannten Arbeiten zitierten symbiotisch gebundenen N-Mengen für *Trifolium pratense* (8 kg N ha⁻¹), für *T. repens* (1 kg N ha⁻¹) und *Lotus corniculatus* (16 kg N ha⁻¹) entstammen einer Untersuchung von HEICHEL & HENJUM (1991). Diese vergleichsweise geringen N-Mengen wurden auf geringe Massenanteile dieser Arten im Bestand bzw. eine geringe Fixierungsleistung im ersten Untersuchungsjahr nach der Ansaat zurückgeführt. Auch werden häufig Jahresgesamtmengen aus Summen mehrerer Ernten angegeben. SERESINHE et al. (1994) stellten beispielsweise bei mehrfacher Schnittnutzung von Weißklee (im Bestand mit *Lolium perenne*) eine N-Bindung in Höhe von ca. 100 bis 140 kg ha⁻¹ für die gesamte Vegetationsperiode fest. Davon entfielen ca. 20 bis 25 kg N ha⁻¹ auf den ersten Schnitt Ende Mai.

Die hohen fixierten N-Mengen in den oberen Bereichen der angegebenen Spannen sind sicherlich nicht mit den artenreichen Magerwiesen zu vergleichen, da hier die Ertragsanteile der Leguminosen wesentlich geringer waren als in den meisten (intensiven) Anbausystemen zur Futtererzeugung. Lediglich die Werte im unteren Bereich der angegebenen Spannen können einen Hinweis auf eine Fixierungsleistung bei geringem Anteil der entsprechenden Art in einem Grünlandbestand geben. Beispielsweise berichten RIFFKIN et al. (1999b) von relativ geringen fixierten N-Mengen von lediglich 11 bis 18 kg ha⁻¹ a⁻¹ ($\delta^{15}\text{N}$ -Methode) in Weiden mit Weißkleeanteilen von durchschnittlich 8 %. Dieser Leguminosenanteil entspricht dem mittleren Anteil der Leguminosen in den untersuchten Hunsrück-Wiesen. Experimente auf Weiden sind wegen der heterogenen Nährstoffzufuhr durch die Weidetiere jedoch nur bedingt mit den hier untersuchten Mähwiesen zu vergleichen.

CLEVELAND et al. (1999) bewerten den Beitrag der biologischen Stickstoff-Fixierung durch Leguminosen in natürlichem Grasland unter globalem Gesichtspunkt als gering, da in diesen Ökosystemen der Anteil dieser Artengruppe an der Nettoprimärproduktion häufig niedrig ist (1–5 %). Die Angaben über die fixierten N-Mengen von 0,1 bis 10 kg N ha⁻¹ a⁻¹ beziehen sich jedoch überwiegend auf Untersuchungen einer Gräser-dominierten Steppen- und Prärievegetation.

Da Untersuchungen zur symbiotischen N₂-Fixierung in alten Dauergrünlandbeständen mittlerer Standorte in Deutschland bisher fehlen, werden im Folgenden Arbeiten aus N-limitierten Graslandökosystemen aufgeführt, die mit den eigenen Arbeiten am ehesten vergleichbar sind. BOWMAN et al. (1996) untersuchten die Stickstoffbindung dreier

Trifolium-Arten in alpiner Tundra anhand der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Sie fanden eine symbiotisch fixierte N-Menge von durchschnittlich $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bei einem Anteil fixierten Stickstoffs am Gesamt-N der Leguminosenmasse von 70 bis maximal 100 %. TSIALTAS et al. (2004) wendeten zur Bestimmung der symbiotisch fixierten N-Menge in mediterranem Grasland die ^{15}N -Verdünnungsmethode an. Sie berechneten bei einem 3 %igen Anteil von *Trifolium repens* eine symbiotisch fixierte N-Menge in Höhe von $3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Mit der gleichen Methode bestimmten JACOT et al. (2000b) den Beitrag der symbiotischen N_2 -Fixierung in alpinem Grasland. Sie wiesen fixierte N-Mengen von circa einem bis zu $26 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nach. Die fixierte N-Menge war dabei stark von dem Mengenanteil der Leguminosen im Bestand abhängig. In einer kürzlich von WATZKA et al. (2006) veröffentlichten Studie wurde für ungedüngtes Dauergrünland (altes experimentelles Grünland) in der submontanen Stufe der österreichischen Alpen eine symbiotisch fixierte N-Mengen in Höhe von durchschnittlich $15 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ angegeben. Die fixierten N-Mengen wurden anhand der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode geschätzt. Der Leguminosenanteil - bis zu 30 % am Erntegut der untersuchten Wiesen - wurde überwiegend durch Rot- und Weißklee gebildet.

2.4 Methoden zur Bestimmung der symbiotischen N_2 -Fixierung

Prinzipiell sind zwei Gruppen von Methoden zu unterscheiden: Einerseits Verfahren, die auf der Analyse der stabilen N-Isotope (^{14}N und ^{15}N) beruhen und andererseits Verfahren, die andere Parameter als die Isotopensignaturen zur Schätzung der N-Fixierung heranziehen. Letztere Gruppe umfasst einige im Hinblick auf den Analysenaufwand relativ einfache und kostengünstige Methoden, wie z. B. die Ertragsmethode. Bei dieser wird die N-Bindung über den Ertrag mit Hilfe von Faustzahlen (RIEDER 1983, ZEHR & KLÖBLE 2005) abgeleitet. Ferner sind zu nennen: Die Differenzmethode, der Acetylen-Reduktionstest und die Xylem-Saft-Methode.

Seit den frühen 1980er Jahren haben sich jedoch für die exakte Schätzung der symbiotischen Stickstoff-Fixierung in den meisten Forschungsfeldern die Isotopenmethoden durchgesetzt. Obwohl der Analysenaufwand teilweise recht hoch ist, bieten diese Verfahren doch eine Reihe von Vorteilen hinsichtlich der Messgenauigkeit. Beschreibungen der bisher in der Forschung verwendeten Methoden zur Bestimmung der symbiotischen N_2 -Fixierung – oft auch biologische N_2 -Fixierung (BNF) genannt - finden sich beispielsweise bei LEDGARD & PEOPLES (1988), SHEARER & KOHL (1989), MARRIOTT & HAYSTEAD (1993), SCHNOTZ (1995), IAEA (2001) sowie PEOPLES et al. (2002).

Insbesondere auch für Grünland-Studien werden immer häufiger die ^{15}N -Techniken für die Schätzung der N_2 -Fixierungsleistung bevorzugt (LEDGARD & STEELE 1992, HØGH-JENSEN & SCHJOERRING 1994). Ihre Grundlagen sowie ihre Vor- und Nachteile in der Anwendung werden im Folgenden erläutert.