



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

**Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften**

**Bachelorarbeit**

***„Darstellung einer Kaliumdüngungsstrategie für Nieder-  
moorgrünland auf Grundlage von Pflanzenanalysen und  
Parametern der Bestandesentwicklung“***

Von Felix Pickert

*Betreuung:*

*Prof. Dr. sc. agr. Udo Thome*

*Dipl.-Ing. agr. Bernd Schulze*

Oktober 2010

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2010-0618-6

## Danksagung

*An dieser Stelle soll allen die das Zustandekommen dieser Arbeit erst ermöglicht oder erleichtert haben gedankt werden.*

*An erster Stelle möchte ich dem Paulinenauer Arbeitskreis Grünland und Futterwirtschaft e.V. und ganz besonders Dr. Rudolf Schuppenies für die Zurverfügungstellung der Daten danken, die dieser Arbeit zu Grunde liegen, in denen sehr viel und vor allem langjährige Arbeit stecken. Dr. Schuppenies nochmal ganz besonders für seine hilfreichen und fundierten Anregungen.*

*Zudem Prof. Dr. Thome und Herrn Dipl.-Ing. agr. Schulze als Betreuer, bzw. Korrektoren dieser Arbeit, die vor allem den schwierigen Abschluss etwas unkomplizierter gemacht haben.*

*Außerdem sollte der Dank meinen Kommilitonen gelten, für den hilfreichen Erfahrungsaustausch. Besonders Christoph Timm, für den Beistand an den langen Tagen in der Bibliothek, die ohne den freundschaftlichen Ansporn sicher weniger lang geworden wären.*

*Außerdem meiner Freundin Anja, für Ihre Geduld und Unterstützung. Zum Schluss aber meiner Familie, welche mir Ermahnung, Unterstützung, Motivation gab und Antrieb in Zeiten in denen er mir fehlte. Besonders danke ich meinem Vater Jürgen für die fruchtbaren und anregenden Hinweise, die stets mit echter Leidenschaft vorgebracht wurden.*

## **Zusammenfassung**

Dieser Arbeit liegt ein 12 Jahre andauernder Ringversuch zu variiertem Kaliumdüngung von Grünlandbeständen in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen sowie Thüringen zu Grunde. Beschäftigt wird sich vor hauptsächlich mit den Daten vom Standort Paulinenaue im Havelländischen Luch in Brandenburg und den besonderen Anforderungen, die dieser an die Düngung mit dem Nährstoff Kalium stellt. Der dort vorherrschende Niedermoorboden weist sehr starke Schwankungen in den Kaliumgehalten auf, die weitestgehend unabhängig von Düngung sowie vom Versorgungszustand der Grünlandbestände sind. Diese Besonderheit lässt ein Vorgehen zur Düngungsplanung nach Bodengehaltsklassen mit Ersatz des Pflanzenentzuges, korrigiert um die den Gehaltsklassen entsprechenden Zu-, bzw. Abschläge, für vergleichbare Standorte nur noch wenig sinnvoll erscheinen.

Diese Thesis erarbeitet eine alternative Strategie zur Düngungsplanung nach Pflanzengehalten in Verbindung mit dem Verhalten von bestandsspezifischen Zeigerpflanzen zur Einschätzung des Versorgungszustandes eines Grünlandbestandes. Weiterhin wird generell nicht der volle Entzug ersetzt, sondern um den Faktor 0,7 reduziert, solange die genannten Faktoren nicht auf Unterversorgung hinweisen. In diesem Fall wird jahresweise die Höhe der Düngung auf vollen Entzug umgestellt.

Dargestellt wird diese Strategie anhand eines regionaltypisch entworfenen Modelbetriebes und Vergleichen mit der Düngung nach Bodengehaltsklassen. Weiterhin wird auf die verschiedenen Möglichkeiten der Datengewinnung durch Probenahme aus dem Silostock sowie durch Durchführung des Systems in Verbindung mit der Normativen Silokartei nach WEISE & RAMBUSCH eingegangen, zudem werden Monitoringflächen zur Erfolgskontrolle beschrieben.

Als Abschluss wird kurz ein Überblick über die Ergebnisse der anderen Standorte des Ringversuchs gegeben, sowie grundsätzlich die Durchführung der Methodik auf mineralischen Standorten besprochen. Es zeigt sich, dass die Dynamik des Kaliums im Boden sehr verschieden ist und die jährliche Düngung erwartungsgemäß mit zunehmendem Ton-, bzw. Feinbodenanteil, auf Grund höherer Kationenaustauschkapazität, an Bedeutung verliert. Es kann aber nachgewiesen werden, dass es spezifische Zeigerpflanzen für die Kaliumversorgung auch auf anderen Standorten gibt, jeweils in Abhängigkeit von der vorherrschenden Pflanzengesellschaft, deren Verhalten als Anhaltspunkt für die Kaliumversorgung dienen kann.

## **Abstract**

This paper refers to a twelve year long time grassland experiment about varied potassium fertilizing on grassland of the countries Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen and Thüringen. In the main view stand the data base from Paulinenaue in the Havelländischen Luch in Brandenburg in the northeastern of Germany and the special requirements of this habitat to the fertilization of potassium. The local fen soils show a heavy variability of the potassium level with no context to the level of the potassium fertilization level or to the plants supply. This specific characteristic is not conformable with the system of fertilization by supply classes of the soil.

This thesis shows an alternative strategy to plan the fertilization by controlling the potassium level of the grassland plants supported by parameters of the sward development. Also not the full removal will be generally restored, only the removal reduced by the factor 0.7. This reduced fertilization will be continued until the potassium concentration in the plants or the development of the sward shows a deficit. In this case the fertilization level must be lifted to the level of the full removal for just one year to bring the supply of the plants back to a satisfying concentration.

The strategy is demonstrated by a virtual regional typical farm and compared with the method of fertilization based on the supply classes of soil. Furthermore the different ways to get an assay for plant analysis were explained, like for example the "normative silo file" (Normative Silo Kartei, n. WEISE & RAMBUSCH. Following the systems of monitoring areas as a controlling system for the fertilization management is presented.

Finally the results of Paulinenaue were compared with the other habitats of the experiment and the realization of the presented method of potassium fertilization is checked for local conditions. The results show that the effect of fertilization decrease at soils with a higher argil fraction. This is caused to the higher cation exchange capacity. At least also at this habitats special plants react to the level of potassium fertilization and shows the potassium supply of the sward, especially deficits of that.

Abkürzungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	8
Abbildungsverzeichnis .....	9
<b>1. Einleitung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Literaturübersicht .....</b>	<b>12</b>
2.1 <i>Das Grünland</i> .....	12
2.1.1 <i>Ertragsaufbau von Grünlandbeständen</i> .....	12
2.1.2 <i>Übersicht relevanter Gräser und Leguminosen:</i> .....	18
2.1.3 <i>Erfassung der Artenzusammensetzung des Grünlandes</i> .....	24
2.1.4 <i>Niedermoor als Grünlandstandort</i> .....	25
2.2 <i>Der Nährstoff Kalium</i> .....	28
2.2.1 <i>Kalium im Boden</i> .....	28
2.2.2 <i>Kalium in der Pflanze</i> .....	31
2.2.3 <i>Kalium als Mineralstoff für landwirtschaftliche Nutztiere</i> .....	33
2.2.4 <i>Bestimmung des Kaliumgehaltes</i> .....	35
2.3 <i>Die Kaliumdüngung</i> .....	35
2.3.1 <i>Kaliumdüngung von Grünland</i> .....	35
2.3.2 <i>Kaliumdüngung nach Düngeverordnung und offizieller Empfehlung</i> .....	39
2.3.3 <i>Kaliumdüngemittel</i> .....	43
<b>3. Material und Methoden .....</b>	<b>46</b>
3.1 <i>Ringversuch der Landesanstalten</i> .....	46
3.2 <i>Modellbetrieb</i> .....	49
<b>4. Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>51</b>
4.1 <i>Ringversuch am Standort Paulinenaue – Einfluss der Kaliumdüngung auf</i> .....	51
4.1.1 <i>... die TM- Erträge</i> .....	51
4.1.2 <i>... die Kaliumgehalte in den Aufwüchsen</i> .....	53
4.1.3 <i>... die Kaliumbilanz</i> .....	56
4.1.4 <i>... die Kaliumgehalte im Boden</i> .....	56
4.1.5 <i>... die Zusammensetzung der Grünlandnarbe</i> .....	60
4.2 <i>Vorschlag für eine entzugsorientierte Kalium-Düngestrategie</i> .....	61
4.2.1 <i>Zeigerpflanzen als Indikator für die Kaliumversorgung</i> .....	63
4.2.2 <i>K-Pflanzengehalte als Indikator für die Kaliumversorgung</i> .....	63
4.2.3 <i>Monitoringflächen zur Kaliumversorgung</i> .....	66
4.2.4 <i>Probenahme</i> .....	67
4.2.5 <i>Rechenweg und Durchführung</i> .....	67
4.3 <i>Vergleich mit der Düngung nach Bodengehaltsklassen</i> .....	68
4.4 <i>Kombination mit „Normative Silokartei“ nach WEISE &amp; RAMBUSCH</i> .....	68
4.5 <i>Anwendung der vorgestellten Methode im Modellbetrieb</i> .....	69

<i>4.6 Anwendung auf anderen Standorten / Ergebnisübersicht und -vergleich.....</i>	<i>76</i>
<b>5. Schlussfolgerungen .....</b>	<b>82</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>84</b>
<b>7. Anhang</b>	

## Abkürzungsverzeichnis

BFI	Blattflächenindex
CAL	Calcium-Acetat-Lactat-Auszug
DL	Doppellaktat-Auszug
DüV	Düngeverordnung
E	jährlicher Pflanzenentzug
EK	Ertragsklasse
KAK	Kationen- Austauschkapazität
KULAP	Kulturlandschaftsprogramm
LFBMV	Landwirtschaftliche Fachbehörde des Landes Mecklenburg-Vorpommern
LLFG	Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen- Anhalt
NEL	Netto-Energie-Laktation
NSKH	Nicht-Strukturkohlenhydrate
TK	Transpirationskoeffizient
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
XP	Rohprotein

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse zweier Versuche zum Transpirationskoeffizienten von Grünlandbeständen in Abhängigkeit von der Düngung .....	16
Tabelle 2: Wassernutzungseffizienz von Grünlandbeständen in Abhängigkeit von Nutzungsform, Grundwasserstufe und N-Düngung .....	17
Tabelle 3: Übersicht über Kennzahlen der Aufgeführten Arten.....	24
Tabelle 4: Anteil der Gras- und Leguminosenarten in den Empfehlungen für regionale Ansprüche angepasste Grünlandmischungen.....	28
Tabelle 5: K-Anteile und Ladung ausgewählter Tonminerale .....	29
Tabelle 6: Kaliumgehalte der Bestandteile in Abhängigkeit von der Düngung .....	38
Tabelle 7: Übersicht zur Einstufung in Nährstoffgehaltsklassen für die Versorgung mit Makronährstoffen.....	40
Tabelle 8: Übersicht Bodenartengruppen.....	40
Tabelle 9: Kaliumgehaltsklassen von Grünlandböden in Abhängigkeit von den Bodenartgruppen .....	42
Tabelle 10: Prozentuale zu-, bzw. Abschläge zum Entzug in Abhängigkeit von der Bodengehaltskl. .	43
Tabelle 11: Zusammensetzung mineralischer Kaliumdüngemittel .....	45
Tabelle 12: Inhaltsstoffe verschiedener Arten der Gülle .....	45
Tabelle 13: Nährstoffgehalte verschiedener Wirtschaftsdünger und TS-Gehalte.....	46
Tabelle 14: Übersicht über die Standorte des Ringversuches .....	47
Tabelle 15: Auf allen Standorten angelegte Düngungsvarianten .....	47
Tabelle 16: Düngungsvarianten Standort Paulinenaue.....	48
Tabelle 18: Übersicht Flächenzusammensetzung des Modellbetriebes .....	50
Tabelle 19: Übersicht Grünlandertragsklassen und zuordenbare Standorte .....	50
Tabelle 20: Übersicht der Prüfglieder am Standort Paulinenaue .....	51
Tabelle 22: Ergebnisse Ringversuch Standort Paulinenaue.....	56
Tabelle 21: Regressionskoeffizienten und Bestimmtheitsmaße für den Verlauf der Boden-Kaliumgehalte über den Versuchszeitraum.....	57
Tabelle 23: Variable Zu- und Abschläge in Prozent zum Pflanzenentzug, für die Düngung in Abhängigkeit von der Bodengehaltsklasse .....	62
Tab. 24: Einstufung der Kaliumgehalte in Versorgungsstufen am Standort Paulinenaue .....	64
Tabelle 25: Düngerkosten bei Vorgehen nach Bodengehaltsklassen bei Kalium-Gehaltsklasse C .....	71
Tabelle 26: Düngerkosten bei Vorgehen nach Bodengehaltsklassen bei Kaliumgehaltsklasse B .....	72
Tabelle 27: Düngerkosten bei Anwendung des flexiblen Verfahrens .....	73
Tabelle 28: Kostenvergleich zwischen der Düngung nach Bodengehaltsklassen und nach der flexiblen Planung in Abhängigkeit von Ertragsklasse und Bodengehaltsklasse.....	74
Tabelle 29: Kostenvergleich zwischen der Variante Düngung nach Bodengehaltsklassen und der Flexiblen Methode in Abhängigkeit von Ertragsklasse sowie Bewirtschaftungsintensität .....	75



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderung des Nichtstruktur-Kohlenhydrat-Gehaltes einer frühen Sorte Deutschen Weidelgrases in Abhängigkeit von phänologischer Entwicklung und Aufwuchs .....	15
Abbildung 2: Ertragsverläufe auf Niedermoorgrünland bei Unterlassung und Wiederaufnahme der K-Düngung .....	37
Abbildung 3: Ertragsverlauf ohne N-Düngung bei unterschiedlichen K-Düngungsstufen.....	52
Abbildung 4: Ertragsverlauf mit N-Düngung bei unterschiedlichen K-Düngungsstufen.....	52
Abbildung 5: Ertragsverläufe mit und ohne N-Düngung bei unterschiedlichen K-Düngungsstufen.....	53
Abbildung 6: Darstellung der Pflanzengehalte in in Abhängigkeit von der Aufwuchsnummer bei unterschiedlichen N- und K-Düngungsstufen.....	55
Abbildung 7: K-Gehalte in den Bodengehaltsklassen A bis E mit und ohne N-Düngung bei unterschiedlichen K-Düngungsstufen.....	58
Abbildung 8: Gehalte im Boden für verschiedene K-Düngungsstufen mit N-Düngung.....	59
Abbildung 9: Ertragsanteile der Wiesenrispe .....	60
Abbildung 10: Ertragsanteile des Wiesenlieschgrases .....	61
Abbildung. 11: Vergleich von Wiederanstieg der Erträge und der Kaliumgehalte i.d.TM nach Wiederaufnahme der Kaliumdüngung nach vorherigem Unterlassen der Kaliumdüngung .....	65
Abbildung 12: Kaliumpflanzengehalte in Abh. von K-und N-Düngung sowie Aufwuchsnummer .....	66
Abbildung 13: Erträge am Standort Wechmar in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe.....	76
Abbildung 14: Erträge am Standort Heßberg in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe .....	77
Abbildung 15: Ertragsanteile des Rotschwingels am Standort Oberweißbach.....	78
Abbildung 16: Ertragsanteile des Ruchgrases am Standort Oberweißbach.....	79
Abbildung 17: Ertragsanteile des Goldhafers am Standort Oberweißbach .....	79
Abbildung 18: Ertragsanteile der Leguminosen (v.a. Weißklee) am Standort Oberweißbach.....	80
Abbildung 19: Ertragsanteile der Rasenschmiele am Standort Heßberg .....	81
Abbildung 20: Ertragsanteile des Wiesenfuchsschwanzes Heßberg.....	81

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Haltung und Fütterung von Rindern, sowohl zur Milch-, wie auch zur Fleischerzeugung, erfordern die Kalkulation mit dem „spitzen Bleistift“, um ökonomisch wirtschaften zu können. Eine hohe Grundfutterleistung ist die Voraussetzung für niedrige Kosten und gleichzeitig die Basis für eine hohe Fruchtbarkeit und Tiergesundheit. Zur Kostenreduzierung soll eine möglichst hohe Leistung schon aus dem Grundfutter erreicht werden. Um dabei die Grundfütterration wiederkäuergerecht zu gestalten, ist der Einsatz von Grünlandaufwüchsen als Silage oder Heu in hoher Qualität und Energiedichte unerlässlich. Dafür ist die adäquate Versorgung der Futtergrasbestände mit Mineralstoffen von entscheidender Bedeutung. Die Grunddünger sind daher ein Hauptkostenfaktor bei der Grünlandbewirtschaftung, und sollen möglichst effektiv eingesetzt werden. Eine Verringerung der Kosten durch Einsparung von Düngemitteln darf sich jedoch nicht negativ auf die Quantität, also die Ernte eines für die Standortverhältnisse optimalen Ertrages oder aber auch nicht auf die Qualität des Futters auswirken. Hierzu müssen die entsprechenden Nährstoffe durch Düngung dem Pflanzenbestand zur Verfügung gestellt werden, sofern diese nicht durch den Boden nachgeliefert werden können.

Die Qualität des Erntegutes wird bestimmt durch den Gehalt und die Ausgewogenheit der enthaltenen, für die Fütterung notwendigen Mineralstoffe. Ein optimal versorgter Grünlandbestand kann alle zur Ernährung von Rindern notwendigen Nährstoffe enthalten.

Desweiteren hat die Düngung entscheidenden Einfluss auf die Etablierung und Aufrechterhaltung eines leistungsfähigen Grünlandbestandes. Dieser ist als Dauergemeinschaft verschiedener Pflanzenarten zu sehen, die mitunter sehr sensibel auf wechselnde Umweltverhältnisse, wie sie auch die Nährstoffversorgung darstellt, reagieren. Die Artenzusammensetzung entscheidet jedoch in hohem Maße über die Leistungsfähigkeit des Bestandes.

Zu den Anforderungen der „Guten Fachlichen Praxis“ gehört der sachgemäße Umgang mit dem Produktionsfaktor Boden. Um diesen fruchtbar zu halten, sollen die durch die Abfuhr des Erntegutes entzogenen Nährstoffe wieder rückgeführt werden,

wobei andererseits überhöhte Nährstofffrachten zu vermeiden sind. Gerade dies hat auf absoluten Grünlandstandorten, auf Grund ihrer oft sensiblen Ökologie eine große Bedeutung. Bestes Beispiel für solche empfindlichen Standorte sind die großräumigen Niedermoorflächen in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Aufgrund der vorliegenden Bodenökologie und hydrologischen Eigenschaften hat auf diesen eine angepasste Düngung eine besondere Bedeutung. So schwanken die Kaliumbodgehalte in großem Maße. Die Empfehlungen für die Düngung mit Kalium basieren neben dem Entzug des Pflanzenbestandes jedoch vor allem auf diesen Gehalten. So wird der am Entzug errechnete Nährstoffbedarf je nach Gehaltsklasse des Bodens durch Zu- oder Abschläge korrigiert. Im Rahmen dieser Arbeit soll der Frage nachgegangen werden, ob dies unter den Standortverhältnissen der typischen nordostdeutschen Niedermoorflächen tatsächlich gerechtfertigt oder die allein am Entzug orientierte Düngung ausreichend ist. Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf die Düngeraufwendungen des landwirtschaftlichen Betriebes.

Als Ergebnisse dieser Arbeit steht dann eine praxisgerechte Darstellung einer Düngestrategie für Niedermoorgrünland mit Kalium am Beispiel eines für das Land Brandenburg regionaltypischen Modellbetriebes.

Im Gegensatz zur Variante der Düngung nach Bodengehaltsklassen, werden bei der hier vorgestellten Vorgehensweise nicht die Bodengehalte als Grundlage für die Bemessung der Höhe der Düngegabe herangezogen, sondern die Pflanzengehalte an Kalium. Zudem werden Parameter der Bestandesentwicklung als Indikatoren für die Planung der Düngung dargestellt. Diese kann so flexibel gestaltet werden. Zum einen hinsichtlich der sich unterscheidenden Ansprüche zwischen den einzelnen Flächen zum anderen auch zwischen den Anforderungen der einzelnen Jahre.

Grundlage der vorliegenden Arbeit ist ein über zwölf Jahre, an insgesamt 8 Standorten durchgeführter Ringversuch der landwirtschaftlichen Forschungsanstalten der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Brandenburg. Untersucht wurde die Grunddüngung mit Kalium. In erster Linie werden die Daten des Niedermoorstandortes Paulinenaue im Havelländischen Luch genutzt. Der Versuchsstandort ist ein für das Land Brandenburg typischer Grünlandstandort. Abschließend wird die Anwendbarkeit der Düngestrategie für andere, mineralische Standorte überprüft.

Eingangs wird das Grünland als Produktionsstandort näher beleuchtet. Hierzu wird der Ertragsaufbau von Grünlandbeständen zusammenfassend erläutert und die für diese Arbeit relevanten Gräser und Leguminosen mit Ihren Ansprüchen und Arteeigenschaften dargestellt. Zudem werden die Besonderheiten des Niedermoores als Grünlandstandort und die Ertragsanteilsschätzung (n. KLAPP/ STÄHLIN) erklärt. Weiterhin wird Kalium in seiner Funktion als Nährstoff für Pflanzen sowie landwirtschaftlichen Nutztiere beschrieben. Ausführungen zur Kaliumdüngung, zu den offiziellen Durchführungs- und Planungsempfehlungen sowie zu Kaliumdüngemitteln schließen die Literaturübersicht unter Berücksichtigung des gewählten Themas ab.

## **2. Literaturübersicht**

### ***2.1 Das Grünland***

#### ***2.1.1 Ertragsaufbau von Grünlandbeständen***

Die Bewirtschaftung und Ertragsbildung von Dauergrünlandbeständen unterscheidet sich in einigen Punkten grundlegend von anderen pflanzenbaulichen Produktionsverfahren. Die Narbe des Grünlandes setzt sich überwiegend aus mehrjährigen bzw. ausdauernden Gräser-, Kräuter- und Leguminosenarten in einer Dauergesellschaft zusammen (KLAPP 1971). Grünlandbestände werden periodisch, in der Regel mehrfach pro Jahr genutzt. In der Ertragsbildung spielen sowohl das physiologische Alter der hauptbestandsbildenden Arten wie auch die Regenerationskraft der Bestände eine große Rolle.

Zum Vegetationsbeginn sowie nach den einzelnen Nutzungen ist die Zuwachsrates zunächst relativ gering. Mit der Zeit steigt sie aber immer schneller an um irgendwann einen Maximalwert zu erreichen und dann wieder abzufallen. Ursache hierfür sind die parallel verlaufenden auf- und abbauenden Prozesse in der Pflanze. Zu Beginn überwiegen die aufbauenden Prozesse und die Zuwachsrates steigt. Dies steht in enger Beziehung zum Blattflächenindex (BFI). Im Frühjahr oder kurz nach der Nutzung ist dieser relativ gering, ein großer Teil der Lichtenergie bleibt ungenutzt. Jedoch werden dann die Blätter der Strahlung voll ausgesetzt. So ist das Biomasse-

wachstum proportional zur eingestrahnten Lichtenergie. Die Zuwachsrate steigt folglich an. Mit der Zeit verschiebt sich das Verhältnis zu Gunsten der abbauenden Prozesse. Hierzu gehören die Veratmung durch die lebende Biomasse sowie das natürlich Absterben und der Abbau älterer Blätter. Die Veratmung steigt mit zunehmender Biomasse und die Absterbevorgänge mit zunehmendem physiologischem Alter. Ebenfalls begünstigt wird dieser Vorgang durch zunehmende Beschattung der unteren Blattetagen (KORNHER, TAUBE 2008). Ab einem gewissen Punkt erreicht die Nettozuwachsrate den Wert 0. Die Nutzung sollte vorher geschehen, nämlich dann wenn die durchschnittliche Wachstumsrate am höchsten ist. Dieser Punkt ist meist nach dem Schossen und zum Rispen-/ Ährenschieben erreicht. Hier sollte der Schnitt erfolgen um einen maximalen Ertrag zu erreichen.

Das Wachstum nach dem ersten Schnitt hängt stark vom Schnittzeitpunkt ab. Bei frühem Schnitt, vor dem Schossen, wachsen die Triebe anschließend ungehindert weiter. Grund hierfür ist, dass der Vegetationskegel zu diesem Zeitpunkt noch dicht über dem Erdboden lokalisiert ist und so vom Schnitt unberührt bleibt. Ebenso wachsen die jungen Blätter durch Zellteilung in den noch aktiven interkalaren Meristemen weiter. Davon ausgenommen sind die älteren, voll ausdifferenzierten Blätter (SCHRADER, KALTOFEN 1987). Weiterhin festzuhalten ist die unterschiedliche Regenerationsfähigkeit in Abhängigkeit von arttypisch unterschiedlich ausgeprägter apikaler Dominanz. Bei Arten mit einer starken apikalen Dominanz werden vor dem Schnitt nur wenige Basaltriebe gebildet, die nach dem Schnitt die Ertragsbildung forcieren könnten. Beispiel hierfür ist *Phleum pratense*. Im Gegensatz dazu bilden Gräser wie *Dactylis glomerata* mit nur geringer apikaler Dominanz schon vor dem Schossen eine große Anzahl Basaltriebe, die nach der Nutzung weiterwachsen können. Solche Arten können praktisch in jedem Stadium genutzt werden (VOIGTLÄNDER 1987).

Von diesen Beziehungen abhängig, gestaltet sich auch die Länge der soeben beschriebenen lag-Phase. Also dem Regenerationszeitraum nach der Nutzung, in dem die Zuwachsrate noch gering ist. Bei früher erster Nutzung kann der Bestand ähnlich schnell weiterwachsen wie der erste Aufwuchs. Bei später Nutzung muss jedoch ein Austrieb aus den vorhandenen Blattachselknospen erfolgen, da kaum photosynthetisch aktive Blattfläche zurückbleibt. Entsprechend langsamer gestaltet sich das weitere Wachstum. Die lag-Phase ist länger. Sehr späte Nutzung verschärft diese Vor-

gänge noch. Bei einer größeren Zahl Triebe wurden die Vegetationskegel entfernt. Zudem bewirken die zunehmende Beschattung und die andauernde apikale Dominanz, dass die Knospen in eine Ruhephase verfallen (KORNHER, TAUBE 2008). In jedem Fall sind die Halmtriebe nicht in der Lage sich selbst zu regenerieren. Das Wachstum liegt dann maximal nur noch bei den nicht erfassten jüngeren Blättern und noch nicht ausgewachsenen Internodien. Dies ist jedoch nur bis zu einem gewissen Punkt zu beobachten (SCHRADER, KALTOFEN 1987), bei einem sehr späten Schnittzeitpunkt entfällt auch diese Möglichkeit. Generell kann die Regel lauten: je später gemäht wird, desto langsamer erfolgt der Nachwuchs (KORNHER, TAUBE 2008).

Die Biomasseproduktion erfolgt zunächst bodennah. Später verlagert sich diese jedoch in höhere Schichten. Die Lichtausnutzung, und damit verbunden das potentielle Biomassewachstum, hängt stark mit der Blattstellung der einzelnen Schichten zusammen. Die oberen Blattetagen sollten möglichst erektophil wachsen, wohingegen bei den unteren eine planophile Stellung erwünscht ist, um die eingestrahlte Lichtmenge möglichst optimal ausnutzen zu können. Weiterhin ist der Ertragsaufbau abhängig von Pflanzenalter, Blatt-Stängel-Verhältnis, art- und individualtypischer Wuchshöhe, Intensität der Bestockung und Ausbildung der Blütenstände (VOIGTLÄNDER 1987).

Weiterhin unterscheiden sich die einzelnen Aufwüchse in der Regel hinsichtlich ihrer Qualität und ihres Ertrages. Der erste Aufwuchs ist allermeist der ertragreichste, sowie ebenfalls aus Sicht der Futterqualität der hochwertigste. Diese hängt stark vom Gehalt an wertvollen, Energie liefernden Nicht-Strukturkohlenhydraten (NSKH) ab. Diese Fraktion besteht aus Mono-, sowie Disacchariden und Fructanen. Bei kälteren Temperaturen werden diese stärker eingelagert als bei wärmeren, wodurch der erste Aufwuchs im Vorteil ist. Die NSKH dienen der Pflanze als Reservenährstoff für Wachstumsphasen in denen der Bedarf nicht durch die Photosyntheseleistung gedeckt werden kann. Solche Phasen finden sich vor allem nach der Nutzung, bei wenig zurückbleibender Restblattfläche aber auch während des Schossens und des Ährenschiebens. In diesen Entwicklungsstadien finden sich die höchsten NSKH-Gehalte in der oberirdischen Biomasse (s. Abbildung 1).

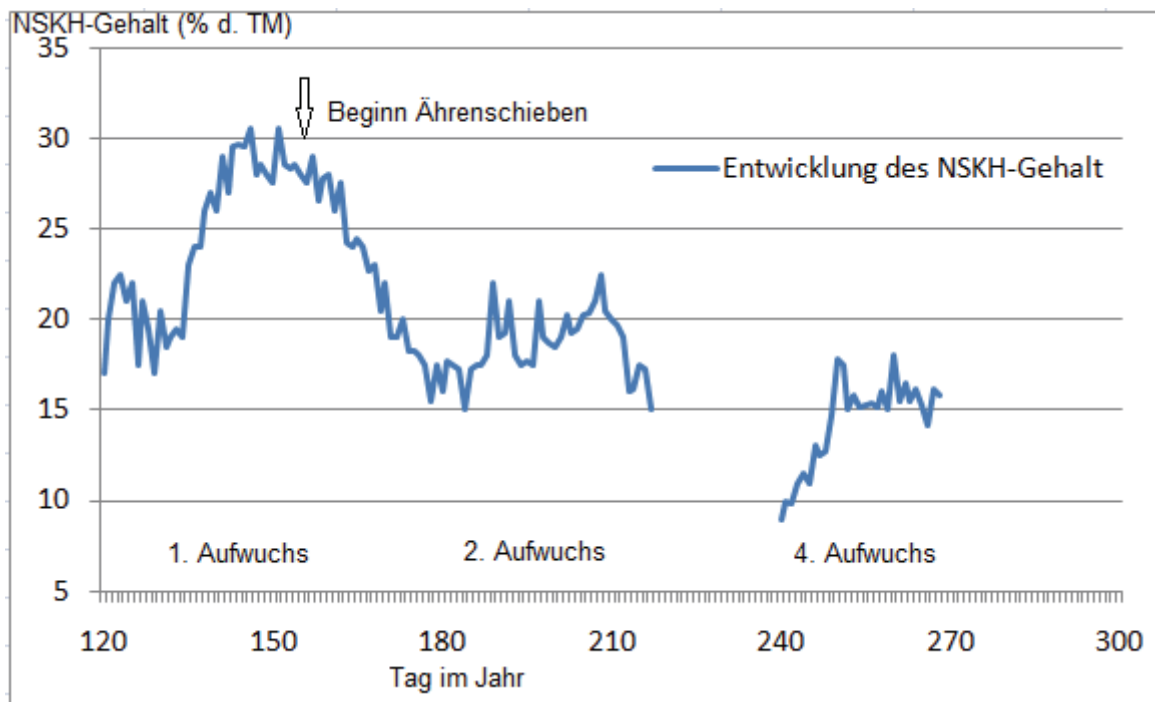


Abbildung 1: Veränderung des Nichtstruktur-Kohlenhydrat-Gehaltes einer frühen Sorte Deutschen Weidelgrases in Abhängigkeit von phänologischer Entwicklung und Aufwuchs (eig. Zusammenstellung n. TAUBE & KORNER 2008 zit. WULFES et al. 1999)

Neben den NSKH ist vor allem das Rohprotein (XP) für die Wiederkäuerernährung von großer Bedeutung. Die XP-Gehalte werden in erster Linie durch den Nutzungszeitpunkt sowie die Bestandeszusammensetzung bestimmt. So haben Leguminosen meist einen höheren XP-Gehalt als die Gräser. Der Rohproteingehalt dieser hängt in entscheidendem Maße von der Stickstoffdüngung ab.

Der Mineralstoffgehalt eines Futtergrasbestandes hängt vom physiologischen Alter des Bestandes sowie von dessen Zusammensetzung ab. Er sinkt mit zunehmendem Alter. Weil Leguminosen zumeist höhere Mineralstoffgehalte als die Gräser aufweisen, lässt ein hoher Leguminosenanteil auf höhere Mineralstoffgehalte im Grünlandaufwuchs schließen.

Weitere Inhaltsstoffe sind aus den Strukturkohlenhydraten, v. a. Zellulose, Hemizellulose und Pektin, sowie dem Lignin bestehenden Gerüstsubstanzen. Mit dem physiologischen Alter nimmt ihr Anteil im Aufwuchs zu. Ebenso enthalten Halmtriebe deutlich mehr dieser Gerüstsubstanzen als die Blätter. Die Verdaulichkeit der Zellulose sowie der Hemizellulose wird stark vom Fortschreiten der Lignineinlagerung beein-

flusst und durch diese vermindert. Pektine sind zu 98% verdaulich, finden sich jedoch nur zu ca. 2% in den Gräsern. Der Gehalt und v.a. die Zunahme dieser Stoffe hängt aber ganz entscheidend von der Grasart ab (KORNHER & TAUBE 2008). Es finden sich so Arten, die im jungen Zustand gutes Futter liefern, deren Wert aber zum Teil stark dadurch eingeschränkt ist, dass sie mit zunehmendem Alter zum Verholzen neigen; so zum Beispiel *Dactylus glomerata* oder in stärkerem Maße *Phalaris arundinacea* (vergl. KLAPP & OPITZ v. BOBERFELD 2006), die verstärkte Einlagerung von Kieselsäure, einem weiteren Zellwandbestandteil, ist zum Teil für den geringen Futterwert von *Elymus repens* verantwortlich.

Vor allem auf den an Niederschlägen armen Standorten Nordostdeutschlands ist die Wasserversorgung oft der limitierende Faktor in der Ertragsbildung. Die Niedermoore bilden auf Grund vielfacher Grundwasserverfügbarkeit, zumindest aber Grundwassernähe, meistens eine Ausnahme. Grünlandbestände haben auf Grund ihrer hohen Bestandesdichte, der großen Blattflächensumme und der langen Vegetationsdauer einen relativ hohen Wasserbedarf. KLAPP (1971) geht so von einem durchschnittlichen Transpirationskoeffizienten (TK) von etwa 800 l aus. Er relativiert diesen dann aber, da für den Verbrauch die Witterung, Bodenfeuchte und Bewirtschaftung sehr entscheidend sind. Besonders die Düngung beeinflusst in großem Maße den TK (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Ergebnisse zweier Versuche zum Transpirationskoeffizienten von Grünlandbeständen in Abhängigkeit von der Düngung

	Versuch Wind		Versuch Husemann/Wesche	
	0	520 kg N	Ungedüngt	NPK
<b>Düngung</b>				
<b>Ertrag (dt TM/ha)</b>	72	162	36	80
<b>Wasserverbrauch (l/Flächeneinheit)</b>	452	469	451	497
<b>Transpirationskoeffizient (l/kg TM)</b>	630	290	1253	621

(Quelle: WIND 1954; HUSEMANN & WESCHE 1964, n. KLAPP 1971)

Aktuelle Untersuchungen von MISZTAL & ZARZYCKI (2010) gehen von einer Wassernutzungseffizienz zwischen 1,4 und 3,3 g TM/l aus (s. Tabelle 2).



Tabelle 2: Wassernutzungseffizienz von Grünlandbeständen in Abhängigkeit von Nutzungsform, Grundwasserstufe und N-Düngung

Nutzungsform	Grundwasserstufe m	N-Düngung kg/ha	TM-Ertrag dt/ha	Wassernutzungseffizienz g TM/l
Wiese	0,6	120	90	2,0
Wiese	0,6	240	120	2,4
Wiese	0,6	360	160	2,9
Wiese	grundwasserfern	0	60	1,4
Wiese	grundwasserfern	120	90	2,0
Wiese	grundwasserfern	240	120	2,6
Wiese	grundwasserfern	360	160	3,3
Weide	0,6	120	60	1,8
Weide	grundwasserfern	120	50	1,6

(Quelle: MISZTAL & ZARZYCKI 2010)

Wie eingangs erwähnt handelt es sich beim Dauergrünland um Pflanzengemeinschaften aus verschiedenen Pflanzenarten, KLAPP (1971) spricht auch von Dauergrünlandgemeinschaften. Die Zusammensetzung dieser Gemeinschaft beeinflusst die Ertragsbildung und die Leistungsfähigkeit eines Bestandes hinsichtlich Ertragshöhe und Ertragsqualität besonders stark. Die Zusammensetzung der Grünlandnarbe wird vorrangig durch die Konkurrenz zwischen den Arten bestimmt. Die Anteile derjenigen Arten nehmen zu, deren Ansprüche am besten erfüllt werden, bzw. treten die Arten zurück, die weniger tolerant gegenüber vorherrschenden Umwelteinflüssen sind. Am stärksten beeinflussend auf die Artenzusammensetzung ist sicherlich die Nutzung. Es finden sich so korrespondierende Arten zusammen, die in ihren funktionellen Eigenschaften übereinstimmen oder sich zumindest gut ergänzen. Von großem Einfluss ist das jeweilige Düngungsregime. Durch unterschiedliche Düngung werden unterschiedliche Pflanzen mit unterschiedlichen Eigenschaften gefördert (SCHELLENBERG, BRÜNE & HEJCMANN 2010). Zum Beispiel ist das Kaliumaneignungsvermögen von *Trifolium pratense* originär vor allem den Gräsern unterlegen. Folglich wird er durch Kaliumdüngung und die so erhöhte Verfügbarkeit gefördert. Ohne unterliegt er schnell den konkurrenzstarken Gräsern. In umgekehrter Weise verhält es sich mit manchen eher anspruchslosen Arten wie etwa *Festuca rubra*. Dieser hat auf ärmeren Standorten Vorteile gegenüber vielen anspruchsvollen Futtergräsern. Wird die Nährstoffverfügbarkeit durch Düngung erhöht, verliert er seine Vorteile gegenüber diesen und wird so verdrängt.

Ebenso von Bedeutung ist das Nutzungsregime. Es treten große Unterschiede zwischen den Arten der Wiesen- und denen der Weideflächen auf. Ursache hierfür sind zum einen Unterschiede in der Wuchsform der Arten zu suchen, sowie zum anderen im Entwicklungsrhythmus, vor allem dem zur Nutzung erreichten Vegetationsstadium. Auf Weiden sowie auf sehr häufig genutzten Wiesen finden sich vor allem Arten, die reich an Bodenblättern sind, vor allem Untergräser wie *Lolium perenne*, *Poa pratensis* oder auch *Trifolium repens*. Ebenso toleriert solche eine intensive Nutzung und auch tiefen Schnitt, die ihre Assimilate unterirdisch speichern. So ist *Poa pratensis* auf Grund der Assimilateinlagerung in den Rhizomen *Dactylus glomerata* überlegen, da dieses die Reservestoffe im Stoppel speichert. Besonders empfindlich gegen tiefen Schnitt sind solche Arten mit Speicherorganen am Triebgrund wie beispielsweise *Phleum pratense*.

Auf die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Arten wird noch näher in *Kapitel 2.1.2.* eingegangen. Diese Auswahl soll nur der Verdeutlichung unterschiedlicher Konkurrenzverhältnisse und der unterschiedlichen Beeinflussung des Auftretens von exemplarischen Arten dienen.

### **2.1.2 Übersicht relevanter Gräser und Leguminosen:**

Im Folgenden werden die für den zugrunde liegenden Versuch relevanten Gräser und Leguminosen näher charakterisiert. Anschließend finden sich die ökologischen Kennzahlen (n. KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2004 und 2006) im Überblick (s. Tabelle 3)

#### **Gräser**

***Festuca pratensis*:** Beim Wiesenschwingel handelt es sich um ein Wiesen- und Weidegras der feuchten und frischen Lagen (PETERSEN 1992) mit sehr hohem Futterwert (Wertzahl 8). Der Wiesenschwingel zeichnet sich zudem durch große Schmackhaftigkeit verbunden mit einem hohen Mineralstoffgehalt sowie einem hohen Rohproteingehalt und guter Verdaulichkeit aus. Er ist auch für den Anbau auf moorigen Böden geeignet (TAUBE & KORNER 2008), sowie in höheren Lagen und verträgt auch zeitweilige Trockenheit (SCHRADER & KALTOFEN 1987). Diese Eigenschaften begründen seine Vorzüglichkeit gegenüber den Weidelgräsern auf den entsprechenden Standorten. Für Düngung ist der Wiesenschwingel dankbar, auf

Grund mangelnder Konkurrenzkraft kann er dann aber auch leichter verdrängt werden (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Ebenso erreicht er seine maximale Leistungsfähigkeit bei 3-4-Schnittnutzung (TAUBE & KORNER 2008). Bei häufigerer Nutzung nehmen die Ertragsanteile gravierend ab (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006).

***Festulolium braunii***: Der Wiesenschweidel ist ein Gattungsbastard aus *Festuca pratensis* und *Lolium multiflorum* (KALTOFEN 1992, nach TAUBE & KORNER 2008). Er zeichnet sich durch hohe Futtererträge, Mehrjährigkeit und gute Futterqualität aus (SCHRADER & KALTOFEN 1987). Der Wiesenschweidel verbindet also das hohe Futterqualitäts- und Ertragspotential des Welschen Weidelgrases mit der Ausdauer, der geringen Auswinterungsgefährdung und dem verbesserten Blatt-Stängel – Verhältnisses des Wiesenschwingels (PETERSEN 1992). Er eignet sich sowohl für Wiesen wie auch für Weiden. 3-4 Schnitte haben sich als optimal erwiesen (WACKER, NETZEBAND & KALTOFEN 1984 n. PETERSEN 1992).

***Lolium perenne***: Beim Deutschen Weidelgras handelt es sich um ein praktisch ausdauerndes Gras, das sich besonders auf betretenen, beweideten oder anderweitig häufig genutzten Flächen findet (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Es ist zu den Untergräsern zu zählen, jedoch ist es die am stärksten züchterisch bearbeitet Grasart und tritt so mit einer großen phänotypologischen Varianz auf. Es ist in der Lage sehr dichte Narben zu bilden (SCHRADER & KALTOFEN 1987). Gut bewährt für die Nutzung haben sich Mähweidesysteme, bei reiner Schnittnutzung können die Bestandesanteil zurückgehen. Das Deutsche Weidelgras hat den höchsten Futterwert (TAUBE & KORNER 2008), ebenso hoch sind aber auch seine Ansprüche an den Standort. Es bevorzugt frische, mäßig feuchte Lagen auf reichen, bindigen und schwersten Böden (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Für trockene Standorte (< 600mm Jahresniederschlag) ist es nicht geeignet. Ebenso wenig verträgt es stauende Nässe, anhaltende Schneebedeckung und Kahlfröste. So ist es für höhere Lagen ebenso nicht geeignet (TAUBE & KORNER 2008). Lockere Mineral- und Moorböden werden ebenfalls gemieden (SCHRADER & KALTOFEN 1987).

***Poa pratensis***: Bei der Wiesenrispe handelt es sich um eines der wichtigsten Gräser des Dauergrünlandes (PETERSEN 1992). Zu finden ist es sowohl auf Wiesen, wie

auch auf Weiden. Die beste Eignung weist sie jedoch für die Weidenutzung auf, da sie einen hohen Blattanteil besitzt und nicht übermäßig stark zur Halmbildung neigt (SCHRADER & KALTOFEN 1987). Durch die große Zahl von Blättrieben wird ein schneller Nachwuchs ermöglicht. Sie besitzt zudem flachstreichende, dicht gedrängt sitzenden Nodien, die sie zur Bildung einer dichten Narbe mit hoher Trittfestigkeit befähigt. Für die Weidenutzung optimal ist außerdem der tiefsitzende Vegetationskegel in der Nähe der Bodenoberfläche. Hierdurch wird das Abweiden gut vertragen (PETERSEN 1992). Die Wiesenrispe ist der nahezu vollwertige Ersatz für Standorte, die sich für die Etablierung von Deutschem Weidelgras ausschließen (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006): *Poa pratensis* gedeiht nämlich im Gegensatz zum Deutschen Weidelgras auf zu Trockenheit neigenden Standorten sowie auch auf Moorböden (SCHRADER & KALTOFEN 1987), wohingegen wegen einer unterschiedlichen Wurzelanatomie auf schwereren, dichteren Böden das Deutsche Weidelgras Vorteile hat (PETERSEN 1992). Zudem bildet die Wiesenrispe ein weitläufiges unterirdisches Ausläufersystem, welches in Notzeiten (z.B. Trockenheit) Speicherstoffe zur Verfügung stellen kann und so hilft diese zu überstehen. Die Wiesenrispe besitzt eine relativ langsame Jugendentwicklung, auch aufgrund der kräftezehrenden Ausbildung des erwähnten Ausläufersystems. Hohe Ertragsanteile bildet sie so meist erst wenn die Konkurrenzkraft der schnellwüchsigen Art nachlässt. Namentlich nach Trockenperioden oder auch Winterschäden (NEUBERT & PRIEBE 2009). Zudem reagiert *Poa pratensis* ausgesprochen positiv auf Düngung. „Das Verhalten der Wiesenrispe hängt also mehr von Intensität von Düngung und Nutzung einerseits und andererseits vom Fehlen oder Vorhandensein des Deutschen Weidelgrases ab als von Klima und Boden“ (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006).

***Phleum pratense*:** Das Wiesenlieschgras ist ein mehrjähriges bis ausdauerndes Horstgras (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Es wächst nach der Nutzung langsam wieder nach, bildet dann jedoch viele Halme. Dadurch ist es vor allem für die Mähnutzung geeignet (SCHRADER & KALTOFEN 1992). Es ist ein typisches Obergras, welches nicht zur Rasenbildung befähigt ist (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). In Mischungen weicht es leicht anderen Arten. So ist es in altem Dauergrünland meist nur noch schwach vertreten. Für periodisch erneuerte Bestände bietet es sich jedoch zu Nutzung an, da es sehr hohe Erträge zu bilden vermag und außerdem eine recht schnelle Jugendentwicklung besitzt (SCHRADER &

KALTOFEN 1987). Außerdem hat es einen guten Futterwert und bildet etwas grobes Heu („Pferdeheu“) (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). *Phleum pratense* ist sehr winterhart. Obwohl es dankbar für gut versorgte, feuchte Mineralböden ist, gedeiht es auch auf Moorstandorten, wobei hier die Düngung mit Phosphor und Kalium starke Effekte liefert (PETERSEN 1992). Zudem sagen ihm auch feuchte oder schwerste, tonige Standorte zu. Auf trockenen Sanden oder auf kalkigen, humusarmen oder sauren Böden versagt es jedoch schnell (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006).

***Élymus répens***: Die Quecke ist ein auf dem Acker problematisches Schadgras (SCHRADER & KALTOFEN, 1987). Auf Grünland kann es zu gewissen Ertragsanteilen toleriert werden. Es neigt jedoch stark dazu, sich störend zu vermehren. Die Vermehrung erfolgt über lange, unterirdische Stängelausläufer. Die Vermehrung mit Samen steht demgegenüber stark zurück (PETERSEN 1992). So kommt es zu wucherndem Wuchs ausgehend von Geilstellen oder Verletzungen der Narbe durch zu tief arbeitende Mähwerke, bzw. Trittstellen (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Obwohl die Quecke auf den meisten Standorten vorkommt (PETERSEN 1992) bevorzugt sie jedoch eher kalkreiche, humose, lockere Böden (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Sie bevorzugt Wiesen wegen der lockereren Narbe, da diese der Ausläuferausbreitung entgegenkommt. Jedoch ist sie auch oft auf Weiden zu finden (PETERSEN 1992). Durch starke Stickstoffdüngung wird die Quecke gefördert, besonders bei verspäteter Nutzung oder nach Trockenperioden (KALTOFEN & SCHRADER 1987). Der Futterwert des ersten Schnittes ist noch ausreichend. Jung wird sie auch noch vom Vieh gefressen, später wegen der Behaarung der Blätter jedoch schnell verschmäht. Besondere Bedeutung kommt der Quecke auf Niedermoor und Anmoorstandorten zu. Hier kann sie besonders nach Trockenheit den zweiten und dritten Aufwuchs mit ihren Ertragsanteilen und den damit verbundenen negativen Auswirkungen dominieren (PETERSEN 1992).

***Trisetium flavescens***: Der Goldhafer ist ein ausdauerndes Mittel- bis Obergras. Er findet sich vor allem im Mittel- und Hochgebirge, im Nordosten Deutschlands findet er sich kaum (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Durch seine Widerstandsfähigkeit gegen das raue Klima hat er vor allem Bedeutung als Wiesen- und auch Weidegras auf Mittelgebirgs- und Alpenvorlandsstandorten (PETERSEN 1992). Sein Ertrag ist mittelmäßig, sein Nachwuchsvermögen jedoch gut (SCHRADER & KALTOFEN

1987). Auf basischen Standorten kann er Rinderkalzinose auslösen. Der Goldhafer findet kaum noch Beachtung in Ansaatmischungen, er tritt meist natürlich auf den entsprechenden Standorten auf (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006).

***Festuca rubra***: Der Rotschwingel kommt in vielen Kleinarten vor. Die landwirtschaftlich interessanten Sorten gehören zum Ausläufer-Rotschwingel. Er ist ein ausdauerndes Untergras mit großer Berasungsfähigkeit (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Der Rotschwingel stellt keine besonderen Anforderungen an Bodenart, Wasser und Nährstoffversorgung (SCHRADER & KALTOFEN 1987). Er verträgt den Biss und Tritt des Viehs sehr gut und bildet sehr dichte, tragfähige Narben. Zudem ist er winterfest und ausdauernd (PETERSEN 1992). Nachteil ist jedoch der geringe Futterwert. Das Vieh verschmäht ihn auf der Weide oft wegen seines muffigen Geruchs, zudem sterben die älteren Blätter recht schnell ab (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Die Aufnahme des Rotschwingels in Saatmischungen ist für Standorte angezeigt, auf denen das Deutsche Weidelgras und auch die Wiesenrispe auf Grund von rauem Klima oder Trockenheit nicht ansaatfähig sind (PETERSEN 1992). Dies macht jedoch nur bei Daueranlagen Sinn, da er sich spät entwickelt und etabliert. So ist erst ab dem dritten Jahr mit einem Vollertrag zu rechnen (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006).

***Holcus lanatus***: Das Wollige Honiggras ist ein ausdauerndes, Horste bildendes Obergras. Es liefert nur minderwertiges Futter und wird auf Grund starker Behaarung nur sehr ungern gefressen. Zudem ist es wegen Bültbildung schwer zu mähen und wahrscheinlich schwer verdaulich (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Am verbreitetsten ist es auf feuchten Wiesen. Auf sehr nassen oder sehr trockenen Standorten spielt es keine Rolle. Düngung und intensive Nutzung drängen es zurück, wobei es in einer lückigen Narbe gute Wachstumsbedingungen findet (SCHRADER & KALTOFEN 1987). Oft findet es sich auf Moorböden (PETERSEN 1992).

***Anthoxanthum odoratum***: Das Ruchgras ist ein mehrjähriges bis ausdauerndes Untergras. Es blüht von allen Grünlandgräsern am frühesten. Sein Futterwert ist sehr gering, so ist es zum ersten Schnitt durch frühe Entwicklung meist schon strohig (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Außerdem hat es einen starken Kumaringeruch und wird deshalb vom Vieh ungern gefressen. Das Ruchgras findet

sich vor allem auf vernachlässigtem, nährstoffarmem Grünland (SCHRADER & KALTOFEN 1987). Es kann jedoch auf allen Standorten vorkommen, wenn es auch die feuchten, schwach sauren Lagen bevorzugt (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006).

***Deschampsia cespitosa***: Die Rasenschmiele ist ein scharfblättriges Ungras. Sie bildet hochbültige Horste, was die Nutzung sehr erschwert und viel Platz raubt (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Die Qualität des Heus ist schlecht und sie wird, wenn dann nur in jungem Zustand verbissen. Rasenschmiele findet sich auf feuchten bis frischen Wiesen und Weiden wohingegen sie trockene Lagen stets meidet (SCHRADER & KALTOFEN 1987). Sie wird durch Düngung nur schwer zurückgedrängt, durch Vernässung oft gefördert und ist unempfindlich gegen Überstauung (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006).

***Alopecurus pratensis***: Der Wiesenfuchsschwanz ist ein ausdauerndes, horstbildendes Obergras (KLAPP & OPITZ v BOBERFELD 2006). Obwohl er hohe Erträge liefern kann und auch sein Futterwert hoch ist, wird er oft nicht sehr geschätzt. Er blüht sehr früh und tritt meist auch nicht als Hauptbestandbildner auf, was dann einen entsprechend frühen Schnitt rechtfertigen würde. Deshalb ist er zur ersten Nutzung meist schon strohig und der untere Teil oft schon verfault (PETERSEN 1992). Als Standort bevorzugt er die feuchten bis mäßig nassen Wiesen. Er stellt hohe Anforderungen an Wasser und Nährstoffversorgung, ist jedoch unempfindlich gegen Schneebedeckung, Kälte und Spätfröste (SCHRADER & KALTOFEN 1987). Er bevorzugt also die schweren, reichen, feuchten Böden, findet sich aber auch auf humosen Sanden und Moorböden, sofern angesprochene Ansprüche an Wasser und Nährstoffe erfüllt werden.

## **Leguminosen**

***Trifolium repens***: Der Weißklee ist die bedeutendste Kleeart für die Weidenutzung. Er ist mehrjährig, zudem biss- und trittfest (KAHNT 2008). Außerdem besitzt er einen hohen Nähr- und Mineralstoffgehalt und gehört zu den wertvollsten Leguminosen (Futterwertzahl 8). So enthält er viel Calcium, Rohprotein und Carotin und hat ein gutes Natriumaneignungsvermögen. Weniger günstig sind der niedrige Rohfasergehalt und die schlechtere Futterstruktur. Durch starke Stickstoffdüngung wird er recht

schnell durch wuchsschnelle Gräser und die damit verbundene Lichtkonkurrenz verdrängt. Er baut jedoch im Boden ein entsprechendes Samenreservoir auf und ist so in der Lage sich wieder zu regenerieren, wenn die Bedingungen sich für ihn verbessert haben (VOIGTLÄNDER & JACOB 1987). Der Weißklee findet sich praktisch überall, mit Ausnahme von sehr nassen oder sehr trockenen Standorten. Er bevorzugt verdichtete, frische, stickstoffreiche, oft tonhaltige, tiefgründige Lehm- und Sandlehmböden. Jedoch ist er empfindlich gegenüber Kahlfrösten und lang anhaltender Schneebedeckung (RAUSCHERT 1972).

Tabelle 3: Übersicht über Kennzahlen der Aufgeführten Arten

Botanischer Name	Trivialname	Futterwertzahl	Feuchtezahl	Reaktionszahl	Stickstoffzahl
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesenfuchschwanz	7	6	3	5
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Ruchgras	3	5	2	3
<i>Deschampsia</i>	Rasenschmiele	3	7	3	3
<i>Elymus repens</i>	Quecke	4	6	4	5
<i>Festuca pratensis</i>	Wiesenschwingel	8	5	4	4
<i>Festuca rubra</i>	Rotschwingel	5	4	3	3
<i>Festulolium braunii</i>	Wiesenschweidel				
<i>Lolium perenne</i>	Deutsches Weidelgras	8	4	4	5
<i>Phleum pratense</i>	Wiesenlieschgras				
<i>Poa pratensis</i>	Wiesenrispe	8	4	3	4
<i>Trisetum flavescens</i>	Goldhafer	4	4	3	4
<i>Trifolium pratense</i>	Weißklee	8			

Quelle: eigene Zusammenstellung nach KLAPP, OPITZ v BOBERFELD 2006

### 2.1.3 Erfassung der Artenzusammensetzung des Grünlandes

In den vorhergehenden Abschnitten wurde auf die Bedeutung der Artenzusammensetzung eines Grünlandbestandes eingegangen. Veränderungen in der Bestandszusammensetzung des Grünlandes lassen Rückschlüsse auf die Wirkung von Düngungs- und Pflegemaßnahmen zu. Zur schnellen Feststellung und Überwachung der Zusammensetzung werden die Anteile der einzelnen Arten am Gesamtertrag geschätzt.



Zur Schätzung der Ertragsanteile hat sich die Ertragsanteilschätzung nach KLAPP und STÄHLIN durchgesetzt. Sie verbindet einen relativ geringen nötigen Zeitaufwand mit der erforderlichen Genauigkeit. So liefert sie eine hohe Übereinstimmung mit der Ertragsvollanalyse durch Wägung der einzelnen Artanteile (VOIGTLÄNDER & VOSS 1979 zit. GARTNER 1967 und WACKER 1943).

Bei der Ertragsanteilschätzung werden zuerst jeweils die Anteile der Artengruppen Gräser, Kräuter, Leguminosen am Gesamtertrag geschätzt. Anschließend fährt man innerhalb der Artengruppen mit den einzelnen Arten fort und schätzt wiederum deren Anteile an der jeweiligen Gruppe. Besondere Aufführung erfahren hierbei die Gräser. Für Arten mit weniger als 1 Anteilsprozent notiert man ein +, bzw. einen Ertragsanteil von 0,2%. Vergleichsgröße der Schätzung ist der Trockenmasseertrag, um Unterschiede im TS-Gehalt der einzelnen Arten auszugleichen.

Anschließend werden der Bodendeckungsgrad der Krautschicht und die Deckung der Moosschicht in Prozent gewertet. (zusammengefasst n. VOIGTLÄNDER & VOSS 1979)

#### **2.1.4 Niedermoor als Grünlandstandort**

Standorte des Dauergrünlandes werden unterschieden in fakultatives Grünland und absolutes Grünland. Zu Standorten des letzteren gehören definitionsgemäß solche, die für den Ackerbau nicht genutzt werden können oder als Grünland mehr leisten (KLAPP 1971). Zu Ursachen, die eine Unmöglichkeit des Ackerbaus begründen, gehören zum Beispiel besondere Wasserverhältnisse wie beim Niedermoor und den Auenböden oder gegenteilig bei den Trockenrasen-Standorten. Weiterhin unmöglich wird Ackerbau auf Standorten mit ungünstigem Relief, wie es beispielsweise beim Dauergrünland der Mittelgebirge und des Alpenvorlandes zu finden ist. Eine relative Vorzüglichkeit der Grünlandbewirtschaftung kann zum Beispiel in den küstennahen Regionen gegeben sein, die durch atlantisches Klima in Verbindung mit einer lange andauernden jährlichen Weideperiode eine mäßig intensive Viehwirtschaft mit Weidengang begünstigen (DIERSCHKE & BRIEMLE 2002).

In Nordostdeutschland handelt es sich beim absoluten Grünland vor allem um Niedermoor, Auen und Trockenrasen. Letztere sollen hier nicht weiter abgehandelt werden.

Moore entstehen allgemein durch Wasserüberschuss und damit verbundene teilweise bis fehlende Zersetzung der unter Wasser geratenen Pflanzen. Dadurch kommt es zur Anreicherung von organischer Substanz. Ab einem Anteil von 30 Masse% spricht man von Torf. Beim Niedermoor wird der so entstandene charakteristische Torfkörper im Gegensatz zum Hochmoor durch das Grundwasser gespeist. Zur Nutzbarmachung wurden in der Vergangenheit großangelegte Entwässerungsmaßnahmen durchgeführt. Diese führen zu verstärkter Mineralisation und Humifizierung (MLUR 2003).

Das Havelländische Luch, das an dieser Stelle vorrangig betrachtet werden soll entstand so in zwei Stufen. Nach Rückzug des Inlandseises der Weichselkaltzeit bildete sich eine Niederung, die von den Schmelzwässern mit fein- und mittelkörnigen Sanden gefüllt wurden. Darunter befinden sich sehr mächtige Geschiebemergel, die das oberste Grundwasserstockwerk tragen, während die Talsande das Grundwasser leiten. Später siedelte sich eine Parktundra an, in Mulden und Senken lagerten sich die ersten organischen Mudden ab. Der Grundwasserspiegel sank dann für etwa 200 Jahre, um dann wieder anzusteigen. Die inzwischen entstandene Waldvegetation starb ab, Röhrichtgebiete weiteten sich aus, die vollflächige Vermoorung setzte ein. Heute finden sich mittelmächtige Verlandungs- und Versumpfungsmoore und geringmächtige Versumpfungsmoore (MUNDEL in LVGF 1993).

Charakteristisch für Niedermoorböden im Allgemeinen sind so Grundwassernähe und ein großer Anteil humifizierter, organischer Substanz. Daher rührt auch die typische schwarze Färbung. Durch Mineralisation können über die Vegetationsperiode Nährstoffe, vor allem Stickstoff in großem Maße nachgeliefert werden. Im Stickstoffnachlieferungsvermögen sind sie so den mineralischen Böden deutlich überlegen. So kann der Gesamtstickstoffgehalt von Niedermoortorf zwischen 2,5 und 4,5% liegen. Das Verhalten von Phosphor in Niedermoorböden gleicht jenem in mineralischen Böden. Der Gehalt liegt bei im Durchschnitt bei 1-3 %  $P_2O_5$ . Aufgrund der spezifischen Bindungseigenschaften, in Verbindung mit der Grundwassernähe sind Nie-

dermoore jedoch arm an Kalium (0,1-2,5 %  $K_2O$ ) und unterscheiden sich auch von den mineralischen Standorten hinsichtlich der K-Dynamik (GÖTTLICH & KUNTZE 1990). Die Nährstoffgehalte schwanken jedoch sehr stark in Abhängigkeit von Lagerstättenbedingungen, torfbildender Flora, sowie vor allem vom Zersetzungsgrad.

Weiterhin charakteristisch ist das hohe Porenvolumen. Bei einem Porenvolumen von < 88 % wird bereits von dicht gesprochen. Zudem kommen eine hohe Feldkapazität und auch eine hohe nutzbare Feldkapazität, wogegen Niedermoore oft aufgrund Wassersättigung zu Luftmangelstandorten werden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Zudem erwärmen sich Niedermoorböden aufgrund der Wasserverhältnisse recht langsam.

Die aufgeführten Besonderheiten stellen auch besondere Anforderungen an die Vegetation. Die Artenzusammensetzung des Niedermoorgrünlandes weist nur noch einen geringen Natürlichkeitsgrad auf. Vielmehr ist die Bestandszusammensetzung ein Produkt von anthropogenen Veränderungen der Standorte, vor allem durch die Nutzbarmachung durch Entwässerung aber auch durch die Auswirkung der Nutzung an sich, sowie direkte Eingriffe des Menschen, durch Hinzufügen von Arten (über Ansaat, Übersaat oder Nachsaat) oder durch Entfernung von Arten durch explizite Bekämpfung (vergl. DIERSCHKE & BRIEMLE 2002). Grund hierfür ist die geringe Zahl, den Ansprüchen des Wirtschaftsgrünlandes genügenden, natürlich vorkommenden Arten. Jedoch gibt es bestimmte, die gut an die Anforderungen des Niedermoorgrünlandes angepasst und so typische Bestandsbildner für diese Standorte sind. Zu diesen gehören zum Beispiel die Wiesenrispe, das Weiße Straußgras aber auch das Wiesenlieschgras. Ebenso werden in bestimmten Fällen der Wiesenfuchschwanz, das Rohrglanzgras und auch der Rohrschwengel ansaatwürdig. Das Deutsche Weidelgras versagt hingegen oft, bzw. wird mit der Zeit aus dem Bestand gedrängt. So wird es wegen seiner schnellen Jugendentwicklung und hohen Konkurrenzkraft vor allem zur Nachsaat und zum Erreichen eines schnellen Bestandschlusses nach einer Neuansaat eingesetzt (vergl. Kap. 2.1.2.). Eine anschauliche Übersicht über ansaatwürdige Arten für Niedermoorgrünland regionalen Mischungsempfehlungen für Ansaat und Nachsaat (s. Tabelle 4)

Tabelle 4: Anteil (%) der Gras- und Leguminosenarten in den Empfehlungen für regionale Ansprüche angepasste Grünlandmischungen (LVLf 2007)

Art	Regionale Mischung						Nachsaat RG 5
	RG 6 frisch	RG 7 bis feucht	RG 8 trocken	RG 9 zeitweise	RG 10 überflutet	RG 11 wechsellass	
Dt. Weidelgras	20	13	20		10		40
Wiesenschweidel			30				60
Wiesenschwingel	50						
Wiesenlieschgras	30	34		29		25	
Knaulgras			40				
Wieserrippe			10		15	11	
Rotschwingel							
Weißes Straußgras		40		12		7	
Rohrschwingel						57	
Rohrglanzgras				59			
Wiesenfuchschwanz					75		
Weißklee		13					
Aussaatmenge kg	30	15	30	17	20	28	20

<b>RG 6</b>	überwiegende Schnittnutzung, ausdauernd und winterfest, niedermoorgeeignet
<b>RG 7</b>	mittlere bis extensive Mähweide mit Auflagen zur späten Nutzung des 1. Aufwuchses
<b>RG 8</b>	zeitweilig trockene Standorte, Mäh- und Weidenutzung mit früher 1. Nutzung
<b>RG 9</b>	Mähnutzung auf Niederungsstandorten mit zeitweiser Überflutung und hohem Grundwasserst. in Winterperiode
<b>RG 10</b>	Mähnutzung auf häufig überschwemmten Aueflächen, bei früher 1. Nutzung
<b>RG 11</b>	überwiegende Mähnutzung auf wechsellassen Standorten mit schwierigen Bodenverhältnissen
<b>RG 5</b>	zur Nachsaat, für überwiegend intensive Mähnutzung

## 2.2 Der Nährstoff Kalium

### 2.2.1 Kalium im Boden

Kalium ist ein chemisches Element aus der Gruppe der Alkali-Metalle. Es findet sich im Boden vor allem in Feldspäten und Glimmern als natives Kalium. Der Gesamtkaliumgehalt des Bodens beträgt 0,2-3%. Das entspricht etwa 6.000- 90.000kg K/ha in einer Ackerkrume von rund 20cm (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000).

Das native Kalium wird durch Verwitterung und Bodenbildung freigesetzt und später wieder in Tonmineralen gebunden. Es werden primäre, kaliumreiche Silikate wie Glimmer oder Feldspäte verwittert. Beispielsweise enthalten die häufigsten Glimmer,

Muskovit und Biotit, durchschnittlich 5-12% K. Die Feldspäte treten meist als Gemische von Alkalifeldspäten, insbesondere Orthoklas (Kalifeldspat) und Albit (Natriumfeldspat) auf. Im Kalifeldspat liegen die Gehalte zwischen 2,1 und 12,5%. Es entstehen Tonminerale wie Illite oder auch Smectite. Die Gehalte an Kalium variieren hier jedoch auch innerhalb der gleichen Mineraltypen. So liegen die Gehalte an Kalium in der Tonfraktion bei etwa 1,7-3,4% (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010) (s. Tabelle 5). Daraus lässt sich ableiten, dass die Konzentrationen in tonarmen Böden sehr niedrig sind und mit steigenden Tongehalten anwachsen.

Tabelle 5: K-Anteile und Ladung ausgewählter Tonminerale

<b>Tonmineral</b>	<b>Anteil K in %</b>	<b>Höhe neg. Ladung je For- meleinheit</b>
Smectite	0-0,4	0,2-0,6
Vermiculite	0-1,7	0,6-0,9
Illite	3,4-5,95	>0,6
Chlorite	~0,1	Variabel

Quelle: eigene Zusammenstellung nach SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 2010

In organischer Bindung finden sich nur sehr geringe Mengen an Kalium. Daher sind Huminstoffe praktisch frei von Kalium. In der organischen Bodensubstanz finden sich so nur etwa 25-50kg K/ha (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Das erklärt auch, in Zusammenhang mit dem fehlenden Tonanteil, die geringen natürlichen Kalium-Gehalte von Moorböden. Im Vergleich dazu kann Kalium in pflanzlicher Biomasse Werte von etwa 50-60kg je ha erreichen.

Im mineralischen Boden liegt Kalium in 3 Formen vor. Zum einen kann Kalium in den Zwischenschichten als Gitterbaustein der Silicate festgelegt sein. Das trifft auf etwa 80% des im Boden befindlichen Gesamtkaliums zu. Zum anderen kann eine Fixierung in den Zwischenschichten aufweitbarer Tonminerale stattfinden (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000). Außerdem kann es in austauschbarer Form, gebunden an die Tonminerale vorkommen, man spricht hier von austauschbarem Kalium. Bei der dritten Fraktion handelt es sich um in der Bodenlösung verfügbares Kalium. In letzterer Form können, in Abhängigkeit von Düngung und Mineralbestand, auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zwischen 100 und 1000 kg/ha vorliegen. Die Konzentration in der Bodenlösung beträgt etwa 2-20 mg/l. Die verschiedenen Formen

befinden sich miteinander im Gleichgewicht. Die Übergangsvorgänge jedoch finden mit unterschiedlicher Geschwindigkeit statt. Das austauschbar gebundene Kalium geht sehr schnell wieder in die Bodenlösung über, wohingegen das fixierte, spezifisch gebundene Kalium sehr langsam durch Diffusion unter Aufweitung der Zwischenschichten wieder in Lösung geht. Auf umgekehrtem Wege kann Kalium jedoch auch fixiert werden. Die Freisetzung und Fixierung hängt entscheidend von der Konzentration in der Bodenlösung und der Fixierungskapazität der Minerale ab. So wird fixiertes Kalium nur bei absinkender K-Konzentration in der Bodenlösung freigesetzt. Das fixierte Kalium steigt jedoch auch solange an, bis die Fixierungskapazität der inneren Oberflächen der Schichtminerale abgesättigt ist (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010).

Die Fähigkeit eines Bodens Kationen, wie zum Beispiel Kalium, nachzuliefern und zu speichern wird durch die Kationenaustauschkapazität (KAK) wiedergegeben. Diese gibt die Summe der maximal sorbierbaren Kationen wieder. Sorbiert werden die Kationen an den negativen Bindungsstellen an der Oberfläche der Bodenteilchen. Angegeben wird die KAK in  $\text{cmol}/\text{m}^2$ . Beeinflusst wird diese vor allem durch Textur, Art der Tonminerale und Humusgehalt des Bodens. Die KAK schwankt in starkem Maße, so sind Werte zwischen 5 und 100  $\text{cmol}/\text{m}^2$  die Regel. Kaliumionen werden bei der Bindung bevorzugt, da ihre Hydrathülle kleiner ist als die anderer Kationen. Entscheidend für die Höhe der Austauschkapazität ist der Ton-, bzw. Humusanteil im Boden. Die KAK nimmt zudem mit steigendem pH-Wert zu. Das heißt, dass bei sauren Böden die potentielle Kationenaustauschkapazität wesentlich höher ist die effektive (tatsächliche). Wobei der Anteil der variablen, also pH-Wert-abhängigen Ladung, bei der Humusfraktion wesentlich bedeutender ist als bei der mineralischen Fraktion (KÖGEL-KNABER 2007).

Zusammenfassend hängen das Ausmaß und die Intensität der Fixierung also stark vom K-Angebot, sowie vom Bestand an Dreischichttonmineralen ab und steigen so mit wachsendem Tongehalt. Die Fixierung findet vor allem durch Vermiculite im Schluff- und Grobton, sowie durch randlich aufgeweitete Illite und Smectite im Feinton statt. Andererseits schwankt die Fixierungskapazität jedoch auch in Abhängigkeit von der Bodenreaktion. Bei niedrigen pH-Werten in stark sauren Böden lagern sich die hier verstärkt gebildeten Aluminiumhydroxypolymere in die aufgeweiteten

Zwischenschichten und blockieren diese so für das Kalium. Ein weiterer Faktor ist auch die Konzentration konkurrierender Kationen wie beispielsweise  $\text{Ca}^{2+}$ , bzw.  $\text{Mg}^{2+}$ , die anstelle des Kaliums treten können.

Bei gedüngten Ackerböden finden sich etwa 5-15kg K/ha in der Bodenlösung. Dies ist weniger als der über die Vegetationsperiode anzunehmende Pflanzenentzug, deshalb muss stetig Kalium durch Diffusion nachgeliefert werden. Das stellt in der Regel kein Problem dar, da es die Pflanzenwurzeln schaffen, den Boden relativ zu entleeren. Wie weit die Bodenlösung entleert wird hängt wieder von der Bodenart ab. In Abhängigkeit davon können Minimalwerte dann nur noch bei etwa 0,1 mg/ l Bodenlösung liegen. In illitisch-smectitischen Böden kann die Konzentration jedoch in der Regel nicht auf unter 5 mg K/ 100 g Boden gesenkt werden.

Die Gefahr der Kaliumauswaschung schwankt auch wieder in Abhängigkeit von der Bodenart. Außer Acht gelassen werden kann diese auf Böden mit mehr als 10 % Ton. Bei Sandböden jedoch sind Verluste von 20-50 kg K/ ha/ a möglich (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Auch auf Moorböden kann die Auswaschung beträchtlich sein (VOIGTLÄNDER & JACOB 1987). Da in organogenen Böden, namentlich Niedermoor, die Sorptionsfähigkeit von K wesentlich geringer als in mineralischen Böden ist, wäre hier auch eine Vorratsdüngung nicht sinnvoll (GÖTTLICH & KUNTZE 1990).

Zusammenfassend zeigen Niedermoorböden Besonderheiten, die sie von mineralischen Böden unterscheiden. Diese sind gekennzeichnet durch das Fehlen von Tonkomplexen. So zum einen die geringe Speicherfähigkeit jedoch auch eine geringe Nährstofffestlegung durch Fixierung in den Zwischenschichten. Hierdurch ist auch die erhöhte Gefahr der Auswaschung begründet, die zusätzlich durch Grundwassernähe und –Einfluss verstärkt wird. Zum anderen besitzen Niedermoore aufgrund ihres organogenen Ursprungs nur einen geringen, natürlichen Kaliumgehalt.

### **2.2.2 Kalium in der Pflanze**

Kalium gehört mit Gehalten von 0,5-4 % in der Pflanze zu den Makronährstoffen (BREUER et.al. 2003). Ein optimaler Kaliumgehalt in Grünlandbeständen liegt bei

durchschnittlich etwa 2,5 %  $K_2O$  (KLAPP 1971 zit. MUNK & WHITEHEAD). Es liegt wie auch Natrium, Chlor, Calcium und Magnesium in Ionenform vor und steht in gewissen Konkurrenzverhältnissen mit diesen Nährstoffen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Die  $K^+$ -Ionen liegen frei im Zellsaft vor und werden sorptiv gebunden. Sie können auf Grund ihrer geringen Hydrathülle außerordentlich schnell von der Wurzel aufgenommen und in der Pflanze transportiert werden. Das trifft auf Monokotyledonen noch in größerem Maße zu als auf Dikotyledonen. Grund ist die Affinität letzterer zur Aufnahme von zweiwertigen Ionen (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000).

Kalium erfüllt eine Vielzahl wichtiger Funktionen in der Pflanze: zum einen agiert es als Osmotikum. So ist es für die Erzeugung des Wurzeldrucks verantwortlich. In den Zellen der Wurzel ziehen die  $K^+$ -Ionen osmotisch Wasser an. Die Xylemparenchymzellen geben dann  $K^+$ -Ionen an die Xylemgefäße ab, welche dann wiederum zur Wasseraufnahme gezwungen sind. Da die Zellwände der Xylemzellen stark versteift sind, baut sich in den Gefäßen ein hoher Druck auf, der das Wasser in den Spross drückt (SCHUBERT 2006). Weiterhin ermöglicht Kalium das Streckungswachstum, das erst durch Aufbau und Aufrechterhaltung eines entsprechenden Turgordrucks erfolgen kann. Eine weitere Funktion ist die Regulation der Stomataöffnung (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000). Durch Akkumulation von Kalium in den Schließzellen wird der osmotische Druck in diesen erniedrigt. So muss Wasser aus den Nachbarzellen nachströmen, wodurch sich die Schließzellen füllen und durch ihre asymmetrische Form eine Pore formen, durch die dann  $CO_2$  aus der Atmosphäre in die Pflanze diffundieren kann (SCHILLING 2000). Weiterhin kommt dem Kalium die Aufgabe der spezifischen Aktivierung und Regulierung verschiedener Enzyme zu. Hierzu lagert es sich an die negativ geladenen Carboxylgruppen an und verändert so die Struktur des Enzyms. Es wird davon ausgegangen, dass so mehr als 50 Enzyme direkt oder indirekt beeinflusst werden. Unter diesen solche mit Beteiligung an bedeutenden, pflanzenphysiologischen Vorgängen, wie den Translationsprozessen während der Proteinbiosynthese oder auch der Bildung des Kohlenstoffakzeptors während der Photosynthese der C3-Pflanzen, der Ribulose-1,5-bisphosphat-Carboxylase/Oxygenase (Rubisco). Da es Kalium leicht möglich ist biologische Membrane zu überwinden, ist es zudem für den elektrostatischen Ausgleich zuständig, umso überhöhte Membranpotentiale abzubauen. Außerdem bildet es das Gege-



nion zu den Anionen organischer Säuren und stabilisiert so die H<sup>+</sup>-Ionenkonzentration (SCHUBERT 2000).

Der Kaliumgehalt steht in Wechselwirkung und Konkurrenzverhältnissen mit anderen Nährstoffen, speziell anderen Alkalimetallen. Kaliumgehalte über 3 % in der Trockenmasse führen regelmäßig zu reduzierten Magnesiumgehalten des Futters (KORNHER & TAUBE 2008). Bei hoher K-Düngung und gleichzeitig guter Versorgung des Futterbestandes mit Stickstoff steigen die Kaliumgehalte in der Pflanze zusätzlich (VOIGTLÄNDER & JACOB 1987, zit. MARAMBO 1971).

Ein Kaliummangel stellt sich durch typische Welkeerscheinungen wie Welketracht und Trockennekrosen, bei Gräsern vom Blattrand her beginnend, dar. Ursache sind die komplexen Funktionen im Zusammenhang mit der Regulation des Wasserhaushalts in der Pflanze. Folge dieser Schäden kann erhöhte Lagergefahr durch wenig stabile Zellen und verstärkte Pilzanfälligkeit sein. Weiterhin wird eine Bronzefärbung infolge von Putrescin-Anreicherung in den Blättern beobachtet (SCHILLING 2000). Da Kalium sehr mobil in der Pflanze ist, wird es durch das Phloem in die jungen, wachsenden Meristeme transportiert, weswegen Mangelsymptome zuerst an den älteren Blättern sichtbar werden (SCHUBERT 2006).

Kaliumüberschuss und damit verbundene Toxizität werden nur sehr selten beobachtet und machen sich dann ebenfalls durch Blattrandnekrosen oder andere wenig spezifische Symptome oder aber Salzschäden bemerkbar (SCHILLING 2006).

### ***2.2.3 Kalium als Mineralstoff für landwirtschaftliche Nutztiere***

In der Tierernährung erfolgt ebenfalls die Einteilung der Nährstoffe in Mengen- und Spurennährstoffe. Mineralstoffe wie Kalium mit 50 mg und mehr je kg Körpergewicht zählen zu den Mengennährstoffen (KORNHER & TAUBE 2008).

Kalium findet sich im tierischen Organismus vor allem in Körperflüssigkeiten sowie in Weichgeweben, wobei es vor allem intrazellulär lokalisiert ist. Es erfüllt im Tier teils ähnliche Funktionen wie in der Pflanze: zusammen mit Natrium und Chlorid ist es für

die Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks der Körperflüssigkeiten verantwortlich, ebenso für die Regulierung des Säure-Basen-Gleichgewichts.

Weiterhin aktiviert und steuert Kalium auch im tierischen Organismus eine große Zahl von Enzymen, insbesondere solche des Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsels.

Zusätzlich ist Kalium an der Impulsübertragung im Nervengewebe sowie der Erregungsleitung in den Muskelfasern beteiligt (JEROCH et. al. 2008).

Da der Bedarf der Nutztiere mit 0,2-0,6 % in der TM des Futters relativ gering ist, kommt es in der Praxis selten zu Mangel. Diese Gehalte werden durch eine entsprechend ausgewogene Futterzusammenstellung in der Regel stets erreicht. Wichtig hierbei ist jedoch die regelmäßige Aufnahme, da Kalium nur schlecht speicherfähig ist und schnell wieder ausgeschieden wird.

Ein Mangel stellt sich wiederum recht unspezifisch durch beispielsweise Appetitlosigkeit des Tieres dar. Der Nachweis erfolgt durch Analyse des Natrium/Kalium-Verhältnisses im Speichel.

Eine größere Gefahr im Zusammenhang mit der Kaliumdüngung sind die Wechselwirkungen mit dem Nährstoff Natrium. Eine erhöhte Kalium-Ausscheidung der Nebennieren hemmt beispielsweise die Natriumausscheidung. Ebenso kann bei sehr kaliumreichem Weidefutter ein sekundärer Na-Mangel auftreten. Ursache hierfür ist die größere Bindungsstärke des Kaliums gegenüber dem Natrium. Das Natriumion besitzt einen geringeren Durchmesser als das Kaliumion, wodurch sich eine stärkere Hydrathülle bildet. Diese Hydrathülle puffert die Sorptionskräfte ab, wodurch das Kalium stärker gebunden wird. Dieser Fall würde den Nährstoffausgleich über entsprechendes Mineralfutter notwendig machen (JEROCH et.al. 2008). Erhöhte Tetaniegefahr besteht, bei der Kombination von hohem Kalium- und hohem Rohproteingehalt im Futter, die Magnesiumresorption wird hier herabsetzt (VOIGTLÄNDER & JACOB 1987, zit. DE GROOT & BROUWER 1967).

Bei Kaliumüberschuss kommt es zu Symptomen wie Störungen der Nerven- und Muskelaktivität (KIRCHGIEßNER et al. 2008) und zu erhöhtem Kotwassergehalt (JEROCH et al. 2008).

## **2.2.4 Bestimmung des Kaliumgehaltes**

### **Boden**

Nach den Bestimmungen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) erfolgt die Bestimmung von Kalium in Böden durch den Calcium-Acetat-Lactat-Auszug (CAL) oder die Doppellactat-Methode (DL) nach EGNER-RIEHM. Die Methoden unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Anwendungsgebiete. In Brandenburg und anderen nördlichen Bundesländern ist die Doppellactat-Methode das Mittel der Wahl für die Kaliumgehaltsbestimmung von Böden. Die DL-Methode empfiehlt sich für Böden mit einem pH-Wert  $\leq 6$ , mit diluvialer Entstehung sowie vorwiegend für kolloidarme und Sandböden. Diese Kombination prädestiniert sie für die Anwendung unter brandenburgischen Bedingungen. Die Extraktion erfolgt durch 0,02 M Calcium-Lactatlösung bei pH 3,6 aus lufttrockenem Boden, bzw. bei Moor- und Anmoorböden aus feldfeuchtem Boden (LÜTKE-ENTRUP & OEHMICHEN 2000).

Nach der Extraktion erfolgt die Nährstoffbestimmung im Flammphotometer bei 767 nm. Die Ausgabe erfolgt dann in mg Kalium je 100g Boden (VDLUFA 1991).

### **Futtermittel**

Zur Kaliumgehaltsbestimmung wird die Futterprobe zunächst bei 450°C verascht. Dann erfolgt die Lösung der Asche nacheinander in Wasser und Salzsäure. Nach einer Filtration mit wiederholtem Erhitzen wird eine Probe abpipettiert die dann mit Pufferlösung versetzt wird um Störelemente auszuschalten. Später wird die Probe zusammen mit Caesiumchlorid und Aluminiumnitrat im Flammenphotometer bei einer Wellenlänge von 763 nm analysiert (VDLUFA 1991).

## **2.3 Die Kaliumdüngung**

### **2.3.1 Kaliumdüngung von Grünland**

Die Ertragsauswirkungen der Kaliumdüngung schwanken stark in Abhängigkeit vom Boden und der Versorgung mit anderen Nährstoffen. So sind die Effekte vor allem

auf kaliumarmen Standorten ganz beträchtlich. VOIGTLÄNDER & JACOB (1987) sprechen von Erfahrungen über Mehrerträge auf Niedermoorgrünland von über 50 dt TM/ ha, wenn der Boden vorher relativ arm an Kalium war. Zudem wird davon ausgegangen, dass die Kaliumdüngung stärker kontrolliert werden muss als die mit Phosphor. So könne durch die Beweglichkeit des Kaliums im Boden aus Überfluss innerhalb weniger Jahre Mangel entstehen. Die Ausnutzung des Düngerkaliums durch die Grünlandbestände übersteigt die von Ackerkulturen um durchschnittlich 54 % (KLAPP 1971 zit. König 1950).

Die Auswirkung der Kaliumdüngung auf die Pflanzengehalte ist im Vergleich zu anderen Pflanzennährstoffen sehr hoch. Durch Düngung erhöhte Kaliumgehalte haben zudem großen Einfluss auf die Gehalte anderer Nährstoffe. So finden sich bei hoher K-Düngung regelmäßig geringere Gehalte an Calcium, Magnesium und Natrium. Ebenfalls wird hierdurch eine erhöhte Tetaniegefahr beschrieben (siehe Kap. 2.2.3.).

Eine jährlich einmalige Düngung mit Kalium zum ersten Aufwuchs führt auf mäßig versorgten Böden im ersten Aufwuchs zu erhöhten Kaliumgehalten bis hin zum Luxuskonsum. In den folgenden Aufwüchsen sinken die Gehalte jedoch wieder. Auf leichten Böden und mäßigem Angebot wäre eine auf die einzelnen Aufwüchse verteilte K-Düngung daher optimal für gleichmäßige Kaliumgehalte (VOIGTLÄNDER & JACOB 1987). Diese Vorgehensweise scheidet in der Praxis jedoch meist aus, da der erste Aufwuchs in aller Regel die höchsten und qualitativ hochwertigsten Erträge liefert. Die Ertragssituation späterer Aufwüchse ist unsicherer, die Qualität leidet zudem an der physiologischen Alterung des Pflanzenbestandes. Somit ist die übliche Düngung zum ersten Aufwuchs als Qualitäts- und Ertragssicherung zu verstehen. Zudem ist besonders auf den von Sommertrockenheit gefährdeten Standorten Nordostdeutschlands die Wirksamkeit geteilter Gabe zu späteren Aufwüchsen mangels ausreichender Wasserversorgung fraglich und somit ökonomisch nicht ratsam.

Die Pflanzengehalte an Kalium sprechen auch stärker auf die Gabenhöhe an als bei anderen Nährstoffen. Es wurde in Versuchen ein fast neunmal so hoher Effekt festgestellt wie bei Phosphor. In den gleichen Versuchen wurden durch stark einseitige Gülle-, bzw. Jauchedüngung Pflanzengehalte bis 7%  $K_2O$  festgestellt (KLAPP 1971 zit. MULDER).

Auf sorptionsschwachen Böden oder Niedermoor sollte auf Kaliumdüngung nicht verzichtet werden. Ein Unterlassen der Kaliumdüngung kann auch durch Stickstoffdüngung nicht ausgeglichen werden. Erhöhte Stickstoffdüngung beschleunigte die Ertragsrückgänge im Gegenteil sogar (HERTWIG 2003) (s. Abbildung 2). Das bedeutet, dass dort eine alleinige Stickstoffdüngung mit vernachlässigter Kaliumdüngung keinen Sinn machte.

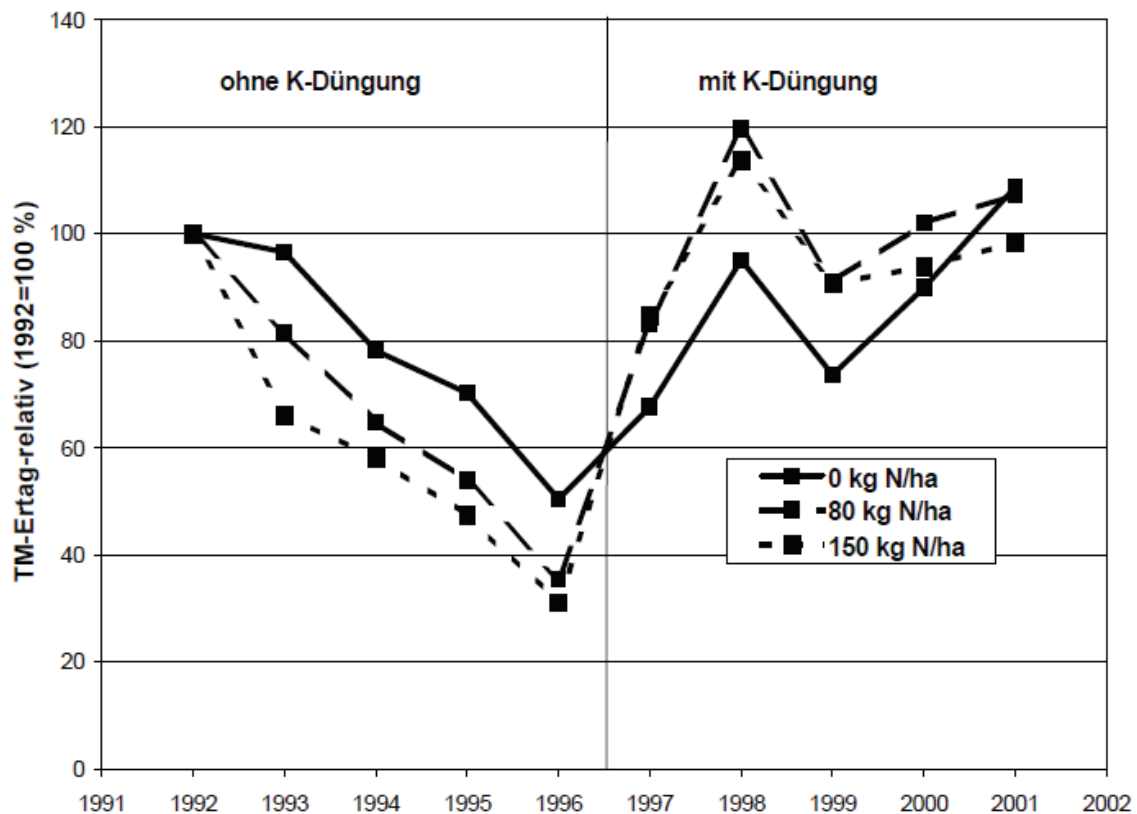


Abbildung 2: Ertragsverläufe auf Niedermoorgrünland bei Unterlassung und Wiederaufnahme der K-Düngung (PICKERT, J. & SCHUPPENIES, 2003)

Der K-Entzug bei Mähnutzung ist oft wesentlich höher als die Zufuhr. Das deutet auf die gute Nachlieferung durch die Böden hin. Ohne K-Düngung kann es jedoch auf sorptionsschwachen Böden und speziell Niedermoor zur völligen Erschöpfung kommen (KLAPP 1971 zit. ZÜRN, OOSTENDORP & HARMSEN 1966). Auf manchen tonreichen Böden können jedoch Reserven vorliegen, die eine unterlassene Düngung ausgleichen. Auf anderen wiederum ist ein großer Teil des Kaliums fixiert. Bei

vorher niedriger Versorgung sprechen die Gehalte stark auf Düngung an (VOIGTLÄNDER & JACOBS 1987).

Es kann davon ausgegangen werden, dass in manchen Fällen zeitweise auf Kaliumdüngung verzichtet werden kann (KLAPP 1971). Bei Einstellen der Düngung sinken die Pflanzengehalte früher oder später stark ab. Bei Wiesen ist dieser Effekt stärker als bei Weiden. Dort erfolgt schon eine teilweise Nährstoffrückfuhr über Exkremente. Die Gehalte im Bestand und damit auch im Futter variieren auch stark in Abhängigkeit von der Bestandszusammensetzung. So haben Kräuter oft recht hohe Kaliumgehalte, wogegen diese bei den Kleeartigen eher geringer liegen (KLAPP 1971) (s. Tabelle 6). Daraus lässt sich ableiten, dass bei kräuterreichem Futter auch die Kaliumgehalte relativ angehoben gegenüber gräserdominierten Aufwüchsen sind.

Tabelle 6: Kaliumgehalte (in %) der Bestandteile in Abhängigkeit von der Düngung

	Ohne Kaliumdüngung	Mit Kaliumdüngung
<b>Gräser</b>	2,03	2,61
<b>Kleeartige</b>	1,79	1,84
<b>Sonstige (Kräuter)</b>	2,66	4,13

Quelle: KLAPP 1971

Die Kaliumversorgung beeinflusst die Zusammensetzung der Grünlandnarbe. Eine gute Versorgung mit Kalium fördert insbesondere die Leguminosen, da diese gegenüber den Gräsern über eine geringere Fähigkeit zur Kaliumaneignung verfügen. Ob die Kleearten jedoch gefördert werden hängt auch vom vorherigen Versorgungszustand des Bodens ab. So ist die Wirkung auf verarmten Standorten höher. Der Anteil an Kräutern geht hingegen tendenziell eher zurück (VOIGTLÄNDER & JACOB 1987). Die Düngung mit Kalium und auch Phosphor fördert zudem auch bestimmte Gräser. So *Arrhenatherum*, *Dactylis* und *Poa trivialis*. Unter den Kräutern reagiert zum Beispiel *Heracleum* ähnlich. Zurückgedrängt wird beispielsweise *Festuca rubra*. Insgesamt fördert die Kaliumdüngung jedoch die wertvollen Gräser und Leguminosen.

### **2.3.2 Kaliumdüngung nach Düngeverordnung und offizieller Empfehlung**

In der Bundesrepublik Deutschland wird die Düngung landwirtschaftlich genutzter Flächen durch die „Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen“ (Düngeverordnung, DüV) geregelt.

In der novellierten Fassung vom 27.02.2007 finden sich nur noch Regelungen, die Düngung mit den Nährstoffen Stickstoff und Phosphor betreffend. Alle anderen Pflanzennährstoffe werden dort nicht mehr geregelt, so auch nicht Kalium. Damit unterliegt die Düngung von Kalium zur Zeit keiner spezifischen gesetzlichen Regelung (n. „Hinweise zur Düngeverordnung“).

Zur Umsetzung der Düngeverordnung und zur allgemeinen Düngebedarfsermittlung wurde trotzdem durch eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe ein umfangreiches Tabellenwerk erstellt, das Richt- sowie Grenzwerte zu den Nährstoffgehalten von Böden, organischen und mineralischen Düngemitteln sowie den Nährstoffgehalten von pflanzlichen und tierischen Erzeugnissen beinhaltet. Aufgrund notwendiger Differenzierung haben die einzelnen Bundesländer die ermittelten Zahlen an regionale Besonderheiten angepasst und spezifische Tabellaria veröffentlicht. An dieser Stelle zugrunde gelegt werden die gemeinsam erarbeiteten und veröffentlichten „Richtlinien für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung“ der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt (LLFG& LVLF& LFBMV 2008).

Das dort empfohlene Dünagesystem stuft die Düngebedürftigkeit der Pflanzenhauptnährstoffe grundsätzlich in 5 Versorgungsstufen des Bodens nach Nährstoffgehalt ein (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Übersicht zur Einstufung in Nährstoffgehaltsklassen für die Versorgung mit Makronährstoffen

Gehaltsklasse	Einschätzung des Nährstoffgehalts	Düngebedürftigkeit
<b>A</b>	Sehr niedrig	Sehr stark
<b>B</b>	Niedrig	Stark
<b>C</b>	Optimal	Mittel
<b>D</b>	Hoch	Schwach
<b>E</b>	Sehr hoch	Keine

Quelle: „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV)“- LLFG, LVLF, LFBMV (Herausg.) 2008

Weiterhin erfolgt eine Einstufung des Bodens nach Bodengruppen, anhand des Tonanteils und des Feinbodenanteils in 5 mineralische Bodenartengruppen, sowie eine Gruppe (BG 6) mit organischen Böden.

Tabelle 8: Übersicht Bodenartengruppen nach VDLUFA

Bodengruppe	Tonanteil % < 0,002mm	Feinanteil % <0,006m m	Bodenartgruppe/ Vorwiegende Bodenart	Sym bol	Bezeichnung
<b>BG1</b>	≤ 5	≤ 7	Sand	S	leicht
<b>BG2</b>	>5-12	>7-16	Schwach lehmiger Sand	l'S	leicht
<b>BG3</b>	>12-17	>16-23	Stark lehmiger Sand	IS	mittel
<b>BG4</b>	>17-25	>23-35	Sandiger bis schluffiger Lehm	sL/uL	mittel
<b>BG5</b>	≤25		Toniger Lehm bis Ton		
	>25-35		Schwach toniger Lehm	t'L	
	>35-45	>35	Toniger Lehm	tL	schwer
	>45-65		Lehmiger Ton	IT	
	>65		Ton	T	
<b>BG6</b>			Anmoor (Böden mit 15 bis 30 % organischer Substanz Moor (Böden mit >30% Humus	Mo	

Quelle: „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV)“- LLFG, LVLF, LFBMV (Herausg.) 2008



Die Einstufung der Bodengruppen ist bundeseinheitlich, die anzuwendende Untersuchungsmethode (beispielsweise DL oder CAL) (s. Kap. 2.3.4) und die sich dadurch ergebenden unterschiedlichen Richt- und Grenzwerten der Gehaltsklassen und auch die Zu-, bzw. Abschläge werden auf Länderebene festgelegt. Die Bundesländer Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg –Vorpommern haben sich auf einheitliche Richtlinien verständigt und zudem die Anwendung der Doppellactat-Methode als Standardverfahren zur Kaliumgehaltsbestimmung in Böden festgelegt.

Versorgungsklasse C entspricht der Optimalversorgung des jeweiligen Bodens. Abhängig von der Bodenartgruppe ergeben sich für die Kaliumversorgung von Grünlandböden Werte für die Optimalversorgung (Klasse C) zwischen 7-11mg K/100mg Boden bei Bodengruppe 1 und 11-17g bei Bodengruppe 5. Dieser Differenz zu Grunde liegen die unterschiedlichen Sorptionseigenschaften der Böden (s. Kap. 2.2.1.). Für Moorböden liegt das Optimum bei 11-15mg Kalium je 100mg Boden. Diese Einstufung der Gehalte erfolgte hier nach der Doppellactat-Methode (vergl. Kap. 2.3.4) (s. Tabelle 9).

Grundsätzlich wird empfohlen nach Pflanzenentzug zu düngen. Für Grünland werden generell Pflanzengehalte von 2,0 kg Kalium je dt geernteter Trockenmasse veranschlagt. Anders als bei Stickstoff erfolgt bei den Grundnährstoffen Kalium und Phosphor keine Differenzierung nach unterschiedlichen Standorten. Um den Entzug zu errechnen muss dann nur eine Multiplikation des Nährstoffgehalts je dt TM mit dem TM-Ertrag erfolgen.

Je nach Gehaltsklasse sollten dann Zu- bzw. Abschläge zu den errechneten, durch die Pflanze entzogenen Nährstoffmengen gemacht werden um den Boden in Optimalversorgung, Klasse C, zu bringen. Dies kann entweder pauschal durch Empfehlung in Kilogramm je Hektar geschehen (s. Tabelle 10) oder in Prozent, ausgehend vom errechneten Entzug (s. nochmal Tabelle 9).

Tabelle 9: Kaliumgehaltsklassen von Grünlandböden in Abhängigkeit von den Bodenartgruppen, nach DL-Methode mit Zu-, bzw. Abschlägen nach Gehaltsklasse in kg/ ha

<b>Bodengruppe</b>	<b>Gehaltsklasse</b>	<b>K (mg/100g Boden)</b>	<b>Zu- oder Abschlag zum Entzug</b>
<b>BG1</b>	A	≤ 2	+50
	B	3-5	+35
	C	6-10	0
	D	11-18	-50
	E	≥ 19	entfällt
<b>BG2</b>	A	≤ 3	+50
	B	4-6	+35
	C	7-11	0
	D	12-22	-50
	E	≥ 23	entfällt
<b>BG3</b>	A	≤ 4	+40
	B	5-7	+25
	C	8-12	0
	D	13-25	-60
	E	≥ 26	Entfällt
<b>BG4</b>	A	≤ 4	+35
	B	5-8	+20
	C	9-15	0
	D	16-28	-70
	E	≥ 29	Entfällt
<b>BG5</b>	A	≤ 4	+35
	B	5-8	+20
	C	9-15	0
	D	16-29	-70
	E	≥ 30	Entfällt
<b>BG6</b>	A	≤ 6	+70
	B	7-10	+50
	C	11-15	0
	D	16-24	-20
	E	≥ 25	entfällt

Quelle: eigene Zusammenstellung nach „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV)“- LLFG, LVLF, LFBMV (Herausg.) 2008

Tabelle 10: Prozentuale zu-, bzw. Abschläge zum Entzug in Abhängigkeit von der Bodengehaltsklasse

Gehaltsklasse	Mineralböden	Moorböden
A	50-100	30-50
B	0-50	0-20
C	0	0
D	-50	-50
E	keine Düngung	keine Düngung

Quelle: Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngverordnung (DüV)- LLFG, LVLF, LFBMV (Herausg.) 2008

Auf grundwasserbeeinflussten Standorten aus ökonomischen Gesichtspunkten nicht in höhere Gehaltsklassen aufzudüngen. Auf diesen Standorten wird eine jährlich Grunddüngung in Höhe des Entzuges dringend angeraten.

Aussagen werden zudem zu den ausreichenden Nährstoffgehalten in im Spross getroffen. So ist bei Wiesen- und Weidegräsern nach dem VDLUFA (2008) zum Zeitpunkt Rispenziehen zum ersten Aufwuchs von 2,20-3,20 % K in der Trockenmasse auszugehen.

### **2.3.3 Kaliumdüngemittel**

Kaliumdünger werden aus Kaliumrohsalzen gewonnen. Diese finden sich als Ablagerung prähistorischer Meere in weiten Teilen der Welt. Große Lagerstätten existieren zum Beispiel in Deutschland, Kanada und auch den USA. Die Kalisalze werden unter Tage abgebaut und dann durch verschiedene Verfahren aufgereinigt. Hier zu nennen sind Heißlöseverfahren nach unterschiedlichen Temperaturen, Flotationsverfahren zur Abtrennung von KCl-Kristallen aus übersättigten Lösungen mithilfe von Schaumstoffschwimmstoffen und elektrostatische (ESTA) Verfahren.

Generell sind Kaliumdünger sehr gut wasserlöslich (SCHUBERT 2006). Die  $K^+$ -Ionen werden nach der Düngung an den Sorptionskomplex gebunden und stehen im Austausch mit der Bodenlösung. Dadurch ist der Einfluss des Düngzeitpunktes grund-

sätzlich als schwächer ertragswirksam zu bewerten als bei anderen Nährstoffen (SCHILLING 2000).

Kaliumdünger werden vor allem nach ihrem Reinheitsgrad unterschieden. Bei den Beimengungen handelt es sich in erster Linie um Natrium- und Magnesiumsalze (SCHUBERT 2006). So erfolgt auch die Auswahl des Düngemittels vor allem nach den begleitenden Anionen. Grundsätzlich sind die chloridhaltigen im Gegensatz zu säureaufgeschlossenen, die kostengünstigeren Düngemittel. Die Chlorid enthaltenden Mittel scheiden jedoch für verschiedene Einsatzgebiete aus. Zu nennen wäre hier die Düngung salzempfindlicher Kulturen wie beispielsweise Mohrrüben oder auch Buschbohnen sowie verschiedene Ziergehölze (SCHILLING 2000). Außerdem scheiden diese Substanzen für die düngende Bewässerung aus. Ersetzt werden sie in erster Linie durch sulfat- bzw. nitrathaltige Mittel. Hier erfolgte zur Herstellung ein Aufschluss durch Schwefel- bzw. Salpetersäure.

Kalium kann sowohl organisch gedüngt werden, wie auch mineralisch, dann entweder über Einzel- aber auch Mehrnährstoffdünger. Weltweiter mineralischer Standarddünger ist hierbei Kaliumchlorid in unterschiedlichen Reinheiten. Zusätzlich finden sich in diesen, wie weiter oben bereits erwähnt, unterschiedlich hohe Anteile von Magnesium-, bzw. Natriumsalzen (s. Tabelle 11). Diese Beimengungen sind für bestimmte Einsatzbestimmungen durchaus erwünscht. So sind sie speziell für die Düngung von Grünland beliebt, da sie sich sowohl auf Geschmack des Futters, wie auch auf Gesundheit der Weidetiere positiv auswirken. Beispielsweise hilft ein erhöhter Anteil an Magnesium der Weidetetanie vorzubeugen. Weiterer Vorteil eines geringeren Reinheitsgrades dieser Kaliumdünger ist der relativ geringere Preis gegenüber solchen mit einem höheren Reinigungsgrad oder aufwändigeren Herstellungs-, bzw. Aufschlussverfahren (SCHILLING 2000).

Bei den Mehrnährstoffdüngern, namentlich den PK-Düngern, handelt es sich meist um Kaliumchlorid mit 60%  $K_2O$  (60er Kali) in Verbindung mit Verschiedenen Phosphaten. So unterscheiden sich die PK-Dünger vor allem durch unterschiedlich aufgeschlossene Phosphatbestandteile, zum Beispiel Superphosphate, Thomasphosphat oder auch einfache Rohphosphate. Zusammenfassend gibt es hinsichtlich Kaliumwirkung und Wirkgeschwindigkeit jedoch keine Unterschiede, die einen minerali-

schen Kaliumdünger für die Grünlanddüngung prädestinieren würden. Einzig über den Einsatz entscheidend bleiben so ökonomische Überlegungen sowie besondere Ansprüche hinsichtlich Beimengungen, beispielsweise mit anderen Nährstoffen.

Tabelle 11: Zusammensetzung mineralischer Kaliumdüngemittel

Handelsname	Formel des K-Salzes	%K / %K <sub>2</sub> O	Nebenbestandteile
Kalirohsalz (Kainit)	KCl	11 / 13	NaCl , MgCl <sub>2</sub>
Kaliumchlorid (40er Kali)	KCl	33 / 40	NaCl
Kaliumchlorid (50er Kali)	KCl	42 / 50	NaCl
Kaliumchlorid (60er Kali)	KCl	50 / 60	NaCl
Kaliumsulfat	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	42 / 50	Schwefel
Kalimagnesiumsulfat (Patentkali)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25 / 30	S, MgO
Kali-Nitrat	KNO <sub>3</sub>	37 / 45	N

Quelle: eigene Zusammenstellung nach SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 2010

Gerade bei der Düngung von Grünland spielen jedoch oft organische Dünger, meist Gülle eine Rolle. Unter Gülle wird definitionsgemäß ein fließfähiges Gemisch aus Kot und Harn verstanden. Zusätzlich finden sich darin Produktionswasser und Futterreste. Die Nährstoffgehalte der Gülle schwanken, wie allgemein bei organischen Düngemitteln, stark in Abhängigkeit von Wassergehalt, Tierart, Vergärungsgrad und Fütterung der Tiere (s. Tabelle 12 und Tabelle 13).

Tabelle 12: Inhaltsstoffe (%) verschiedener Arten der Gülle

	TM-Gehalt	Organische Substanz	N	P	K	Mg
<b>Rindergülle</b>	6,85	4,59	0,27	0,05	0,25	0,05
<i>Feste Komponente</i>	21,3	14,2	0,35	0,14	0,23	0,11
<i>Flüssige Komponente</i>	3,33	2,36	0,24	0,03	0,25	0,04
<b>Schweinegülle</b>	7,73	4,48	0,54	0,23	0,3	0,06
<i>Feste Komponente</i>	29,0	19,91	0,78	0,46	0,28	0,29
<i>Flüssige Komponente</i>	4,69	3,21	0,50	0,06	0,32	0,02

Quelle: eigene Zusammenstellung nach SCHILLING (2000)

Das in der Gülle befindliche Kalium ist ähnlich verfügbar wie Mineraldüngerkalium, und man kann von Mineraldüngeräquivalenten von bis zu 100 ausgehen. Diese hängen wiederum vom Ausbringungszeitpunkt sowie vom Boden ab.

Die Düngung mit Festmist hingegen ist jedoch auf Grünland nicht mehr üblich, da die Einarbeitung hier nicht realisierbar ist. Lediglich im ökologischen Landbau spielt der Einsatz von kompostiertem Festmist zur Düngung von Grünland eine Rolle. Bei der organischen Düngung sind allgemein verschiedene Anwendungsbeschränkungen zu beachten.

Tabelle 13: Nährstoffgehalte verschiedener Wirtschaftsdünger und TS-Gehalte

		TM %	N	P	K
<b>Stallmist</b>	Rind	25	6,1	1,41	10,34
	Schwein	25	7,1	2,35	5,39
<b>Jauche</b>	Rind	2	2,2	0,1	6,5
	Schwein	2	2,5	0,4	3,0
<b>Gülle</b>	Rind	4	1,9	0,33	2,21
	Schwein	4	3,8	1,13	2,1
	Rind	8	3,8	0,66	4,42
	Schwein	8	7,5	2,25	4,2
	Rind	12	5,7	0,99	6,61
	Schwein	12	11,3	3,38	6,3
<b>Stallmistkompost</b>		35	6,8	2,0	7,9

Quelle: eigene Zusammenstellung nach VDLUFA

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Ringversuch der Landesanstalten

Die dieser Arbeit zu Grunde liegende Untersuchung ist ein Ringversuch Landesanstalten für Landwirtschaft der Bundesländer Sachsen- Anhalt, Thüringen, Brandenburg und Sachsen unter Koordinierung des Paulinenauer Arbeitskreises Grünland und Futterwirtschaft e.V.. Es wurden acht Standorte ausgewählt, die möglichst gut regionaltypische Standortverhältnisse widerspiegeln sollen (s. Tabelle 14). Der Ver-

such wurde von 1997 bzw. 1998 (Standort Hayn) angelegt. Den hier vorgenommenen Auswertungen liegen die Versuchsjahre bis 2008 zu Grunde und beziehen sich nur auf die K-Düngung. Untersucht wird der Einfluss einer variierten Kaliumdüngung auf den Ertrag, die Mineralstoffgehalte im Futter und im Boden sowie die Artenzusammensetzung.

Die statistisch verrechneten Versuchsdaten wurden dem Verfasser dankenswerter Weise für die Arbeit zur Verfügung gestellt. Über den Ringversuch haben die Versuchsansteller Veröffentlichungen erarbeitet, aus denen weitere Ergebnisse entnehmbar sind und die wertvolle Hinweise für die Gestaltung der vorliegenden Arbeit geliefert haben (s. SCHUPPENIES et.al.2005, GREINER et.al.2007, SCHUPPENIES & HERTWIG 2008, GREINER et.al. 2010).

Tabelle 14: Übersicht über die Standorte des Ringversuches

<b>Standort</b>	<b>Höhe ü. NN m</b>	<b>Geologische. Herkunft</b>	<b>Bodenart</b>	<b>Niederschläge mm</b>	<b>Jahresmittel °C</b>
<b>Paulinenaue (BRB)</b>	29	Mo IIa		514	9,0
<b>Iden (ST)</b>	18	Al 1	sL	518	8,6
<b>Hayn(ST)</b>	441	V 5	sL	618	6,5
<b>Heßberg (TH)</b>	380	Al 3	L-T	760	7,1
<b>Oberweißbach (TH)</b>	660	V9a 1	uL	842	5,9
<b>Wechmar (TH)</b>	360	V 2	L-T	550	7,9
<b>Christgrün (SN)</b>	430	V 5	sL	722	7,4
<b>Forchheim (SN)</b>	565	V 8	sL	879	6,5

Angelegt wurden die Parzellenversuche als einfache Blockanlage bzw. Lateinisches Quadrat mit vier Varianten in vierfacher Wiederholung. Variiert wurde die Höhe der K-Düngung (s. Tabelle 15).

Tabelle 15: Auf allen Standorten angelegte Düngungsvarianten

<b>Variante</b>	<b>N-Düngung</b>	<b>P-Düngung</b>	<b>K-Düngung</b>
<b>1</b>	Entzug	Entzug	ohne
<b>2</b>	Entzug	Entzug	1,0*Entzug
<b>3</b>	Entzug	Entzug	0,7*Entzug
<b>4</b>	Entzug	Entzug	1,3*Entzug

Am Standort Paulinenaue wurden zusätzlich Varianten ohne N-Düngung angelegt, da es sich dort um einen Niedermoorstandort handelt, auf dem große Mengen Stickstoff durch Mineralisation bereitgestellt werden. Hier entfiel jedoch die Variante mit Stickstoffdüngung und ohne Kaliumdüngung, da diese Variante keine Praxisrelevanz besäße (s. Tabelle 16).

Am Standort Paulinenaue wurden zusätzlich Varianten ohne N-Düngung angelegt, da es sich dort um einen Niedermoorstandort handelt, auf dem große Mengen Stickstoff durch Mineralisation bereitgestellt werden.

Aus langjährigen Untersuchungen wurde für die Berechnung des Entzuges ein Gehalt von 20 g K/kg TM in der Pflanze abgeleitet. Die Errechnung des Entzuges vollzog sich somit nach folgender Formel: Entzug [kg K/ha]= Ertrag [dt TM/ha] x K-Gehalt [g/kg TM] x 0,1.

Der Düngung in den durchgeführten Untersuchungen am Standort Paulinenaue liegt ein erwarteter Ertrag von 65 bzw. 105 dt/ha Trockenmasse zugrunde, der aus langjährigen Versuchsergebnissen auf diesem Standort abgeleitet wurde. Hier entfiel jedoch die Variante mit Stickstoffdüngung und ohne Kaliumdüngung, da diese Variante keine Praxisrelevanz besitzt.

Tabelle 16: Düngungsvarianten Standort Paulinenaue

Variante	N-Düngung	K-Düngung
1	Ohne	0
2	Ohne	1,0* Entzug
3	Ohne	0,7*Entzug
4	Ohne	1,3*Entzug
5	144kg	1,0*Entzug
6	144kg	0,7*Entzug
7	144kg	1,3*Entzug

Die verwendeten Dünger waren Kalkammonsalpeter (Stickstoff), 60er Kali (Kalium) und Triplesuperphosphat (Phosphor). Die Stickstoffgaben lagen auf den mineralischen Standorten zwischen 180 und 200kg N/ha



Die Aufwüchse der Flächen sind gräserbetont. Es erfolgten durchschnittlich 3-4 Schnitte. In Ausnahmen wurden an einzelnen Standorten (s. Standort Iden) bis zu 6 Schnitte durchgeführt. Am Standort Paulinenaue erhielten nur der 1. und 2. Aufwuchs eine N-Gabe.

Die Ermittlung des Trockensubstanzgehaltes erfolgte gravimetrisch. Die Bestimmung des Bodenkaliumberhalts erfolgte nach der DL-Methode, die Ermittlung der Artenzusammensetzung erfolgte nach der Methodik zur Ertragsanteilschätzung nach KLAPP/STÄHLIN (s. 2.1.3).

### **3.2 Modellbetrieb**

Zur Darstellung der erarbeiteten Strategie zur Düngeplanung wurde ein regionaltypischer Modellbetrieb entworfen. Dabei handelt es sich um einen Gemischtbetrieb mit Milchvieh- und Mutterkuhhaltung und Marktfrucht-/ Futterbau.

Es wurde von einer Gesamtfläche von 1000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche ausgegangen, wobei davon 500 ha Grünland sein sollen. Diese Strukturen sind beispielhaft für das Land Brandenburg. Zudem wurden die Betriebszweige Milchvieh- und Mutterkuhhaltung gewählt, an denen sich die Strategien möglichst anschaulich darstellen lassen. Zum einen kann so intensiv bewirtschaftetes Grünland zur Erzeugung eines hochwertigen Grundfutters für die Milcherzeugung und zum anderen extensives Grünland, auf dem typischerweise Futter für Mutterkühe ohne N-Düngung erzeugt wird, betrachtet werden (s. Tabelle 1). Schließlich befinden sich mehr als 50% der Brandenburger Grünlandflächen bereits in Kulturlandschaftsprogrammen (KULAP), bei denen der Einsatz von synthetischem Mineräldüngerstickstoff nicht zulässig ist. (HERTWIG 2005). Spezielle, nicht direkt mit dem Düngungs-, bzw. Nutzungsregime zusammenhängende Richtlinien der KULAP werden bei dieser Simulation nicht berücksichtigt.

Das Grünland befindet sich auf Niedermoor. Auch das ist typisch für Brandenburg, von den 293.000 ha Grünland im Land befinden sich zwei Drittel auf Niedermoor- bzw. Auenböden (HERTWIG 2005).

Tabelle 17: Übersicht Flächenzusammensetzung des Modellbetriebes

Nutzungsart	Ertragsklasse	Gehaltsklasse	Fläche ha	Ertrag dt TM/ha
<b>Ackerland</b>			500	
<b>Grünland</b>			505	
	extensiv	EK II		
		B	125	70
		C	125	70
	intensiv	EK I		
		A	85	90
		B	85	90
		C	85	90
		gesamt:	1005	

Die Grünlandflächen werden ausschließlich mineralisch gedüngt, da angenommen wird, dass die Wirtschaftsdünger zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit auf den Ackerflächen verteilt werden. Eine Düngung des Niedermoorgrünlands damit wäre nicht sinnvoll, da hier die humusmehrende Wirkung verschenkt würde.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Flächen sich auf Grund extensiverer Bewirtschaftung für Kalium in den Gehaltsklassen A, B und maximal C befinden. Auch dies entspricht den regionaltypischen Gegebenheiten. Die Flächen sind den Ertragsklassen I und II zugeordnet (s. Tabelle 18).

Tabelle 18: Übersicht Grünlandertragsklassen und zuordenbare Standorte (EK III nur zum Vergleich)

Ertragsklasse	Standorte
<b>Ertrag dt TM/ha</b>	
I 90 (80...100)	Gute wasseregulierte, homogene Niedermoore, Anmoore und humose Sande bei optimaler Bewirtschaftung (40...60 cm GWS)
II 70 (60...80)	Überwiegend heterogene, stärker reliefierte Niedermoore bis humose Sande, mit wechselnden, jedoch meist befriedigenden Bodenwasserverhältnissen Weniger reliefierte, grundwasserbeeinflusste bis vernässte Auenstandorte Bessere Niedermoorstandorte ohne N-Düngung (extensiv)
III 50 (40...50)	Heterogene, stärker degradierte Niedermoore (60...100 cm GWS) oder schwer regulierbare Niedermoore mit teilweiser Vernässung Heterogene, noch grundwasserbeeinflusste humose, z.T. lehm- und schluffhaltige Sande der Niederungsränder Mäßig grundwasserbeeinflusste Auenstandorte Mittlere bis bessere Niedermoorstandorte der vorherigen Ertragsklasse ohne N-Düngung (extensiv)

(Ministerium für ländliche Entwicklung, 2008)

## 4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### 4.1 Ringversuch am Standort Paulinenaue – Einfluss der Kaliumdüngung auf ...

#### 4.1.1 ... die TM- Erträge

Die Erträge am Standort Paulinenaue schwanken im Mittel der Versuchsjahre 1997 bis 2008 bei den Varianten ohne Stickstoffdüngung aber gleichzeitiger Kaliumdüngung zwischen 74,5 dt TM /ha und 78,8 dt TM /ha, bei den mit Stickstoff gedüngten Prüfgliedern zwischen 110,0 dt TM /ha und 117,8 dt TM /ha (s. Tabelle 19).

Tabelle 19: Übersicht der Prüfglieder am Standort Paulinenaue, mit durchschnittlicher K-, bzw. N-Düngung sowie durchschnittlichen TM-Erträgen

Prüfglied	N kg/ ha	K kg/ ha	Ertrag dt TM/ ha 1997/ 2008
1	0	0	48,8
2	0	130	74,5
3	0	91	74,4
4	0	169	78,8
5	144	210	117,8
6	144	147	110,0
7	144	273	116,3

Die Unterlassung der K-Düngung hat bereits im 5. Versuchsjahr zu signifikanten Mindererträgen geführt (s. Abbildung 3). Ohne Stickstoffdüngung sind zwischen den unterschiedlichen Kaliumdüngungsstufen 1-facher Entzug, 0,7-facher Entzug und 1,3-facher Entzug die Ertragsunterschiede nicht signifikant.

Ähnlich verhält es sich bei den Varianten mit Stickstoffdüngung. Es liegen ebenfalls keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen der mit Höhe des 1-fachen Entzug und der mit 0,7-fachem Entzug gedüngten Variante vor.

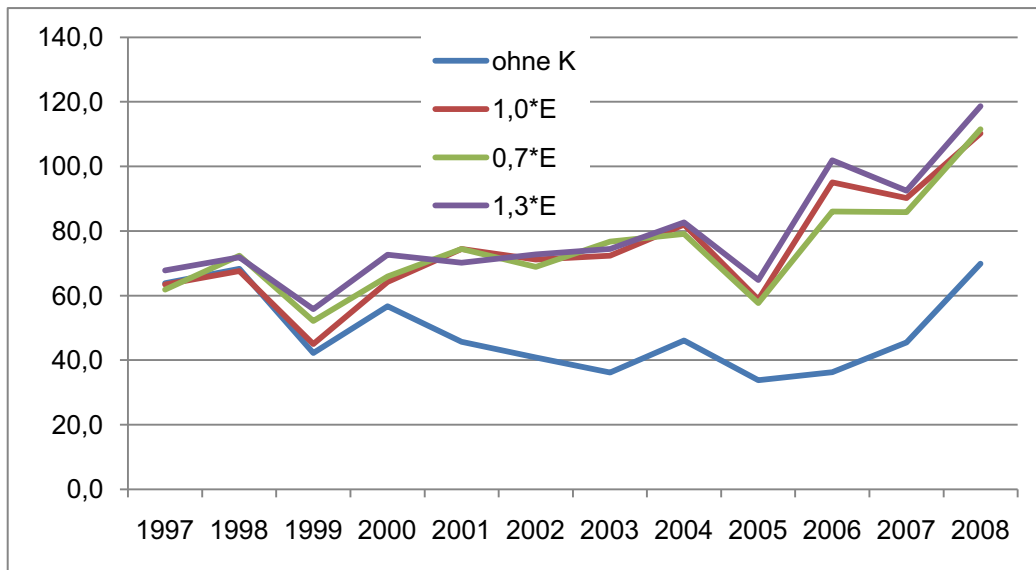


Abbildung 3: Ertragsverlauf (dt TM/ha) ohne N-Düngung bei unterschiedlichen K-Düngungsstufen

Erkennbar ist der tendenziell schwächere Ertrag der 0,7-er Variante (s. Abbildung 4). Diese Tendenz tritt mit Stickstoffdüngung stärker zu Tage als in den Prüfgliedern, bei denen diese unterlassen wurde (s. Abbildung 5).

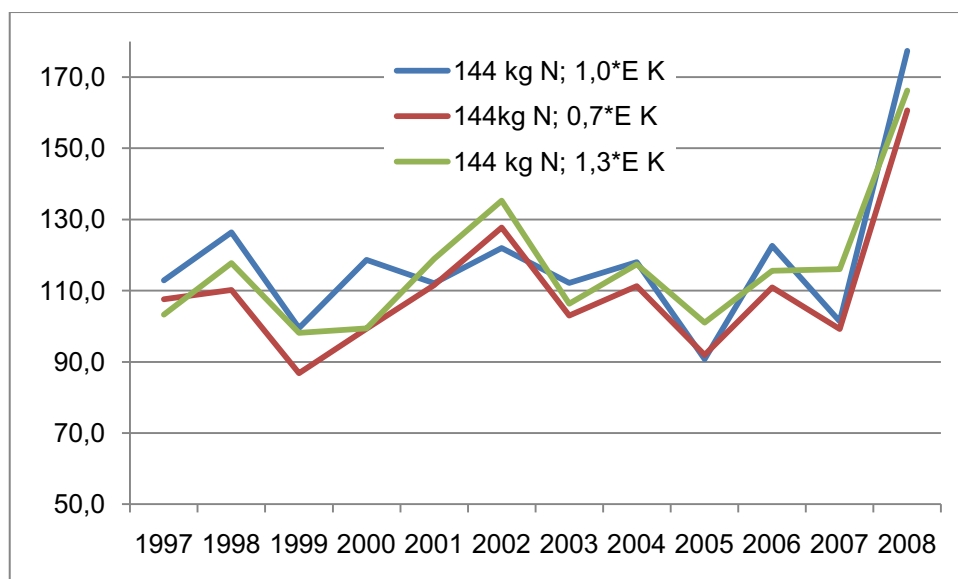


Abbildung 4: Ertragsverlauf (dt TM/ha) mit N-Düngung bei unterschiedlichen K-Düngungsstufen

Generell liegen die Erträge der mit Stickstoff gedüngten Varianten über denen der nicht mit Stickstoff versorgten (s. Abbildung 5). Die Jahreserträge zwischen den Prüfgliedern mit unterschiedlicher Stickstoffdüngung zeigen aber tendenziell einen ähnlichen Verlauf.

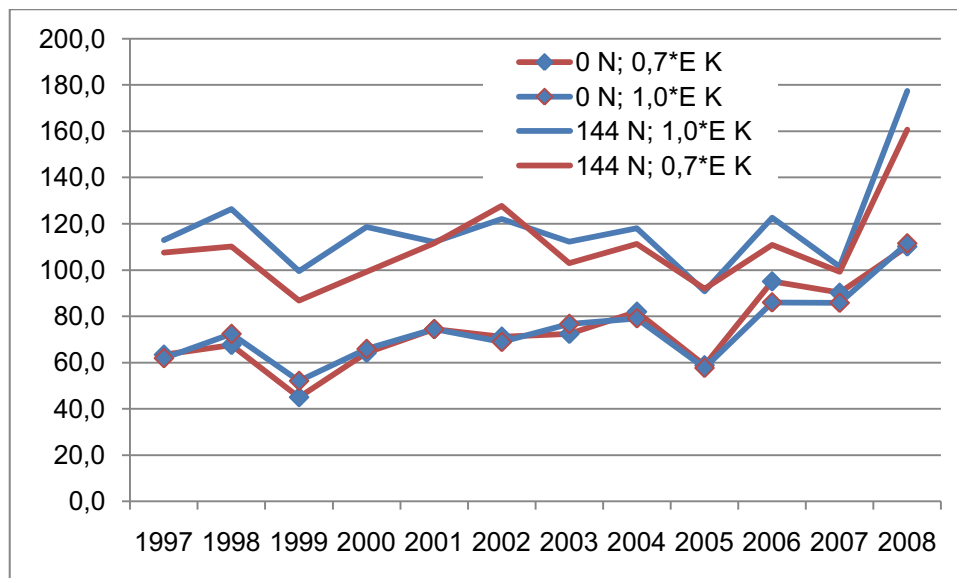


Abbildung 5: Ertragsverläufe (dt/ha) mit und ohne N-Düngung bei unterschiedlichen K-Düngungsstufen

Die Höhe der Trockenmasseerträge bleibt, über die Versuchsjahre relativ beständig. Das gilt sowohl für die nach Entzug als auch suboptimal gedüngten Variante.

#### 4.1.2 ... die Kaliumgehalte in den Aufwüchsen

Die Pflanzengehalte an Kalium sind tendenziell bei den mit Stickstoff gedüngten Varianten höher. Die Gehalte nehmen bei gleicher Stickstoffdüngung mit steigender Kaliumdüngung zu. Die Kaliumgehalte der einzelnen Aufwüchse sinken bei den gedüngten Varianten tendenziell mit steigender Aufwuchsnummer. Nur in Ausnahmefällen besitzt ein Folgeaufwuchs höhere Gehalte als der vorherige. Diese Beziehung tritt dann auch nur zwischen den Aufwüchsen 2 und 3 auf. Weiterhin tritt ab dem zweiten Versuchsjahr in der mit Stickstoff und Kalium ungedüngten Variante stets Kaliummangel auf (s. Abbildung 6). Außerdem sinken hier die Kaliumgehalte auch nicht mit steigender Aufwuchsnummer. Bis auf vier Jahre wies dort der zweite Aufwuchs die geringsten Gehalte auf. Der dritte Aufwuchs näherte sich dann wieder den Werten des ersten Aufwuchses an und übertraf diese sogar in einem Jahr.

Im letzten Versuchsjahr gehen sämtliche nicht mit Stickstoff gedüngten Varianten,

bis auf die mit 1,3-fachem Entzug mit Kalium gedüngte Variante im 3. Aufwuchs in Mangel. Ebenso die Variante mit Stickstoffdüngung und 0,7-facher Entzugsdüngung. Im ersten Aufwuchs trat hier zudem eine leichte Unterversorgung ein. Bis auf diese Ausnahmen zeigte nur die Variante mit 0,7-facher Kaliumdüngung und Stickstoffdüngung in zwei weiteren Aufwüchsen Gehalte die auf Kaliummangel hindeuten. Die geringen Gehalte im Jahr 2008 sind auffällig. Grund hierfür könnten die sehr hohe TM-Erträge in diesem Jahr sein, die einen Verdünnungseffekt, also eine Verringerung des anteiligen Kaliums in der Pflanzentrockenmasse hervorrufen.

Zudem zeigen die mit 1,3-fachem Entzug gedüngten Varianten einen Hang zur Überversorgung mit Kalium. So war bei der zusätzlich noch mit Stickstoff gedüngten Variante im ersten Aufwuchs in 50% der Fälle Kaliumüberversorgung angezeigt, in drei davon ist von sogar von Luxuskonsum zu sprechen. Im zweiten Aufwuchs lagen rund 42 % der Werte im Bereich des Luxuskonsums. Hier trat auch bei der 1,3-fach gedüngten Variante ohne Stickstoffdüngung in einem Drittel der Fälle Luxuskonsum auf. Bei der zusätzlich mit Stickstoff versorgten Variante gab es sogar im dritten Aufwuchs noch in 3 von zwölf Jahren Luxuskonsum. Alle anderen in diese Versorgungsstufe einzuordnenden Ergebnisse fanden sich nur vereinzelt und dann im 1. Versuchsjahr

Entstandene Schwankungen können durch eine unterschiedlich vorangeschrittene Entwicklung zum Erntezeitpunkt zwischen den Jahren begründet sein. Beispielsweise wurde im nassen Jahr 2007 der zweite Aufwuchs witterungsbedingt erst sehr spät geerntet. Die Ernte des dritten Aufwuchses musste ganz unterbleiben. Die Kaliumgehalte befanden sich dadurch auf einem auffallend niedrigen Niveau.

Aufwuchs	N kg/ha	K	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
1	0	ohne	20,6	9,1	9,5	8,7	9,3	9,7	7,9	7,7	8,9	8,4	5,7	9,1	
	0	1,0*E	28,9	24,8	28,8	25,5	24,2	20,7	24,8	25,5	22,4	24,0	14,8	15,9	
	0	0,7*E	25,4	20,4	24,7	24,1	19,7	19,9	20,6	20,8	19,5	18,9	15,3	13,8	
	0	1,3*E	30,3	29,0	27,8	30,2	25,1	23,2	28,0	29,3	29,3	24,8	17,2	17,7	
	80	1,0*E	32,3	28,1	27,9	28,3	24,6	29,3	29,6	29,8	29,4	26,0	19,5	20,4	
	80	0,7*E	29,4	23,5	23,3	23,5	20,3	23,3	23,3	25,1	18,2	22,9	24,8	18,9	15,2
	80	1,3*E	35,2	31,6	32,9	37,8	28,4	27,7	34,0	23,0	23,0	35,3	28,8	24,1	22,5
	2	0	ohne	16,9	11,5	6,1	6,1	7,0	6,5	6,4	6,1	6,6	6,2	10,8	6,2
		0	1,0*E	25,8	23,8	22,6	20,3	19,5	22,1	18,0	18,6	22,6	19,0	15,2	16,8
		0	0,7*E	21,2	17,7	17,9	15,1	17,7	15,9	13,2	13,1	15,7	15,3	12,3	12,4
0		1,3*E	23,7	26,4	27,3	21,2	24,8	23,3	23,7	24,3	25,5	23,7	16,4	21,9	
70		1,0*E	26,5	22,0	21,7	20,2	19,4	18,4	18,3	18,9	16,8	21,4	16,7	17,9	
70		0,7*E	14,7	17,7	15,2	13,5	15,1	12,4	12,7	14,3	12,2	16,5	11,8	12,1	
70		1,3*E	24,5	25,8	23,4	24,4	24,9	20,6	15,5	25,1	18,0	25,0	17,4	21,6	
3	0	ohne	15,8	7,8	7,2	8,6	8,0	7,6	9,6	5,3	8,5	8,4	nicht beerntet	5,8	
	0	1,0*E	16,0	15,1	20,2	20,8	14,3	17,7	18,5	20,0	17,0	16,5	16,5	11,0	
	0	0,7*E	13,6	11,5	15,5	16,6	12,1	12,5	12,3	13,7	11,9	12,3	12,3	8,6	
	0	1,3*E	19,3	18,0	21,3	24,0	16,1	22,5	21,9	26,4	23,6	19,9	19,9	17,0	
	0	1,0*E	20,3	13,3	17,8	20,4	13,9	15,0	18,9	18,5	20,5	20,8	20,8	14,4	
	0	0,7*E	11,6	11,5	14,4	16,1	13,3	9,5	13,1	16,1	15,7	11,6	11,6	9,3	
	0	1,3*E	18,6	15,5	20,1	26,7	18,0	17,7	19,3	24,0	24,9	26,7	26,7	17,8	



Abbildung 6: Darstellung der Pflanzengehalte in (g/kg TM) in Abhängigkeit von der Aufwuchsnummer bei unterschiedlichen N- und K-Düngungsstufen

### 4.1.3 ... die Kaliumbilanz

Die Kaliumbilanz ist in allen Varianten negativ ausgefallen. Auf allen Flächen wurde also durch die Ernte mehr Kalium entzogen als durch Düngung zugeführt wurde (s. Tabelle 20). Die Werte der nicht mit Stickstoff gedüngten Prüfglieder lagen jeweils unter denen der jeweils gleichen Kaliumdüngungsstufe mit Stickstoffdüngung.

Tabelle 20: Ergebnisse Ringversuch Standort Paulinenaue- gewogenes Mittel über alle Jahre

N kg/ha	K Stufe	1997/08 TM dt/ha	Mittlerer Gehalt - g/kg TS		Entzug - kg/ha		Düngung-Entzug	
			N	K	N	K	N	K
0	Ohne K	48,8	24,3	9,0	118,5	43,7	-118,5	- 43,7
0	1,0*E	74,5	20,5	19,7	152,6	146,7	-152,6	- 16,7
0	0,7*E	74,4	21,0	16,0	156,4	118,7	-156,4	- 27,7
0	1,3*E	78,8	20,6	22,9	162,2	180,7	-162,2	- 11,7
144	1,0*E	117,8	20,4	22,3	239,9	262,8	- 95,7	- 52,8
144	0,7*E	110,0	21,8	17,2	239,8	189,6	- 95,6	- 42,6
144	1,3*E	116,3	21,9	25,3	254,6	293,9	-110,4	- 20,9

Die größte Differenz lag durchschnittlich bei der Variante mit Stickstoffdüngung sowie 1,0-facher Entzugsdüngung (-52,8 kg) gefolgt von der Variante ohne K-Düngung und ohne N-Düngung (-43,7 kg). Die geringste Differenz zeigen durchschnittlich die Varianten mit erhöhter Entzugsdüngung (1,3\*E).

### 4.1.4 ... die Kaliumgehalte im Boden

In der Variante ohne K- und N-Düngung betrug der Kaliumgehalt zu Versuchsbeginn 19,9 mg/ 100g und lag damit in der Gehaltsklasse D. Innerhalb von drei Jahren sank der K-Gehalt in die Klasse B ab. Die Abnahme des K-Gehaltes im Boden über die Versuchsjahre betrug jährlich 0,79 mg/100 g Boden. Durch das relativ hohe Bestimmtheitsmaß 0,66 ist dieses Ergebnis gut gesichert (s. Tabelle 21). Dass bedeutet, dass auf Niedermoor ohne K-Düngung der pflanzenverfügbare Kaliumvorrat sehr schnell abgeschöpft wird. In dem hier dargestellten Versuch haben sich nachfolgend



die Bodengehaltswerte auf einem verhältnismäßig gleichmäßigen Niveau in der Gehaltsklasse B eingestellt (s. Abbildung 7).

Zu Versuchsbeginn befanden sich die Kaliumgehalte bei den Varianten ohne Stickstoffdüngung bei 10,7 mg/ 100g Boden (Gehaltsklasse C). Bei den Varianten mit Stickstoffdüngung befanden sich 8,7 mg K in 100g Boden (Gehaltsklasse B). Die Ergebnisverläufe in den Varianten mit und ohne N-Düngung sind ähnlich, unterscheiden sich aber an einigen Stellen. Stellt man den Verlauf der Boden-K-Gehalte über den Versuchszeitraum dar, so ergeben sich insgesamt geringe bis unbedeutende Bestimmtheitsmaße für die positiven oder negativen Veränderungen in allen K-gedüngten Varianten. Dies weist darauf hin, dass die Bodengehalte nur eine eher unsichere Aussage über die Düngungsmaßnahmen zulassen.

Unabhängig von der N-Düngung liegen die Bodengehalte bei der Düngungsstufe 0,7\*E stets auf dem niedrigsten Niveau. Die Werte der 1,3-fachen Düngungsstufe liegen im Mittel der Jahre über denen der anderen Varianten, weisen aber auch die stärksten Schwankungen auf. Hinsichtlich ihres Betrages und der Schwankungen über die Jahre ordnet sich die Variante 1,0\*E zwischen den Varianten 0,7\*E und 1,3\*E ein (s. Tabelle 21, Abbildung 7)

Tabelle 21: Regressionskoeffizienten und Bestimmtheitsmaße für den Verlauf der Boden-Kaliumgehalte über den Versuchszeitraum

Varianten		Mittlerer K-Gehalt mg/ 100 g Boden	Regression Jahre/K im Boden	
kg N	K-Stufe		Bestimmtheitsmaß	Regressionskoeffizient
0	ohne K	9,4	0,66	-0,79
0	1,0*E	12,8	0,24	-0,46
0	0,7*E	9,3	0,21	-0,31
0	1,3*E	17,6	0,15	0,72
150	1,0*E	10,0	0,01	0,05
150	0,7*E	6,7	0,21	-0,20
150	1,3*E	13,3	0,07	0,34

Die Variante mit 0,7\*E mit Stickstoffdüngung befindet sich während der gesamten Versuchszeit in den Gehaltsklassen A und B (s. Abbildung 7).

Zum Ende des Versuchszeitraumes befinden sich die Werte ständig in Gehaltsklasse A. Bei der Variante 0,7\*E ohne Stickstoffdüngung bleiben die Werte tendenziell auf einem höheren Niveau. Sie liegen mit Ausnahme von drei Jahren mit höheren Gehalten zu Beginn des Versuchszeitraumes (zweimal in Klasse C, einmal in Klasse D) ständig in Klasse B. Die Klasse A wird nicht erreicht.

N	K	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
mit	1,3*E	8,7	8,9	6,3	17,5	22,1	11,2	9,7	20,2	17,4	11,5	11,7	9,6	18,0
	1,0*E	8,7	10,3	5,4	10,0	12,2	12,8	8,5	11,0	10,4	14,0	11,5	8,7	6,5
	0,7*E	8,7	8,1	4,9	9,3	7,8	6,0	4,3	8,5	5,8	4,6	6,2	6,2	6,1
ohne	1,3*E	10,7	13,6	9,0	14,7	25,8	12,4	17,7	30,1	23,7	22,5	8,5	14,7	26,0
	1,0*E	10,7	12,0	15,5	19,7	16,9	11,6	14,8	15,9	13,9	9,2	7,8	7,8	11,0
	0,7*E	10,7	8,2	8,1	13,2	15,9	8,3	9,1	9,3	9,2	7,3	6,7	7,0	8,3
ohne	ohne	19,9	12,6	11,4	10,3	10,0	8,1	6,8	8,6	7,7	6,7	5,7	6,9	7,0
A	<6													
B	(7-10)													
C	(11-15)													
D	(16-24)													
E	>25													

Abbildung 7: K-Gehalte (mg/100 g) in den Bodengehaltsklassen A bis E mit und ohne N-Düngung(144 kg/ha) bei unterschiedlichen K-Düngungsstufen

Auch bei den Variante 1,0\*E, schwanken die Bodenwerte. Bei der mit Stickstoff gedüngten Variante befinden sich die Werte fünf Jahre in Klasse C und sieben Jahre in Klasse B, sowie ein Jahr in Klasse A. Ohne Stickstoffdüngung lagen die Gehalte drei Jahre in Klasse B, sechs Jahre in C und vier Jahre in D.

Ohne Stickstoffdüngung erreicht die Variante 1,3\*E in jeweils drei Jahren die Gehaltsklasse D bzw. E. In drei Jahren fielen die Gehalte in die Klasse B ab. In den restlichen Jahren wurde die Klasse C erreicht. Mit N-Düngung wiesen fünf Jahre die Gehaltsklasse D, vier Jahre die Gehaltsklasse B und drei Jahre die Gehaltsklasse C auf. Während die Klasse E nicht erreicht wurde, fielen die Gehalte in einem Jahr jedoch in die Gehaltsklasse A ab. Vom Jahr 2000 zu 2001 schwankten die Gehalte sogar um zwei Klassen, zwischen E und C.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Variante 0,7\*E ohne N-Düngung relativ stabil die zu Versuchsbeginn vorliegende Gehaltsklasse B hält, während mit N-

Düngung die Gefahr besteht, dass die K-Gehalte nach längerer Anwendung dieser Düngungsvariante in die Klasse A fallen. Bereits die entzugsorientierte Variante 1,0\*E bewirkt in vielen Jahren eine Aufdüngung in eine höhere Gehaltsklasse, besonders ohne N-Düngung. Die Aufdüngungsvariante 1,3\*E reagiert einerseits z.T. mit starkem Anstieg bis in die Gehaltsklasse D, andererseits auch wieder mit starkem Abfall, so dass ihre Wirkung kaum gerichtet ist.

Mit diesen Ergebnissen wird deutlich, dass die an Gehaltsklassen orientierte Düngung nicht zu brauchbaren Wirkungen führt. Demgegenüber erscheint eine entzugsorientierte K-Düngung (1,0\*E) in jedem Fall ausreichend. Auch die Düngung gemäß Variante 0,7\*E verhindert auf Niedermoor bei extensiver Bewirtschaftung (ohne N) nachhaltig und bei intensiver Bewirtschaftung über mehrere Jahre den Rückgang der K-Gehalte im Boden.

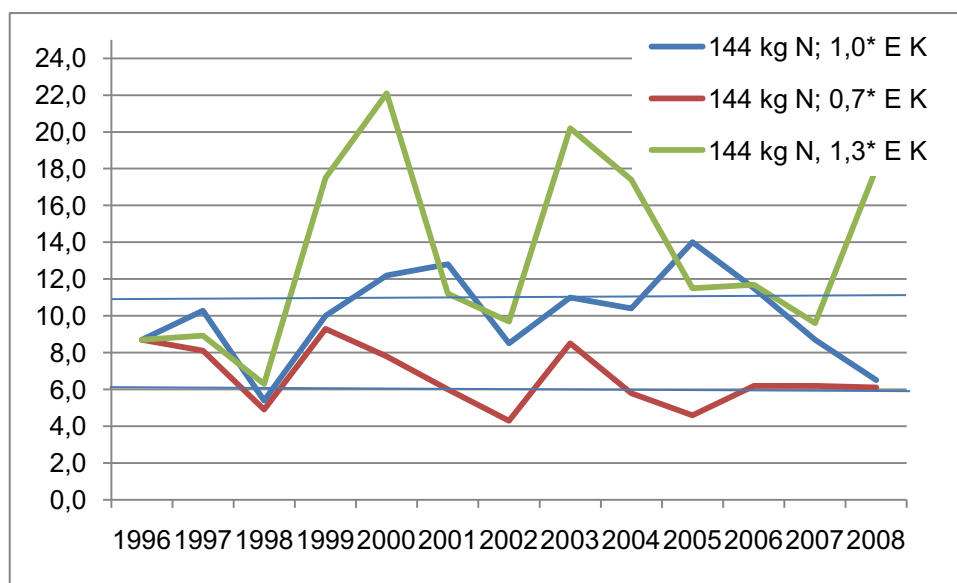


Abbildung 8: Gehalte in mg Kalium / 100 g Boden für verschiedene K-Düngungsstufen mit N-Düngung

#### 4.1.5 ... die Zusammensetzung der Grünlandnarbe

Der Hauptertragsbildner war zu Versuchsbeginn die Wiesenrispe. Die Ertragsanteile der Wiesenrispe nehmen bei der Variante ohne Stickstoffdüngung bei fehlender Kaliumdüngung von Jahr zu Jahr zu. Nach 2002 ist ein Abfall der Anteile erkennbar. Dieser ist mit einer Nachsaat mit Wiesenschweidel und Deutschem Weidelgras zu erklären, die 2001 stattfand. Danach ist dann aber auch der stetige Wiederanstieg der Ertragsanteile in diesem Prüfglied zu beobachten. Die Wiesenrispe zeichnet also bei einem mit Kalium unterversorgten Bestand durch Zunahme der Ertragsanteile (s. Abbildung 9)

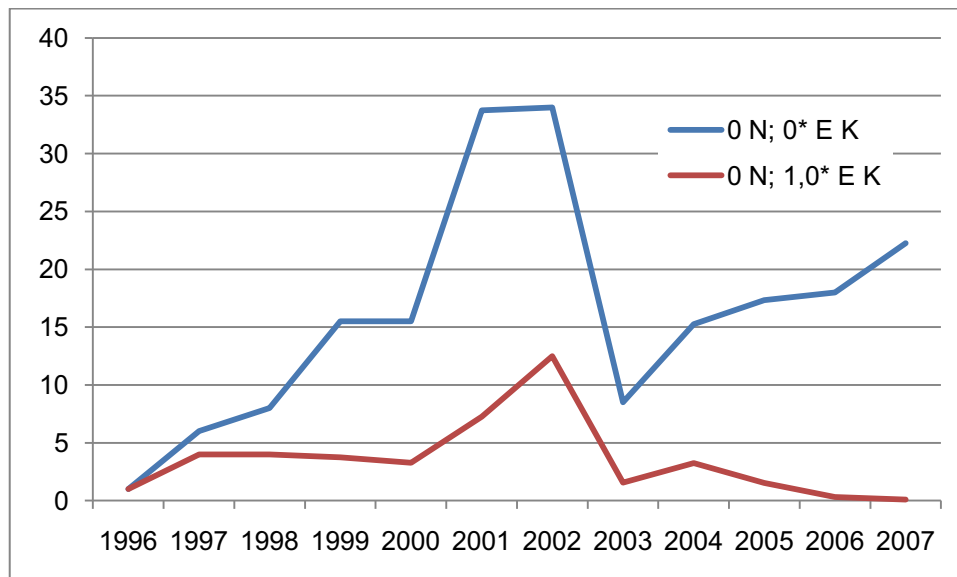


Abbildung 9: Ertragsanteile (%) der Wiesenrispe im 1. Aufwuchs ohne N-Düngung bei verschiedenen K-Düngungsstufen

Die Quecke dominiert zumindest bis zur Nachsaat 2002 den 2. Und 3. Aufwuchs. Nach der Nachsaat schwinden dann die Ertragsanteile wieder. Relativ starke Ertragsanteile, vor allem im ersten Aufwuchs mit bis zu 30% besitzt das Wiesenlieschgras. Tendenziell sinken die Ertragsanteile ohne Kaliumdüngung über den Versuchszeitraum. Dies macht sich vor allem in den Prüfgliedern ohne Stickstoffversorgung bemerkbar (s. Abbildung 10). Weiterhin vertreten ist, zumindest nach der erwähnten Nachsaat, das Deutsche Weidelgras. Die Ertragsanteile schwanken jedoch und sind vor allem im ersten Aufwuchs niedrig. Die höchsten Anteile finden sich bei der Variante ohne Stickstoff- und ohne Kaliumdüngung.

Ansonsten konnte nur noch der Löwenzahn bonitiert werden. Dessen Anteile waren jedoch nur zu Beginn des Versuchszeitraumes und in Einzeljahren wesentlich (>15 %), dann nur in den Varianten ohne Stickstoffdüngung.

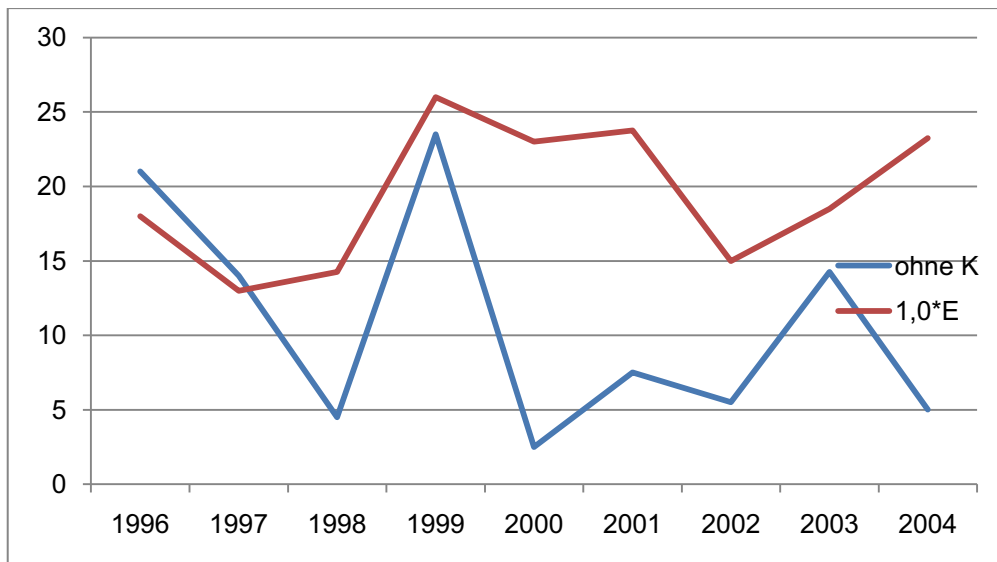


Abbildung 10: Ertragsanteile (%) des Wiesenlieschgrases im 1. Aufwuchs ohne N-Düngung bei unterschiedlichen K-Düngungsstufen

## **4.2 Vorschlag für eine entzugsorientierte Kalium-Düngestrategie**

Die Düngestrategie für den Nährstoff Kalium soll den Gegebenheiten des nordostdeutschen Niedermoorgrünlandes angepasst und für den Praktiker auch durchführbar sein. Ziel der hier vorgestellten Strategie soll es sein, einerseits die Düngerkosten zu reduzieren. Andererseits soll dieses sich nicht negativ auf Qualität und Erträge auswirken. Ein Aspekt, der nicht vernachlässigt werden darf, ist die Durchführbarkeit im praktischen Futterbaubetrieb.

Vorrangig geht es um die Bemessung der auszubringenden Nährstoffmenge. An der Richtigkeit der offiziellen Empfehlungen zur Düngung nach Bodengehaltsklassen scheinen vor dem Hintergrund der oben vorgestellten Versuchsergebnisse, zumindest für mit dem Versuchsstandort Paulinenaue vergleichbare Standorte, aus öko-

nomischer Sicht Zweifel angebracht. Es lassen sich keine anderen Gründe erkennen, die ein Festhalten an der an den Bodengehalten orientierten Strategie zwingend notwendig machen.

Die Ergebnisse zeigen, dass es ökonomisch nicht sinnvoll ist, immer den vollen Pflanzenentzug zu düngen. Viel mehr gab es im Versuch am Standort Paulinenaue keine Unterschiede im Ertrag zwischen Ersatz des vollen Entzuges und der suboptimalen Variante mit dem Faktor 0,7. Die Düngung mit dem 1,3-fachen Entzug scheidet für die praktische Anwendung aus. Die Mehrerträge waren in den seltensten Fällen signifikant überlegen und rechtfertigen somit diesen Mehraufwand nicht.

Ebenso ist eine Anpassung der Düngung nach Bodengehaltsklassen wie es die offizielle Empfehlung vorsieht, nicht immer sinnvoll (vergl. TAUBE & KORNER 2008 sowie TAUBE et. al 2000). Die Kaliumgehalte der Böden schwankten sehr stark und lassen keinen Bezug zur Höhe der K-Düngung erkennen. Hiernach zu arbeiten erscheint daher nicht optimal. Die Gehalte der Varianten befanden sich oft in den Gehaltsklassen B und sogar A. Nach den Empfehlungen der VDLUFA hätte bei der Düngung in diesen Fällen ein Zuschlag zum Entzug gedüngt werden sollen (s. Tabelle 22). Positive Auswirkungen auf den Ertrag, sowie auf den Boden wären nach den hier dargestellten Ergebnissen dadurch jedoch nicht zu erwarten gewesen. Eine erhöhte Düngung über den Pflanzenentzug hinaus, führt zu erhöhten Kaliumgehalten in den einzelnen Aufwüchsen bis hin zum Luxuskonsum, auch wenn sich der Boden in den Gehaltsklassen A und B befindet.

Tabelle 22: Variable Zu- und Abschläge in Prozent zum Pflanzenentzug, für die Düngung in Abhängigkeit von der Bodengehaltsklasse für Kalium (n. VDLUFA)

<b>Gehaltsklasse</b>	<b>Mineralböden</b>	<b>Moorböden</b>
<b>A</b>	50-100	30-50
<b>B</b>	0-50	0-20
<b>C</b>	0	0
<b>D</b>	-50	-50
<b>E</b>	keine Düngung	keine Düngung

Besser wäre es, den Entzug reduziert zu ersetzen und an Hand einiger Indikatoren jahresweise flexibel über die Höhe der Düngung zu entscheiden. Im Versuch wurde

der Faktor 0,7 gewählt, da dieser etwa der offiziellen Düngungsempfehlung für Böden in der Gehaltsklasse D entspricht. Im praktischen Betrieb kann dieser Wert auch noch weiterhin korrigiert werden. Hier sollten verschiedene Indikatoren mit in die Überlegungen zur Höhe der geplanten Kaliumdüngung eingehen. Diese Indikatoren sollen nun im Folgenden erläutert werden.

#### **4.2.1 Zeigerpflanzen als Indikator für die Kaliumversorgung**

Wie nachgewiesen steigen die Ertragsanteile der Wiesenrispe bei ungenügender Kaliumdüngung und können so als Parameter zur Einschätzung der Düngebedürftigkeit dienen. Das Ansteigen der Ertragsanteile ist auch bei der natürlichen Bestandsentwicklung von Niedermoorgrünland auf Grund der besseren Adaption der Wiesenrispe an die Bedingungen im Vergleich zu konkurrierenden Gräsern, wie beispielsweise dem Deutschen Weidelgras, zu beobachten (s. Kap. 2.1.2). Bei unterlassener Kaliumdüngung steigen die Ertragsanteile jedoch auffallend stark an. Ebenfalls wird am gleichen Standort von einer starken Zunahme der Queckenanteile berichtet (HERTWIG 2003) Die Ergebnisse lassen zudem erkennen, dass die Anteile anderer, wertvoller Gräser, wie beispielsweise des Wiesenlieschgrases, abnehmen. Das Gesamtbild, diese Abnahme in Zusammenhang mit der Zunahme der Wiesenrispe stünden für eine Kaliumunterversorgung und sollten dann Veranlassung sein, die Düngung wie beschrieben zu erhöhen. Die Entwicklungen am Standort Paulinenaue stehen jedoch nur exemplarisch für Flächen mit vergleichbarer Artenzusammensetzung. Auf anderen Flächen können auch andere Arten an die Stelle der hier erwähnten treten (s. Kap. 4.6).

#### **4.2.2 K-Pflanzengehalte als Indikator für die Kaliumversorgung**

Die Kaliumgehalte im Erntegut zeigen die Versorgungslage des Grünlandbestandes an. Nach dem oben beschriebenen Versuch wurden Versorgungsstufen von Mangel bis hin zu Luxuskonsum errechnet. Ist ersichtlich, dass die Gehalte in den Bereich der Unterversorgung oder in Mangel geraten, ist dies das beste Anzeichen für eine zu geringe Kaliumdüngung.

Tab. 23: Einstufung der Kaliumgehalte in Versorgungsstufen am Standort Paulinenaue in g/kg TM

	<b>1. Aufwuchs</b>	<b>Folgeaufwüchse</b>
	g/kg TM	g/kg TM
<b>Mangel</b>	≤ 13	≤ 11
<b>Optimum</b>	17-31	12-24
<b>Luxus</b>	≥ 35	≥ 25

Quelle: GREINER et al. 2007

Betrachtet man beide Indikatoren gemeinsam, lässt sich gut der Versorgungszustand des Bestandes einschätzen (vergl. auch hier TAUBE & KORNER 2008) und die Düngung entsprechend anpassen: gibt es Anzeichen für Unterversorgung oder Mangel ist die Höhe der Düngung jahresweise auf den 1,0-fachen Entzug zu steigern. Nach Untersuchungen von PICKERT, J. & SCHUPPENIES (2003) am gleichen Standort kann davon ausgegangen werden, dass die Werte im nächsten Jahr wieder in Optimalbereich liegen (s. Abbildung. 11). Eine zu starke Erhöhung würde hier wiederum zu Luxuskonsum führen, wie die Werte der 1,3-fach gedüngten Variante zeigen. Dieser Mehraufwand wäre aus ökonomischer Sicht also nicht gerechtfertigt und aus Sicht der Tierernährung auf Grund der antagonistischen Wirkungen des Kaliums zu anderen Nährstoffen sogar schädlich (s. Kap. 3.2.3). Der eben erwähnte Versuch zeigt zudem, wie schnell die Pflanzengehalte auf die Düngung reagieren: innerhalb eines Jahres normalisieren sich die Werte eines zuvor über mehrere Jahre ausgehagerten Bestandes weitestgehend. Den Ertragsverläufen gegenübergestellt zeigt sich dort die Genauigkeit der hier beschriebenen Methode (s. Abbildung. 11).



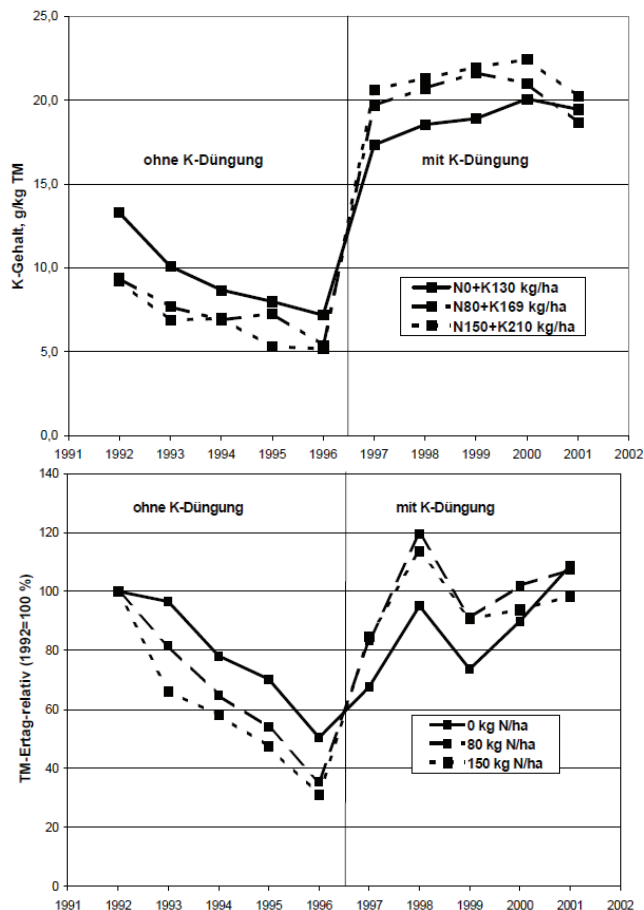


Abbildung. 11: Vergleich von Wiederanstieg der Erträge und der Kaliumgehalte i.d.TM nach Wiederaufnahme der Kaliumdüngung nach vorherigem Unterlassen der Kaliumdüngung (PICKERT, J: & SCHUPPENIES 2003)

Innerbetrieblich sollte jedoch zwischen unterschiedlich gedüngten Flächen unterschieden werden. Namentlich die nicht mit und ohne Stickstoff gedüngten, unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Pflanzengehalte von den mit N versorgten. Auf Grund des bei Stickstoffdüngung im ersten Aufwuchs höheren Ertrages ändern sich auch die Gehalte an Kalium. Bis zu den Folgeaufwüchsen wird durch den Boden genug Stickstoff freigesetzt, so dass diese sich wieder den Werten der mit Stickstoff gedüngten angleichen (s. Abbildung 12). Folglich sollten die Minimalwerte für die Optimalversorgung im ersten Aufwuchs bei extensiver Bewirtschaftung ohne Stickstoffdüngung angepasst werden.

Prüfglied	N-Düngung Ø kg/ha	K-Düngung	1.Aufwuchs g K/kg TM	2.Aufwuchs g K/kg TM	3.Aufwuchs g K/kg TM
1	0	0	9,55	8,03	8,42
2	0	1,0*E	23,36	20,35	17,01
3	0	0,7*E	20,26	15,63	12,81
4	0	1,3*E	26,00	23,53	20,90
5	144	1,0*E	27,09	19,86	17,62
6	144	0,7*E	22,36	14,01	12,93
7	144	1,3*E	30,56	22,73	20,84

Abbildung 12: Kaliumpflanzengehalte in Abhängigkeit von K- und N-Düngung sowie Aufwuchsnummer ; gleiche K-Düngungsstufen mit gleicher Farbe

#### 4.2.3 Monitoringflächen zur Kaliumversorgung

Der VDLUFA (2006) schlägt für ein Düngemanagement bei Dauerkulturen Monitoringflächen vor. Die für Dauerkulturen notwendige längerfristige Planung lässt sich sicherlich in gewissem Maße mit den Notwendigkeiten jener für die Grünlandflächen vergleichen. Diese Monitoringflächen sind repräsentativ ausgewählte, fixe Testflächen, auf denen die Auswirkung der Düngung über einen längeren Zeitpunkt verfolgt werden kann. Im hier erläuterten Fall könnte der Bewirtschafter auf diese Weise genau Bestandsveränderungen nachvollziehen, die durch die Düngung entstanden sind. Auf diesen Flächen werden die regelmäßigen Ertragsanteilsschätzungen durchgeführt und ebenso sollte versucht werden, auch die Proben für die Pflanzenanalyse von diesen Flächen zu gewinnen. Eventuell anfallende Bodenbeprobungen können ebenfalls dort durchgeführt werden. So können trotz der typischen Heterogenität der Niedermoorflächen jährlich aussagekräftige Daten gewonnen werden.

Wird eine weitere Absicherung des Verfahrens angestrebt, können die Monitoringflächen durch angrenzende Düngefenster (FINCK 1991) ergänzt werden. Hierzu wird unmittelbar angrenzend an die Monitoringfläche reduziert bzw. gegenüber der Restfläche erhöht gedüngt. Als Vergleichsvarianten zur Düngung mit 0,7\*E eigneten sich 0,5\*E und 1,0\*E. In der Folge kann im Vergleich mit den Düngefenstern überprüft werden ob die Höhe der Gabe optimal bemessen wurde. Ist trotz verringerter Düngung kein Unterschied zur Restfläche erkennbar, ist die Höhe der Düngegabe korrekt bemessen. Weist die höher gedüngte Fläche einen besser entwickelten Pflanzenbestand als die Restfläche auf, besteht Anlass zu einer Anpassung der Düngegabe.

Teilflächen für die Anlage der Monitoringflächen und Düngefenster sind nach bestimmten Anforderungen auszuwählen. Sie müssen repräsentativ für die Restflächen sein. Die Artenzusammensetzung muss der der restlichen Fläche entsprechen. Ebenso die durchgeführten Pflege- und Nutzungsmaßnahmen. Weiterhin ist darauf zu achten, dass in diesen Teilflächen keine Senken, Kuppen, beschädigte Fahrspuren, Vernässungen oder Ähnliches vorzufinden ist.

#### **4.2.4 Probenahme**

Um die Pflanzengehalte zu bestimmen, sind verschiedene Vorgehensweisen denkbar. Zum einen könnte die Probe direkt aus dem Silostock genommen werden. In den meisten Betrieben werden zu Zwecken der Fütterungsplanung und Rationsgestaltung routinemäßig solche Proben entnommen und analysiert. Diese sind in der Lage, auch Auskunft über die Futtergehalte an Kalium zu geben. Die Werte können dann direkt für die Düngeplanung herangezogen werden. Problematisch könnte hier jedoch die direkte Zurechenbarkeit der gewonnenen Daten auf bestimmte Schläge und Futterbestände sein.

Alternativ könnte die Probe direkt während der Ernte und Silofüllung aus dem Siliergut gezogen werden. Hierdurch wäre dann eine wirklich Zurechenbarkeit zu einzelnen Schlägen gegeben. Bei dieser Vorgehensweise würden jedoch die zusätzlichen Arbeiterledigungskosten für die Probenahme, sowie die zusätzlichen Kosten für die Laboranalyse negativ zu Buche schlagen.

#### **4.2.5 Rechenweg und Durchführung**

Der Düngeplanung legt man die Annahme zu Grunde dass der Bestand durchschnittlich 2 kg K/dt TM enthält. Um die zu düngende Menge Kalium zu errechnen wird der TM-Ertrag mit dem Faktor 2 multipliziert (s. Formel aus Kap. 3.1). Anschließend wird nun mit dem Reduzierungsfaktor 0,7 weitergerechnet, sollten alle oben erläuterten Parameter einen guten Versorgungszustand abbilden. Abgewichen wird von dieser Vorgehensweise dann, wenn Hinweise dafür vorliegen, dass der Bestand nicht aus-

reichend versorgt ist. Das kann sich zum einen durch die oben beschriebene Veränderung der Pflanzenbestandszusammensetzung bemerkbar machen oder andererseits durch Absinken der Pflanzengehalte unter den Optimalbereich. In diesen Fällen wird dann jahresweise wieder der volle Entzug gedüngt.

### ***4.3 Vergleich mit der Düngung nach Bodengehaltsklassen***

Zurzeit sind Bodenuntersuchungen auf die Grundnährstoffe im Turnus von 6 Jahren Pflicht. Bei der Düngung nach Bodengehaltsklassen wäre es jedoch nötig, jährliche Werte für die Kaliumversorgung des Bodens zu erheben, um auf die jährliche wechselnden Gegebenheiten, vergleichbar mit der oben beschriebenen flexiblen Methode reagieren zu können. Hierzu wäre eine jährliche Beprobung des Bodens, zumindest auf exemplarischen Flächen, nötig. Zudem zeigen die Ergebnisse ja, dass die schwankenden Bodengehalte als Grundlage zur Berechnung der Düngebedürftigkeit auf Niedermoorböden wenig aussagekräftig sind. Nutzte man jedoch die Analysedaten, die durch die eben beschriebene Vorgehensweise vorlägen, würde eine zusätzliche Bodenprobenahme entfallen können, da diese Daten für eine Beurteilung der Versorgung des Bestandes in weitem Umfang genügen. Außerdem ist durch die Pflanzenanalyse eine genaue Ermittlung des Ernährungszustandes der Bestände möglich und nicht nur eine Prognose dessen (vergl. VDLUFA 2006). Weiter unten (s. Kap. 4.5) erfolgt der monetäre Vergleich beider Varianten.

Die Genauigkeit der Daten aus Pflanzenanalysen und ihr möglicher Nutzen werden auch durch den VDLUFA hoch eingeschätzt, wobei dieser deren Einsatz bisher nur zur Unterstützung der Düngungsplanung auf Grundlage der Bodengehaltsklassen empfiehlt.

### ***4.4 Kombination mit „Normative Silokartei“ nach WEISE & RAMBUSCH***

Bei der hier vorgestellten flexiblen Düngeplanung fallen einige Schwachstellen ins Auge. Vor allem die Gewinnung der Daten wird den Praktiker möglicherweise abschrecken, denn für die optimale Durchführung sollten die Daten möglichst spezifisch

für jeden Schlag vorliegen. Außerdem ist die genaue Ermittlung der geernteten Trockenmasse nötig, und zwar auch das einzelschlagspezifisch. So entstehen zwangsläufig Mehraufwand und Mehrkosten.

Optimal für die Düngeplanung wäre daher die Anwendung der Normativen Silokartei nach WEISE & RAMBUSCH (in KNABE, FECHNER & WEISE 1986). Diese Kartei soll es ermöglichen, schon bei Siloschluss die notwendigen Daten für Fütterungsplanung abschätzen zu können. Sie dient zudem der Produktionsüberwachung und -kontrolle bei der Produktion von Silage. Die Normative Silokartei stellt ein System dar, bei dem im Moment des Siloschlusses schon die Qualität der Silage, sowie Menge und Verluste errechnet bzw. geschätzt werden können. Dazu werden während der Ernte des Siliergutes und bei Befüllung des Silos Informationen zu Trockensubstanzgehalt, Silobeschaffenheit, eingelagerter Menge und Kennzeichen der Silierbedingungen erhoben und durch Laboruntersuchungen ergänzt. So können Verluste und Qualitätsänderungen während des Prozesses kalkuliert werden. Dadurch liegen direkt nach Abdeckung des Silos Ergebnisse für Zwecke der Futtereinsatzplanung und Verrechnung: Silierguttrockenmasse sowie Originaltrockensubstanz, Futterenergie und verdauliches Rohprotein.

Die Probenahme erfolgt hierbei direkt aus dem Erntegut, nicht erst aus dem fertigen Silostock. Bei einer Beprobung der Silage im Silostock wäre es nicht mehr möglich, die Daten einzelnen Schlägen oder gar Teilflächen zuzurechnen. Bei der direkten Beprobung des Erntegutes, beispielsweise schon während des Häckselns, ist sogar eine teilflächenspezifische Datenerfassung möglich. Gerade bei den oft großdimensionierten Niedermoorgrünlandflächen Brandenburgs wäre dies von Vorteil.

#### ***4.5 Anwendung der vorgestellten Methode im Modellbetrieb***

Eine Aufstellung zu den bei Düngung nach Bodengehaltsklassen anfallenden Kosten zeigen die Tabelle 24 und 25. Dargestellt werden diese in Abhängigkeit von der Ertragsklasse des Standortes (EK I...EKIII). Die reinen Düngerkosten betragen ausgehend von Ertragsklasse I 90 € je Hektar. Die Kosten je Hektar sinken mit den Ertragsklassen, mit Ausnahme der extensiven Variante. Die Kosten je Einheit Futter-

energie (MJ NEL bzw. ME) sinken jedoch mit zunehmender Ertragsklasse und Ertrag. Bei Bodengehalten der Klasse B steigen die Kosten je Hektar auf 108 € an.

Bei der oben beschriebenen flexiblen Variante liegen die Düngerkosten in Abhängigkeit von der Ertragsklasse zwischen 35 € und 63 € je Hektar und Jahr (s. Tabelle 26). Tabelle 27 verdeutlicht die möglichen Einsparungen in Abhängigkeit von der Bodengehaltsklasse sowie der Ertragsklasse. Diese steigen verständlicherweise, wenn nach den Bodengehaltsklassen in eine höhere Gehaltsklasse aufgedüngt werden sollte. So sind Einsparungen von bis zu 42 % bezogen auf die Fläche bzw. bis zu 52% bezogen auf die Energieeinheit möglich.

Beim dem hier beschriebenen Modellbetrieb würden sich die Einsparungen bei den Düngekosten so auf etwa 17.240 € je Jahr, bezogen auf die Reinnährstoffmenge, belaufen (s. Tabelle 28). Bei festgestelltem Mangel und daraus resultierender Erhöhung der Düngung auf 1,0-fachen Entzug, würden die Kosten steigen, jedoch trotzdem noch unter denen für die Düngung nach Bodengehaltsklassen liegen.

Die Wahl des einzusetzenden mineralischen Düngemittels würde nur den speziellen Anforderungen des Bewirtschafters hinsichtlich der Formulierung unterliegen. Unterschiede hinsichtlich Wirkungsgeschwindigkeit oder Verhalten des Kaliums im Boden sind nicht anzunehmen (vergl. Kap. 3.2.3).

Tabelle 24: Düngerkosten bei Vorgehen nach Bodengehaltsklassen bei Kalium-Gehaltsklasse C

<b>Ertragsklassen</b>	EK I	EK II	EK II	EK III	EK II (extens.)
<b>Ertrag</b>					
Ertrag dt TM/ha	90	70	70	50	50
Kaliumgehalt kg/dtTM	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Entzug	180,0	140,0	140,0	100,0	100,0
MJ NEL/ha	47.430	36.890	34.510	21.825	19.125
MJ ME/ha	79.560	61.880	55.930	37.825	36.975
<b>Düngebedarf</b>					
Gehaltsklasse	C	C	C	C	C
Entzugsfaktor nach Gehaltsklasse	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Nährstoffbedarf (in kg K/ha)	180,0	140,0	140,0	100,0	100,0
<b>Düngung</b>					
Düngemittelpreis ( €/kg)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>Kosten</b>					
Düngerkosten (€/ha)	90,00	70,00	70,00	50,00	50,00
Düngerkosten (€/10 MJ NEL)	0,017	0,017	0,021	0,023	0,026
Düngerkosten (€/10 MJ ME)	0,012	0,012	0,013	0,013	0,014

Tabelle 25: Düngerkosten bei Vorgehen nach Bodengehaltsklassen bei Kaliumgehaltsklasse B

<b>Ertragsklassen</b>	<b>EK I</b>	<b>EK II</b>	<b>EK II</b>	<b>EK II</b>	<b>EK III</b>	<b>EK II (extens.)</b>
<b>Ertrag</b>						
Ertrag dt TM/ha	90	70	70	70	50	50
Kaliumgehalt kg/dtTM	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Entzug	180,0	140,0	140,0	140,0	100,0	100,0
MJ NEL/ha	47.430	36.890	36.890	34.510	21.825	19.125
MJ ME/ha	79.560	61.880	61.880	55.930	37.825	36.975
<b>Düngerbedarf</b>						
Gehaltsklasse	B	B	B	B	B	B
Entzugsfaktor nach Gehaltsklasse	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Nährstoffbedarf (in kg K/ha)	216,0	168,0	168,0	168,0	120,0	120,0
<b>Düngung</b>						
Düngemittelpreis ( €/kg)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>Kosten</b>						
Düngerkosten (€/ha)	<b>108,00</b>	<b>84,00</b>	<b>84,00</b>	<b>84,00</b>	<b>60,00</b>	<b>60,00</b>
Düngerkosten (€/10 MJ NEL)	<b>0,023</b>	<b>0,023</b>	<b>0,023</b>	<b>0,026</b>	<b>0,028</b>	<b>0,032</b>
Düngerkosten (€/10 MJ ME)	<b>0,014</b>	<b>0,014</b>	<b>0,014</b>	<b>0,015</b>	<b>0,016</b>	<b>0,016</b>



Tabelle 26: Düngerkosten bei Anwendung des flexiblen Verfahrens mit einem Entzugsfaktor von 0,7

<b>Ertragsklasse</b>	<b>EK I</b>	<b>EK II</b>	<b>EK II</b>	<b>EK III</b>	<b>EK II (extensiv)</b>
<b>Ertrag</b>					
Ertrag dt TM/ha	90	70	70	50	50
Kaliumgehalt kg/dtTM	2	2	2	2	2
Entzug	180	140	140	100	100
MJ NEL/ha	47.430	36.890	34.510	21.825	19.125
MJ ME/ha	79.560	61.880	55.930	37.825	36.975
<b>Düngebedarf</b>					
Entzugsfaktor	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Nährstoffbedarf (in kg K/ha)	126	98	98	70	70
<b>Düngung</b>					
Düngemittelpreis (€/kg Reinnährstoff)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Kosten</b>					
Düngerkosten (€/ha)	<b>63</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	<b>35</b>	<b>35</b>
Düngerkosten (€/ 10 MJ NEL)	<b>0,013</b>	<b>0,013</b>	<b>0,014</b>	<b>0,016</b>	<b>0,017</b>
Düngerkosten (€/ 10 MJ ME)	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>

Tabelle 27: Kostenvergleich zwischen der Düngung nach Bodengehaltsklassen und nach der flexiblen Planung in Abhängigkeit von Ertragsklasse und Bodengehaltsklasse

			EK I	EK II	EK II	EK III	EK II (ext.)
<b>Düngung n. Bodengehalten</b>	<b>Gehaltsklasse</b>						
	<b>B</b>	€/ ha	108,00	84,00	84,00	60,00	60,00
		€/ 10 MJ NEL	0,023	0,023	0,025	0,028	0,032
		€/ 10 MJ ME	0,014	0,014	0,015	0,016	0,016
	<b>Gehaltsklasse</b>						
	<b>C</b>	€/ ha	90,00	70,00	70,00	50,00	50,00
	€/ 10 MJ NEL	0,019	0,019	0,021	0,023	0,026	
	€/ 10 MJ ME	0,012	0,012	0,013	0,013	0,014	
<b>flexibel</b>	<b>Faktor 0,7</b>						
		€/ ha	63	49	49	35	35
		€/ 10 MJ NEL	0,013	0,013	0,014	0,016	0,017
	€/ 10 MJ ME	0,08	0,08	0,09	0,010	0,010	
<b>Saldo</b>	<b>zu Bodengehaltsklasse C</b>						
		€/ ha	27,00	21,00	21,00	15,00	15,00
		€/ 10 MJ NEL	0,006	0,006	0,006	0,006	0,009
		€/ 10 MJ ME	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004
	<b>zu Bodengehaltsklasse B</b>						
		€/ ha	45,00	35,00	35,00	25,00	25,00
	€/ 10 MJ NEL	0,010	0,010	0,009	0,012	0,015	
	€/ 10 MJ ME	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	

Tabelle 28: Kostenvergleich zwischen der Variante Düngung nach Bodengehaltsklassen und der Flexiblen Methode in Abhängigkeit von Ertragsklasse sowie Bewirtschaftungsintensität (Gesamtkosten für den Modellbetrieb pro Jahr)

	Fläche in ha	TM-Ertrag			Energieertrag			Var. 1 "n. Bodengehaltsklassen"			Var. 2 "flexible Methode"			Saldo Var. 1-Var. 2
		dt TM	MJ NEL	MJ ME	Düngermenge dt K (Reinnährst.)	Kosten €	Düngermenge dt K (Reinnährst.)	Kosten €	Düngermenge dt K (Reinnährst.)	Kosten €				
extensiv EK II	B	125	2.390.625	4.621.875	150	7500	87,5	4375						
	C	125	2.390.625	4.621.875	125	6250	87,5	4375						
intensiv EK I	A	85	4.031.550	6.762.600	229,5	11475	107,1	5355						
	B	85	4.031.550	6.762.600	183,6	9180	107,1	5355						
	C	85	4.031.550	6.762.600	153	7650	107,1	5355						
			<b>35.450</b>	<b>16.875.900</b>	<b>29.531.550</b>	<b>841,1</b>	<b>42.055</b>	<b>496</b>	<b>24.815</b>	<b>17.240</b>				

## 4.6 Anwendung auf anderen Standorten / Ergebnisübersicht und -vergleich

Der zu Grunde liegende Ringversuch liefert die Datengrundlage für die Betrachtung der Auswirkung der Kaliumdüngung für sehr verschiedenartige Grünlandstandorte. Auf diesen treten verschieden Besonderheiten im Vergleich zu den Flächen auf Niedermoor auf. Im Folgenden soll überprüft werden, ob eine Anwendung der flexiblen Methode auf anderen Standorten möglich ist.

Festgestellt wurde, dass auf Mineralböden die Kaliumdüngung meist geringeren Einfluss auf den Ertrag hat, als es auf einem Niedermoorstandort der Fall ist. Besonders auf den sehr schweren Böden wie zum Beispiel auf den Versuchsstandorten in Wechmar und Heßberg sind relativ geringe Auswirkungen auf die Erträge durch die variierte Kaliumdüngung festzustellen (s. Abbildung 13 und Abbildung 14).

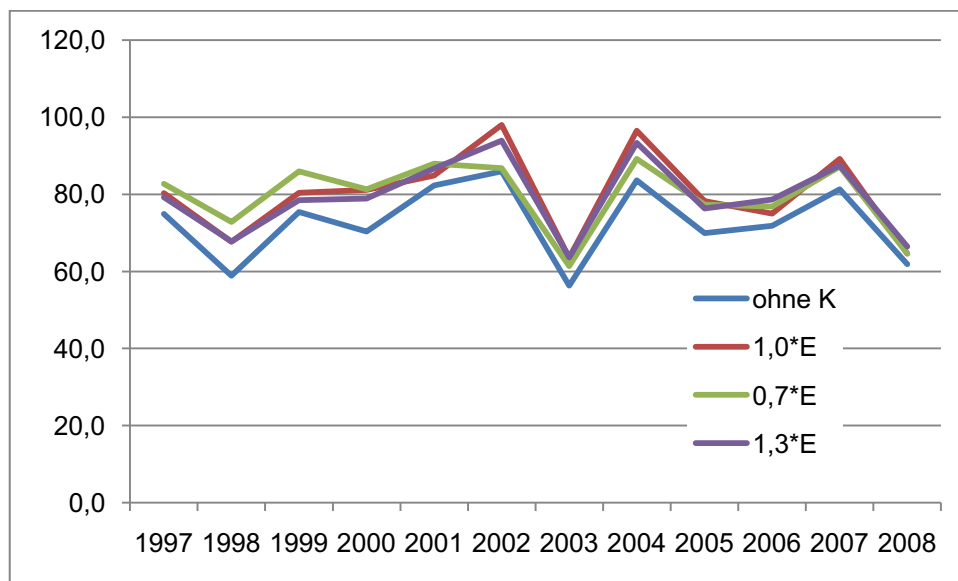


Abbildung 13: Erträge (dt TM/ ha) am Standort Wechmar in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe

Es handelt sich dort um Lehm-Ton-Böden (L-T, V2; L-T V5). Diese haben entsprechend hohe Kationenaustauschkapazitäten und sind augenscheinlich in der Lage, sehr große Mengen Kalium nachzuliefern, so dass die variierte Düngung weniger Auswirkung hatte als auf allen anderen Standorten.

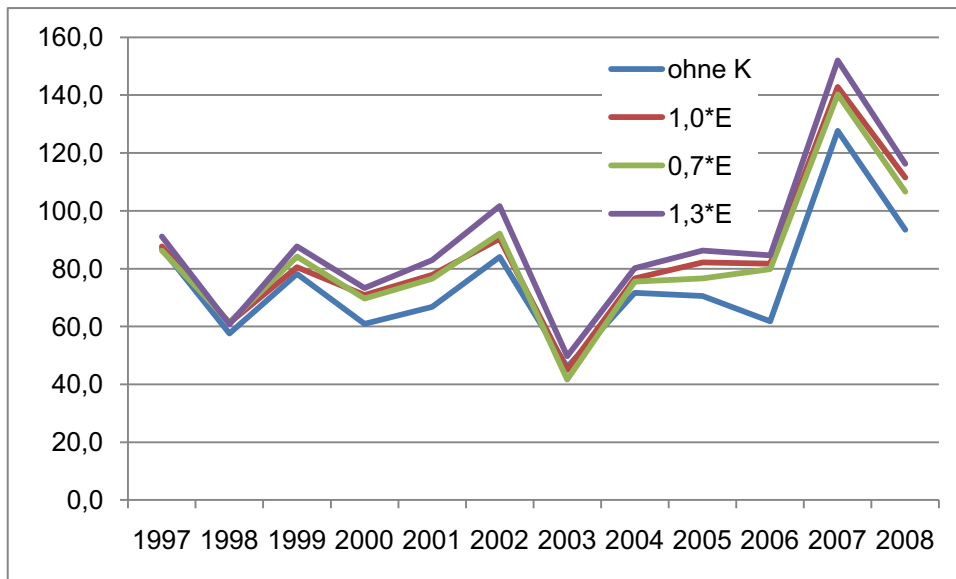


Abbildung 14: Erträge (dt TM/ ha) am Standort Heßberg in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe

Hier führte nicht einmal die Variante ohne Kaliumdüngung in allen Jahren zu signifikant niedrigeren Erträgen. Auf diesen Standorten stellt sich sicherlich die Frage nach einer Kaliumvorratsdüngung in entsprechenden Zeitintervallen.

Auch die anderen mineralischen Böden besitzen erwartungsgemäß (s. Kap. 2.2.1) eine höhere Fähigkeit zur Kaliumnachlieferung, als der Niedermoorstandort in Paulinenaue.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Anwendung des oben vorgestellten Verfahrens bei Kenntnis der Bestände und Flächen auch an verschiedenen anderen Standorten zum Einsatz kommen kann. Es zeigte sich, dass es für jeden Standort spezifische Werte für die Optimalversorgung der Bestände gibt. Diese wären dann für den eigenen, mineralischen Standort empirisch zu ermitteln. Trotzdem würden die Inhaltsstoffe generell auch dort zur Beurteilung der Kaliumversorgung eines Bestandes dienen können.

Zudem können auch dort die Veränderungen der Pflanzenbestände einen Indikator für eine adäquate Kaliumversorgung darstellen. Vielmehr sollte der Bewirtschafter seine Flächen und Pflanzenbestände (vergl. KLAPP 1971) kennen. Bei Zunahme der Ertragsanteile von anspruchsloseren Arten kann dann von einer Unterversorgung ausgegangen werden. Als Beispiel kann zum einen der Standort Oberweißbach dienen. Der Grünlandbestand ist in allen mit Kalium gedüngten Varianten dominiert vom

Goldhafer, außerdem finden sich die Wiesenrispe, das Wollige Honiggras, das Ruchgras und der Rotschwengel.

Bei ausbleibender Kaliumdüngung steigen die Anteile des Rotschwengels sehr stark und schnell an. Das ist für den Bewirtschafter der Indikator, dass die Düngung mit Kalium dementsprechend angepasst werden muss um Ertragsverluste zu verhindern (s. Abbildung 15).

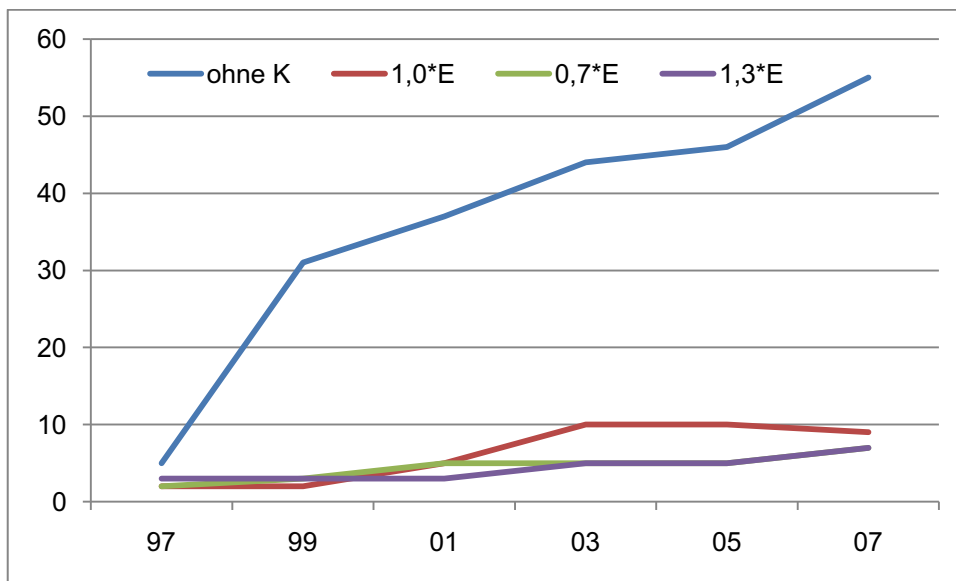


Abbildung 15: Ertragsanteile (%) des Rotschwengels im 1. Aufwuchs am Standort Oberweißbach in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe

Ebenfalls zeichnet bei zu geringer Kaliumdüngung das Ruchgras durch Anstieg seiner Ertragsanteile (s. Abbildung 16), wenn auch nicht so stark, wie der Rotschwengel. Außerdem nehmen die Anteile des Ruchgrases bei durchgeführter Düngung tendenziell ab, wohingegen die Anteile des Rotschwengels sich auf einem niedrigen Niveau einzupendeln scheinen.

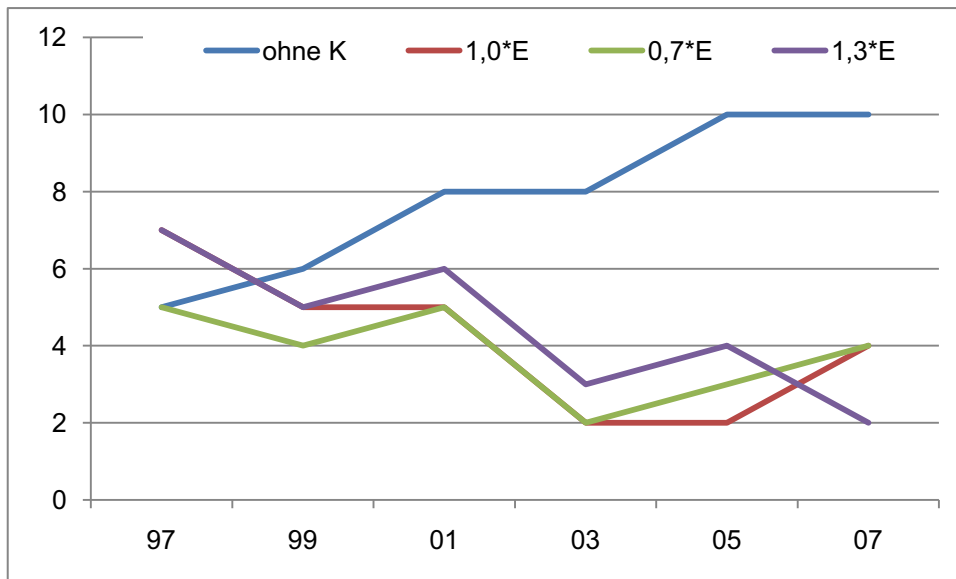


Abbildung 16: Ertragsanteile (%) des Ruchgrases im 1. Aufwuchs in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe am Standort Oberweißbach

Auffällig stark reagiert auch der Goldhafer als Hauptbestandsbildner. Bei ausbleiben der Kaliumdüngung versagt er völlig. Im Versuch sinkt er innerhalb von drei Jahren von 15% Ertragsanteilen auf unter 1% (s. Abbildung 17).

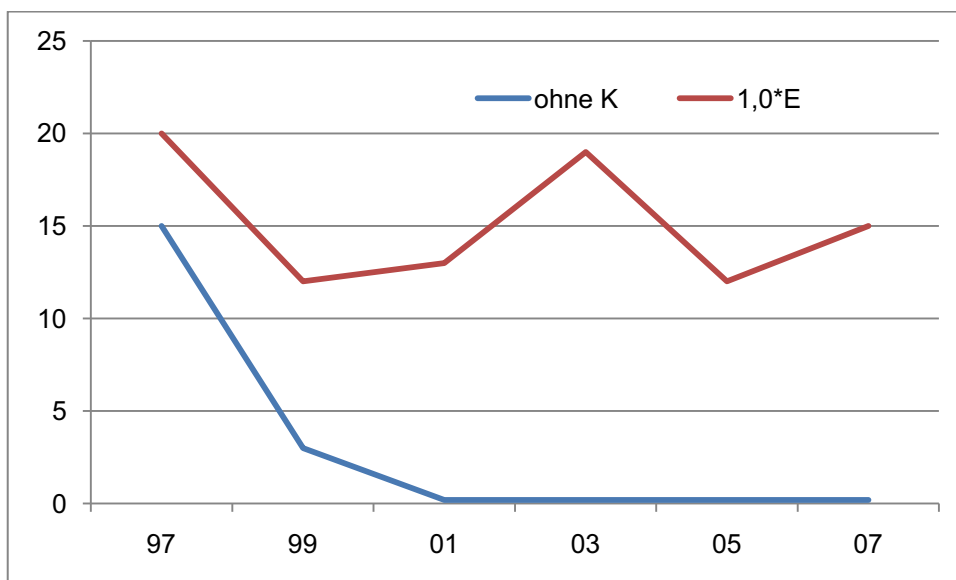


Abbildung 17: Ertragsanteile (%) des Goldhafers im 1. Aufwuchs in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe am Standort Oberweißbach

Zudem versagen die Leguminosen, namentlich Weißklee bei zu geringer Kaliumversorgung. Diese fallen bei der Variante ohne Kalium, und auch schon bei der Variante

mit nur 0,7-fachem Entzug, sehr stark, bis zum totalen Versagen ab (ohne Ertragsanteile) (s. Abbildung 18).

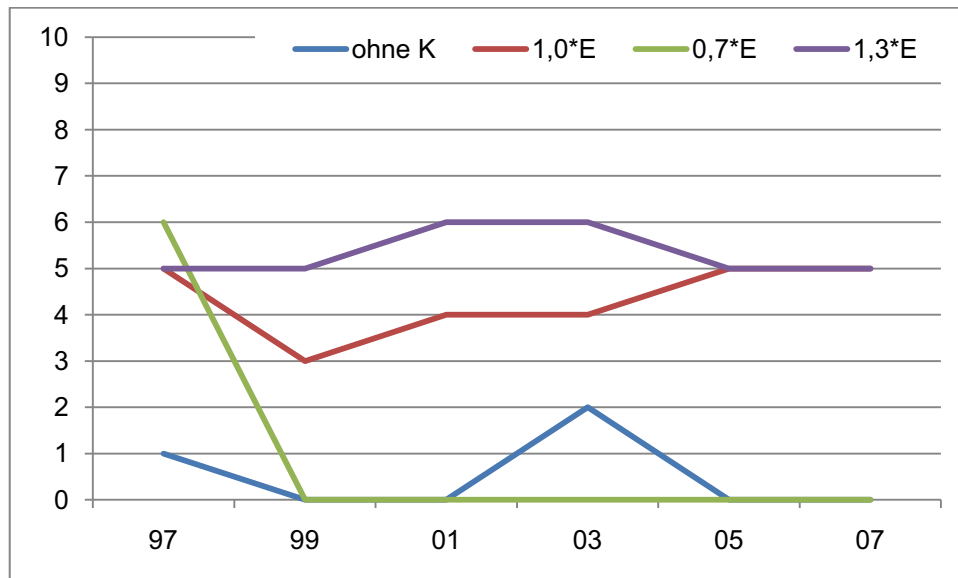


Abbildung 18: Ertragsanteile (%) der Leguminosen (v.a. Weißklee) im 1. Aufwuchs in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe am Standort Oberweißbach

Diese drei Arten sind als spezieller Zeiger für den Standort Oberweißbach zu sehen. Die Anteilentwicklung dieser gibt in der Gesamtheit einen guten Eindruck über den Versorgungszustand des Bestandes.

Ein weiteres Beispiel ist der Standort Heßberg. Auch hier wirkte sich eine unterlassene Kaliumdüngung negativ auf die Zusammensetzung der Grünlandbestände aus. An diesem Standort befinden sich Fuchsschwanzwiesen mit größeren Anteilen der Wiesenrispe sowie, zu Beginn des Versuchs, geringen Anteilen der Rasenschmiele und auch des Wolligen Honiggrases.

Beim Prüfglied ohne K-Düngung stiegen die Ertragsanteile der Rasenschmiele dann über den Versuchszeitraum stark an und kennzeichneten so die Unterversorgung. Bei der Variante mit 1,0-facher Entzugsdüngung blieben die Anteile jedoch tendenziell gleich niedrig (s. Abbildung 19)



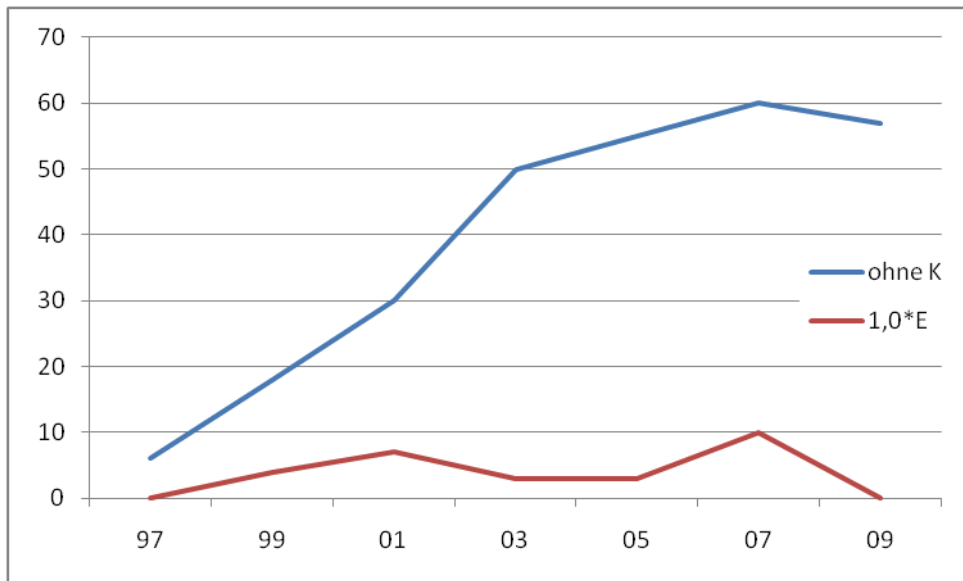


Abbildung 19: Ertragsanteile(%) der Rasenschmiele im 1. Aufwuchs am Standort Heißberg in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe

Im gleichen Zeitraum nahmen hingegen die Anteile des als standortbedingt wertvollen Wiesenfuchsschwanzes tendenziell ab und bei Düngung nach Entzug tendenziell zu (s. Abbildung 20).

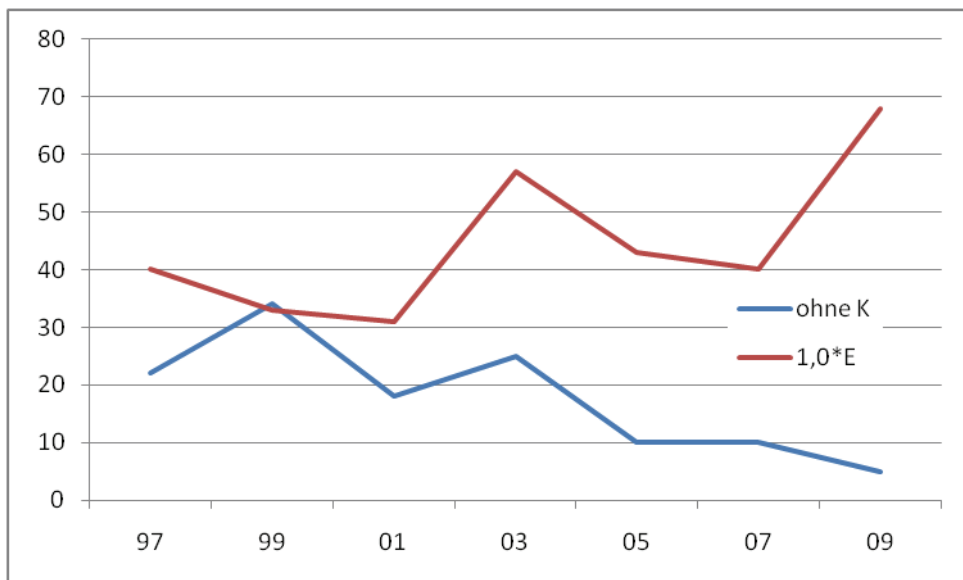


Abbildung 20: Ertragsanteile (%) des Wiesenfuchsschwanzes im 1. Aufwuchs am in Abhängigkeit von der K-Düngungsstufe Standort Heißberg

Weiterhin müssen die standortspezifischen Anforderungen an die Kaliumgehalte in der Pflanzenmasse erfüllt sein. Diese liegen zum Beispiel für den Standort Ober-

weißbach optimal zwischen 18 und 29 g je kg TM und für den Standort Heßberg zwischen 22 und 34 g je kg TM (GREINER et. al. 2007)

Solange die ermittelten Werte sich in diesem Rahmen befinden ist auch keine Notwendigkeit gegeben, die Höhe der Düngung anzupassen. Sollten entweder die Pflanzengehalte oder auch die Bestandszusammensetzung anzeigen, dass der Bestand in die Unterversorgung gerät, kann die Düngung, wie oben für den Standort Paulinenaue beschrieben, angepasst werden.

## **5. Schlussfolgerungen**

Die offizielle Empfehlung zur Düngung nach Bodengehaltsklassen, die Kaliumdüngung nach Bodengehaltsklassen und entsprechenden Zu-, bzw. Abschlägen durchzuführen, hat sich auf den Niedermoorböden des Havelländischen Luchs als ungeeignet erwiesen. Die stark schwankenden Bodengehalte stellen keine aussagekräftige Grundlage zur Bemessung der Höhe der Düngung dar.

Hingegen hat sich gezeigt, dass die Pflanzengehalte an Kalium sehr wohl eine genaue Einschätzung des Versorgungszustandes darstellen. Ebenso hat sich erwiesen, dass die Wiesenrispe als Zeiger für eine Kaliumunterversorgung dienen kann. Beide genannten Indikatoren eilen einem Ertragsrückgang durch Unterversorgung voraus und lassen so eine Einschätzung der Düngebedürftigkeit eines Grünlandbestandes und somit die Planung der Kaliumdüngung zu.

Weiterhin zeigt sich, dass eine um den Faktor 0,7 reduzierte Entzugsdüngung in der Regel keine Ertragseinbußen nach sich zieht und für die Düngung generell voll genügt. Es genügt bei durch die Indikatoren festgestellter Unterversorgung, jahresweise den vollen Entzug zu düngen um die Optimalversorgung wiederherzustellen. Der Reduzierungsfaktor lässt sich empirisch für den Praxisbetrieb anpassen.

Die Daten der Pflanzenanalyse lassen sich sowohl direkt aus Futterproben gewinnen, wie sie zur Rationsgestaltung und Fütterungsplanung erhoben werden oder aber schon aus Beprobung des frischen Häckselgutes. Bei letztgenannter Vorge-

hensweise ist eine Kombination mit der Normativen Silokartei nach WEISE & RAMBUSCH eine kostensparende und zudem sehr exakte Möglichkeit.

Durch die hier beschriebene Methode kann flexibel auf schwankende Ansprüche reagiert werden. Voraussetzung sind lediglich Kenntnisse der Grünlandbestände und deren stetige Kontrolle. Der eventuell anfallende zusätzliche Arbeitsaufwand kann durch die vorgestellten Methoden minimiert werden. Zudem ergibt sich eine Einsparung der Kosten für die Bodenanalyse sowie Kaliumdüngemittel. Diese können sich nach Berechnung im Modell auf bis zu 48 % bezogen auf die Flächen bzw. 52 % bezogen auf die Energieeinheit.

Der Vergleich mit den anderen Versuchsergebnissen mineralischer Standorte zeigt den starken Einfluss des Bodens auf die Kaliumdynamik. Besonders auf Standorten mit hohem Ton-, bzw. Feinbodenanteil fällt der Einfluss der Kaliumdüngung wesentlich schwächer aus als auf Niedermoorböden. Trotzdem lässt sich teilweise aus der Entwicklung der Artenzusammensetzung der Grünlandnarbe auf den Grad der Kaliumversorgung schließen. Die Zeiger an den einzelnen Standorten variieren jedoch in Abhängigkeit von den anzutreffenden Pflanzengemeinschaften, bzw. Vergesellschaftungen. Auf den Goldhaferwiesen im thüringischen Oberweißbach zeichneten so zum Beispiel der Rotschwengel, bzw. das Ruchgras bei Kaliumunterversorgung durch Bestandszuwachs und nahmen so die Stellung der Wiesenrispe am Standort Paulinenaue ein. Der Goldhafer und der Weißklee hingegen versagten sehr schnell bei ungenügender Kaliumversorgung. Ähnlich verhielt es sich am Standort Heißberg. Dort zeigten die Zunahme der Rasenschmiele, sowie die Abnahme des Wiesenfuchsschwanzes einen Kaliummangel an. Den Standorten gemein ist also das Zurückweichen wertvollerer Arten gegenüber weniger wert- und anspruchsvollen Arten.

## 6. Literaturverzeichnis

- Dierschke, H., & Briemle, G. (2002). *Kulturgrasland- Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.
- Finck, A. (1991). *Düngung- Ertragssteigernd, Qualitätsverbessernd, umweltgerecht*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.
- Göttlich, K., & Kuntze, H. (1990). *Moorkultivierung für Land- und Forstwirtschaft*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).
- Greiner, B., Schuppenies, R., Hertwig, F., Hochberg, H., & Riehl, G. (2007). *Düngung von Grünland mit Phosphor und Kalium nach Entzug - Auswirkungen auf die Nährstoffgehalte in der Pflanze und im Boden*. Iden, Paulinenaue, Wandersleben, Christgrün.
- Greiner, B., Schuppenies, R., Hertwig, F., Hochberg, H., & Riehl, G. (2010). Ergebnisse aus zwölfjährigem Phosphor- und Kaliumdüngungsversuch auf Grünland . *Vortrag VDLUFA Düngungs-Tagung* . Kiel.
- Hertwig, F. (2005). *Anforderungen an die landwirtschaftliche Grünlandnutzung in Brandenburg*. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz Brandenburg.
- Hertwig, F. (kein Datum). *Bei der Düngung von Niedermoorgrünland auf Kalium nicht verzichten*. Abgerufen am 2. September 2010 von [www.masf.brandenburg.de](http://www.masf.brandenburg.de): <http://www.masf.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/duengnml.pdf>
- Hertwig, F., & Schuppenies, R. (2005). Auswertung langjähriger Versuche zur P- und K-Düngung auf Niedermoorgrünland- Basis für die Bemessung der Grunddüngung. *DLG- Grünlandtagung 2005; Optimierung von Nährstoffsalden im Futterbaubetrieb* (S. 15-22). Futterkamp: DLG.
- Kahnt, G. (2008). *Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau*. Frankfurt am Main: DLG-Verlag.
- Klapp, E. (1971). *Wiesen und Weiden- Eine Grünlandlehre*. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey.
- Klapp, E., & Opitz von Boberfeld, W. (2004). *Kräuterbestimmungsschlüssel für die wichtigsten Grünland- und Rasenkräuter- Zur Ansprache im blütenlosen Zustand*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.

Klapp, E., & Opitz von Boberfeld, W. (2006). *Taschenbuch der Gräser- Erkennung und Bestimmung, Standort und Vergesellschaftung, Bewertung und Verwendung*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.

Knabe, O., Fechner, M., & Weise, G. (1986). *Verfahren der Silageproduktion*. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.

Kögel-Knaber, I. (10. Dezember 2007). *Lehrstuhl für Bodenkunde- TU München-Weihenstephan*. Abgerufen am 14. August 2010 von [www.wzw.tum.de/bk](http://www.wzw.tum.de/bk): [http://www.wzw.tum.de/bk/pdfs/vorlesungen/bk1\\_ws/kation.pdf](http://www.wzw.tum.de/bk/pdfs/vorlesungen/bk1_ws/kation.pdf)

Kornher, A., & Taube, F. (2008). Futtergräser. In H. Hanus, K. U. Heyland, & E. R. Keller, *Handbuch des Pflanzenbaus- Band 2: Getreide und Futtergräser* (S. 583-638). Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.

Kreil, W., Simon, W., & Wojahn, E. (1982). *Futterpflanzenbau- Empfehlungen, Richtwerte, Normative- Band 1: Grasland*. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag.

Kuratorim für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. (2005). *Faustzahlen für die Landwirtschaft*. Darmstadt: KTBL-Schriftenvertrieb im Deutschen Landwirtschaftsverlag.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. (2008). *Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09*. Darmstadt: KTBL.

Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg-LVLF. (2007). *Mischungs- und Sortenempfehlungen Grünland*. Paulinenaue: LVLF-Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau.

Lehr- und Versuchsanstalt für Grünland und Futterwirtschaft Paulinenaue e.V. (1993). *Jahresbericht 1993*. Paulinenaue: LVGF.

Lütke Entrup, N., & Oehmichen, J. (2000). *Lehrbuch des Pflanzenbaus- Band 1: Grundlagen*. Gelsenkirchen- Buer, Bonn: Verlag Th. Mann, AgroConcept.

Ministerium für ländliche Entwicklung, U. u. (2008). *Datensammlung für die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg- Ackerbau / Grünlandwirtschaft/ Tierproduktion*. Frankfurt (Oder): Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung.

Misztal, A., & Zarzycki, J. (2010). Evapotranspiration from grassland with contact to groundwater. *Grassland in a changing world- Proceedings of the 23rd General Meeting of the European Grassland Federation* (S. 69-71). Kiel: Mecke Druck und Verlag- Duderstadt.

MLUR- Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung Brandenburg. (2003). *Steckbriefe Brandenburger Böden- Sammelmappe*. Brandenburg: Landesvermessung und Geobasisinformation .

Neubert, K., & Priebe, R. (26. März 2009). *Standort- und Artenkenntnis erleichtert die Mischungswahl für Grünland und ausdauerndes Ackerfutter auf trockenen Standorten*. Abgerufen am 12. August 2010 von [www.mil.brandenburg.de](http://www.mil.brandenburg.de): <http://www.mil.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/Standort%20ud%20Artenkenntnis.pdf>

Petersen, A. (1992). *Die Gräser als Kulturpflanzen auf Wiese, Weide und Acker- Ihre Bestimmung, Erkennung und Beschreibung in biologischer, ökologischer sowie landwirtschaftlicher und landeskultureller Beziehung*. Berlin: Akademie Verlag.

Rauschert, S. (1972). *Wiesen- und Weidepflanzen- Erkennung, Standort und Vergesellschaftung, Bewertung und Bekämpfung*. Radebeul: Neumann Verlag.

Scheffer, F., & Schachtschabel, P. (2010). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Schellberg, J., Brüne, K., & Hejmann, M. (2010). Plant functional trait expression in the Rengen Grassland Experiment. *Grassland in a changing world- Proceedings of the 23rd General Meeting of the European Grassland Federation* (S. 845-847). Kiel: Mecke Druck und Verlag, Duderstadt .

Schilling, G. (2000). *Pflanzenernährung und Düngung*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.

Schrader, A., & Kaltofen, H. (1987). *Gräser- Biologie, Bestimmung, wirtschaftliche Bedeutung*. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.

Schubert, S. (2006). *Pflanzenernährung- Grundwissen Bachelor*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.

Schuppenies, R., & Hertwig, F. (2008). Niedermoor braucht Kalium. *Neue Landwirtschaft* , 40-43.

Schuppenies, R., Greiner, B., Hertwig, F., Hochberg, H., & Riehl, G. (2005). Ergebnisse aus siebenjährigem Phosphor- und Kaliumdüngungsversuch auf ostdeutschen Grünlandstandorten. *49. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V.* (S. 109-112). Bad Elster: Freistaat Sachsen.

Schuppenies, R., Greiner, B., Hochberg, H., Pickert, J., & Riehl, G. (2002). Der Einfluss einer variierten Phosphor- und Kaliumdüngung auf den Ertrag, die

Mineralstoffgehalte im Futter und die Artzusammensetzung. *46. Jahrestagung Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* (S. 30-36). Rostock: Universität Rostock.

Schweighart, O. (1958). *Fotobuch Wiesenpflanzen*. München Bonn Wien: BLV Verlagsgesellschaft.

Ulbrich, M., Hoffmann, M., & Drochner, W. (2004). *Fütterung und Tiergesundheit*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. (1991). *Methodenbuch Band 1: Die Untersuchung von Böden*. Darmstadt: VDLUFA-Verlag.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. (31. August 2006). [www.vdlufa.de](http://www.vdlufa.de). Abgerufen am 8. September 2010 von <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkt/09-Pflanzenanalyse.pdf>

Voigtländer, G., & Jacob, H. (1987). *Grünlandwirtschaft und Futterbau*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.

Voigtländer, G., & Voss, N. (1979). *Methoden der Grünlanduntersuchung und -bewertung; Grünland-Feldfutter-Rasen*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.

## 7. Anhang