



Masterarbeit

Einfluss unterschiedlicher Düngungsintensitäten auf standortbedingte Nährstoffauswaschungen im Feldfutterbau

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
einer Diplomingenieurin unter der Leitung von

Univ.-Doz. Dr. Erich M. Pötsch

Dr. Wilhelm Graiss

Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein

Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft

eingereicht an der Universität für Bodenkultur Wien

Studienrichtung Angewandte Pflanzenwissenschaften

von

Katrin Klopf Bakk. techn.

0640198

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte mich beim gesamten Team des LFZ Raumberg-Gumpenstein bedanken, vor allem bei den Mitarbeitern der Abteilung Grünlandmanagement und Kulturlandschaft. Während meiner Aufenthalte in Gumpenstein wurde ich immer sehr herzlich aufgenommen.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Betreuern Dr. Erich M. Pötsch und Dr. Wilhelm Graiss für die tatkräftige Unterstützung, die Hilfestellung und die aufmunternden Worte bei der Erstellung der Masterarbeit.

Für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten möchte ich Ing. Reinhard Resch danken.

Bei den Mitarbeitern der Außenstelle Winklhof möchte mich für die Hilfestellungen bezüglich der Versuchsanlage und der durchgeführten Erhebungen bedanken.

Frau DI Waltraud Hein (LFZ Raumberg-Gumpenstein, Institut für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere) möchte ich für die Informationen bezüglich des Vorversuchs danken.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Alexander Kranabetter (Amt der Salzburger Landesregierung, Referat Immissionsschutz) für die Zurverfügungstellung der Depositionswerte bedanken.

Herrn Dipl.-Ing. Erwin Murer (Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt) möchte ich für die Überlassung der Bilder vom Einbau der Lysimeteranlage danken.

Weiters möchte ich mich herzlich bei David Thaller, Tanja Praher und Alexandra Klopff bedanken, die mir bei der Korrektur der Arbeit eine große Hilfe waren.

Ganz besonders möchte mich auch bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich während der gesamten Studienzeit unterstützten und die mit mir durch Höhen und Tiefen gingen.

Bei allen Studienkollegen möchte ich mich für die schöne gemeinsame Studienzeit bedanken.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel dieser Masterarbeit „Einfluss unterschiedlicher Düngungsintensitäten auf standortbedingte Nährstoffauswaschungen im Feldfutterbau“ war die Auswertung einer vierjährigen Feldversuchsreihe am Standort Winklhof (Salzburg). Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen galt dem Stickstoff, der sowohl als wichtiger Pflanzennährstoff als auch aus umweltökologischer Sicht große Bedeutung besitzt.

Im April 2007 erfolgte der Umbruch der Fläche und der Anbau der Feldfuttermischung IM. 2007 wurden die Parzellen zweimal und 2008 bis 2010 viermal pro Jahr geerntet. Der Versuch war in drei Lysimetersysteme (Saugkerze, Schwerkraftlysimeter, ohne Lysimetersystem), zwei Düngungsvarianten (niedrig, hoch) und drei Wiederholungen angelegt. Unter anderem erfolgte die Untersuchung des Bodens, der Futterqualität, der Entwicklung der Pflanzenbestände und der Sickerwässer. Des Weiteren wurden auch Stickstoffflächenbilanzen für ausgewählte Versuchsvarianten berechnet.

Im vierjährigen Versuch blieben die Trockenmasseerträge, Rohproteingehalte und -erträge unter den Erwartungen. Im Anlagejahr waren die Trockenmasseerträge um die Hälfte bis ein Drittel geringer als in den Hauptnutzungsjahren. Neu angelegte Bestände erreichen aufgrund unterschiedlicher Keim- und Entwicklungsdauer der einzelnen Pflanzenarten im Anlagejahr nicht die volle Ertragsfähigkeit.

Winklhof war im Versuchszeitraum durch hohe Jahresniederschläge (1301-1720 mm) und Jahressickerwassermengen (705-1083 mm) gekennzeichnet. Im Anlagejahr kam es zur Überschreitung des Nitrat-Parameterwerts von 50 mg/l im Sickerwasser. In den drei Hauptnutzungsjahren lag die mittlere Nitratkonzentration auf einem für Grünland üblichen, niedrigen Niveau. Die Stickstoffbilanz war in allen vier Versuchsjahren auf beiden Düngungsvarianten negativ.

Die Untersuchungen ergaben, dass die Neuanlage von Feldfutterbeständen mittels Umbruch hinsichtlich des Stickstoffaustrags eine kritische Phase durchläuft. Im Anlagejahr war aufgrund des Umbruchs die Stickstoffmineralisierung sehr hoch, zugleich allerdings der pflanzliche Stickstoffentzug sehr niedrig, weshalb der überschüssige Stickstoff im Boden mit dem Sickerwasser ausgetragen wurde. Bei Neuanlagen mittels Umbruch sollte daher das Düngungsniveau in der Anfangsphase niedrig gehalten werden, um Nährstoffauswaschungen zu verhindern. Für eine umweltverträgliche Landwirtschaft ist eine standortangepasste Bewirtschaftungsintensität wichtig, um Nährstoffausträge in das Grundwasser und in die Atmosphäre zu minimieren.

ABSTRACT

The aim of the master thesis “Impact of different fertilization intensity on site-related nutrient leaching in ley farming systems” was the analysis of a four years lasting field experiment in Winklhof (Salzburg). The main focus was given on nitrogen which is both an essential plant nutrient and of great relevance for environment and ecology.

The test series started in April 2007, when the plots were ploughed and the ley farming seed mixture IM cultivated. Three different system variants (suction cup, gravitation lysimeter and non-lysimeter system) and two levels of fertilization (low and high intensity) were used. The experiment was repeated three times. Among others soil, forage quality, development of plant stands and leachates were examined. Furthermore, nitrogen balances were calculated for selected variants.

During the observation period, dry matter yield, crude protein content and yield remained below expectations. In the seeding year, dry matter yields were half to one third lower than they were in the main production years. Newly established plant stands normally don't reach full productivity in the seeding year due to different duration in germination and development of the individual plant species.

Winklhof was characterized by high annual rainfalls (1301 to 1720 mm) and leachates (705 and 1083 mm) during the experimental period. In the seeding year, the nitrate-parameter value of 50 mg/l leachate was exceeded. Within the three main production years the average nitrate concentration remained at a typical low level for grassland. Each year, the nitrogen balance resulted in negative values at both levels of fertilization.

It turned out that the initial seeding of ley farming areas by ploughing runs through critical phases concerning nitrogen losses. In the seeding year, the nitrogen mineralization was very high because of ploughing but on the other hand the nitrogen uptake by plants was very low. Consequently, the excessing nitrogen in the soil was eroded via leachate.

It can be concluded that in the seeding year of ley farming areas fertilization should be conducted very carefully in order to prevent nutrient leaching after ploughing. Overall, site adapted land use intensity is important to minimize nutrient losses into groundwater and atmosphere.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
1.1	Fragestellungen	1
1.2	Zielsetzung	2
2	Literaturüberblick	3
2.1	Grünlandwirtschaft	3
2.1.1	Bedeutung der Grünlandwirtschaft in Österreich	3
2.1.2	Abgrenzung von Dauergrünland und Ackerflächen	4
2.1.3	Zusammensetzung des Pflanzenbestandes im Dauergrünland und Feldfutterbau	5
2.2	Gesetzeslage im Bereich der Düngung	7
2.2.1	EU-Nitratrichtlinie 91/676/EWG	7
2.2.2	EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG	11
2.2.3	Richtlinie für die sachgerechte Düngung	11
2.2.4	EU Grundwasserrichtlinie 80/68/EWG	12
2.2.5	Trinkwasserverordnung BGBl. II NR. 304/2001 i. d. g. F.	13
2.2.6	ÖPUL-Massnahme Regionalprojekt für Grundwasserschutz und Grünlanderhaltung in Salzburg	13
2.2.7	Der Weg vom Brutto-Stickstoffanfall zum jahreswirksamen Stickstoff	15
2.3	Bedeutung des Stickstoffs für Landwirtschaft und Umwelt	16
2.3.1	Der landwirtschaftliche Stickstoffkreislauf	16
2.3.2	Nährstoffbilanz	21
2.4	Bodenwasserhaushalt	21
3	Material und Methoden	24
3.1	Versuchsstandort	24
3.1.1	Klima- und Wetterdaten am Versuchsstandort	24
3.1.2	Versuchsboden	28
3.2	Vorgeschichte der Bodennutzung am Versuchsstandort	29
3.3	Versuchsdesign	30
3.3.1	Versuchsplan	30
3.3.2	Beschreibung der Lysimeter- und Saugkerzenanlage	31
3.3.3	Anlage des Versuches	33
3.3.4	Düngung und Nutzung	33
3.4	Durchgeführte Erhebungen	35
3.4.1	Bodenuntersuchungen	35
3.4.2	Pflanzenbauliche Erhebungen	36
3.4.3	Botanische Erhebungen	38
3.4.4	Sickerwassererhebungen	40
3.4.5	Stickstoffflächenbilanz	42
3.5	Statistische Auswertungen	44
4	Ergebnisse und Diskussion	45
4.1	Auswirkung der Versuchsfaktoren auf ausgewählte Bodenkennwerte	45
4.1.1	Bodenart und Bodenschwere	45
4.1.2	Humusgehalt und organischer Kohlenstoff	46
4.1.3	Bodenreaktion – Säuregrad	47
4.1.4	Stickstoffmineralisierungspotenzial	48
4.1.5	Pflanzenverfügbare Nährstoffe – Phosphor und Kalium	48

4.1.6	Kaliumfixierung	49
4.1.7	Austauschbare Kationen	50
4.1.8	Pflanzenverfügbares Magnesium	50
4.1.9	Elektrische Leitfähigkeit	51
4.2	Pflanzenbauliche Kennwerte	53
4.2.1	Futterertrag und Futterqualität	53
4.2.2	Stickstoffeffizienz	59
4.2.3	Entwicklung der Pflanzenbestände	61
4.3	Ausgewählte Kennwerte des Wasserhaushaltes	76
4.3.1	Niederschlag und Sickerwassermenge	76
4.3.2	pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser	79
4.3.3	Nährstoffauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	108
4.4	Stickstoffflächenbilanz	118
5	Schlussfolgerungen	124
6	Abbildungsverzeichnis	127
7	Tabellenverzeichnis	128
8	Literaturverzeichnis	131
9	Anhang	138

ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS

μ

μS
Mikrosiemens

A

AK
Austauschkapazität

B

BGBI
Bundesgesetzblatt
Bmg
Bundesministerium für Gesundheit

C

C/N-Verhältnis
Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis
Ca²⁺
Calcium
CaO
Calciumoxid
CH₄
Methan
CH₄N₂O
Harnstoff
Cl⁻
Chlorid
cmol+/1000 g
centimol Ionenäquivalent
CO₂
Kohlendioxid
C_{org}
organischer Kohlenstoff

D

DGVE
Dunggroßvieheinheit
dt
Dezitonne
dT
Temperaturfehler

F

Fe
Eisen
FL-%
Flächenprozent

G

G-%
Gewichtsprozent
GVE
GroßViehEinheiten
GWRL
EU-Grundwasserrichtlinie

H

H₂O
Wasser
HNO₃
Salpetersäure
hPa
Hektopascal

I

i.d.g.F
in der geltenden Fassung
i.d.TM
in der Trockenmasse

K

K⁺
Kalium
K₂O
Kaliumoxid
KAK
Kationenaustauschkapazität
kg/ha*a
Kilogramm pro Hektar und Jahr
Konz
Konzentration

L

LFS
landwirtschaftliche Fachschule
LFZ
Lehr- und Forschungszentrum

M

max
Maximum
Med
Median
Mg²⁺
Magnesium
min
Minimum

N

N	Stickstoff
N ₂	elementarer/Luft Stickstoff
N ₂ O	Distickstoffmonoxid/Lachgas
Na ⁺	Natrium
NEL	Netto-Energie-Laktation
N _{ex Lager}	Stickstoff ex Lager
N _{feldfallend}	Stickstoff feldfallend
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂ ⁻	Nitrit
NO ₃ ⁻	Nitrat
N _{tot}	Gesamtstickstoffgehalt

O

∅	Durchschnitt
O ₂	elementarer Sauerstoff
ÖAG	Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau
ÖNORM	österreichische Normen
ÖPUL	Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiver und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft

P

P	Phosphor
P ₂ O ₅	Phosphorpentoxid
PO ₄ ²⁻	Phosphat

Q

QZV Chemie GW	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
---------------	--

S

s	Standardabweichung
S	Sand
	Schwefel
SO ₄ ²⁻	Sulfat

T

T	Ton
TM	Trockenmasse
TWV	Trinkwasserverordnung

U

U	Schluff
---	---------

W

WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
------	---------------------------

X

x ⁻	Mittelwert
XP	Rohprotein

1 EINLEITUNG

Die Gewässerbelastung mit Nährstoffen erfolgt vor allem durch Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Beide führen unter anderem zu Eutrophierung, Abnahme der Artenvielfalt und Gefährdung der Trinkwassergewinnung und Badenutzung von Gewässern. Mögliche Ursachen für landwirtschaftliche Stickstoffeinträge sind organische und mineralische Düngemittel, falscher Düngezeitpunkt, aber auch atmosphärische Deposition und der natürliche Stickstoffpool des Bodens (vgl.: FREDE et al., 1998, 4).

Stickstoff und allem voran Nitrat ist ein lebensnotwendiger Nährstoff für die Pflanzen, um wachsen zu können. Wenn die Pflanze nicht das gesamte im Boden verfügbare Nitrat aufnehmen kann, kommt es zu Überschüssen, die durch Niederschlag in tiefere Bodenschichten und somit in das Grundwasser gelangen können. Der Austrag von Stickstoff ist von der Höhe der Niederschläge und der Sickerwasserbildung, aber auch von der Nährstoffkonzentration und der Menge an mineralischem Stickstoff im Boden, abhängig (vgl.: http://www.lebensministerium.at/wasser/wasserqualitaet/grundwasser/nitrat_grundwasser.html, Stand: Dezember 2011).

Aus gesundheitlicher Sicht sind erhöhte Nitratgehalte im Wasser unerwünscht. Nitrit ist ein Umbauprodukt des Nitrats und gilt als gesundheitsschädlich. Das aufgenommene Nitrat wird im menschlichen Körper teilweise durch z. B. Speichel im Mund in Nitrit umgewandelt. Nitrit kann durch Reaktionen im Blut besonders bei Kleinkindern (bis zum ca. 5. Lebensmonat) aufgrund der besonderen Blutzusammensetzung die Sauerstoffaufnahme einschränken oder blockieren und somit zu akuter Lebensgefahr führen (vgl.: BMLFUW, 2008b, 7f).

Durch die Intensivierung der Landwirtschaft und den damit oftmals verbunden höheren Tierbesatzzahlen kommt es häufiger zu positiven Stickstoffbilanzen und Überdüngung von Acker- und Grünlandböden. Auch die Schnitthäufigkeit im Grünland ist gestiegen, was deutliche Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Pflanzenbestände hat. Viele Pflanzenarten bzw. Pflanzengesellschaften verschwinden durch das häufigere Mähen und stärkere Düngen. Somit hat die Intensivierung und Düngung der Acker- und Grünlandböden einen entscheidenden Einfluss auf unsere Umwelt. Die Reinhaltung des Wassers als unser Lebenselixier, aber auch die Erhaltung unserer Artenvielfalt, die unseren Lebensraum ausmacht, sind oberstes Prinzip und müssen auch zukünftig gewährleistet sein.

1.1 FRAGESTELLUNGEN

Innerhalb dieser Masterarbeit werden folgende Fragen bearbeitet:

- Wie verändern die verschiedenen Düngungsniveaus den Ertrag, Rohproteingehalt/-ertrag und Stickstoffentzug der angebauten Feldfuttermischung?
- Wie wirken sich einzelne Düngungsniveaus hinsichtlich der Artengruppenzusammensetzung aus?
- Wie hat sich die angesäte Rezeptur/Mischung hinsichtlich des Artenspektrums entwickelt?
- Wie wirken sich unterschiedliche Düngungsintensitäten auf die Nährstoffauswaschung insbesondere die Stickstoffauswaschung aus?
- Was ergibt die Stickstoffbilanzierung (Input/Output) für einzelne Versuchsvarianten?

1.2 ZIELSETZUNG

Das Ziel dieser Masterarbeit war die Auswertung einer vierjährigen Feldversuchsreihe am Standort Winklhof in Salzburg. Dazu wurde die Ertrags- und Vegetationsentwicklung von unterschiedlich stark gedüngtem Feldfutter analysiert und der Zusammenhang zwischen Bewirtschaftungsintensität und Aspekten des Stickstoffhaushalts mit dem Schwerpunkt Stickstoffauswaschung ermittelt. Weiters wurden Stickstoffflächenbilanzen berechnet und wichtige Zusammenhänge zwischen dem Wasserhaushalt und dem Stickstoffhaushalt dargestellt.

2 LITERATURÜBERBLICK

Im Kapitel Literaturüberblick wird auf die Grünlandwirtschaft, die aktuelle Gesetzeslage im Bereich der Düngung sowie den Stickstoff- und Bodenwasserhaushalt eingegangen. Zu jedem Unterpunkt erfolgt ein Literaturüberblick zum besseren Verständnis im Ergebnis- und Schlussfolgerungsteil.

2.1 GRÜNLANDWIRTSCHAFT

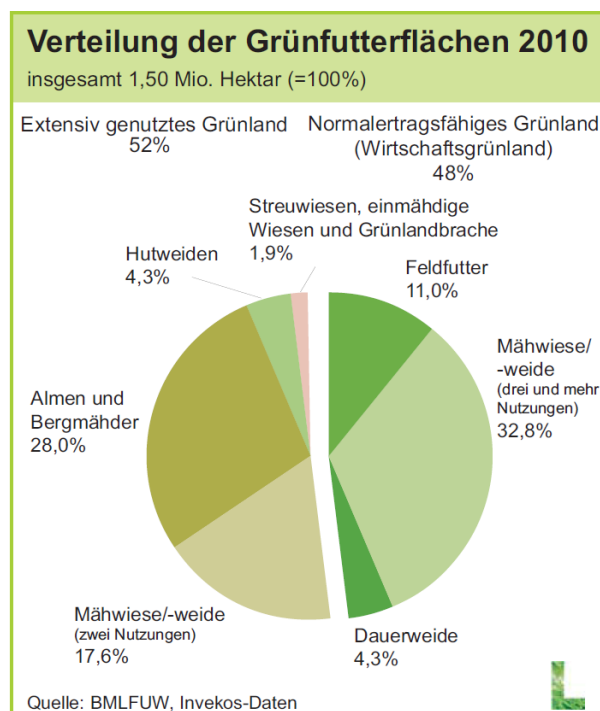
Die Bedeutung der Grünlandwirtschaft in Österreich, die Abgrenzung von Dauergrünland und Ackerfläche und die Zusammensetzung des Pflanzenbestands im Dauergrünland und Feldfutterbau werden in diesem Unterkapitel erläutert.

2.1.1 BEDEUTUNG DER GRÜNLANDWIRTSCHAFT IN ÖSTERREICH

In Österreich ist Grünland in seiner Vielfalt die dominierende Kulturart der Hauptproduktionsgebiete Hochalpen, Voralpen und des Alpenvorlands, welches sich über einen weiten Höhenstufen- und Hangneigungsgradienten erstreckt. Auf Basis der INVEKOS-Daten umfasst das Dauergrünland in Österreich insgesamt 1,4 Mio. ha, wovon ca. 48 % als normal ertragsfähiges Grünland und etwa 52 % als extensives Grünland genutzt werden (siehe Abbildung 1). Die Feldfutterfläche beträgt in etwa 160.000 ha. Aufgrund der starken Anstiege der Kraftfutter- und Energiepreise rücken die Bedeutung des wirtschaftseigenen Futters und dessen Ertrag und Qualität stärker in den Vordergrund. Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Grünfutterflächen im Jahr 2010, wobei 11,0 % auf Feldfutter fallen und der Rest auf Dauergrünland (vgl.: BMLFUW, 2011a, 40f).

In den letzten Jahren kommen dem Feldfutterbau mit Kleegräsern, Wechselwiesen, Luzerne und Rotkleebeständen wieder mehr Bedeutung zu, vor allem in trockenen Regionen (vgl.: BUCHGRABER und SCHAUMBERGER, 2006, 2).

Abbildung 1: Verteilung der Grünfutterflächen 2010



Quelle: BMLFUW, 2011a, 41.

Die Ackerfläche in Österreich beträgt 1,36 Mio. ha, dabei nimmt der Getreidebau mit 59,5 % den größten Teil ein, gefolgt vom Feldfutterbau mit 18,1 %. Zum Feldfutterbau zählen die Kulturen Silomais und Grünmais, Rotklee und sonstige Kleearten, Luzerne, Klee gras, sonstiges Feldfutter (Mischling) und Wechselwiesen (Wechselgrünland, Egart) (vgl.: BMLFUW, 2011a, 65).

Vergleicht man die Anbauflächen innerhalb des Feldfutterbaus, haben Silomais und Grünmais mit 81.239 ha die größte Bedeutung, gefolgt von Klee gras mit 62.994 ha und Wechselwiesen mit 59.169 ha (für das Jahr 2010). Weniger Bedeutung hingegen hat der sonstige Feldfutterbau mit 16.525 ha, Luzerne mit 15.045 ha und Rotklee und sonstige Kleearten mit 11.516 ha (vgl.: BMLFUW, 2011a, 194).

2.1.2 ABGRENZUNG VON DAUERGRÜNLAND UND ACKERFLÄCHEN

Grundsätzlich kann man Grünland anhand seiner botanischen Zusammensetzung, der Art und Nutzung und der Zielsetzung der Bewirtschaftungs- bzw. Erholungsfunktion unterscheiden. Dadurch lässt sich Grünland in drei Formen unterteilen:

- Dauergrünland
- Wechselgrünland
- Ackergrünland (Feldfutterbau) (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 22f).

Das Dauergrünland ist laut (EG) Nr. 796/2004 der Europäischen Kommission folgendermaßen definiert: „Flächen, die durch Einsaat oder auf natürliche Weise (Selbstaussaat) zum Anbau von Gras oder anderen Grünfütterpflanzen genutzt werden und mindestens fünf Jahre lang nicht Bestandteil der Fruchtfolge eines landwirtschaftlichen Betriebs waren ...“ (VERORDNUNG (EG) Nr. 796/2004 DER KOMMISSION vom 21. April 2004).

Der Erhalt von Dauergrünland ist Bestandteil von Förderungsvoraussetzungen im Rahmen des ÖPUL (Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft) und der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen (Cross Compliance), da er eine wichtige Rolle zur Aufrechterhaltung der Biodiversität spielt (vgl.: News vom 8.4.2008 – ÖPUL-Information, <http://www.ama.at/Portal.Node/public>, Stand: September 2011).

Die Wechselwiese (Wechselgrünland) besteht anfänglich aus feldfütterartigen Pflanzenbeständen und geht in einen Dauerwiesenbestand über (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 22ff).

Unter Feldfütterbau versteht man die Erzeugung von Fütterpflanzen, im engeren Sinne den Anbau von kleeartigen Pflanzen, Luzerne, Gräsern und Leguminosen-Gräser-Mischungen auf Acker. Fütterpflanzen sind Pflanzen, bei denen die gesamte oberirdische Pflanzenmasse für die Fütterproduktion verwendet wird (Mais, Getreide, Fütterrübe). Der Feldfütterbau liefert im Lauf eines Jahres über einen längeren Zeitraum betriebseigenes Fütter mit gleichbleibender hoher Qualität und ist deshalb besonders wichtig in Gebieten mit vielen rinderhaltenden Betrieben. Die Nutzung der Fütterpflanzen erfolgt im frischen Zustand oder in Form einer Fütterkonservierung und ermöglicht die Verfütterung der Fütterpflanzen in den Wintermonaten (vgl.: BACHL-STAUDINER und HARTMANN, 2011).

Der Feldfütterbau kann in kurzfristigen Feldfütterbau (1 bis 2 Nutzungsjahre), mittelfristigen Feldfütterbau (3 bis 4 Nutzungsjahre) und Zwischenfruchtfütterbau unterteilt werden. Er bietet die Möglichkeit, besonders leistungsfähige Arten von Grünlandpflanzen zur Fütterproduktion heranzuziehen, auch wenn diese nicht bodenständig sind. Durch den Feldfütterbau sind höhere Erträge und eine Verbesserung der Fütterqualität möglich (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 22ff).

Im Vergleich zu Dauergrünland ist auf entsprechenden Standorten und bei richtiger Durchführung der Feldfütterbau wirtschaftlich attraktiver. Vor allem in Grenzlagen des Silomaisanbaus stellt der Anbau von Klee- und Feldgräsern eine sinnvolle Alternative dar. Weiters wirkt sich der Anbau von Grünlandpflanzen auf Ackerböden positiv auf die Bodenfruchtbarkeit aus. Leguminosenbestände sind in der Lage den Luftstickstoff für ihre Eigenversorgung, teilweise aber auch für die übrigen Pflanzen im Bestand zu binden (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 22ff).

Von Agrarmarkt Austria wurden folgende Definitionen als Hilfestellung für die korrekte Beantragung von Ackerfutter im Mehrfachantrag festgelegt:

- Klee (alle Kleearten) und Luzerne sind Reinbestände mit mehr als 80 % der angegebenen Pflanzenart.
- Klee gras ist ein Gemenge von Gräsern und Klee/Luzerne (zwischen 20 % und 80 %).
- Wechselwiese ist aus verschiedenen Komponenten zusammengesetzt (jedenfalls unter 20 % Kleeanteil)
- Futtergräser sind Gräser-Reinbestand (geringster bzw. kein Klee-/Kräuteranteil).
- sonstiges Feldfutter sind diverse Futterpflanzenmischungen wie Landsberger Gemenge (vgl.: News vom 8.4.2008 – ÖPUL-Information, <http://www.ama.at/Portal.Node/public>, Stand: September 2011).

Aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsfrequenzen, Düngungsintensitäten und/oder Beweidungsniveaus ergeben sich vielfältige Nutzungstypen, die unter anderem auch stark von den Standortverhältnissen wie Klima, Boden, Topografie, Ausrichtung und Höhenlage der Flächen beeinflusst werden (vgl.: PÖTSCH und RESCH, 2009, 1ff).

2.1.3 ZUSAMMENSETZUNG DES PFLANZENBESTANDES IM DAUERGRÜNLAND UND FELDFUTTERBAU

Natürliche Standortfaktoren und Bewirtschaftungsformen prägen die Zusammensetzung des Pflanzenbestands und die Anteile der einzelnen Arten. Die auf den Futterflächen vorkommenden Pflanzenarten können zu drei Artengruppen zusammengefasst werden:

- Gräser (Süß- und Sauergräser)
- Leguminosen (Klee und kleeartige Pflanzen) und
- Kräuter

Aus Sicht der Fütterung und der Konservierung sollte der Grasanteil im Dauergrünland mindestens 50 %, höchstens 60 % betragen. Der restliche Anteil sollte ungefähr je zur Hälfte aus Leguminosen und Kräutern bestehen (siehe Tabelle 1). In Feldfutterbeständen können je nach Nutzungsrichtung die Artengruppen verändert werden (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 32ff).

Tabelle 1: Ideale botanische Zusammensetzung von Grünlandbeständen (Ertragsanteile in %)

	Gräser	Leguminosen	Kräuter
Feldfutterbestände kleebetont	30-50	40-70	0-10
Feldfutterbestände gräserbetont	60-80	10-30	0-10
Dauerwiesen	50-60	10-30	10-30

Quelle: BUCHGRABER und GERL, 2000, 5.

Gräser sind unter anderem für einen dichten Narbenschluss, die Ertragsbildung und die Erzielung guter Futterqualitäten verantwortlich. Leguminosen können den Luftstickstoff binden und zur Eigenversorgung verwenden, oder ihn anderen Pflanzen im Bestand zur Verfügung stellen. Sie sind gut verdaulich und haben einen hohen Rohprotein- und Energiegehalt. Unter dem Sammelbegriff Kräuter werden sämtliche Pflanzen, die nicht zu den Gräsern oder den Kleeartigen gehören, zusammengefasst. Dabei kann man in Beikräuter und Unkräuter unterteilen. Beikräuter können sich positiv auf die Futterqualität, Futteraufnahme und Schmackhaftigkeit auswirken und sollen in geringen Anteilen vorhanden sein, wohingegen Unkräuter nicht erwünscht sind (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 32ff).

Je nach Nutzungsdauer (Feldfutterbau, Wechselwiese, Dauergrünland), Standort (milde, mittlere oder raue Lagen) und Bewirtschaftung können die verschiedenen Saatgutmischungen unterteilt werden (vgl.: GERL, 2001, 3 und BUCHGRABER und GERL, 2000, 1ff).

Während bei Feldfuttermischungen die Nutzungsdauer mit ein bis mehreren Jahren begrenzt ist und daher raschwüchsige Sorten mit hohem Leistungspotenzial, aber eher geringeren Ausdauerseigenschaften verwendet werden, sind Dauergrünlandmischungen für eine langjährige Nutzungsdauer und Ausdauer bestimmt. In Wechselwiesenmischungen werden Arten des Feldfutterbaus (Bastardraygras, Englisches Raygras, Rotklee) und ausdauernde Arten des Grünlands (Timothee, Knautgras, Wiesenschwingel, Weißklee, Wiesenrispe) kombiniert. Feldfutterbestände werden in Abstand von mehreren Jahren wieder umgebrochen (vgl.: GERL, 2001, 3 und BUCHGRABER und GERL, 2000, 1ff).

Länger dauernde Mischungen (mehr als zweimalige Überwinterung) sind nach dem Ablöseprinzip aufgebaut. Dabei sorgen die sich rasch entwickelnden Arten (Raygräser, Rotklee) für schnellen Bestandesschluss nach der Saat, Unterdrückung von nicht angesäten Arten und Unkräuter und gute Anfangserträge. Im Laufe der Bestandesentwicklung werden die sich rasch entwickelnden, aber nicht ausdauernden Arten von den sich langsam entwickelnden Arten (Weißklee, Knautgras) abgelöst. Die langsam entwickelnden, ausdauernden Arten sorgen für eine ausgewogene botanische Zusammensetzung und einen ausgeglichenen Ertrag (vgl.: BUCHGRABER und GERL, 2000, 8).

Nicht jede natürlich vorkommende Art auf den Grünlandflächen ist erwünscht und ansaatwürdig. Im Wirtschaftsgrünland (mehrjährige Wiesen, Kulturweiden, Feldfutterflächen) sollen ansaatwürdige Arten folgende Anforderungen erfüllen:

- entsprechende Nutzungsdauer (Ausdauer, Ertrag, Ertragssicherheit, Futterwert)
- ausreichende Konkurrenzkraft in Mischsaaten
- Anpassungsfähigkeit an den Standort und die Bewirtschaftung
- Verfügbarkeit von Saatgut (vgl.: GERL, 2001, 1ff).

Tabelle 2 zeigt die ÖAG-Saatgutmischungen für den Feldfutterbau. Weiters gibt es auch noch Mischungen für Dauerwiesen, Dauerweiden, Nach- und Übersaat und Wechselwiesen, welche in dieser Arbeit nicht aufgelistet werden. Die Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (ÖAG) erarbeitet gemeinsam mit den betroffenen Saatgutfirmen und Landwirten sowie den Landwirtschaftskammern und landwirtschaftlichen Versuchs- und Forschungsinstitutionen ÖAG-Empfehlungen für besonders hochqualitative Saatgutmischungen in der Grünlandwirtschaft und im Feldfutterbau, welche laufend angepasst werden. Dabei handelt es sich um eine privatrechtlich festgelegte Qualitätsnorm, die in ihrem Qualitätsniveau die staatlichen und EU-Mindestnormen für die Anforderungen an Saatgutmischungen maßgeblich übertrifft (vgl.: KRAUTZER et al., 2010, 4).

Tabelle 2: Einteilung der ÖAG-Saatgutmischungen für den Feldfutterbau

Nutzungsdauer	Art der Mischung	Kurzbezeichnung
Feldfutterbau	- Einsommerige Kleeegrasmischung	EZ
	- Rotkleeegrasmischung für ein Hauptnutzungsjahr, für milde Lagen	RE
	- Rotkleeegrasmischung für ein Hauptnutzungsjahr, für mittlere und raue Lagen	RR
	- Mittelintensive Kleeegrasmischung für zwei bis drei Hauptnutzungsjahre, für milde und mittlere Lagen und mittlere Bewirtschaftung	KM
	- Mittelintensive Kleeegrasmischung für zwei bis drei Hauptnutzungsjahre, für raue Lagen und mittlere Bewirtschaftung	KR
	- Luzerne-Rotkleeegrasmischungen (Schrittmachergemenge) für zwei bis drei Hauptnutzungsjahre	LR
	- Luzerneegrasmischungen für zwei und mehr Hauptnutzungsjahre, für trockene und mittlere Lagen	LG
	- Feldfutter-Intensivmischung für zwei bis drei Hauptnutzungsjahre für milde und mittlere Lagen	IM
	- Feldfutter-Intensivmischung für drei Hauptnutzungsjahre und raue Lagen	IR

Quelle: nach KRAUTZER et al., 2010, 22.

2.2 GESETZESLAGE IM BEREICH DER DÜNGUNG

In diesem Kapitel werden zuerst die einzelnen Gesetze und Richtlinien welche im Zusammenhang mit der Düngung stehen, erläutert. Anschließend erfolgt die Erläuterung der Maßnahme „Regionalprojekt Grundwasserschutz und Grünlanderhaltung Salzburg“ innerhalb des ÖPUL 2007. Im Anschluss wird anhand eines Rechenbeispiels der Weg des Brutto-Stickstoffanfalls bis zum jahreswirksamen Stickstoff erläutert.

„Bezieher von Marktordnungs-Direktzahlungen (seit 2005) sowie Bezieher von bestimmten Zahlungen im Rahmen der ländlichen Entwicklung (seit 2007) und Betriebe, die im Zuge der Weinverordnung an die Rodungsregelung oder an Umstellungs- bzw. Umstrukturierungsmaßnahmen teilnehmen (ab 2010), sind verpflichtet, bestimmte Grundanforderungen an die Betriebsführung zu erfüllen und ihre Flächen in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand zu erhalten. Die Einhaltung dieser anderweitigen Verpflichtungen wird auch als ‚Cross Compliance‘ bezeichnet“ (AGRARMARKT AUSTRIA, 2010, 3).

Nachfolgend sind alle Anforderungen aufgelistet:

- Erhaltung der wild lebenden Vogelarten (VS) und Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen (FFH)
- Grundwasser
- Klärschlamm
- Nitrataktionsprogramm
- Rinder-, Schweine-, Schaf- und Ziegenkennzeichnung
- Verwendung von Pflanzenschutzmitteln
- Erhaltung in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand
- Dauergrünlanderhaltung
- Handel mit Rindern, Schafen und Ziegen und deren Erzeugnissen
- Hormonanwendungsverbot und Tierarzneimittelanwendung
- Lebensmittelsicherheit
- Biozide
- Futtermittelsicherheit
- Tierschutz
- Mindestanforderungen Phosphor (vgl.: AGRARMARKT AUSTRIA, 2010, 2).

2.2.1 EU-NITRATRICHTLINIE 91/676/EWG

Mitte der 70er und 80er Jahre kam es verstärkt zu hohen Belastungen von Grund- und Oberflächenwasser mit Nährstoffen, die das Ökosystem und die Umwelt beeinträchtigen bzw. schädigen.

Aus diesem Grund hat die EU einerseits die:

- Kommunale Abwasserrichtlinie RL 91/271/EWG für Punktquellen und andererseits die
- Nitratrictlinie RL 91/676/EWG für diffuse Quellen erlassen.

Das Ziel der Nitratrictlinie ist die durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen verursachte oder ausgelöste Gewässerverunreinigung zu verringern und weiterer Gewässerverunreinigung dieser Art vorzubeugen. Die Mitgliedsstaaten sind dazu verpflichtet, die Richtlinie 91/676/EWG durch die Festlegung eines Aktionsprogramms für die als gefährdet ausgewiesenen Gebiete oder für das gesamte Gebiet eines Mitgliedstaates umzusetzen. Weiters müssen die Mitgliedsstaaten mindestens alle 4 Jahre ihre Aktionsprogramme überprüfen, fortschreiben und einen Bericht an die Europäische Kommission übermitteln. Kernpunkte der Nitratrictlinie sind unter anderem:

- Ausweisung gefährdeter Gebiete oder des gesamten Mitgliedstaates Artikel 3
- Aufstellung von Regeln der guten landwirtschaftlichen Praxis in der Landwirtschaft Artikel 4
- Erstellung eines Aktionsprogramms Artikel 5
- Erstellung eines Überwachungsprogramms Artikel 6 und
- Bericht an die Europäische Kommission im Vierjahreszeitraum mit dem in Anhang V beschriebenen Informationen Artikel 10 (vgl.: Verordnung Aktionsprogramm 2008, http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserrecht_national/recht_gewaesserschutz/APNitrat2008.html, Stand Jänner 2011).

AKTIONSPROGRAMM 2008

Österreich hat ein Aktionsprogramm zur Anwendung auf dem gesamten Hoheitsgebiet ausgewiesen. Das derzeit aktuelle Aktionsprogramm ist vom Jahr 2008. Es ist die nationale Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie.

Im Anhang III, Absatz 2 der EU-Nitratrichtlinie ist festgehalten, dass die Möglichkeit der Inanspruchnahme einer Ausnahmeregelung in Bezug auf das Überschreiten der maximal erlaubten Stickstoff Obergrenze von 170 kg N/ha und Jahr (N = Stickstoff) aus Dung besteht. Österreich hat 2006 und 2007 von dieser Ausnahmeregelung Gebrauch gemacht. Laut EU-Nitratrichtlinie ist die Menge so festzulegen, dass sie die Erreichung der Ziele in Artikel 1 nicht beeinträchtigt.

Anhand objektiver Kriterien ist die Ausnahmeregelung zu begründen, wie z. B. lange Wachstumsphasen, Pflanzen mit hohem Stickstoffbedarf und Böden mit einem außergewöhnlich hohen Denitrifikationsvermögen. 2006 haben 9 Betriebe und 2007 lediglich 6 Betriebe von der Ausnahmeregelung Gebrauch gemacht. Daher wurde sie nicht verlängert (vgl.: BMLFUW, 2007, 1ff).

Für die Jahre 2006 und 2007 war die Ausbringung von Wirtschaftsdünger mit 230 kg N/ha für Rinderhaltungsbetriebe begrenzt. Für alle anderen Betriebe, sowie ab 1.2.2008 (Aktionsprogramm 2008) ist die Stickstoffobergrenze mit 170 kg N/ha aus Wirtschaftsdünger für alle Betriebe festgelegt (vgl.: BMLFUW, 2008a, 46).

2.2.1.1 Mengenmäßige Beschränkung der Stickstoff-Düngerausbringung

In nachfolgender Tabelle 3 sind die Düngeobergrenzen für stickstoffhaltige Düngemittel auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (ausgenommen Gartenbauflächen) aufgelistet.

Tabelle 3: Mengenmäßige Beschränkung der Stickstoff-Düngeausbringung

zulässige Stickstoffmenge	Fläche/Kultur	kg N je Hektar und Jahr
aus Wirtschaftsdünger	auf landw. genutzten Flächen	170
aus der Summe von	auf landw. genutzten Flächen ohne Gründeckung	175 *
Wirtschaftsdünger,	auf landw. genutzten Flächen mit Gründeckung	210 *
Handelsdünger, Kompost	auf landw. genutzten Flächen mit	
und anderen Düngern	stickstoffzehrender Fruchtfolge	210 *

* Diese Mengen können bei einem im Detail nachgewiesenen höheren Nährstoffbedarf der Kulturen und einer vorhergehenden wasserrechtlichen Bewilligung überschritten werden.

Quelle: AGRARMARKT AUSTRIA, 2010, 13.

Die zulässige Stickstoffhöchstmenge aus Wirtschaftsdünger von 170 kg je Hektar und Jahr darf im Durchschnitt der landwirtschaftlich genutzten Flächen eines Betriebes innerhalb der Gesamt-Stickstoffobergrenze von 175 bzw. 210 kg Stickstoff je Hektar und Jahr nicht überschritten werden. Unter Gründecke versteht man ein- oder mehrjährige, winterharte sowie abfrostdende Kulturen, die entweder bereits als Pflanzenbestand vorhanden sind oder nach der vorhergehenden Hauptkultur noch im selben Jahr angebaut werden. Die Stickstoffdünger sind innerhalb der Stickstoffobergrenzen zeitlich und mengenmäßig bedarfsgerecht auszubringen (vgl.: AGRARMARKT AUSTRIA, 2010, 13).

2.2.1.2 Stickstoff-Düngerlagerkapazität

Das Aktionsprogramm sieht eine Mindest-Lagerkapazität von sechs Monaten für Wirtschaftsdünger landwirtschaftlicher Betriebe vor. Für Betriebe mit Düngermengen von bis zu 30 GVE (GroßViehEinheiten) Viehbesatz kann die Festmistlagerkapazität auf einer dichten Lagerstätte auf drei Monate bemessen werden, sofern der Festmist auf Feldmieten zwischengelagert wird. Allerdings muss der Festmist mindestens drei Monate auf einer dichten Lagerplatte vorgelagert werden, bevor er dann auf Feldmieten gebracht wird und er darf maximal ein Jahr an derselben Stelle liegen. In Anlage 2 des Nitrataktionsprogramms sind die Stickstoffanfallswerte für sechs Monate für die verschiedenen Tierkategorien und Entmistungssysteme enthalten, die dann nur mehr mit dem tatsächlichen durchschnittlichen Viehbestand multipliziert werden, um die Düngerlagekapazität zu erhalten (vgl.: AGRARMARKT AUSTRIA, 2010, 14).

2.2.1.3 Verbotszeiträume für die Stickstoff-Düngerausbringung

Die Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln ist auf durchgefrorenen Böden (Böden, die auch tagsüber nicht auftauen), auf wassergesättigten (Böden, die kein Wasser mehr aufnehmen) oder überschwemmten Böden sowie bei geschlossener Schneedecke (mind. 5 cm) unzulässig.

Weiters besteht für folgende Zeiträume ein Ausbringungsverbot für stickstoffhaltige Düngemittel:

- zwischen 15. Oktober bis 15. Februar* das Ausbringen von stickstoffhaltigen Mineraldüngern, Gülle, Jauche und Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzten Flächen **ohne** Gründeckung
- zwischen 15. November bis 15. Februar* das Ausbringen von stickstoffhaltigen Mineraldüngern, Gülle, Jauche und Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzten Flächen **mit** Gründeckung
- zwischen 30. November bis 15. Februar* das Ausbringen von Stallmist, Kompost, entwässerter Klärschlamm, Klärschlammkompost auf **allen** landwirtschaftlich genutzten Flächen
- für früh anzubauende Kulturen (z. B. Durum, Sommergerste, Feldgemüse) und für Gründeckungen mit frühem Stickstoffbedarf (z. B. Raps, Wintergerste, Feldgemüseanbau unter Vlies oder Folie) ist eine Düngung bereits ab 1. Februar zulässig.

Vom 1. Oktober bis zum Beginn des Verbotszeitraumes dürfen maximal 60 kg Reinstickstoff je Hektar mittels stickstoffhaltigen Mineraldüngern, Gülle, Jauche und Klärschlamm ausgebracht werden (vgl.: AGRARMARKT AUSTRIA, 2010, 14).

2.2.1.4 Stickstoff-Düngung in Hanglagen

Wenn erfahrungsgemäß die Abschwemmungsgefahr in Oberflächengewässer besteht, hat die Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln zu unterbleiben. Auf Flächen mit einer durchschnittlichen Neigung von mehr als 10 % zum Gewässer sind folgende Schutzmaßnahmen anzuwenden:

- Teilung von Stickstoffgaben von mehr als 100 kg/ha (ausgenommen Stallmist und Kompost). Unmittelbar vor dem Anbau sind höchstens 100 kg Stickstoff je Hektar zulässig.
- für Kulturen mit besonders später Frühjahrsentwicklung (Zuckerrübe, Mais) sind außerdem folgende Punkte zu beachten:
 - Untergliederung in Teilstücke mit Querstreifeneinsaat, Quergräben mit bodenbedeckendem Bewuchs (im Boden verwurzelte lebende oder tote Pflanzen mit flächendeckender Bedeckung des Bodens) oder sonstige gleichwertige Maßnahmen (z. B. Schlagteilung)
 - Anlage eines gut bestockten Streifens (bestehend aus ein- oder mehrjährigen Pflanzen mit guter Flächendeckung) zwischen der zur Stickstoffdüngung vorgesehen Ackerfläche oder dem Gewässer von mindestens 20 Metern
 - Anbau quer zum Hang

- Mulchsaat, Direktsaat
- Bestockung (mit ein- oder mehrjährigen Pflanzen bewachsen) über den Winter.

Für Schläge, die kleiner als ein Hektar sind und in Berggebieten im alpinen Raum liegen, gelten diese Anforderungen nicht (vgl.: AGRARMARKT AUSTRIA, 2010, 15).

2.2.1.5 Stickstoff-Düngung entlang von Gewässern

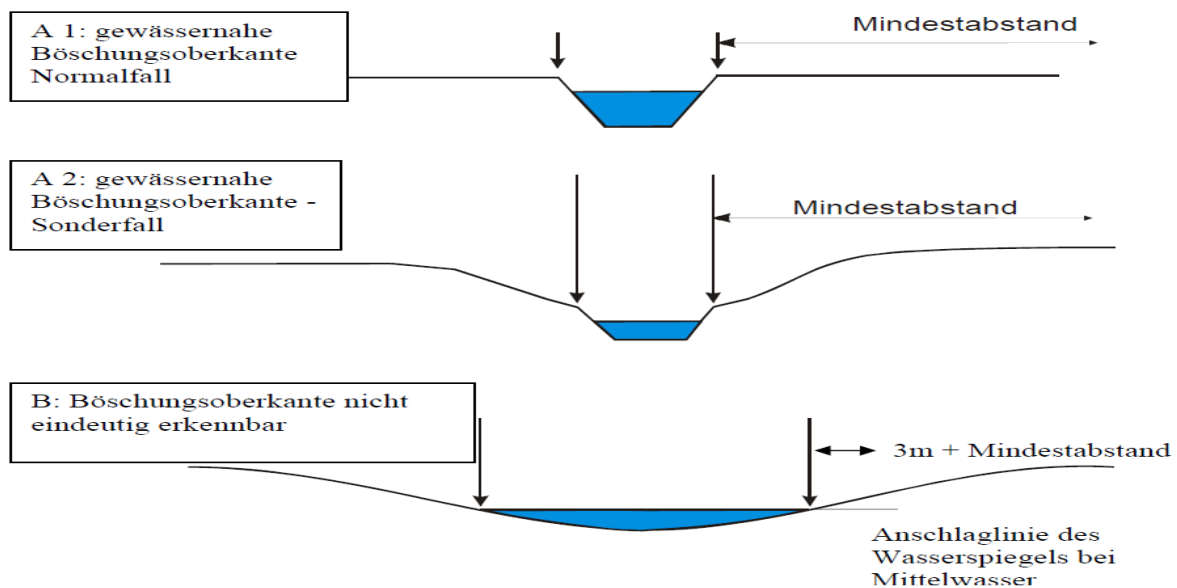
Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen entlang von Oberflächengewässern, ist bei der Düngung auf Folgendes zu achten:

- ein direkter Eintrag von Nährstoffen in Oberflächengewässer ist durch Einhaltung des Mindestabstandes zwischen dem Rand der Ausbringungsfläche und der Böschungsoberkante des angrenzenden oberirdischen Gewässers (= Gewässerrandstreifen) zu vermeiden
- für Maßnahmen, damit es zu keiner Abschwemmung in oberirdische Gewässer kommt, ist Sorge zu tragen

Ist eine natürliche Böschungsoberkante nicht eindeutig erkennbar, so sind die in der nächsten Tabelle angeführten Mindestabstände zwischen dem Rand der Ausbringungsfläche und der Anschlaglinie des Wasserspiegels bei Mittelwasser zuzüglich weiteren drei Metern einzuhalten (vgl.: AGRARMARKT AUSTRIA, 2010, 15).

Weiters ist in Abbildung 2 zu sehen, wie der Mindestabstand berechnet wird.

Abbildung 2: Mindestabstand zur Böschungsoberkante



Quelle: http://www.agrar.steiermark.at/cms/dokumente/10480969_14206455/756f0cf5/Vorblatt_Aktionsprogramm_2008.pdf, Stand Jänner 2011.

Verwendet man Düngerausbringungsgeräte mit exakter Streubreite, kann die festgeschriebene Breite des Gewässerrandstreifens reduziert werden. In Tabelle 4 sind die Mindestabstände aufgelistet. Bei Düngungsgeräten mit exakter Streubreite gelten die Werte in Klammer mit Stern*.

Tabelle 4: Mindestabstand zu stehenden und fließenden Gewässern

	Hangneigung	Stehende Gewässer		fließende Gewässer	
		Regelfall	exakte Ausbringung	Regelfall	exakte Ausbringung
Grünland	bis zu 10 %	20 m	10 m	5 m (3m*)	2,5 m (1,5 m*)
	mehr als 10 %	20 m	10 m	5 m (3m*)	5 m (3 m*)
Acker	bis zu 10 %	20 m	10 m	5 m (3m*)	2,5 m (1,5 m*)
	mehr als 10 %	20 m	10 m	10 m	5 m (3 m*)

Quelle: AGRARMARKT AUSTRIA, 2010, 15.

2.2.2 EU-WASSERRAHMENRICHTLINIE 2000/60/EG

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) trat 2000 in Kraft und zielt auf die Erreichung eines guten ökologischen und guten chemischen Zustands für Oberflächengewässer sowie eines guten ökologischen Potenzials und eines guten chemischen Zustands für erheblich veränderte oder künstliche Gewässer bis 2010 ab. Eine systematische Verbesserung und keine weitere Verschlechterung sind das Ziel dieser Richtlinien.

Die Mitgliedstaaten sind unter anderem zu folgenden zentralen Elementen der WRRL verpflichtet:

- Umweltziele für Oberflächengewässer und Grundwasser zu verankern,
- die Flusseinzugsgebiete umfassend zu analysieren,
- ein Überwachungsmessnetz zu errichten,
- flussgebietsbezogene Bewirtschaftungspläne samt Maßnahmenprogramm unter Einbeziehung der Öffentlichkeit zur Erreichung der Ziele bis zum Jahr 2015 zu erstellen und
- die Bewirtschaftungspläne für die Flusseinzugsgebiete zyklisch (alle 6 Jahre) zu überarbeiten.

In Österreich wurde die EU-Wasserrahmenrichtlinie im Jahr 2003 durch eine Novelle des Wasserrechtsgesetzes 1959 (BGBl. NR. 215/1959 i. d. g. F.) in nationales Recht überführt (vgl.: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasser/eu-wrrl/>, Stand: November 2011).

Das **Wasserrechtsgesetz** verfolgt folgende Themenkreise:

- Benutzung der Gewässer
- Schutz und Reinhaltung der Gewässer
- Schutz vor den Gefahren des Wassers
- Nachhaltige Bewirtschaftung.

Unter anderem sind laut Wasserrechtsgesetz § 30 alle Gewässer so Reinzuhalten und zu schützen,

- dass die Gesundheit von Mensch und Tier nicht gefährdet werden kann,
- dass Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes und sonstige fühlbare Schädigungen vermieden werden können,
- dass eine Verschlechterung vermieden wird,
- dass eine nachhaltige Wassernutzung gefördert wird,
- dass eine Verbesserung der aquatischen Umwelt, u.a. durch spezifische Maßnahmen zur schrittweisen Reduzierung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten von gefährlichen Schadstoffen gewährleistet wird.

Laut „Gesamte Rechtsvorschrift für Wasserrechtsgesetz 1959, Fassung vom 02.11.2011, § 32.“ sind Einwirkungen auf Gewässer, die unmittelbar oder mittelbar deren Beschaffen beeinträchtigen, nur nach einer wasserrechtlichen Bewilligung zulässig. In Tabelle 3 ist die mengenmäßige Beschränkung der Stickstoff-Düngeausbringung dargestellt. Werden diese Werte überschritten, bedarf es im Vorhinein einer wasserrechtlichen Bewilligung. Dabei ist jene Menge an Stickstoff in feldfallender Wirkung anzurechnen, die gemäß einer Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Aktionsprogramm zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen in zulässiger Weise durch Wirtschaftsdünger ausgebracht wird.

2.2.3 RICHTLINIE FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG

Die Richtlinie für die sachgerechte Düngung wurde vom Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz erstellt. Dieser Fachbeirat ist eine Kommission zur Beratung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft in Fragen des Bodenschutzes, der Bodenfruchtbarkeit, des Gewässerschutzes sowie der Düngung.

Die Richtlinie für die sachgerechte Düngung besitzt zwar keinen normativen, rechtlichen Charakter, wird aber sowohl in Behördenverfahren als auch für Förderungsrichtlinien wie ÖPUL als fachliche Grundlage herangezogen. Die Werte für die kulturartenbezogene Stickstoffdüngung in Anlage 3 des Aktionsprogramms 2008 sind in Anlehnung an die Richtlinie für die Sachgerechte Düngung 6. Auflage festgelegt (vgl.: <http://www.lebensministerium.at/land/produktion-maerkte/pflanzliche-produktion/boden-duengung/Bodenschutz.html>, Stand Jänner 2011).

In Tabelle 5 sind die kulturartbezogenen Stickstoffbedarfswerte, die auch die jeweiligen Obergrenzen darstellen, für Grünland und Feldfutter aufgelistet.

Tabelle 5: Maximale Stickstoff-Bedarfswerte im Grünland und Feldfutterbau bei mittlerer Ertragslage

Kultur	kg N/ha	Kultur	kg N/ha
Almen	20	4 Nutzungen, gräserbetont	160
1 Nutzung (gäserbetont), Hutweiden	30	4 Nutzungen, 40 - 80 % Leguminosen	120
1 Nutzung, 40 - 80 % Leguminosen	20	ab 5 Nutzungen, gräserbetont	210
2 Nutzungen, gräserbetont	90	ab 5 Nutzungen, 40 - 80 % Leguminosen	160
2 Nutzungen, 40 - 80 % Leguminosen	70	Leguminosenreinbestände	0
3 Nutzungen, gräserbetont	120	Dauerweide	100
3 Nutzungen, 40 - 80 % Leguminosen	90		

Quelle: LK-Düngerrechner, 2010.

2.2.4 EU GRUNDWASSERRICHTLINIE 80/68/EWG

Die EU-Grundwasserrichtlinie (GWRL) ergänzt die EU-Wasserrahmenrichtlinie. Sie legt Qualitätskriterien fest und führt Maßnahmen zur Verhinderung oder Begrenzung des Eintrags von Schadstoffen in das Grundwasser ein. Die Grundwasserrichtlinie fordert ergänzend zur Wasserrahmenrichtlinie von den Mitgliedstaaten:

- „die Festlegung von Grundwasser-Schwellenwerten (Qualitätsnormen) durch die Mitgliedstaaten bis Ende 2008,
- die Durchführung von Untersuchungen zu den Belastungstrends anhand von vorhandenen Daten und Überwachungsdaten, deren Erhebung nach der WRRL verpflichtend ist,
- die Umkehrung der Belastungstrends, sodass die Umweltziele mit den in der WRRL vorgesehenen Maßnahmen bis 2015 erreicht werden können,
- die Umsetzung von Maßnahmen zur Verhinderung oder Begrenzung der Einträge von Schadstoffen in das Grundwasser, um die Umweltziele der WRRL bis 2015 zu erreichen,
- die Überprüfung der fachlichen Bestimmungen der Richtlinie im Jahre 2013 und danach alle sechs Jahre,
- die Einhaltung der Kriterien, die den guten chemischen Zustand bestimmen, der bis 2015 zu erreichen ist (basierend auf den EU-Normen für Nitrat und Pestizide und den Schwellenwerten, die von den Mitgliedstaaten festgelegt werden)“ (<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasser/eu-wrrl/wrrlg/eu-gwrl/>, Stand: November 2011).

In der EU-Wasserrahmenrichtlinie sind die grundsätzlichen Ziele für die Bewirtschaftung des Grundwassers in Europa festgelegt. In der EU-Grundwasserrichtlinie sind detaillierte Kriterien für die Bewertung des chemischen Zustands geregelt. Sie sieht die Festlegung nationaler Grundwasserqualitätsnormen (Schwellenwerte), ergänzend zu den EU-weiten Grundwasserqualitätsnormen für Nitrat und Pestizide, für jene Schadstoffe, welche dafür verantwortlich sind, dass Grundwasserkörper als gefährdet im Sinne der WRRL eingestuft werden, vor. Diese Grundwasserschwellenwerte sind in Österreich im Rahmen der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW BGBl. II Nr. 98/2010) festgelegt.

Mit der QZV Chemie GW, treten die Verordnung über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (Grundwasserschutzverordnung BGBl. II Nr. 398/2000) und die Verordnung betreffend Schwellenwerte für Grundwasserinhaltsstoffe (Grundwasserschwellenwertverordnung BGBl. Nr. 502/1991, in der Fassung der Verordnung BGBl. II Nr. 147/2002), außer Kraft (vgl.: http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasser/eu-wrrl/wrrlg/gw_schwellenwerte/, Stand: November 2011).

2.2.5 TRINKWASSERVERORDNUNG BGBl. II NR. 304/2001 I. D. G. F.

Die Trinkwasserverordnung (TWV) regelt die Anforderungen an die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Demnach muss Wasser geeignet sein, ohne Gefährdung der menschlichen Gesundheit, getrunken oder verwendet zu werden. Im Anhang I Teil A und B sind die Mindestanforderungen an das Trinkwasser, im Teil C die Indikatorparameter für Überwachungszwecke festgelegt.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die innerhalb dieser Arbeit wichtigsten Schwellenwertparameter laut Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser und Höchstwerte bzw. Indikatorparameter der Trinkwasserverordnung.

Tabelle 6: Grenzwerte

Parameter	QZV Chemie GW	TWV	österreichisches Lebensmittelbuch
pH-Wert		$\geq 6,5$ und $\leq 9,5$ *	
elektrische Leitfähigkeit μS	2250	2500 *	
Natrium mg/l		200 *	
Ammonium mg/l	0,45	0,5	
Kalium mg/l			50 (± 5)
Calcium mg/l			400 (± 40)
Magnesium mg/l			150 (± 15)
Chlorid mg/l	180	200 *	
Nitrit mg/l	0,09	0,1 +	
Nitrat mg/l	45	50 +	
Sulfat mg/l	225	250 *	

+ Parameterwert (zulässige Höchstwert)

* Indikatorparameter (bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen und festzuhalten)

Quelle: vgl.: Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser BGBl. II Nr. 98/2010, Trinkwasserverordnung BGBl. II NR. 304/2001 i. d. g. F. und österreichisches Lebensmittelbuch Codex B1 Trinkwasser.

2.2.6 ÖPUL-MASSNAHME REGIONALPROJEKT FÜR GRUNDWASSERSCHUTZ UND GRÜNLANDERHALTUNG IN SALZBURG

Im Bundesland Salzburg gibt es innerhalb des ÖPUL 2007 Programms die Maßnahme „Regionalprojekt für Grundwasserschutz und Grünlanderhaltung“, welche zum Ziel hat, die bisherige landwirtschaftliche Grünlandnutzung in Produktionslagen mit überdurchschnittlicher Bonität und der Möglichkeit der Umwandlung in eine Ackerkultur, insbesondere in Mais, aufrechtzuerhalten. Aufgrund des fehlenden Umbruchs (Sauerstoffeintrag), sowie der durchgehenden Pflanzendecke, gibt es auf Dauergrünland kaum Nitratauswaschung, weshalb die Aufrechterhaltung des Grünlands in bestimmten Regionen eine wesentliche Voraussetzung ist, um das hochwertige Grund- und Trinkwasservorkommen auch in Zukunft zu erhalten. Zwischen 1959 und 1990 wurden im Programmgebiet etwa 12.500 ha Ackerland in Grünland umgewandelt, allerdings besteht nun aufgrund geänderter Rahmenbedingungen die Gefahr einer umgekehrten Entwicklung. Ziel des Salzburger Regionalprojektes ist es, das hochwertige Grund- und Trinkwasser im betreffenden Gebiet durch Verringerung von Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässern und in das Grundwasser zu verringern. Insbesondere im Cross Compliance Bereich „Grundwasserschutz und Schutz der Gewässer vor Nitratreintrag“ und „Dauergrünlanderhaltung“, sowie der Vorgabe zum „Guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand“, gehen die Auflagen des Regionalprojektes über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus (vgl.: BMLFUW, 2011b, 354ff).

Je nach Viehbesatz beträgt die Höhe der Förderung der in den ausgewiesenen Gebieten liegenden Mähwiesen und Mähweiden mit mindestens 2 Nutzungen sowie Dauerweiden, alle mit Hangneigung > 25 % bei Viehbesatz > 1,76 GVE/ha 95 €/ha und bei Viehbesatz ≤ 1,76 GVE/ha 125 €/ha (vgl.: BMLFUW, 2011b, 354ff).

Folgende Förderungsvoraussetzungen sind am gesamten Betrieb einzuhalten:

- I. „Teilnahme an der Maßnahme:
 - a. „Biologische Wirtschaftsweise“ (Maßnahme 1) oder
 - b. „Umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen“ (Maßnahme 2).
- II. Betriebssitz im Land Salzburg
- III. Förderbare Grünlandflächen nur in folgenden Gebieten:

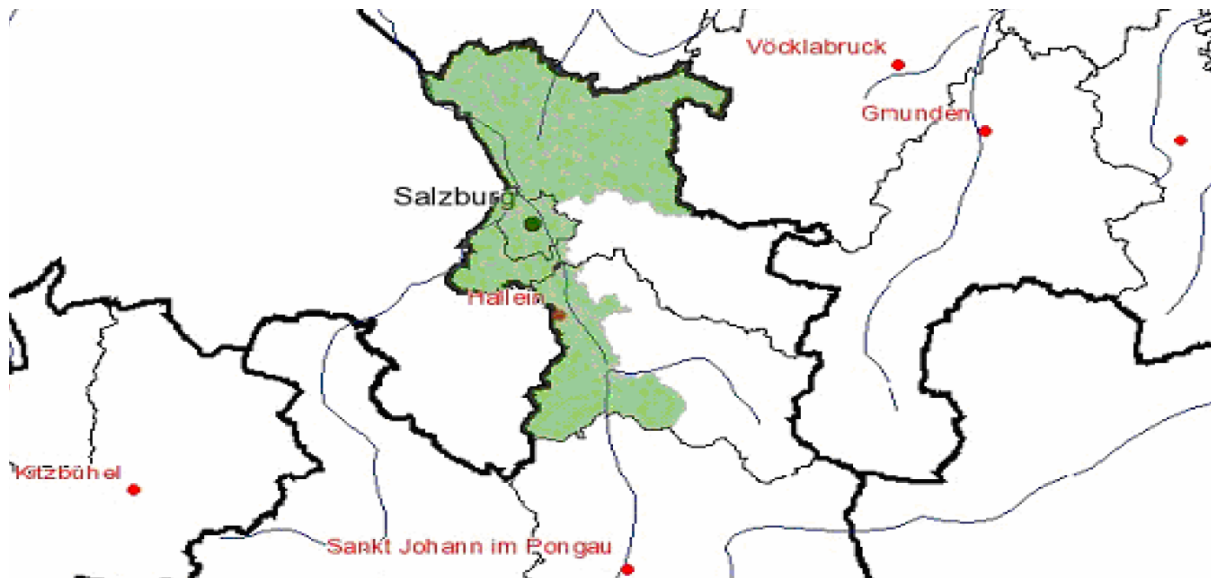
Politische Gemeinden: Anif, Anthering, Bergheim, Berndorf bei Salzburg, Bürmoos, Dorfbeuern, Elixhausen, Eugendorf, Göming, Golling an der Salzach, Grödig, Großmain, Hallein, Hallwang, Henndorf am Wallersee, Köstendorf, Kuchl, Lamprechtshausen, Mattsee, Neumarkt am Wallersee, Nußdorf am Haunsberg, Oberalm, Oberndorf bei Salzburg, Obertrum am See, Salzburg, Sankt Georgen bei Salzburg, Schleedorf, Seeham, Seekirchen am Wallersee, Straßwalchen, Wals-Siezenheim.

Katastralgemeinden: Thalgau, Enzersberg, Aigen II, Elsbethen, Thurn, Thurnberg, Adnet I, Vigaun, Scheffau.

Teile von Katastralgemeinden: Die Beckenlage der Ortschaft Waidach von der Katastralgemeinde Spumberg, die südlich der Autobahn gelegenen Flächen von der Katastralgemeinde Thalgauberg und die Tal- und Hangfußlagen südlich der Fuschler Ache von der Katastralgemeinde Thalgauegg. (Darstellung der Gebietsabgrenzung siehe auch Kapitel 5.3.2.1.4.4 betroffene Gebiete und förderbare Fläche.)
- IV. Mindestanteil des gesamten Grünlandes des Betriebes (ausgenommen Almfläche) an der landwirtschaftlichen Nutzfläche zumindest 70 % im 1. Verpflichtungsjahr
- V. Verzicht auf Grünlandumbruch einschließlich Gründlanderneuerung durch Umbruch in den ausgewiesenen Gebieten
- VI. Auf zumindest 5 % der Grünlandmähflächen im Gebiet dürfen maximal 2 Nutzungen pro Jahr erfolgen
- VII. Verpflichtungsdauer 7 Jahre beziehungsweise jedenfalls bis 2013
- VIII. Aufforstungsverbot
- IX. Schulung und Weiterbildung:
 - a. Besuch eines Lehrgangs zum Thema Aktionsprogramm Nitratrichtlinie mit Schwerpunkt Wirtschaftsdünger im Grünland durch die Bewirtschafterin oder den Bewirtschafter oder eine dauerhaft während des Verpflichtungszeitraumes in die Bewirtschaftung eingebundene und auf dem Betrieb tätige Person bis zum 31.12. des 3. Verpflichtungsjahres. Minstdauer des Lehrganges: 4 Stunden.
 - b. Die schriftliche Bestätigung über den Besuch des Lehrganges ist auf dem Betrieb aufzubewahren
- X. Bodenproben:
 - a. Im Verpflichtungszeitraum ist eine zweimalige Bodenuntersuchung im repräsentativen Ausmaß vorgeschrieben. Die Grunduntersuchung des Bodens umfasst eine Überprüfung hinsichtlich des pH-Wertes sowie des Phosphor- und Kalium-Gehaltes.
 - b. Die erste Bodenuntersuchung muss innerhalb der ersten drei Jahre des Verpflichtungszeitraumes erfolgen.
 - c. Aufbauend auf die Bodenuntersuchungen hat ein Beratungsgespräch zu erfolgen“ (BMLFUW, 2011b, 354ff).

In Abbildung 3 ist die Gebietsabgrenzung innerhalb des Salzburger Regionalprojektes Grundwasserschutz und Grünlanderhaltung in Grün dargestellt.

Abbildung 3: Gebietsabgrenzung innerhalb des Regionalprojektes Grundwasserschutz und Grünlanderhaltung



Quelle: www.vorarlberg.at/pdf/oesterreichischesprogramm.pdf, Stand: Oktober 2011.

2.2.7 DER WEG VOM BRUTTO-STICKSTOFFANFALL ZUM JAHRESWIRKSAMEN STICKSTOFF

Durch das Aktionsprogramm Nitrat wird in Österreich die EU-Nitratrichtlinie umgesetzt, in welcher die maximal erlaubte Stickstoff-Obergrenze von 170 kg N/ha und Jahr aus Dung festgehalten ist. Dieser Begrenzungswert, Stickstoff ex Lager ($N_{\text{ex Lager}}$), ergibt sich aus dem Brutto-Stickstoffanfall abzüglich der unvermeidbaren gasförmigen Verluste im Stall und während der Lagerung. Je nach Wirtschaftsdüngerart sind diese Verluste unterschiedlich hoch und betragen bei Rindergülle 15 %, bei Schweinegülle, Geflügelgülle, Rindermist und Pferdemit 30 %, bei Schweinemist 35 %, bei Geflügelmist 40 % und bei Putenmist, Schaf- und Ziegenmist 45 % (vgl.: BMLFUW, 2006, 52ff und PÖTSCH, 2008, 73ff).

Im Wasserrechtsgesetz ist die Obergrenze für landwirtschaftliche Nutzflächen mit Gründeckung einschließlich Dauergrünland mit 210 kg feldfallenden N/ha und Jahr und bei landwirtschaftlichen Nutzflächen ohne Gründeckung mit 175 kg feldfallenden N/ha und Jahr festgelegt. Zieht man von dem oben errechneten Stickstoffanfall ex Lager die sogenannten unvermeidbaren N-Verluste, die bei der Ausbringung auftreten ab, erhält man die für das Wasserrechtsgesetz relevante Kalkulationsbasis (= $N_{\text{feldfallend}}$). Die Ausbringungsverluste werden bei Gülle und Jauche mit 13 %, bei Stallmist und Kompost mit 9 % des Stickstoffgehaltes angesetzt. Je nach Umweltfaktoren und Betriebsmanagement können die tatsächlichen Verluste aber deutlich von diesen Werten abweichen, es handelt sich um kalkulatorische Größen (vgl.: BMLFUW, 2006, 52ff und PÖTSCH, 2008, 73ff).

Die österreichischen Landwirte müssen neben den N-Obergrenzen gemäß Aktionsprogramm und Wasserrechtsgesetz die Stickstoffdüngempfehlungen der Richtlinie für die sachgerechte Düngung einhalten, welche die unterschiedlichen Nutzungsformen, botanische Aspekte sowie drei unterschiedliche Ertragslagen berücksichtigt. Je nach Kulturart und Mineralisierungsbedingungen erreicht der verbleibende feldfallende Stickstoff unterschiedlich hohe Wirksamkeiten, welche sich aus der Direkteinwirkung zum Zeitpunkt der Ausbringung und der daran anschließenden, geschätzten Stickstoffmineralisierung zusammensetzt. Die Jahreswirksamkeiten des Wirtschaftsdüngerstickstoffs bezogen auf die feldfallenden Stickstoffmengen, betragen für Stallmist 50 %, Rottemist 30 %, Kompost 10 %, Jauche 100 %, Rindergülle 70 %, Schweinegülle 80 % und Hühnergülle 85 % (vgl.: BMLFUW, 2006, 52ff und PÖTSCH, 2008, 73ff).

In der Praxis werden Nährstoffe teilweise von außen in den Betrieb eingebracht, z. B. durch Kraftfutterzukauf und mineralische Düngemittel. Dadurch entwickelt sich eine von der Fläche immer unabhängiger werdende Produktionsleistung sowie Viehbesatzdichte und ein Nährstoff-/Stickstoffanfall je Flächeneinheit, der in der Praxis deutlich über den Empfehlungen der Richtlinie für die sachgerechte Düngung liegen kann. Um diese Problematik zu lösen, wurde die sogenannte Jahreswirksamkeit eingeführt. Eine Frage die offenbleibt ist, wo der in Abzug gebrachte Stickstoff verbleibt (vgl.: PÖTSCH, 2008, 73ff).

In Tabelle 7 ist nun ein Berechnungsbeispiel abgebildet, um den oberhalb beschriebenen Weg vom Brutto-Stickstoffanfall zum jahreswirksamen Stickstoff besser zu veranschaulichen.

Tabelle 7: Beispiel für die Berechnung des jahreswirksamen Stickstoffanfalls einer Milchkuh (Milchleistung 6000 kg/Jahr; Gülle)

	Verluste	Berechnung	kg N	maßgebend für:
N-Anfall Brutto (schwanzfallend)			96,5	
N-Anfall ex Lager nach Abzug der Stall- und Lagerungsverluste	15 %	$96,5 \times 0,85 =$	82,0	Obergrenze gemäß Aktionsprogramm (EU-Nitratrichtlinie)
N-Anfall feldfallend nach Abzug der Ausbringungsverluste	13 %	$82,0 \times 0,87 =$	71,3	Bewilligungsgrenze gemäß Wasserrechtsgesetz
Pflanzenwirksamer N-Anfall im Jahr der Anwendung	70 %	$71,3 \times 0,70 =$	49,9	Umsetzung der Düngeempfehlung (Richtlinie für die Sachgerechte Düngung)

Quelle: nach BMLFUW, 2006, 52ff und PÖTSCH, 2008, 73ff.

2.3 BEDEUTUNG DES STICKSTOFFS FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT

Stickstoff wird überwiegend von Wurzeln in Ionenform aufgenommen. Der Stickstoff kann von den Pflanzenwurzeln in reduzierter (Ammonium NH_4^+ /Ammoniak NH_3) und oxidierter (Nitrat NO_3^-) Form oder über das Blatt in Form von Harnstoff ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) aufgenommen werden (vgl.: SCHUBERT, 2006, 25f und OEHMICHEN, 1983, 352ff).

Etwa 78 % der Erdatmosphäre bestehen aus dem Stickstoffmolekül N_2 , das allerdings in dieser Form für die Pflanzen nicht verfügbar ist und erst durch den Prozess der biologischen N_2 -Fixierung oder der technischen Aufbereitung pflanzenverfügbar gemacht wird.

2.3.1 DER LANDWIRTSCHAFTLICHE STICKSTOFFKREISLAUF

In Abbildung 4 ist der landwirtschaftliche Stickstoffkreislauf schematisch dargestellt. Die rot markierten Pfeile stellen die Wege dar, wo Stickstoff verloren geht oder entzogen wird, die grünen Pfeile zeigen die Stickstoffeinträge. Stickstoff kann einerseits über organische Düngung, mineralische Düngung, Pflanzenrückstände, biologische N_2 -Fixierung und Deposition eingetragen, andererseits über Denitrifikation, Nitratauswaschung, NH_3 -Abgasung und den Entzug über die Pflanzen ausgetragen werden. Weiters wird durch die Stickstoffmineralisierung die organische Substanz abgebaut und Stickstoff frei, allerdings kann dieser durch die Immobilisierung auch wieder gebunden und pflanzenunverfügbar gemacht werden.

2.3.1.1 N-Verluste

Durch Denitrifikation, volatile NH_3 -Verluste und Nitratauswaschung kann es zu N-Verlusten kommen, die eine potenzielle Umweltgefahr darstellen. Zu volatilen NH_3 -Verlusten kommt es, wenn Ammonium-Stickstoff (NH_4^+) vorliegt und der pH-Wert über den Neutralbereich ansteigt. Mit zunehmender Temperatur wird dieser chemische Umsetzungsprozess beschleunigt. Nitrat ist aufgrund der geringen Bindung von NO_3^- an Sorptionskomplexen in den Böden der gemäßigten Breiten sehr stark auswaschungsgefährdet. Das ist vor allem wegen des Eintrages ins Grundwasser, das zur Trinkwassergewinnung dient, problematisch (vgl.: SCHUBERT, 2006, 113ff).

Ammonium hingegen wird von den negativ geladenen Bodenteilchen gebunden und ist daher kaum auswaschungsgefährdet. Unter Sauerstoffmangel kann eine Reihe von Bakterien (z. B. aus den Gattungen *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bacillus*) anstelle des Sauerstoffmoleküls O_2 die Moleküle NO_3^- , NO_2^- , NO oder N_2O als Elektronenakzeptoren in der Atmungskette nutzen. Dieser Prozess heißt Denitrifikation. Dabei erfolgt die Reduktion von NO_3^- (Nitrat) bis zum gasförmigen N_2O (Lachgas) oder sogar bis zum N_2 (vgl.: SCHUBERT, 2006, 113ff).

NITRAT

Der natürliche Nitratgehalt des Grundwassers liegt zumeist unter $10 \text{ mg NO}_3/\text{l}$ und ist im Allgemeinen sehr gering. Menschliche Eingriffe wie Landwirtschaft, Industrie, häusliche Abwässer und Emissionen von Verbrennungsmotoren beeinflussen die Höhe des Nitratgehaltes und sind für erhöhte Werte verantwortlich (vgl.: UMWELTBUNDESAMT, 2004, 23).

In Tabelle 8 sind die Quellen, die zur Grundwasserverschmutzung mit Nitrat beitragen, aufgelistet.

Tabelle 8: Ursachen für Nitratbelastungen des Grundwassers

	Landwirtschaft	Kommunaler Bereich	Industrie
	♦ N-Mineraldünger ♦ organischer Dünger (Gülle und Dung)	♦ Verbrennungsmotoren ♦ Ausbringung kommunaler Klärschlämme auf landwirtschaftlich genutzten Flächen	♦ Luftemissionen (Stickoxide und Nitrit) aus der Energieerzeugung ♦ Verbrennungsmotoren
Diffuse Quellen	Die verwendeten Mengen hängen von den landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab (z.B. Feldfruchtart, Bewirtschaftungsform, Änderungen in der Landnutzung etc).		♦ Ausbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen
Punkt- und Linienquellen	♦ Unbeabsichtigte Emissionen stickstoffreicher Verbindungen ♦ Fehlende Speichermöglichkeiten für Gülle ♦ Undichte Dung- und Güllebehälter	♦ Mangelhaft gesicherte Altablagerungen ♦ Senkgruben ♦ Undichte Abwassersammelsysteme	♦ Entsorgung stickstoffreicher Abfälle über Sickerbrunnen ♦ Alte und mangelhaft gesicherte Deponien

Quelle: UMWELTBUNDESAMT, 2004, 23.

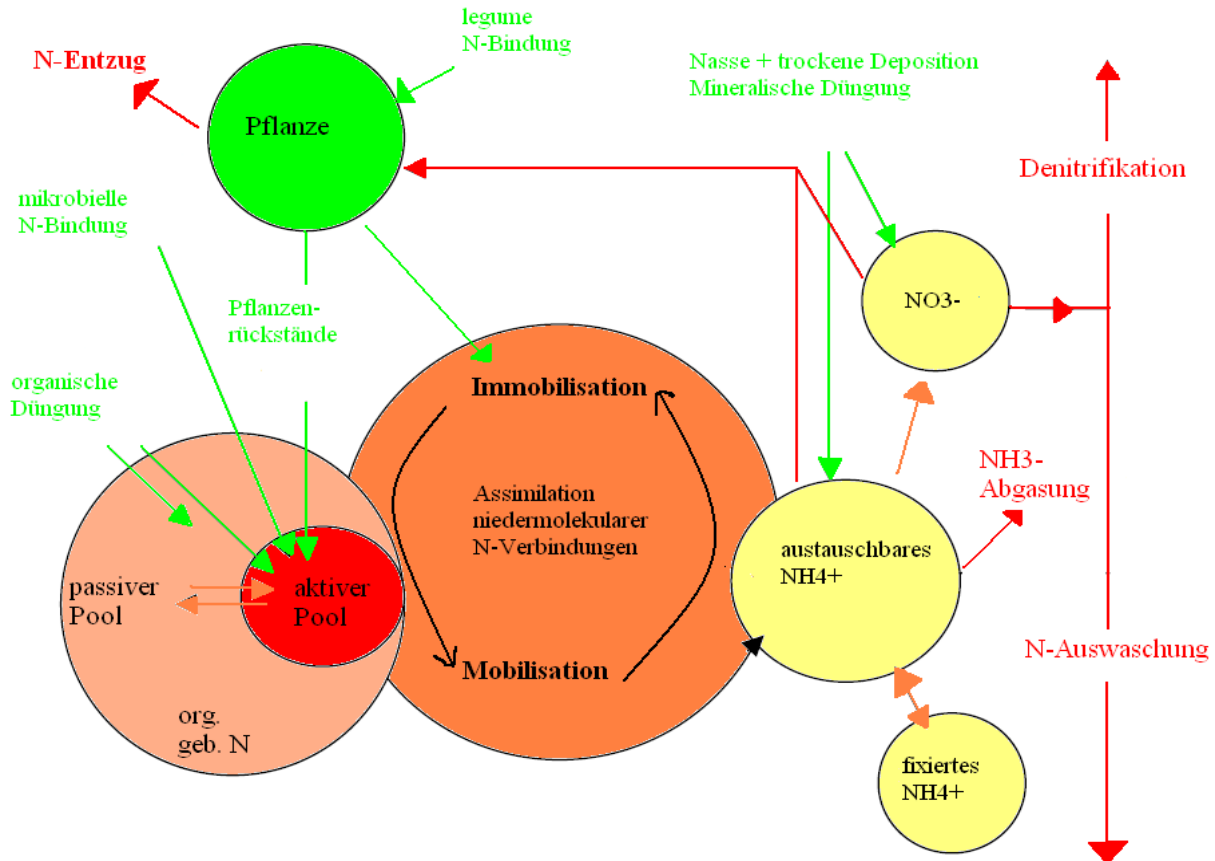
Bei diffusen Einträgen gelangen die Nährstoffe flächenhaft, über nicht genau lokalisierbare Wege ins Gewässer, wohingegen sich Punktquellen genau lokalisieren lassen und an relativ wenigen Stellen geschehen. Die Landwirtschaft ist überwiegend für diffuse Einträge verantwortlich (vgl.: FREDE et al., 1998, 6).

Da die Nitratverlagerung im Boden und Grundwasser sehr langsam vor sich geht, kommt es zu einer deutlichen zeitlichen Verzögerung (in Abhängigkeit des Standortes zwischen 1 und 20 Jahren) zwischen Kontamination und Schadstoffnachweis im Grundwasser. Die zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft in den vergangenen dreißig Jahren schlug sich erst mit einer gewissen Verzögerung in zunehmende Nitratbelastungen im Grundwasser nieder. Durch Änderung der Landnutzung, Entfernung der natürlichen Vegetation, nicht dem Standort angepasste Bewirtschaftung und Überdüngung wird deutlich in den Boden- und Wasserhaushalt eingegriffen und es kann zu hohen Nitratauswaschungsraten kommen, auf die die Landwirtschaft einen wesentlichen Einfluss ausübt. Wird der Dünger aufgrund einer Überdüngung von den Pflanzen nicht mehr aufgenommen und ist das Rückhaltevermögen des Bodens überschritten, so führt das zur Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser. Durch Teilung der Düngermenge auf mehrere Teilgaben wird die Pflanze je vom Entwicklungsstadium abhängig besser versorgt und sie kann den Stickstoff besser aufnehmen als bei einer einmaligen Düngergabe (vgl.: UMWELTBUNDESAMT WIEN, 2004, 25).

2.3.1.2 N-Entzug

Die Pflanzen entziehen dem Boden Stickstoff zum Aufbau von Protein. Über die Ermittlung des Rohproteingehaltes und Rohproteinertrages (siehe Kapitel 3.4.2.2.2 und 3.4.2.2.3) kann der Stickstoffentzug errechnet werden (siehe Kapitel 3.4.2.2.4).

Abbildung 4: Der landwirtschaftliche Stickstoffkreislauf



Quelle vgl.: PÖTSCH nach S.L. JANSSON, 2009, 71.

2.3.1.3 Biologische N_2 -Fixierung

Höhere Pflanzen können den atmosphärischen Luftstickstoff (N_2) nicht direkt nutzen, dazu sind nur bestimmte Bakterien in der Lage. Unter N_2 -Fixierung versteht man die Reduktion von molekularem, gasförmigem N_2 zu NH_3 . Die Bakterien können einerseits frei lebend oder in Symbiose mit Pflanzen N_2 fixieren. Frei lebende Bakterien der Gattungen *Azotobacter* oder *Clostridium* können 10 bis 20 kg N/ha und Jahr fixieren. Ein Großteil der Bakterien lebt nicht frei, sondern geht eine Symbiose mit Pflanzen ein. Dadurch werden höhere N_2 -Fixierungsleistungen erreicht. Die in der Landwirtschaft bedeutendste Symbiose ist die zwischen Leguminosen und Rhizobiumbakterien. Wichtige N-fixierende Kulturpflanzen sind dabei die verschiedenen Kleearten des Grünlandes aber auch Leguminosen des Ackerbaus wie Wicken, Ackerbohnen, Erbsen, Lupine, etc. (vgl.: SCHUBERT, 2006, 116ff).

2.3.1.4 N-Deposition

Neben der biologischen N_2 -Fixierung kann Stickstoff auch durch atmosphärische N-Deposition in den Boden eingetragen werden. Die nasse Deposition ist die Verlagerung von Luftverunreinigungen und Nährstoffen durch Niederschläge (Regen, Schnee, Hagel). Stickoxidanionen starker oder schwacher Säuren wie Nitrat und Nitrit können als Salpetersäure oder salpetrige Säure in den Boden eingetragen werden. Bei der trockenen Deposition werden Luftverunreinigungen bzw. Nährstoffe über feste Partikel (Feinstaub, Aerosole) oder gasförmig in Ökosysteme eingetragen.

In feuchten Tropen kann durch elektrische Entladung eines Gewitters N_2 oxidiert werden. In den gemäßigten Breiten ist der Beitrag dieser Einträge mit wenigen Kilogramm N pro Hektar und Jahr für Agrarökosysteme vernachlässigbar gering. In den Tropen können allerdings 15-20 kg N/ha und Jahr erreicht werden (SCHUBERT, 2006, 109f).

2.3.1.5 Organische Düngung

Organische Dünger enthalten nicht nur Pflanzennährstoffe, sondern auch organische Substanz. Je nach Herkunft des organischen Düngemittels lassen sich drei Gruppen unterteilen:

- wirtschaftseigene Düngemittel z. B.: Festmist, Jauche, Gülle, Tiefstallmist
- organische Handelsdünger z. B.: Torf, Pilzmycel
- Sekundärrohstoffdünger z. B.: Klärschlamm, Bioabfallkompost, Gärrückstände (vgl.: SCHUBERT, 2006, 193).

Die einzelnen Wirtschaftsdüngerarten sind wie folgt definiert:

- Unter **Festmist** versteht man ein Gemisch aus Kot und Harn mit Einstreu und Futterresten. Die Einstreu saugt einen Teil des anfallenden Harns auf und bindet ihn.
- Die **Jauche** besteht überwiegend aus Harn, kann aber auch Sickersaft von Festmiststapeln und geringe Mengen an Kot- und Streubestandteilen enthalten.
- Das in der Freilaufhaltung anfallende Gemisch aus tierischen Ausscheidungen und hohen Einstreumengen nennt man **Tiefstallmist**. Der Harn ist hier meist zur Gänze im Tiefstallmist gebunden.
- **Gülle** ist ein Gemisch aus Kot und Harn, das zusätzlich Wasser, Futterreste und Einstreuteile enthalten kann (vgl.: BMLFUW, 2006, 52).

Die pflanzenbauliche Wirksamkeit des Düngestickstoffs ist unter anderem von dessen Bindungsform abhängig. Je nach Tierart und Düngerart liegt der Stickstoff im Wirtschaftsdünger in unterschiedlichen Anteilen organisch gebunden oder mineralisch in Form von NH_4-N vor. Ammoniumstickstoff steht den Pflanzen rasch zur Verfügung, da er schnellwirksam ist. Der organisch gebundene Stickstoff hingegen wirkt langsam und lang anhaltend (vgl.: PÖTSCH et al., 2004, 4).

In Tabelle 9 sind für die unterschiedlichen Wirtschaftsdünger die relativen Anteile von Ammoniumstickstoff und organisch gebundenen Stickstoff angegeben.

Tabelle 9: Relativer Anteil von NH_4-N und organisch gebundenem N in unterschiedlichen Wirtschaftsdüngern

Wirtschaftsdünger	% NH_4-N	% organisch gebundener N
Stallmist	15	85
Rottemist	5	95
Stallmistkompost	< 1	> 99
Rinderjauche	90	10
Rindergülle	50	50
Schweinegülle	65	35
Legehühnergülle (verdünnter Kot)	60	40
Legehühnerkot (frisch)	30	70
Legehühnertrockenkot, Jungkükenfrischkot, Putenmist	15	85

Quelle: BMLFUW, 2006, 56.

2.3.1.6 Mineralische Düngung

Die Pflanzennährstoffe liegen in mineralischen Düngemitteln in anorganischer Form vor und enthalten in der Regel keine organischen Moleküle. Grundsätzlich kann man zwischen Einnährstoffdüngern (enthalten nur einen Nährstoff) und Mehrnährstoffdüngern (enthalten mehrere Nährstoffe) unterscheiden (vgl.: SCHUBERT, 2006, 200ff).

Ein geringer Teil des produzierten, mineralischen Stickstoffdüngers kommt aus Lagerstätten (Chilesalpeter). Der überwiegende Teil wird jedoch synthetisch aus Luftstickstoff gewonnen. Der molekulare Stickstoff der Luft (N_2) ist für höhere Pflanzen nicht direkt nutzbar. Nur bestimmte Prokaryoten (Bakterien) sind in der Lage den atmosphärischen Luftstickstoff zu fixieren. Erst unter Energieverbrauch wird der molekulare Stickstoff gespalten und reduziert. Es gibt drei Verfahren zur Herstellung von N-Dünger. Das wichtigste Verfahren ist die Ammoniak-Synthese (Haber-Bosch-Verfahren). Die beiden anderen Verfahren die Kalkstickstoffsynthese und die Nitratsynthese (Lichtbogenverfahren) haben eine untergeordnete Rolle (vgl.: SCHUBERT, 2006, 200ff und LIEBHARD, 2007, 8).

Grundsätzlich kann man mineralische Stickstoffdünger je nach Stickstoffform in Ammonium- und Nitratdünger unterteilen, wobei es auch noch eine Mischform beider (Ammoniumnitrat) gibt. Eine besondere Form der Ammoniumdünger sind die Amiddünger (vgl.: SCHUBERT, 2006, 200ff).

2.3.1.7 N-Mineralisation

Unter Stickstoff Mineralisierung oder auch Mobilisierung versteht man den Abbau der organischen Substanzen zu stabilen anorganischen Endprodukten über den Stoffwechsel von Mikroorganismen (vgl.: SCHUBERT, 2006, 214).

Humus oder organische Substanz besitzt für die Pflanzenernährung neben den anorganischen Substanzen eine bedeutende Rolle. Durch Mineralisierung können aus dem Humus Pflanzennährstoffe freigesetzt werden (vgl.: SCHUBERT, 2006, 153).

Beim organisch gebunden Stickstoff können zwei Fraktionen unterschieden werden:

- die stabile Fraktion oder passiver Pool und
- die labile Fraktion oder aktiver Pool.

In der stabilen Fraktion, die den überwiegenden Teil ausmacht, liegen hauptsächlich schwer abbaubare Huminstoffe vor, in denen der Stickstoff gebunden ist und vor dem mikrobiellen Abbau geschützt ist. Daher haben Huminstoffe eine geringe Bedeutung für die Freisetzung von anorganischem Stickstoff, aber eine große Bedeutung für die Bodenstruktur.

Die labile Fraktion der organischen Substanz besteht in erster Linie aus Amino-Stickstoff, der beim Abbau in eine pflanzenverfügbare Form freigesetzt wird. Dabei ist der erste Schritt die hydrolytische Spaltung von Makromolekülen wie z. B. Proteinen oder Chitin, woraus Aminosäuren oder Aminosucker entstehen. Im zweiten Schritt werden die Aminosäuren oder Aminosucker desaminiert, wodurch Ammonium entsteht. Dieser Prozess heißt Ammonifikation. Zumeist bleibt in unseren Böden die Mineralisierung nicht bei Ammonium stehen, sondern läuft mit der Nitrifikation weiter. Hierbei wird zuerst durch nitrifizierende Bakterien der Gruppe Nitritbildner das Ammonium zu Nitrit oxidiert, bevor dann das Nitrit durch Nitratbildner zu Nitrat oxidiert wird (vgl.: SCHUBERT, 2006, 110ff).

2.3.1.8 N-Immobilisierung

Durch zwei Prozesse kann im Boden der mineralische Stickstoff immobilisiert und damit vorübergehend für Pflanzen unverfügbar gemacht werden.

Biotische oder mikrobielle Immobilisierung von Stickstoff kann einerseits durch Bodenorganismen wie z. B. Pilze und Bakterien erfolgen. Andererseits kann durch einen physiko-chemischen Prozess der abiotischen Immobilisierung Ammonium in Zwischenschichten von mehrschichtigen Tonmineralien gebunden werden. Immobilisierung und Mineralisation sind zwei entgegengesetzte Prozesse, die in einem Fließgleichgewicht stehen (vgl.: SCHUBERT, 2006, 112f).

2.3.2 NÄHRSTOFFBILANZ

In der Landwirtschaft stellt eine Nährstoffbilanz die Nährstoffzufuhr der Nährstoffabfuhr gegenüber. Der Bilanzsaldo ist das Ergebnis einer Nährstoffbilanzierung und lässt Aussagen über Austragspotenziale zu. Positive Bilanzsalden weisen auf Nährstoffüberschüsse in der Bewirtschaftung hin. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Bilanzierungsansätze, welche sich in ihrem Bezugssystem und Betrachtungszeitraum voneinander unterscheiden:

- Betrachtung des gesamten landwirtschaftlichen Betriebes und
- Betrachtung der Bewirtschaftungseinheit (definiertes Flächenausmaß) (vgl.: PETER et al., 2005, 25ff).

Zu der Betriebsbilanz (beziehen sich auf den gesamten landwirtschaftlichen Betrieb) zählt die Hoftorbilanz, zu den Flächenbilanzen (beziehen sich auf ein genau definiertes Flächenausmaß) gehören die Feld-Stall-Bilanz, Schlagbilanz (einjährige) und Fruchtfolgebilanz (mehrfährig) (vgl.: BAUMGÄRTEL et al., 2007, 4ff).

Bei der **Hoftorbilanz** werden alle Nährstoffflüsse in und aus dem gesamten landwirtschaftlichen Betrieb betrachtet. Den in einen Betrieb fließenden Nährstoffen (zugekaufte Düngemittel, Futtermittel, Tier und Saatgut) werden jene Nährstoffe gegenübergestellt, die den Betrieb mit den Verkaufsprodukten verlassen. Der Betrachtungszeitraum ist zu meist ein Kalenderjahr oder das Wirtschaftsjahr. Die **Feld-Stall-Bilanz** betrachtet die Nährstoffflüsse auf und von den landwirtschaftlich genutzten Flächen des Betriebes. Dabei wird die Nährstoffzufuhr über Zukaufdüngemittel und Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung der Nährstoffabfuhr vom Feld gegenübergestellt. Die **Schlagbilanz** beleuchtet die Nährstoffflüsse eines Schlags (Bewirtschaftungseinheit) des landwirtschaftlichen Betriebes innerhalb eines Erntejahres. Dazu werden von den auf dem Schlag ausgebrachten Nährstoffen die mit dem Erntegut vom Schlag abgefahrenen Nährstoffe abgezogen. Die **Fruchtfolgebilanz** betrachtet wie die Schlagbilanz die Nährstoffflüsse in und aus dem Schlag für den Zeitraum einer kompletten Fruchtfolge, also mehrerer Jahre (vgl.: PETER et al., 2005, 25ff).

In Tabelle 10 sind die Nährstoffbilanzierungsmodelle für die Hoftorbilanz, Stall-Feld-Bilanz und die Flächenbilanz dargestellt.

Tabelle 10: Komponenten zur Ermittlung der Hoftorbilanz, Stall-Feld-Bilanz und Flächenbilanz für Stickstoff

Hoftorbilanz		Stall-Feld-Bilanz/Flächenbilanz	
Input	Output	Input	Output
Mineraldünger	Verkauf tierischer und	Mineraldünger	Auswaschung
Futtermittel	pflanzlicher Produkte	Wirtschaftsdünger	Denitrifikation
Viehzukauf	Abgabe eigener	sonstige organische Dünger	NH ₃ -Abgasung
sonstige organische Dünger	organischer Dünger	biologische N-Bindung	Entzug über die Ernte
biologische N ₂ -Fixierung	unvermeidbare N-Verluste	N-Deposition (nass + trocken)	(Akkumulation)
N-Deposition (nass + trocken)		(Mineralisation)	
Saldo ±		Saldo ±	

Quelle: nach PÖTSCH, 2009, 72ff.

2.4 BODENWASSERHAUSHALT

Der Boden ist ein dreiphasiges System, welches aus einer festen, einer flüssigen und einer gasförmigen Phase besteht (vgl.: POTT und HÜPPE, 2007, 119).

Die wässrige Phase des Bodens wird als Bodenlösung bezeichnet und besteht aus freiem Wasser, den darin gelösten Ionen und Molekülen sowie dispergierten kolloidalen Partikeln (vgl.: BLUME et al., 2010, 121f).

Das Bodenwasser ist jenes Wasser, welches im Boden aufgrund von Bindungskräften bis zu einer Temperatur von 105° C gespeichert wird. Wasseranteile, die erst bei höheren Temperaturen entfernt werden, gehören nicht mehr zum Bodenwasser, sondern sind Kristallwasser und Bodenminerale (vgl.: BLUME et al., 2010, 220).

Über Niederschläge, das Grundwasser und im geringen Maße über Kondensation aus der Atmosphäre wird das Bodenwasser ergänzt. Das Bodenwasser enthält gelöste Salze und Gase in wechselnden Anteilen und Zusammensetzungen. Wenn durch Niederschläge mehr Wasser angeliefert wird, als der Boden aufnehmen und weiterleiten kann, fließt der Überschuss als Oberflächenwasser ab (vgl.: BLUME et al., 2010, 220ff).

Das durch den Niederschlag dem Boden zugeführte Wasser wird zum Teil in den Poren entgegen der Schwerkraft festgehalten (Haftwasser) und zum anderen Teil als Sickerwasser aufgrund der Erdanziehungskraft in tiefere Zonen verlagert. Das Sickerwasser verbleibt nur kurz im Boden, ohne von den Pflanzen genutzt werden zu können, und trägt maßgeblich zur Auswaschung und Wiederanreicherung von Stoffen im Boden bei. Grund- oder Stauwasser (freies Wasser) bezeichnen jene Anteile des Bodenwassers, die nicht durch Bindungen an der Bodenmatrix festgehalten werden und infolgedessen in Gräben oder Bohrlöcher frei hineinfließen (vgl.: BLUME et al., 2010, 220ff und SCHÜNEMANN, 2010, 3).

Die Nährstoffauswaschung mit dem Sickerwasser findet im Boden unter Einfluss der Niederschläge statt. Die Nährstoffe werden dabei vom Oberboden in den Unterboden oder ins Grundwasser verlagert (vgl.: BLUME et al., 2010, 393).

Die Verlagerung der Nährstoffe erfolgt in Ionenform bzw. als wasserlösliche Salze. Dabei sind die an der Oberfläche der Bodenkolloide gebundenen Kationen und Anionen weitgehend gegen Auswaschung geschützt, nicht jedoch diejenigen in der Bodenlösung. Nährstoffverlust durch Auswaschung sind umso größer je geringer die Nährstoffspeicherefähigkeit, je höher die Nährstoffgehalte und je geringer die Wasserspeicherefähigkeit des Bodens sind und je spärlicher die Vegetation und je höher die Niederschläge sind (vgl.: OEHMICHEN, 1983, 59).

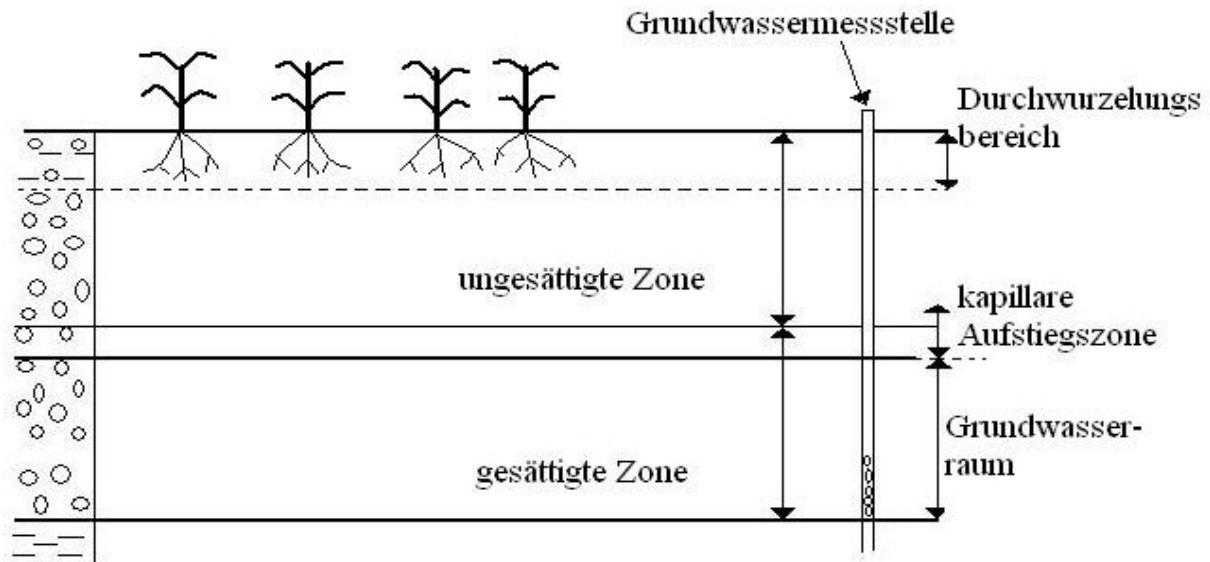
Meist liegt nur ein sehr kleiner Teil von der in Böden enthaltenen Gesamtmenge an Nährelementen in der Bodenlösung direkt pflanzenverfügbar vor. Wesentlich größere Anteile sind meist an die Feststoffe der Böden in leicht mobilisierbarer, mäßig mobilisierbarer und schwer mobilisierbarer Form gebunden. Die Verfügbarkeit eines Nährelements hängt von der Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung, von der gesamten verfügbaren bzw. während einer Vegetationsperiode mobilisierbaren Menge eines Nährelements in den Feststoffen des durchwurzelten Bodenraums, von der Rate der Nachlieferung aus dem verfügbaren Vorrat der Feststoff in die Lösungsphase und vom Aufschließungsvermögen der Pflanze (vgl.: BLUME et al., 2010, 395).

In Abbildung 5 ist das Mehrphasensystem unterhalb der Geländeoberkante dargestellt. Das Wasser, das in den Boden versickert, dringt im Allgemeinen zunächst in die **ungesättigte Zone** ein. Diese durchquert sie unter Einfluss der Schwerkraft als Sickerwasser. Die ungesättigte Zone besteht aus Gestein, dessen Hohlräume nicht vollständig mit Wasser ausgefüllt sind, sondern noch Luft als dritte Phase enthalten. Der oberste Bereich der ungesättigten Zone ist der Durchwurzelungsbereich, der den Boden, den die Pflanzen nutzen, darstellt. Diesen Bereich folgen nach unten die Zwischenzone und anschließend der offene Kapillarraum (vgl.: MÜLLER, 1999, 352f).

Auf die ungesättigte Zone folgt die **gesättigte Zone**, in der alle Hohlräume mit Wasser gefüllt sind. Sie enthält den Grundwasserkörper, der nach oben durch die Grundwasseroberfläche und nach unten durch die Grundwassersohle begrenzt wird (vgl.: MÜLLER, 1999, 352f).

Den Übergangsbereich zwischen gesättigter und ungesättigter Zone bildet die kapillare Aufstiegszone die von Kapillarwasser, das aus dem freien Grundwasserkörper aufsteigt, gefüllt ist. Der geschlossene Kapillarraum gehört der gesättigten Zone, der offene Kapillarraum, der neben Kapillarwasser noch Gase enthält, der ungesättigten Zone an. Der Sickerraum wird von der ungesättigten Zone und dem offenen Teil der kapillaren Aufstiegszone gebildet (vgl.: MÜLLER, 1999, 352f).

Abbildung 5: Zone, Mehrphasensystem unterhalb der Geländeoberkante



Quelle: vgl.: abgeändert nach Müller, 1999, 352.

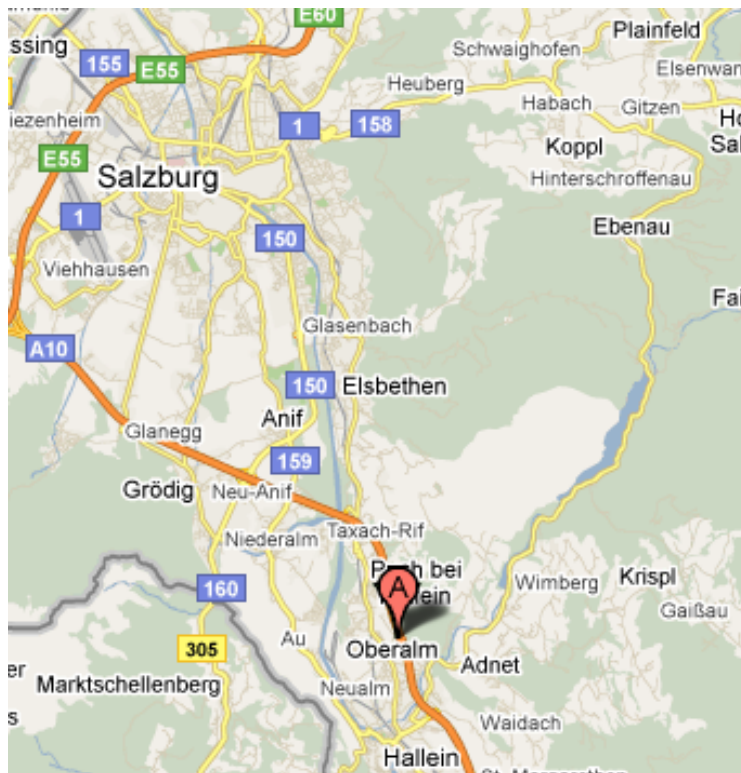
3 MATERIAL UND METHODEN

In diesem Kapitel werden einerseits der Versuchsstandort und die Vorgeschichte der Bodennutzung am Versuchsstandort näher erläutert, andererseits das Versuchsdesign, die durchgeführten Erhebungen und die statistische Auswertung beschrieben.

3.1 VERSUCHSSTANDORT

Der Lysimetervergleichsversuch zur Ermittlung des Einflusses unterschiedlicher Düngungsintensitäten auf standortbedingte Nährstoffauswaschungen im Feldfutterbau befindet sich an der Außenstelle des LFZ Raumberg-Gumpenstein in Winklhof/Oberalm bei Hallein, Salzburg (siehe Abbildung 6). Seit 1998 werden dort Feldversuche bezüglich Saatgutmischungen im Dauergrünland, Düngung und Nutzungsintensitäten sowie Fruchtfolgeversuche, Basisvermehrungen von eingetragenen Sorten und Lysimeterversuche in Zusammenarbeit mit der dort ansässigen landwirtschaftlichen Fachschule Winklhof durchgeführt. 1,4 ha Versuchsfläche stehen dem Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein von der Fachschule zur Verfügung.

Abbildung 6: Lage der Außenstelle Winklhof



Quelle: <http://maps.google.at>, Stand Oktober 2011.

Die Außenstelle Winklhof befindet sich auf einer Seehöhe von 452 m und liegt im Hauptproduktionsgebiet Voralpen und im Kleinproduktionsgebiet Tennengau. Es befindet sich an der Grenze zu zwei weiteren Hauptproduktionsgebieten dem Alpenvorland und Hochalpen.

3.1.1 KLIMA- UND WETTERDATEN AM VERSUCHSSTANDORT

Die Wetterstation der Außenstation Winklhof ist mit einem Niederschlagsmessgerät, Lufttemperatur, Feuchtefühler, Bodentemperaturfühler und Windgeschwindigkeitsmessgerät ausgestattet, welche die Daten zum Datenlogger übermitteln. Neben der Datenerhebung mittels Wetterstation erfolgt von einem Mitarbeiter der Außenstelle Winklhof zusätzlich eine Niederschlagsmessung von Hand.

Das Gerät zur Feststellung der **Niederschlagsmenge** besteht aus einem Glaseinsatz mit 25 cm Durchmesser, die Auffangfläche beträgt 500 cm². Durch einen geeichten Messzylinder kann die Niederschlagsmenge in mm festgestellt werden.

Beim **Lufttemperatur- und Feuchtefühler** handelt es sich um das Gerät Hygromer MP100A, welches mit dem Temperatursensor PT100 1/3 Klasse B und den Feuchtesensor Hygromer V-1 ausgestattet ist und auf der Wetterstation in einer Höhe von zwei Metern angebracht ist. Der Temperatursensor basiert auf Widerstandsänderungen von Platin unter Temperatureinfluss, wobei beim PT100 eine Temperatur von 0° C einem Widerstand von 100 Ohm entspricht. Diese Sensoren können in Genauigkeitsklasse A und B eingeteilt werden. In diesen ist die Abhängigkeit des zulässigen Temperaturfehlers dT von der realen Temperatur T beschrieben: $dT = (1/3 \times (0,30^\circ \text{ C} \times 0,005 T))$ (vgl.: <http://www.fuehlersysteme.de/Lexikon/Pt100>, Stand: November 2010).

Der Geobotaniker Heinrich Walter und der Ökologe Helmut Lieth haben gemeinsam von 1960 bis 1967 den Klimadiagramm-Weltatlas herausgegeben. Das Klimadiagramm ist besonders für ökologische Fragestellungen geeignet und hat international für hohes Aufsehen gesorgt. Die für das Pflanzenwachstum wichtigsten Klimafaktoren Temperatur und Niederschlag dienen dem Klimadiagramm als Grundlage, und zwar in Form des:

- Jahresmittels
- der mittleren monatlichen Werte und
- der mittleren täglichen und absoluten Temperaturminima und –maxima des kältesten bzw. wärmsten Monats.

Für die Darstellung wählten Walter und Lieth das Maßstabsverhältnis 10° Celsius zu 20 mm Niederschlag, wodurch eine Beziehung zwischen Niederschlag und der temperaturabhängigen Verdunstung bzw. potenziellen Verdunstung gezeigt wird (vgl.: MALBERG, 2007, 294f).

Im Klimadiagramm nach Walter und Lieth werden auf der x-Achse die Monate von Januar bis Dezember, auf der y-Achse links die Temperatur in ° Celsius und rechts der Niederschlag in mm aufgetragen.

Nachfolgend sind die einzelnen Klimadiagramme für die Jahre 2007, 2008, 2009 und 2010 (Abbildung 7 bis Abbildung 10) dargestellt, die von Dr. W. Graiss vom LFZ Raumberg-Gumpenstein aufbereitet und zur Verfügung gestellt wurden.

Anhand von Abbildung 7 wird beispielhaft für das Jahr 2007 das Klimadiagramm erklärt. Im oberen Diagrammbereich stehen auf der linken Seite der Stationsname und der Ort. Auf der rechten Seite sind die mittlere Jahrestemperatur 9,4° C und die Jahresniederschlagssumme 1649 mm ablesbar.

Der Wert 18,1° C auf der linken Seite des Diagramms ist das Temperaturmonatsmaximum (Monat Juli) und -1,7° C das Temperaturmonatsminimum (Monat Dezember). Die rote Kurve stellt die mittleren Monatstemperaturen und die blaue Kurve die mittleren monatlichen Niederschläge dar.

Befindet sich die Niederschlagskurve unterhalb der Temperaturkurve, wird sie punktiert dargestellt und es liegt eine relative Dürrezeit vor. Befindet sich hingegen die Niederschlagskurve oberhalb der Temperaturkurve, wird sie vertikal schraffiert dargestellt und es liegt eine relativ feuchte Zeitspanne vor. Wenn die mittleren monatlichen Niederschläge 100 mm überschreiten, wird der Niederschlagsmaßstab auf 1/10 reduziert und in dieser Darstellung vollflächig dunkelblau dargestellt. Monate mit einem mittleren Tagesminimum unter 0° C (blau) stellen die kalte Jahrestemperatur dar. Monate mit einem absoluten Minimum unter 0° C (Türkis) bedeuten, dass Spät- oder Frühfröste möglich sind (vgl.: NENTWIG et al., 2009, 247).

Abbildung 7: Klimadiagramm 2007

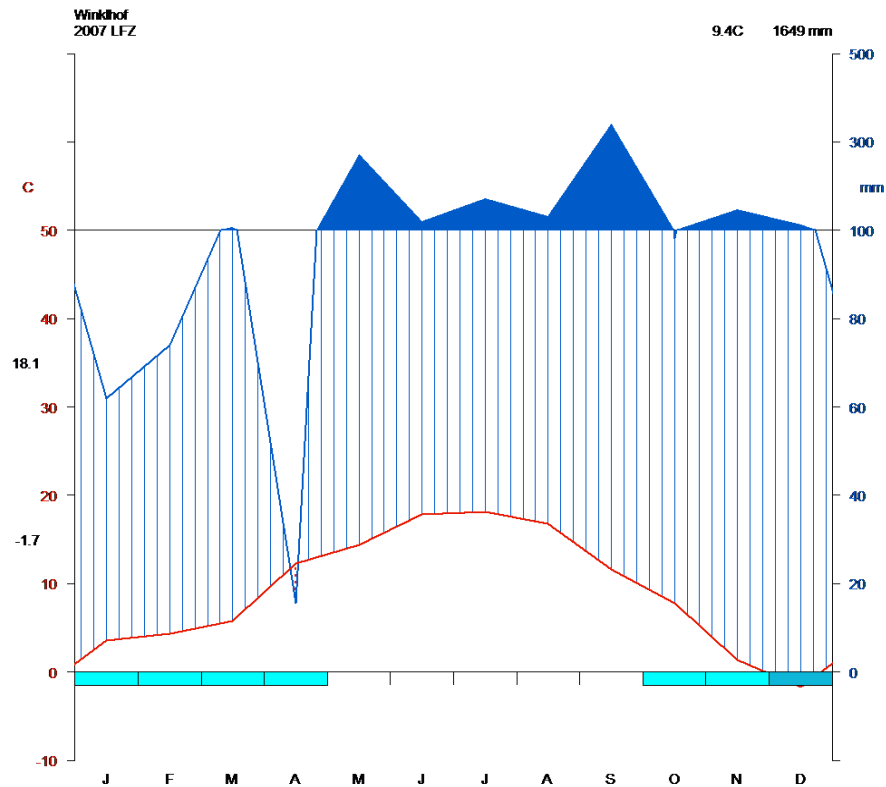
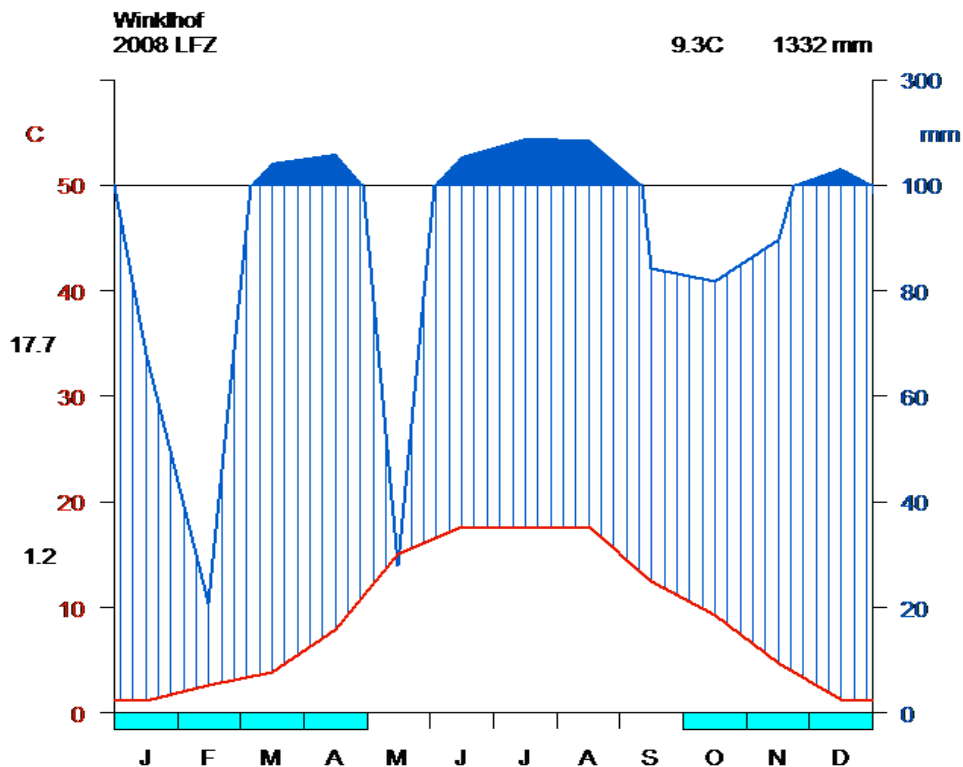


Abbildung 8: Klimadiagramm 2008



Die mittlere Jahrestemperatur lag 2008 bei 9,3° C und die Jahresniederschlagssumme bei 1332 mm (siehe Abbildung 8). Das Temperaturmonatsmaximum befand sich bei 17,7° C im August und das Temperaturmonatsminimum bei 1,2° C im Jänner. Von Jänner bis April waren Spätfröste und von Oktober bis Dezember Frühfröste möglich. Eine relative Dürrezeit lag Mitte Mai vor, eine relativ feuchte Zeit in den restlichen Monaten. Von März bis April, Juni bis August und November bis Dezember überschritten die mittleren monatlichen Niederschläge 100 mm.

Abbildung 9: Klimadiagramm 2009

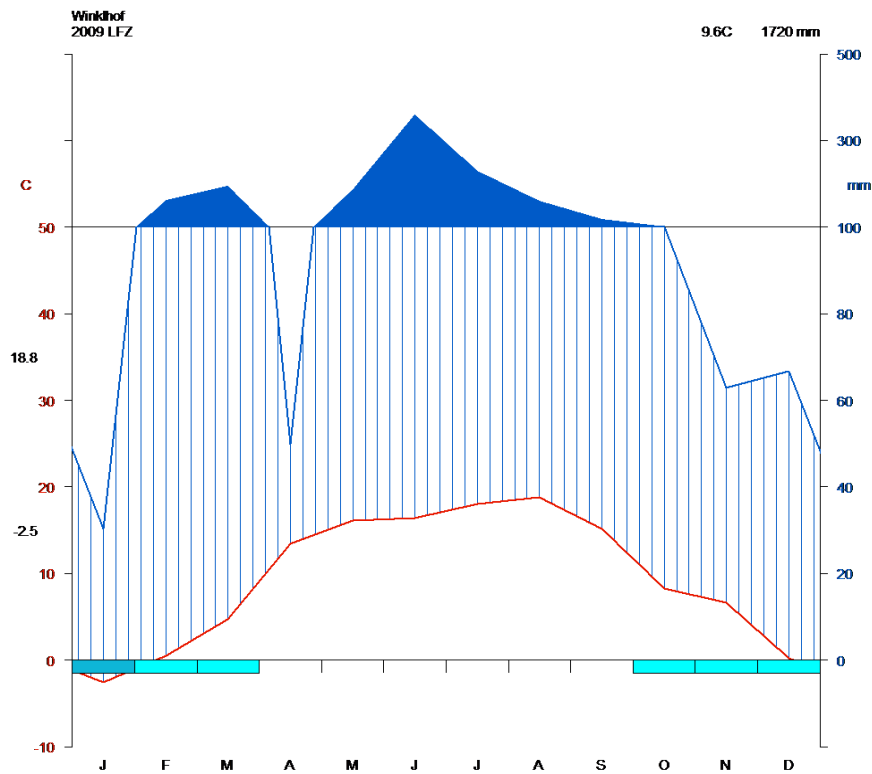
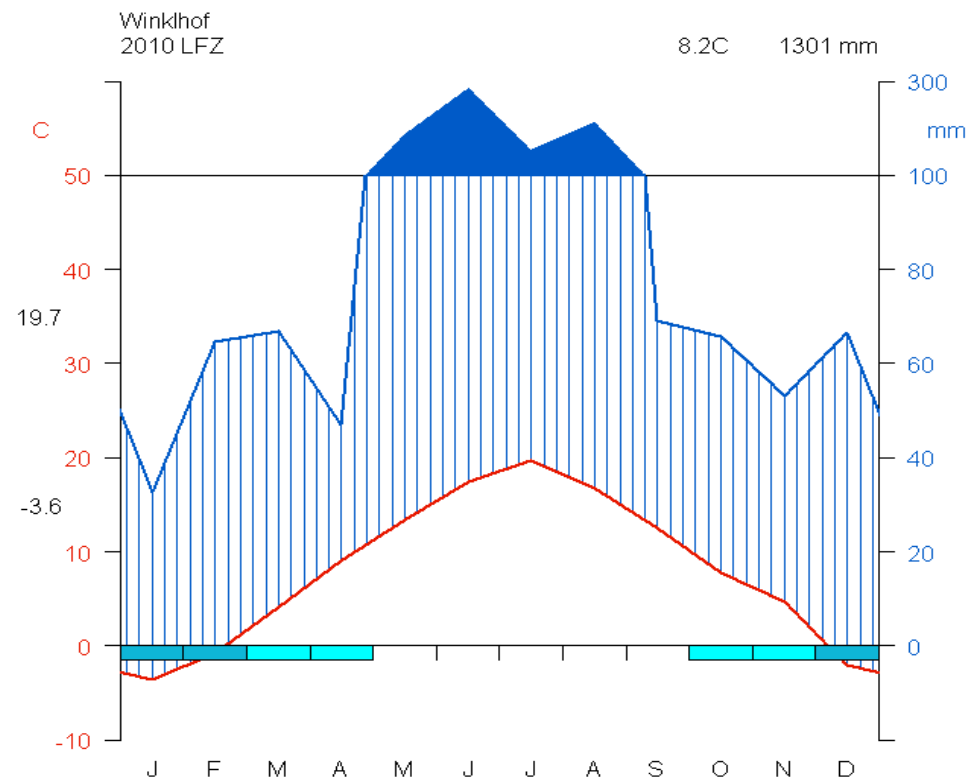


Abbildung 10: Klimadiagramm 2010



Im Jahr 2009 lag die mittlere Jahrestemperatur bei 9,6° C und die Jahresniederschlagssumme bei 1720 mm (siehe Abbildung 9). Im Jänner lag das mittlere Tagesminimum unter 0° C. Von Februar bis März waren Spätfröste, von Oktober bis Dezember Frühfröste möglich. Die mittleren monatlichen Niederschläge überschritten von Februar bis März und Mai bis Mitte Oktober 100 mm. Das gesamte Jahr über lagen relativ feuchte Bedingungen vor. Das Temperaturmonatsmaximum befand sich bei 18,8° C im August und das Temperaturmonatsminimum bei -2,5° C im Jänner.

2010 betrug die Jahresniederschlagssumme 1301 mm und die mittlere Jahrestemperatur 8,2° C (siehe Abbildung 10). Wie schon 2009 lagen während des gesamten Jahres relativ feuchte Verhältnisse vor. Von Ende April bis Mitte September überschritten die mittleren monatlichen Niederschläge 100 mm. Das Temperaturmonatsmaximum lag bei 19,7° C im Juli und das Temperaturmonatsminimum bei -3,6° C im Jänner. Von März bis April waren Spätfröste, von Oktober bis November Frühfröste möglich. Jänner, Februar und Dezember waren Monate mit mittlerem Tagesminimum unter 0° C.

Tabelle 11: Übersicht über den Niederschlag in mm der einzelnen Versuchsjahre

Monat \ Jahr	2007	2008	2009	2010	Ø über Jahre
Jän	62,0	67,9	30,3	32,5	48,2
Feb	74,0	20,8	162,7	64,6	80,5
Mär	106,3	142,0	194,0	66,8	127,3
Apr	15,6	157,9	49,8	47,0	67,6
Mai	271,7	27,8	186,1	185,1	167,7
Jun	120,3	153,8	359,4	284,7	229,6
Jul	172,3	188,9	229,2	153,8	186,1
Aug	131,0	185,6	160,7	212,3	172,4
Sep	340,2	84,1	117,8	69,1	152,8
Okt	98,1	81,7	100,3	65,8	86,5
Nov	146,3	89,7	62,8	53,0	88,0
Dez	111,3	132,0	66,8	66,6	94,2
Jahressumme	1649,1	1332,2	1719,9	1301,3	1500,6

In Tabelle 11 ist eine Übersicht über den Niederschlag in mm der einzelnen Versuchsjahre zu sehen. Zum einen sind für die einzelnen Versuchsjahre die jeweiligen monatlichen Niederschläge (Jänner bis Dezember) und die Jahresniederschlagssumme (Summe Jänner bis Dezember) abgebildet, zum anderen der Durchschnitt der monatlichen Niederschläge über den Versuchszeitraum 2007 bis 2010 und der Jahresniederschlagssumme.

Im Jahr 2009 ist mit 1719,9 mm der meiste Niederschlag während der vierjährigen Versuchsdauer gefallen, gefolgt vom Jahr 2007 mit 1649,1 mm. In den Jahren 2008 und 2010 fielen mit 1332,3 und 1301,3 mm weniger Niederschlag als 2007 und 2009. Während der gesamten Versuchsdauer lagen die Jahresniederschlagssummen auf einem hohen Niveau. Im Mittel hat es 1500,6 mm geregnet. Im Jänner (48,2 mm) und April (67,6 mm) fiel im Durchschnitt der wenigste, im Juni (229,6 mm) und Juli (186,1 mm) der meiste Niederschlag.

3.1.2 VERSUCHSBODEN

Die Versuchsfläche liegt auf einer post-würmeiszeitlich (jüngste im Alpenraum aufgetretene großräumige Vergletscherung) angelegten fluviatilen Flur (durch fließendes Wasser verursachte Ablagerung) etwa 8-10 m über dem jetzigen Haupttalboden der Salzach. Die vorherrschende Bodenform ist eine entkalkte Lockersediment-Braunerde mit mäßig trockenen Wasserverhältnissen (vgl.: HEIN und MURER, 2002, 263).

Der durch die landwirtschaftliche Bearbeitung geprägte Ap-Horizont umfasst 0 bis 25 cm, besteht aus lehmigem Schluff mit geringem Grobanteil (Kies und Schotter bis 7 cm Ø) und ist stark humos, schwach kalkhaltig und mäßig durchwurzelt. Währenddessen bewegt sich der AB-Horizont von 25 bis 45 cm, besteht aus lehmigem Schluff mit hohem Grobanteil (Kies und Schotter bis 7 cm Ø), ist ebenfalls stark humos und mäßig kalkhaltig. Der darunter liegende BC-Horizont (ab 45 cm) setzt sich aus sandigem Lehm bei vorherrschendem Grobanteil (Kies und Schotter bis 15 cm Ø) zusammen und ist stark kalkhaltig (vgl.: FRIEDL, s.a., 1f).

Abbildung 11: Bodenprofil der Versuchsanlage Winklhof



Quelle: BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, Petzenkirchen.

3.2 VORGESCHICHTE DER BODENNUTZUNG AM VERSUCHSSTANDORT

Vor dem gegenständlichen Versuch „Einfluss unterschiedlicher Düngungsintensitäten auf standortbedingte Nährstoffauswaschung im Feldfutterbau“ hat von 2001 bis 2006 ein Umweltversuch stattgefunden. Dabei handelte es sich um das Forschungsprojekt „Umweltökologische Auswirkungen einer Fruchtfolge bei unterschiedlicher Düngung und Bewirtschaftung“, das Teil eines EU-Projektes war. Der Versuch setzte sich aus einer sechs-schlägigen Fruchtfolge, drei verschiedenen Düngungsintensitäten und zwei Bewirtschaftungsformen (konventionell und biologisch) zusammen.

Innerhalb des Versuchs wurden neben Ertrags- und Qualitätsbestimmungen bei den Ernteprodukten auch verschiedene umweltrelevante Parameter wie Sickerwasser- und Lachgasmessungen festgestellt. Das Düngungssystem war zum einen Mist/Jauche mit der Düngungsintensität 1,0 DGVE/ha (DGVE = Dunggroßvieheinheit, heute nicht mehr in Verwendung) und Jahr und zum anderen Mist/Jauche kombiniert mit Mineraldünger mit 1,8 DGVE/ha und Jahr. Letztere Düngungsintensität setzte sich aus 1,0 DGVE/ha und Jahr rein organisch (Mist/Jauche) gedüngt und 0,8 DGVE/ha und Jahr mineralisch gedüngt zusammen, wobei man jeweils von einem mittleren, in biologischen Betrieben üblichen Niveau ausgegangen ist (vgl.: HEIN, 2004, 35ff).

Die Menge von 170 kg N/ha und Jahr entspricht 2,83 DGVE, woraus sich für 1 DGVE 60 kg N/ha und Jahr ergeben (vgl.: KLETZAN et al., 2004, 39).

Die Fruchtfolge setzte sich aus Winterweichweizen, Sommergerste, Kartoffeln, Sommerweizen mit Rotklee gras in Untersaat (im ersten Jahr), Rotklee gras im zweiten Jahr und Rotklee gras im dritten Jahr zusammen. Der Versuch bestand aus 72 Parzellen (3 Düngintensitäten * 4 Wiederholungen * 6 Fruchtfolgeglieder) (vgl.: HEIN, 2004, 35ff).

In Tabelle 12 ist eine Übersicht der Fruchtfolge aus dem Vorversuch (2001 bis 2006) und jetzigen Versuch (2007 bis 2010) gegeben. In der ersten Zeile der Tabelle steht die Parzellenbezeichnung/-nummer des jetzigen Versuches (11, 12, 21, 22, 31 und 32, jeweils a-c). Darunter folgen die einzelnen Abkürzungen der Fruchtfolgeglieder von 2001 bis 2010. Die Farben stellen die jeweiligen Düngungsniveaus dar.

Tabelle 12: Übersicht der Fruchtfolge 2001-2010

11a	12a	11b	22a	21a	22b	31a	32a	31b	32b	31c	32c	12b	11c	12c	21b	22c	21c		
WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	2001	Jahr ↓
SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	2002	
K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	2003	
SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	2004	
RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	2005	
RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	RK	RK	SWRK	K	SG	WW	2006	
IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	2007	
IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	2008	
IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	2009	
IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	IM	2010	
Kultur →																			
WW	Winterweizen									RK	Rotklee								
SG	Sommergerste									K	Kartoffel								
SWRK	Sommerweizen mit Rotkleeuntersaat									IM	Feldfuttermischung für intensive Lagen								
Düngung																			
		Niveau 1,0 DGVE/ha rein organisch																	
		Niveau 1,8 DGVE/ha rein organisch																	
		Niveau 1,8 DGVE/ha (1,0 DGVE/ha aus organischer Düngung, 0,8 DGVE/ha mineralisch)																	
		170 kgN/ha																	
		90 kgN/ha																	

Tabelle 13 zeigt die Stickstoffzufuhr in kg/ha für den Vorversuch (2001 bis 2006) und den jetzigen Versuch (2007 bis 2010). Die Farben zeigen die einzelnen Kulturen, oben ist die Düngungsintensität (DG) des Vorversuches angegeben.

Tabelle 13: Stickstoffzufuhr in kg/ha (2001 bis 2010)

	DG I						DG II						DG III											
	11a	12a	11b	22a	21a	22b	31a	32a	31b	32b	31c	32c	12b		11c		12c		21b		22c		21c	
2001	92,0	29,7	20,6	80,2	112,6	66,1	145,3	78,9	52,4	134,0	183,4	126,5	92,0	53,4	29,7	49,2	20,6	31,8	80,2	53,9	112,6	70,7	66,1	60,4
2002	40,8	56,6	18,8	13,0	50,2	74,1	73,2	101,9	36,9	23,7	90,3	133,5	40,8	32,4	56,6	45,3	18,8	18,1	13,0	10,7	50,2	40,1	74,1	59,4
2003	88,2	47,5	59,4	22,1	15,4	58,8	158,8	65,9	107,0	39,8	27,8	105,9	88,2	70,7	47,5	18,4	59,4	52,9	22,1	17,7	15,4	12,4	58,8	47,1
2004	51,9	76,8	42,1	58,5	19,4	13,6	93,4	138,3	75,7	105,4	35,2	24,4	51,9	41,6	76,8	61,5	42,1	33,6	58,5	46,9	19,4	15,6	13,6	10,8
2005	13,5	51,7	75,4	42,1	58,5	19,3	24,2	93,1	136,1	75,7	105,4	34,8	13,5	10,7	51,7	41,4	75,4	60,8	42,1	33,6	58,5	46,9	19,3	15,5
2006	25,8	18,1	68,9	102,5	55,9	77,6	46,6	32,5	124,2	184,6	100,5	139,9	25,8	20,7	18,1	14,4	68,9	55,3	102,5	82,1	55,9	44,6	77,6	62,3
2007	180	70	180	70	180	70	180	70	180	70	180	70	70	180	70	180	70	180	70	180	70	180	70	180
2008	205	80	205	80	205	80	205	80	205	80	205	80	80	205	80	205	80	205	80	205	80	205	80	205
2009	170	90	170	90	170	90	170	90	170	90	170	90	90	170	90	170	90	170	90	170	90	170	90	170
2010	170	90	170	90	170	90	170	90	170	90	170	90	90	170	90	170	90	170	90	170	90	170	90	170
Winterweizen												Rotklee 1. Hauptnutzungsjahr												
Sommergerste												Rotklee 2. Hauptnutzungsjahr												
Sommerweizen mit Rotkleeuntersaat												Kartoffel												
DG I Niveau 1,0 DGVE/ha rein organisch												Feldfuttermischung IM												
DG II Niveau 1,8 DGVE/ha rein organisch												DG III Niveau 1,8 DGVE/ha (1,0 DGVE/ha oranische/ 0,8 DGVE/ha mineralische Düngung)												

3.3 VERSUCHSDESIGN

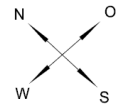
3.3.1 VERSUCHSPLAN

Der aktuelle Versuch ist als Blockanlage angelegt. Er besteht aus drei Lysimetersystemen, zwei Düngungsstufen und drei Wiederholungen, wodurch sich insgesamt 18 Parzellen ergeben. Die Düngungsniveaus sind seit 2009 einerseits 170 kg N/ha und Jahr Rindergülle (zuvor 230 kg N/ha und Jahr), andererseits 90 kg N/ha und Jahr Rindergülle. Das erste Lysimetersystem ist mit Saugkerzen ausgestattet, das Zweite mit Schwerkraftlysimetern und das Dritte ohne jeglichem Lysimetersystem (= Kontrollvariante).

Der gesamte Versuch ist 87,7 Meter lang und 6 Meter breit. Ein Block besteht jeweils aus sechs Parzellen und umfasst eine Länge von 27,90 Metern und eine Breite von 6 Metern. Daraus ergibt sich eine Parzellengröße von 4,25 Metern mal 6 Meter, was einer Fläche von 25,5 Quadratmetern entspricht. Zwischen den Blöcken ist ein 3 Meter breiter Abstand und zwischen den einzelnen Parzellen beträgt der Abstand 0,40 Meter.

Abbildung 12: Versuchsplan

Lysimetervergleichsversuch, Winklhof

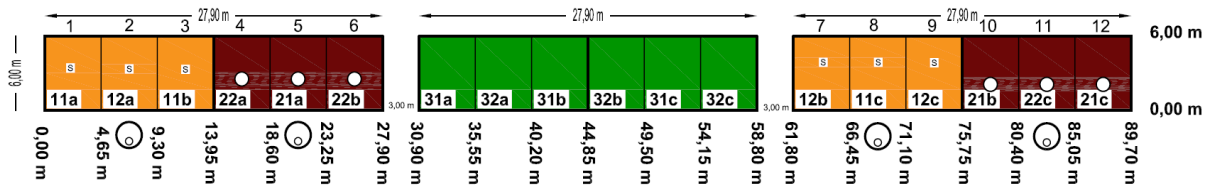


Schlag WINK-IV-1

Vers.-Nr.: GL-839

Anlage Frühjahr 2007 einer Feldfüttermischung IM in ÖAG-Qualität

2009: Umstellung der Düngung angepasst auf das Düngungsniveau der Sachgerechten Düngung



Prüfnummernverzeichnis:

- 11 Saugkerzen - 170 kg N/ha aus Rindergülle (50+40+40+40)
- 12 Saugkerzen - 90 kg N/ha aus Rindergülle (30+20+20+20)
- 21 Schwerkraftlysimeter - 170 kg N/ha aus Rindergülle (50+40+40+40)
- 22 Schwerkraftlysimeter - 90 kg N/ha aus Rindergülle (30+20+20+20)
- 31 170 kg N/ha aus Rindergülle (50+40+40+40)
- 32 90 kg N/ha aus Rindergülle (30+20+20+20)

- Varianten:
- 1 Saugkerzen
 - 2 Schwerkraftlysimeter
 - 3 Ohne Saugkerzen u. Schwerkraftlysimeter

- Düngung:
- 1 Gülle ~ 170 kg N/ha (50+40+40+40)
 - 2 Gülle ~ 90 kg N/ha (30+20+20+20)
- Düngungsparzelle: 6,0 m x 4,25 m = 25,50 m²

- Nutzung:
- 4 Schnitte jährlich
 - Ernteparzelle: 6,0 m x 1,60 m = 9,60 m²

Anlage am: 26.04.2007

S Saugkerzen

● Schwerkraftlysimeter

Ohne Saugkerzen und Schwerkraftlysimeter

Wasserproben Nr.: 1,2,3,7,8,9

Wasserproben Nr.: 4,5,6,10,11,12

Quelle: LFZ Raumberg-Gumpenstein.

Im ersten Block befinden sich auf den ersten 3 Parzellen Saugkerzen, gefolgt von 3 weiteren mit Schwerkraftlysimeter bestückten Parzellen. Der zweite Block besteht aus Parzellen ohne jeglichem Lysimetersystem und der dritte Block ist wie der erste Block mit 3 Saugkerzenparzellen und 3 Schwerkraftlysimeterparzellen bestückt. Aufgrund der technischen Anlage war eine vollständige Randomisierung in klassischer Weise nicht möglich, wodurch der Versuch nur teilweise (innerhalb der Düngungsintensität und der Wiederholung) randomisiert ist. Aufgrund des Vorversuches 2001 bis 2006 war zudem der Aufbau des Versuches vorgegeben. Die Buchstaben a, b und c stellen die Wiederholung dar. 10 steht für Saugkerzen, 20 für Schwerkraftlysimeter und 30 für ohne Lysimetersystem. Weiters steht 1 für das Düngungsniveau mit 170 kg N/ha bzw. 230 kg N/ha und Jahr, und 2 für 90 kg N/ha und Jahr (siehe Versuchsplan Abbildung 12).

3.3.2 BESCHREIBUNG DER LYSIMETER- UND SAUGKERZENANLAGE

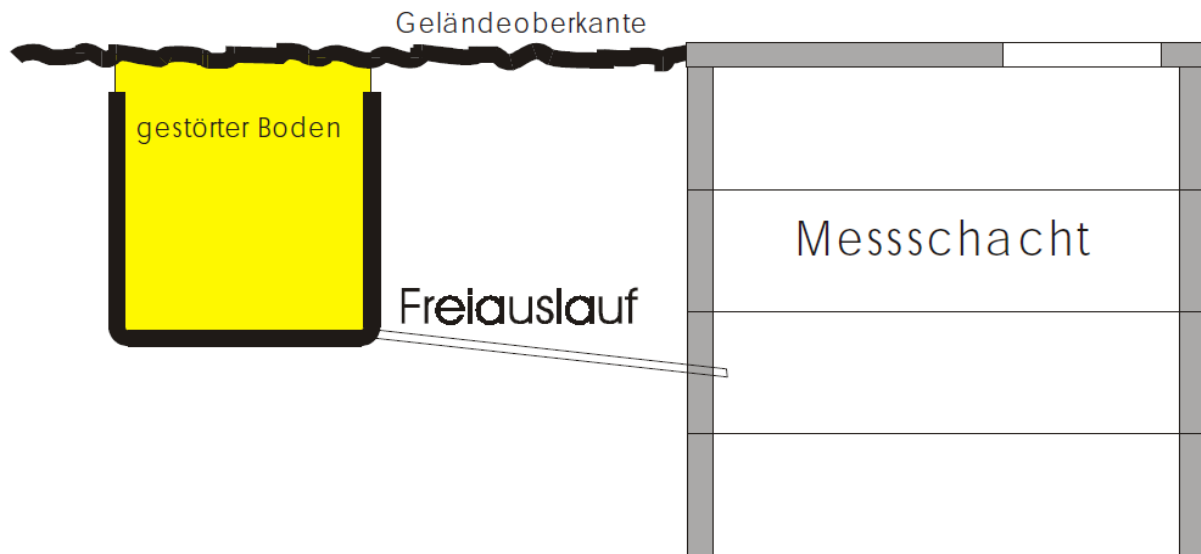
Im Oktober 2001 wurden auf den Versuchspartellen der LFS Winklhof in Salzburg zwei Lysimeteranlagen mit jeweils drei verfüllten Schwerkraftlysimetern und 2 Saugkerzenanlagen mit jeweils drei Mal zwei Saugkerzen auf insgesamt 12 Parzellen errichtet (vgl.: MURER, 2001, 2ff).

3.3.2.1 Lysimeteranlage

Ein Lysimeter dient der messtechnischen Ermittlung hydrologischer Parameter. Der Begriff Lysimeter kommt aus dem griechischen, wobei „lysis“ die Lösung und „metron“ das Maß bedeutet. Es wird zwischen wägbaren und nicht wägbaren Lysimetern unterschieden (vgl.: MÜLLER, 1999, 203).

Das Lysimeter ist ein Behälter, dass oberflächengleich in den Boden eingebaut und mit möglichst gewachsenem Boden gefüllt wird. Verschiedene Größen des hydrologischen Kreislaufes, wie z. B. Infiltration, Abfluss, Evapotranspiration, Sickerwassermenge etc. können damit erfasst werden (vgl.: <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/aglo.htm>, Stand Oktober 2010).

Abbildung 13: Schematischer Schnitt durch die Lysimeteranlage



Quelle: MURER, 2001, 3.

Bei den eingebauten Lysimetern handelt es sich um verfüllte Schwerkraftlysimeter mit einer kreisrunden Oberfläche von einem Quadratmeter. Das Wasser versickert bei diesem Lysimetertyp aufgrund der Gravitation. Von je 3 Lysimetern wird das Sickerwasser direkt zu einem Messschacht geleitet, der außerhalb der Versuchsparzelle liegt. Das Lysimeter besteht aus einem Kunststoffbehälter aus Polyethylen mit einem Freiauslauf zu einem Messschacht (siehe Abbildung 13) und wurde horizontweise mit gestörtem Boden, aber in seinem ursprünglichen Bodenaufbau befüllt.

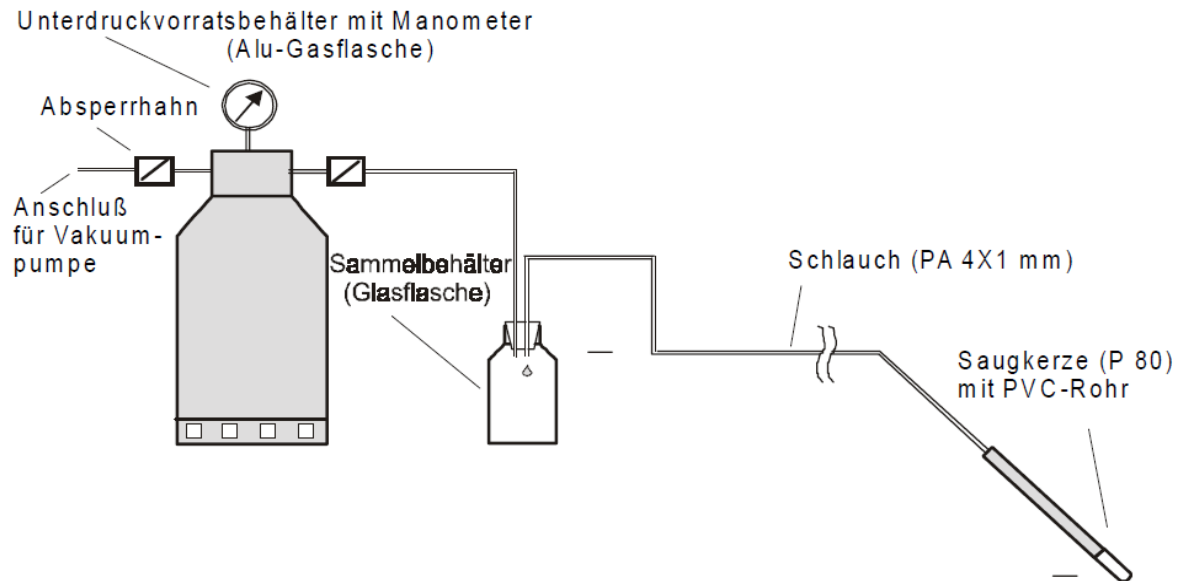
Der Boden des Kunststoffbehälters befindet sich in 1,40 Meter Tiefe, wo auch das Sickerwasser entnommen wird. Die mittlere Höhe des Behälters beträgt 111,1 cm, wodurch er im eingebauten Zustand mit seiner Oberkante bis knapp 30 cm unter die Geländeoberkante (geschätzte größte Bearbeitungstiefe) reicht. Für den aktuellen Feldversuch wurden die Schwerkraftlysimeter durch einen zusätzlichen Ringaufsatz von ca. 35 cm nachgerüstet, wodurch das Sickerwasser ausschließlich von der Lysimeterringfläche aufgesammelt wird und es zu keinem Wasser- und Nährstoffeintrag außerhalb des Ringes mehr kommen kann. Der Messschacht, der sich circa 1 Meter außerhalb der Versuchsparzellen befindet, besteht aus 4 Betonringen mit je 50 cm Höhe und einem Innendurchmesser von 2 Metern. Eine 60 cm runde Öffnung gewährleistet den Einstieg. Das Befahren des Messschachtes durch schwere Maschinen wird durch eine 26 cm starke Betondecke ermöglicht (vgl.: MURER, 2001, 2ff).

3.3.2.2 Saugkerzenanlage

Saugkerzen dienen zur Gewinnung von Sickerwasser im Boden (Bodenlösung) und können aus verschiedenen Materialien wie Keramik, Teflon und Sintermetallen gefertigt sein (vgl.: KLAGHOFER, 1991, 19ff).

Eine Saugkerzenanlage besteht aus jeweils zwei Keramiksaugkerzen, die getrennt zu einem Sammelgefäß geführt werden und durch Unterdruck dem Boden das Sickerwasser entziehen (siehe Abbildung 14). Die Vakuumpumpe ist auf einem Atmosphärenunterdruck von 0,45 hPa (Hektopascal) eingestellt. Die Sammelgefäße befinden sich wie bei der Lysimeteranlage ebenfalls in einem Messschacht außerhalb der Parzelle (vgl.: MURER, 2001, 2ff).

Abbildung 14: Schematische Darstellung einer Saugkerzenanlage



Quelle: MURER, 2001, 3.

3.3.3 ANLAGE DES VERSUCHES

Am 3. April 2007 wurde die gesamte Versuchsfläche in Winklhof umgepflügt. Danach erfolgten vom 17. bis 20. April 2007 das Eggen und die Vorbereitung des Saatbeetes. Am 25. April wurden 80 kg N/ha und Jahr mittels Rindergülle als Grunddüngung ausgebracht (siehe Tabelle 15) bevor am 26. April die Ansaat der Feldfuttermischung IM erfolgte. Diese Mischung ist aufgrund des relativ hohen Anteils an Englischem Raygras gut zur Silierung geeignet, da dieses intensives Wachstum fördert und durch seinen hohen Zuckergehalt die Silierfähigkeit verbessert. Die Feldfuttermischung IM verträgt 4 bis 6 Schnitte pro Jahr. In Tabelle 14 werden die Mischungsarten und -sorten sowie der Mischungsrahmen in Flächen- und Gewichtsprozent angegeben. Die empfohlene Saatgutmenge beträgt 23 kg/ha.

Tabelle 14: Mischungsrahmen Saatgutmischung IM

Mischung IM		Mischungsrahmen in Flächenprozent (Fl.%) und Gewichtsprozent (Gew.%) für alle Bundesländern	
Feldfutter-Intensivmischung für bis zu drei Hauptnutzungsjahre für milde und mittlere Lagen und intensive Bewirtschaftung			
Arten	ausgewählte ÖAG-Sorten	Fl.%	Gew.%
Bastardraygras	Gumpensteiner, Pilot, Pirol, Antilope ^{*)}	20	21,7
Engl. Raygras	75 % von den Sorten: Cavia, Pimpernel, Prana ^{*)} , Aubisque ^{*)} , Alligator ^{*)} , Turandot ^{*)}	20	16,3
	25 % von den Sorten: Guru, Barnauta ^{*)} , Ivana, Litempo ^{*)} , Tivoli ^{*)} , Trani, Montando ^{*)}		5,4
Knautgras	Tandem, Lidaglo, Baraula, (Lidacta)	20	17,4
Timothe	Tiller, Lischka, (Liglory), Kampe II, Comer, Licora, Rasant	10	8,7
Wiesenschwingel	Cosmolit, Darimo, Laura, Leopard, Pradel, (Lifara)	10	13
Rotklee	Gumpensteiner, Reichersberger Neu, Amos, Astur, Larus ^{*)} ,	10	8,7
	Renova, Temara ^{*)} , Tempus ^{*)} , Merula, Milvus, (Titus ^{*)}), (Vulkan ^{*)})		
Weißklee	50 % von den Sorten: SW Hebe ^{*)} , Klondike, Riesling, Sonja, Tasman	10	4,3
	50 % von den Sorten: Alice, (Riesling)		4,3
Saatmenge in kg/ha		23	

Quelle: KRAUTZER et al., 2010, 16.

3.3.4 DÜNGUNG UND NUTZUNG

Tabelle 15 beinhaltet Düngungszeitpunkte sowie Anwendungsmengen, chemische Zusammensetzung und zugeführte Nährstoffmengen mittels Rindergülle bei den jeweiligen Düngungsvarianten.

Tabelle 15: Güllegaben und Nährstoffzufuhren im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Parzellen Nr.:	Datum der	Menge dt/ha	Art des Düngemittels	Nährstoffgehalte			Nährstoffzufuhr		
	Düngung			in %		insgesamt kg / ha			
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2007									
11,21,31 a,b,c	25.04.07	181	dt Rindergülle 8%	0,442	0,147	0,393	80	27	71
	27.07.07	193,1	dt Rindergülle 5%	0,259	0,087	0,265	50	17	51
	17.09.07	190,8	dt Rindergülle 5%	0,262	0,080	0,299	50	15	57
	keine Düngung		dt Rindergülle 5%				0	0	0
							180	59	179
12,22,32 a,b,c	25.04.07	67,9	dt Rindergülle 8%	0,442	0,147	0,393	30	10	27
	27.07.07	77,2	dt Rindergülle 5%	0,259	0,087	0,265	20	7	20
	17.09.07	76,3	dt Rindergülle 5%	0,262	0,080	0,299	20	6	23
	keine Düngung		dt Rindergülle 5%				0	0	0
							70	23	70
2008									
11,21,31 a,b,c	10.04.08	206,7	dt Rindergülle 8%	0,387	0,160	0,323	80	33	67
	16.05.08	215,5	dt Rindergülle 5%	0,232	0,087	0,289	50	19	62
	03.07.08	109,9	dt Rindergülle 5%	0,231	0,081	0,185	25	9	20
	13.08.08	222,2	dt Rindergülle 5%	0,225	0,115	0,248	50	25	53
							205	86	203
12,22,32 a,b,c	10.04.08	77,5	dt Rindergülle 8%	0,387	0,160	0,323	30	12	25
	16.05.08	86,2	dt Rindergülle 5%	0,232	0,087	0,289	20	7	25
	03.07.08	44	dt Rindergülle 5%	0,231	0,081	0,185	10	4	8
	13.08.08	88,9	dt Rindergülle 5%	0,225	0,115	0,248	20	10	22
							80	34	80
2009									
11,21,31 a,b,c	15.04.09	122	dt Rindergülle 8%	0,410	0,165	0,386	50	20	47
	28.05.09	156,9	dt Rindergülle 5%	0,255	0,112	0,287	40	18	45
	08.07.09	192,3	dt Rindergülle 5%	0,208	0,100	0,170	40	19	33
	11.08.09	204,1	dt Rindergülle 5%	0,196	0,085	0,241	40	13	38
							170	70	163
12,22,32 a,b,c	15.04.09	73,2	dt Rindergülle 8%	0,410	0,165	0,386	30	12	28
	28.05.09	78,4	dt Rindergülle 5%	0,255	0,112	0,287	20	9	23
	08.07.09	96,2	dt Rindergülle 5%	0,208	0,100	0,170	20	10	16
	11.08.09	102	dt Rindergülle 5%	0,196	0,085	0,241	20	9	25
							90	39	92
2010									
11,21,31 a,b,c	13.04.10	140,4	dt Rindergülle 8%	0,356	0,142	0,345	50	20	48
	31.05.10	175,4	dt Rindergülle 5%	0,228	0,078	0,275	40	14	48
	08.07.10	180,5	dt Rindergülle 5%	0,221	0,094	0,177	40	17	32
	16.08.10	175,4	dt Rindergülle 5%	0,228	0,099	0,253	40	17	44
							170	68	173
12,22,32 a,b,c	13.04.10	84,3	dt Rindergülle 8%	0,356	0,142	0,345	30	12	29
	31.05.10	87,7	dt Rindergülle 5%	0,228	0,078	0,275	20	7	24
	08.07.10	90,3	dt Rindergülle 5%	0,221	0,094	0,177	20	9	16
	16.08.10	87,7	dt Rindergülle 5%	0,228	0,099	0,253	20	9	22
							90	36	91

Im Anlagejahr 2007 konnten die jeweiligen Düngungsniveaus von 230 kg N/ha und Jahr und 90 kg N/ha und Jahr nicht ganz erreicht werden. Auf der hohen Düngungsvariante wurden 180 kg N/ha und Jahr, auf der niedrigen 70 kg N/ha und Jahr jeweils auf drei Düngegaben aufgeteilt ausgebracht. Auch im zweiten Versuchsjahr 2008 wurden mit 205 kg N/ha und Jahr (hohes Düngungsniveau) und 80 kg N/ha und Jahr (niedriges Düngungsniveau) die geplanten Düngungsniveaus nicht ganz erreicht.

Die Düngung wurde auf 4 Düngegaben aufgeteilt, wobei die erste Teilgabe, wie auch schon im Jahr 2007 etwas stärker betont wurde. 2009 wurde die Düngungsintensität der hoch gedüngten Parzellen von 230 auf 170 kg N/ha und Jahr heruntergesetzt, die 90 kg N/ha und Jahr der niedrigen Düngungsintensität blieben gleich. Erstmals konnten in diesem Jahr die Düngungsniveaus von 170 kg N/ha und Jahr (hohes Düngungsniveau) und 90 kg N/ha und Jahr (niedriges Düngungsniveau) exakt erreicht werden. Auf den Parzellen mit hoher Düngungsintensität wurden die Güllegaben auf 50:40:40:40 kg N/ha pro Gabe aufgeteilt, auf denen mit niedrigen auf 30:20:20:20 kg N/ha pro Gabe. 2010 wurden die Düngungsniveaus ebenfalls erreicht und die Gabenteilung erfolgte gleich wie 2009. Neben der Stickstoffzufuhr sind in Tabelle 15 auch die Nährstoffzufuhren von P_2O_5 und K_2O enthalten, welche bei diesem Versuch aber eine untergeordnete Rolle spielen.

Der Versuch wurde im Anlagejahr zweimal geerntet und ab dem Jahr 2008 viermal pro Jahr gemäht. In Tabelle 16 sind die jeweiligen Erntetermine aufgelistet.

Tabelle 16: Auflistung der Erntetermine am Versuchsstandort Winklhof

Jahr	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt
2007	10.Sep	15.Okt		
2008	14.Mai	01.Jul	12.Aug	08.Okt
2009	25.Mai	07.Jul	10.Aug	07.Okt
2010	26.Mai	07.Jul	12.Aug	06.Okt

3.4 DURCHGEFÜHRTE ERHEBUNGEN

3.4.1 BODENUNTERSUCHUNGEN

Am 20. April 2007, 15. Oktober 2008 und am 19. Oktober 2010 wurde von jeder Versuchsparzelle eine Bodenprobe entnommen. Die Entnahmetiefe betrug 0 bis 10 cm, welche für Grünlandböden als ausreichend betrachtet wird. Die Bodenproben wurden an das Institut für Bodengesundheit und Pflanzenernährung der AGES in Wien geschickt und dort im akkreditierten Labor nach den geltenden ÖNORMEN untersucht.

In Tabelle 17 ist ein Überblick über die verwendeten Bodenuntersuchungsverfahren abgebildet. Links sind die Untersuchungsparameter dargestellt, in der Mitte das durchgeführte Verfahren laut ÖNORM und rechts der Anwendungsbereich bzw. die Aussagekraft der untersuchten Parameter.

Tabelle 17: Verwendete Bodenuntersuchungsverfahren

Untersuchung	Verfahren	Anwendungsbereich, Aussagekraft
Grunduntersuchung: pH, pflanzenverfügbare Anteile von Kalium und Phosphor	ÖNORM L 1083, ÖNORM L 1087	Einstufung der Versorgung mit P und K, Erstellung einer Düngeempfehlung für P und K, Ermittlung des Kalkbedarfs
Gehalt an pflanzenverfügbarem Magnesium	ÖNORM L 1093 oder CAT-Extraktion	Erstellung einer Düngeempfehlung für Mg, Ermittlung des K/Mg Verhältnisses
Nachlieferbarer Stickstoff	Anaerobe Bebrütung	Einstufung des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens, Berücksichtigung bei der Ermittlung der N-Düngung
Humusgehalt	ÖNORM L 1080, L1081	Einstufung des Gehalts an organischer Substanz, Abschätzung des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens
Gesamtstickstoffgehalt	ÖNORM L 1095	Einstufung des N-Gehaltes, Ermittlung des C/N - Verhältnisses
Kaliumfixierung	ÖNORM L 1097	Ermittlung der möglichen Fixierung von Kalium, Angabe der Menge der Ausgleichsdüngung
Tongehalt oder Gehalt an den Korngrößenklassen Sand, Schluff und Ton	ÖNORM L 1061-2	Charakterisierung der Bodenschwere, wesentlich für die Einstufung der Versorgungsklassen für K und Mg
Gehalt an austauschbaren Kationen	ÖNORM L 1086-1	Belegung des Austauscherkomplexes mit Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium; bei sauren Böden zusätzlich Eisen, Mangan, Aluminium und H^+ -Ionen

Quelle: vgl. BMLFUW, 2006, 8.

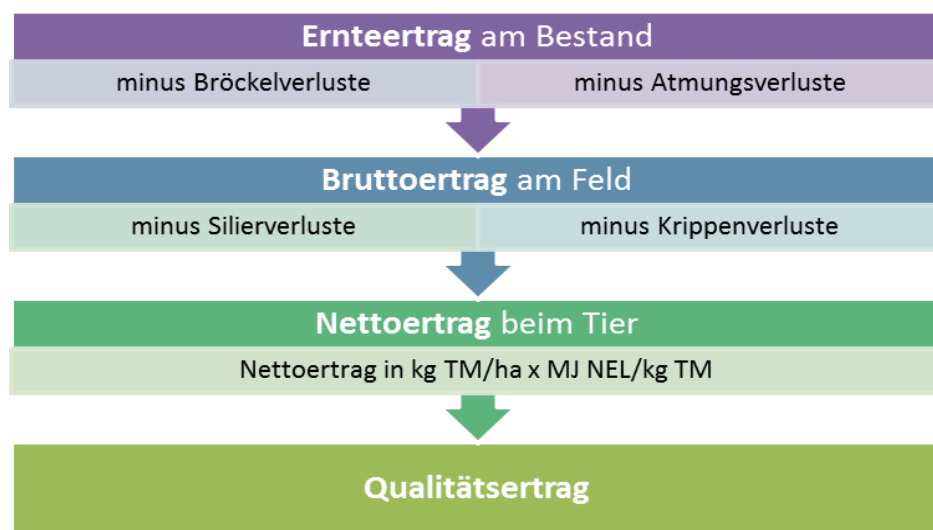
3.4.2 PFLANZENBAULICHE ERHEBUNGEN

3.4.2.1 Ertragsermittlung

Nach BUCHGRABER und GINDL, 2004, können folgende Erträge am Grünland unterschieden werden:

Der Erntebestand ist die oberirdische Biomasse, welche auf der Fläche produziert wird. Zieht man von diesem die Bröckel- und Atmungsverluste, auf Weiden die Weidereste ab, erhält man den Bruttoertrag. Je nach Witterung können diese Verluste zwischen 5-30 % und höher liegen. Der Teil des Futters, der von den Tieren tatsächlich aufgenommen wird, ist der Nettoertrag. Er ergibt sich aus Bruttoertrag abzüglich der Silier- (Lagerungsverluste im Silo und Heustock) und Krippenverluste, welche zusammen 5-40 % betragen können. Durch Multiplikation des Nettoertrags in kg TM/ha mit dem Energiegehalt in MJ NEL/kg TM erhält man den Qualitätsertrag in MJ NEL/ha (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 48ff).

Abbildung 15: Erträge und mögliche Verluste am Grünland



Quelle: nach BUCHGRABER und GINDL, 2004, 49.

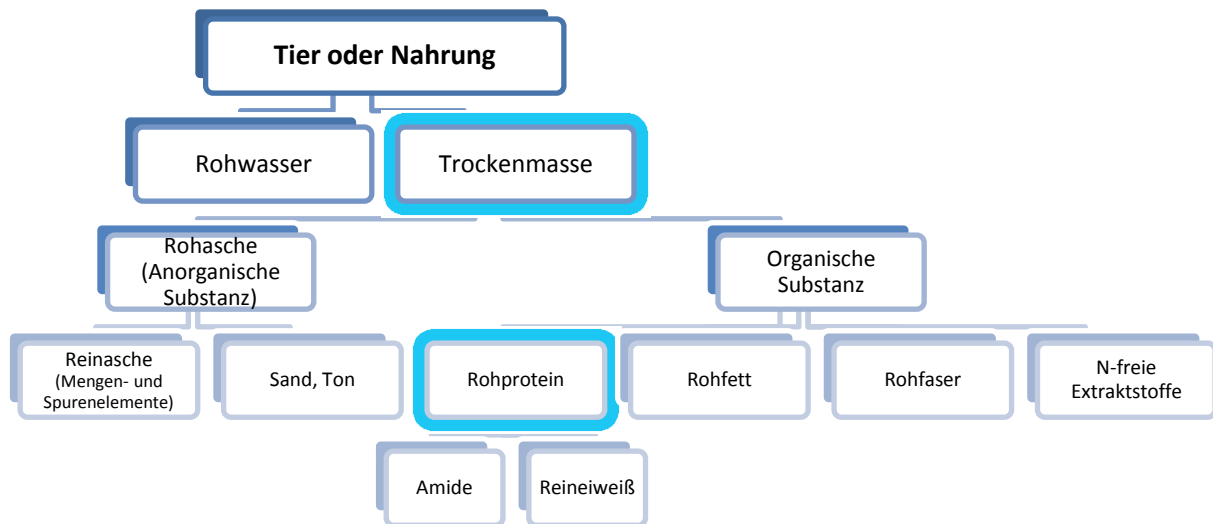
Die im gegenständlichen Versuch gewonnenen Daten beziehen sich auf den Ernteertrag, der folgender Maße erhoben wurde. Geerntet wurde von den mit Saugkerzen ausgestatteten Parzellen und denen ohne Lysimeter- und Saugkerzenanlage eine Motormäherbreite, wodurch sich eine Erntefläche von 6 m mal 1,6 m ergibt, dass 9,6 m² entsprechen. Auf den mit Schwerkraftlysimetern bestückten Parzellen wurde die gesamte Parzelle geerntet, wobei die Grünmasse vom Lysimeterring (innerhalb Lysimeterring; 1,04 m²) und der Rest von der Parzelle (außerhalb Lysimeterring; 25,5 m² minus 1,04 m² = 24,46 m²) getrennt erhoben wurde. Die geerntete Grünmasse wurde dann jeweils zusammengerechnet, gewogen und anschließend mittels eines Probenbohrers eine repräsentative Mischprobe gezogen. Diese wurde dann getrocknet und zur weiteren chemischen Analyse im Labor nach Gumpenstein geschickt.

3.4.2.2 Futteranalysen

Abbildung 16 gibt einen Überblick über die chemische Zusammensetzung von Tier bzw. Nahrung. Die Weender-Analyse wurde bereits 1860 entwickelt, um Nährstoffe im Futter zu analysieren. Obwohl diese Methode inzwischen verbessert wurde, findet sie heute noch ihre Anwendung.

Zuerst werden Rohwasser und Trockenmasse unterschieden, wobei sich der Rohwassergehalt durch Differenz zwischen Frischmasse und Trockenmasse ergibt. Durch Veraschung werden die organischen Substanzen (Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und N-freie Extraktstoffe) verbrannt und die Rohasche (Reinasche und Sand/Ton) bleibt übrig. Der Gehalt an organischer Substanz ergibt sich aus Differenz zwischen Trockenmasse und Rohasche (vgl.: KIRCHGESSNER et al., 2008, 22ff).

Abbildung 16: Chemische Zusammensetzung von Tier und Nahrung



Quelle: nach KIRCHGESSNER et al., 2008, 23.

Für den gegenständlichen Versuch wurde hinsichtlich der definierten Zielstellung nur der Gehalt an Trockenmasse und Rohprotein bestimmt.

3.4.2.2.1 Ermittlung der Trockenmasse

Zuerst wurde eine Probe von 500-700 g Frischmasse exakt eingewogen, luftgetrocknet und in weiterer Folge an das chemische Labor in Gumpenstein geliefert. Die neuerlich gewogenen Futterproben wurden dann für 48 Stunden bei ca. 50° C vorgetrocknet und danach in einer Mühle gehäckselt und gerieben. Anschließend wurden 10 g der Probe in Edelstahlschalen eingewogen und im Brabender-Apparat 30 Minuten (Heu, Grummet, Silage) bei 130° C getrocknet. Das Gerät zur Messung der Trockenmasse heißt Brabender Measurement & Control Systems und kann 10 Proben gleichzeitig trocknen. In der unteren Tür befindet sich die Waage, oben werden die Proben hineingeschoben und getrocknet.

Nach Ablauf der Trocknungszeit wurde der Rückstand automatisch gewogen und entspricht dann der Trockenmasse (vgl.: BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT und ARBEITSGEMEINSCHAFT LANDWIRTSCHAFTLICHER VERSUCHSANSTALTEN FÜR ÖSTERREICH, 1983, s.p. und NEUMANN und BASSLER, 1976, s.p.).

3.4.2.2.2 Ermittlung des Rohproteingehaltes

Die Bestimmung des Rohproteingehaltes kann nach dem Dumasverfahren und dem Kjeldahlverfahren erfolgen. Am LFZ Raumberg-Gumpenstein wird bei getrockneten Proben (wie auch im vorliegenden Versuch) das Duma-Verfahren zur Bestimmung des Rohproteingehaltes eingesetzt.

Mit dem Gerät Vario-Max-CNS werden standardmäßig Kohlenstoff und Stickstoff und bei Bedarf auch Schwefel gemessen. Dafür wurden von jeder vermahlenden Probe 300 mg in einen Spezialkeramiktiegel eingewogen und anschließend Eichsubstrat beigegeben. Unter Sauerstoffüberschuss wurden die Proben in mehreren Temperaturschritten verbrannt, wobei Temperaturen bis zu 900° C möglich waren. Das Verbrennungsspektrum wurde mit einem entsprechenden PC-Programm aufgezeichnet und berechnet (vgl.: BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT und ARBEITSGEMEINSCHAFT LANDWIRTSCHAFTLICHER VERSUCHSANSTALTEN FÜR ÖSTERREICH, 1983, s.p. und NEUMANN und BASSLER, 1976, s.p.).

Das Gerät muss kalibriert werden, als Standard wird Sulfadiazin verwendet (vgl.: www.elemantar.de, Stand: Februar 2011).

In den letzten Jahren wurde die Dumasmethode, die deutlich älter als die Kjeldahlmethode ist, vermehrt eingesetzt und ist inzwischen in vielen Bereichen gleichberechtigt mit Kjeldahl als Referenzmethode anerkannt (vgl.: GIRRBACH, 2009, 114).

„Die Rohproteinbestimmung nach Dumas hat gegenüber der seit Langem eingeführten Kjeldahl-Methode [sic] den Vorteil, dass sie weniger aufwendig ist, keinen nasschemischen Aufschluss voraussetzt und damit umweltfreundlicher ist“ (LASER, 2005, 148).

3.4.2.2.3 Berechnung Rohproteinertrag

Der Rohproteinertrag in kg/ha wurde durch Multiplikation des TM-Ertrages in kg/ha und des XP-Gehaltes in g/kg und Division durch 1000 errechnet.

$$\text{XP-Ertrag [kg/ha]} = \frac{\text{TM-Ertrag [kg/ha]} * \text{XP-Gehalt [g/kg]}}{1000}$$

3.4.2.2.4 Berechnung Stickstoffertrag

Der Stickstoffertrag ist eine rechnerische Größe, der sich aus dem Rohproteinertrag multipliziert mit 6,25 ergibt.

$$\text{N-Ertrag [kg/ha]} = \frac{\text{XP-Ertrag [kg/ha]}}{6,25}$$

Der Faktor 6,25 ergibt sich daraus, dass Eiweiß von Nahrungs- und Futtermitteln im Mittel 16 % Stickstoff enthält. Einzelne Futtermittel können davon stärker abweichen (vgl.: KIRCHGESSNER et al., 2008, 22).

3.4.3 BOTANISCHE ERHEBUNGEN

Bei der Durchführung einer Bestandesaufnahme im Grünland bzw. im Feldfutterbau sollten bestimmte Voraussetzungen eingehalten werden. Die Wahl des richtigen Aufnahmezeitpunktes ist wichtig, welcher am besten unmittelbar vor der 1. Schnitt- oder Weidenutzung festgelegt wird, eine Nachkontrolle ist dann bei den Folgeaufwüchsen möglich. Der Lückenanteil des Bestandes sollte am besten unmittelbar nach dem Schnitt geschätzt werden. Weiters ist die Wahl einer homogenen Aufnahmefläche entscheidend. Wichtig sind eine möglichst vollständige Erstellung der Artenliste und eine detaillierte Standortbeschreibung. Eine Lageskizze der Aufnahmefläche und ev. eine genaue Vermessung bzw. Vermarkung der Aufnahmefläche ist von Vorteil. Eine Schätzung der Artenmächtigkeit (Deckungsgrad, Ertragsanteil) und anderer Kennwerte ist ebenfalls wichtig (vgl.: PÖTSCH et al., 2008, 11).

Die Ertragsanteilsschätzung wurde von Herrn Wallinger (Leiter der Außenstelle Winklhof) vor jedem einzelnen Schnitt durchgeführt. Die End-Pflanzenbestandsaufnahme wurde am 2. Juli 2010 von Frau Schwab (Mitarbeiterin an der Abteilung für Grünlandmanagement und Kulturlandschaft am LFZ Raumberg-Gumpenstein) durchgeführt, die dazu gehörigen Aufnahmeblätter befinden sich im Anhang (Tabelle 102 bis Tabelle 109). Nachfolgend werden die Ertragsanteilschätzung der Artengruppen nach KLAPP/Stählin und die Flächenprozentschätzung nach Schechtner (1958) genauer erläutert.

3.4.3.1 Ertragsanteilschätzung der Artengruppen nach Klapp/Stählin

Bei der Ertragsanteilschätzung wird der Anteil der erntbaren Pflanzenmasse in Prozent der einzelnen Arten geschätzt. Dazu wird eine einheitliche Probefläche ausgewählt und die Ertragsanteile getrennt für die Artengruppen Gräser, Leguminosen und Kräuter ermittelt. Danach erfolgt die Festlegung der artspezifischen Ertragsanteile innerhalb der drei Gruppen (vgl.: Opitz von Boberfeld, 1994, 59ff).

Vorteile dieser Methode sind unter anderem eine schnelle Erstellung der Artenliste und Schätzung der Ertragsanteile, die direkte Beziehung zum Ertrag, die einfache Darstellung der Ergebnisse, der einfache Vergleich mehrerer Aufnahmen und die Möglichkeit einer Nachprüfung der Schätzergebnisse mit der Gewichtsprozentanalyse (vgl.: PÖTSCH et al., 2008, 10).

3.4.3.2 Pflanzenbestandsaufnahme mittels Flächenprozentenschätzung nach SCHECHTNER

SCHECHTNER hat 1958 die Flächenprozentenschätzung für die grünlandsoziologische Bestandsaufnahme entwickelt, welche heute noch in der Grünlandabteilung des Lehr- und Forschungszentrums Raumberg-Gumpenstein ihre Anwendung findet.

Um einen Pflanzenbestand erfolgreich zu schätzen, ist die Auswahl einer geeigneten Probefläche notwendig. Dabei ist darauf zu achten, dass die Aufnahme­fläche einheitliche Standortbedingungen und eine gleichmäßige Artenzusammensetzung aufweist. Weiters soll die Probefläche möglichst alle Arten des aufzunehmenden Bestands enthalten. Die Probeflächengröße sollte je nach Gleichmäßigkeit und Artenreichtum zwischen 10 und 25 m² liegen (vgl.: SCHECHTNER, 1958, 33ff).

Die projektive Deckung [nach BRAUN-BLANQUET] ist jene Fläche, die bei vertikaler Projektion der gesamten oberirdischen Pflanzenmasse auf den Boden eingenommen wird. Betrachtet man den Pflanzenbestand von oben, stellt man fest, dass er nicht überall geschlossen ist, sondern Lücken enthält, an denen man zum Boden sieht. Der Lückenanteil charakterisiert die Geschlossenheit des Futteraufwuchses. Die sichtbare Deckung ist jene Fläche des Bestands welche von der oberirdischen Pflanzenmasse bedeckt ist und ergibt sich durch Subtraktion des Lückenanteils von der Aufnahme­fläche.

$$\text{sichtbare Deckung} = \text{Aufnahme­fläche} - \text{Lückenanteil}$$

Die Gesamtdeckung ergibt sich durch Addition der Deckungsgrade aller Bestandspartner und kann mehr als 100 Prozent erreichen, da die Deckungsgrade der einzelnen Arten unabhängig voneinander ermittelt werden, ohne Rücksicht darauf zu nehmen, ob eine Art von einer anderen überdeckt wird oder nicht. Die Überdeckung wird auch als Schichtendeckung bezeichnet, wodurch sich folgende Formel für die Gesamtdeckung ergibt:

$$\text{Gesamtdeckung} = \text{sichtbare Deckung} + \text{Schichtendeckung}$$

Zu Beginn der Bestandsaufnahme wird die sichtbare Deckung bzw. der Lückenanteil des Bestands geschätzt. Danach erfolgt die Beurteilung der einzelnen Arten, welche zuerst notiert werden und dann in folgende Gruppen eingeteilt werden: Ober-Mittelgräser, Untergräser, Grasartige (Binsengewächse und Sauergräser), Leguminosen und Kräuter.

Anschließend wird die Flächenprozentenschätzung der einzelnen Arten durchführt. Dazu stellt man sich vor, dass alle Individuen einer Art auf einem Fleck zusammengefasst sind. Jene Größe wird bei kleinen Deckungsgraden als absolutes Ausmaß geschätzt und bei höheren Deckungsgraden wird die Aufnahme­fläche nach Augenmaß halbiert, gedrittelt oder geviertelt und der abzuschätzende Fleck damit verglichen. Bei Arten, welche nur einzeln vorkommen, kann man die Deckung mit „r“ oder rar bezeichnen, welche sehr selten vorkommen mit „+“ oder 0,33 % und welche selten vorkommen mit „++“ oder 0,66 %. Nach der Beurteilung der einzelnen Arten werden die Flächenprozent­e (FL-%) zunächst innerhalb der Gruppe und dann vom ganzen Bestand zusammengezählt, wodurch man die Gesamtdeckung erhält. Die Einschätzung der Deckung kann durch Kontrolle der Teilsummen der Artengruppen, der Gesamtdeckung und der Bildung von Verhältniszahlen erfolgen (vgl.: SCHECHTNER, 1958, 33ff).

Ein Vorteil der Flächenprozentenschätzung besteht in der einfachen Kontrolle, ob in Summe zu hoch oder zu niedrig geschätzt wurde. Ein Nachteil hingegen ist, dass keine Nachprüfung der Schätzergebnisse möglich ist (vgl.: PÖTSCH et al., 2008, 10).

3.4.4 SICKERWASSERERHEBUNGEN

Bei Schwerkraftlysometern versickert das Sickerwasser aufgrund der Gravitation. Durch die definierte Oberfläche von einem Quadratmeter ist die genaue flächenmäßige Zuordnung der Sickerwässer möglich. Das Sickerwasser wird durch einen Freiauslauf vom Lysimeter zum Messschacht geleitet und in einem Kunststoffbehälter aufgefangen.

Die Saugkerzenanlage hingegen entzieht durch Unterdruck dem Boden das Sickerwasser. Eine genaue flächenmäßige Zuordnung ist mit diesem System jedoch nicht möglich. Das Sickerwasser wird in Sammelbehälter (Glasflasche) aufgefangen.

Für jede Schwerkraftlysimeter- und Saugkerzenparzelle wurde das Sickerwasser getrennt/einzeln erhoben. Alle 3 bis 5 Wochen (je nach Sickerwasseranfall) wurde das Sickerwasser beprobt. Zuerst erfolgte mit einem Messbehälter die mengenmäßige Feststellung der Sickerwassermenge. Danach wurde eine Probeflasche befüllt und beschriftet (Parzellennummer, Datum). Anschließend wurde diese nach Gumpenstein ins Labor geschickt.

Im Wasserlabor des LFZ Raumberg-Gumpenstein wurden die Sickerwasserproben auf Kationen, Anionen, Gesamtphosphor, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, gesamten organischen Kohlenstoff, gesamten Stickstoff und gelösten organischen Kohlenstoff untersucht.

In Tabelle 18 sind die einzelnen Beprobungstermine für Saugkerzen und Schwerkraftlysimetervariante und die Anzahl der Beprobungen dargestellt. Die Schwerkraftlysimeterparzellen wurden aufgrund des größeren Sickerwasseranfalls häufiger beprobt.

Tabelle 18: Sickerwasserbeprobungstermine

Saugkerzenvariante				Schwerkraftlysimetervariante			
2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
06.02.2007	14.02.2008	23.02.2009	08.02.2010	12.01.2007	25.01.2008	23.02.2009	08.02.2010
22.03.2007	28.03.2008	17.04.2009	19.04.2010	23.01.2007	14.02.2008	06.03.2009	01.03.2010
02.05.2007	08.05.2008	02.06.2009	04.06.2010	06.02.2007	17.03.2008	14.03.2009	31.03.2010
06.06.2007	26.06.2008	08.07.2009	21.07.2010	26.02.2007	28.03.2008	24.03.2009	27.05.2010
05.07.2007	04.08.2008	14.08.2009	31.08.2010	08.03.2007	11.04.2008	09.04.2009	02.06.2010
30.07.2007	08.09.2008	25.09.2009	11.10.2010	22.03.2007	23.04.2008	02.06.2009	04.06.2010
31.08.2007	27.10.2008	11.11.2009	29.11.2010	11.04.2007	08.05.2008	22.06.2009	21.06.2010
27.09.2007	26.11.2008		31.12.2010	09.05.2007	24.07.2008	24.06.2009	21.07.2010
25.10.2007	31.12.2008			10.05.2007	12.08.2008	29.06.2009	06.08.2010
29.11.2007				18.05.2007	22.08.2008	08.07.2009	19.08.2010
31.12.2007				31.05.2007	13.11.2008	21.07.2009	31.08.2010
				18.06.2007	26.11.2008	05.08.2009	30.09.2010
				05.07.2007	22.12.2008	04.09.2009	15.11.2010
				11.07.2007	31.12.2008	14.09.2009	15.12.2010
				30.07.2007		20.10.2009	31.12.2010
				05.09.2007		23.11.2009	
				06.09.2007			
				07.09.2007			
				10.09.2007			
				12.09.2007			
				18.09.2007			
				27.09.2007			
				25.10.2007			
				09.11.2007			
				12.11.2007			
				29.11.2007			
				12.12.2007			
				31.12.2007			
11	9	7	8	28	14	16	15

3.4.4.1 pH-Wert

Der pH-Wert ist als negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionen-Konzentration definiert. Er gibt also an wie sauer oder basisch eine Lösung ist (vgl.: BREITENBACH, 2007, 3).

Zur Bestimmung des pH-Wertes wurde ein 100-ml-Plastikbecher mit 60-80 ml der Probe gefüllt und mit der geeichten Messkette am pH-Meter (MultiLine P3 pH/LF) gemessen (vgl.: ROHRER, 2011, 1).

3.4.4.2 Mikrofiltrieren

Um die Sicker- und Niederschlagswässer von etwaigen Verschmutzungen durch Schwebstoffe zu trennen, wurden die Proben mikrofiltriert. Dazu wurde die Probe in die Vorrichtung auf der Vakuumflasche gefüllt, in der sich ein Mikrofilterpapier 0,45 μm befindet. Durch die Wasserstrahlpumpe wurde abgesaugt und es entstand ein Unterdruck, der die Flüssigkeit durch das Filterpapier strömen ließ. Das filtrierte Wasser wurde dann zur Kationen- und Anionenbestimmung verwendet (vgl.: ROHRER, 2011, 2).

3.4.4.3 Elektrische Leitfähigkeit

Je mehr gelöste Stoffe im Wasser enthalten sind, desto höher wird seine elektrische Leitfähigkeit. Die elektrische Leitfähigkeit gibt die Summe aller gelösten, dissoziierten Stoffe (Elektrolyte) im Wasser an. Destilliertes, reines Wasser zum Beispiel hat einen sehr niedrigen Wert – es leitet Strom nur sehr schlecht. Hartes Wasser, das neben Calcium und Magnesium zum Beispiel auch hohe Konzentrationen von Nitrat-, Chlorid- und Sulfat-Ionen enthält, verfügt hingegen über einen hohen Wert. Ist die Leitfähigkeit des Wassers hoch, jedoch nicht geologisch bedingt, liegt der Schluss nahe, dass das Wasser mit anorganischen Stoffen verunreinigt ist. Die Maßeinheit für die elektrische Leitfähigkeit ist Mikrosiemens pro cm ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$).

Zur Feststellung der elektrischen Leitfähigkeit wurden etwa 60-80 ml der Probe in einen 100-ml-Plastikbecher gefüllt und mit der Leitfähigkeitsmesszelle am pH-Meter (MultiLine P3 pH/LF) gemessen (vgl.: ROHRER, 2011, 1).

3.4.4.4 Kationenbestimmung

Metallische Elemente wie z. B. Natrium, Calcium, Magnesium bilden positiv geladene Ionen, die Kationen genannt werden (vgl.: LATSCHA UND KAZMAIER, 2008, 33).

Zur Bestimmung der Kationen Natrium Na^+ , Ammonium NH_4^+ , Kalium K^+ , Calcium Ca^{2+} und Magnesium Mg^{2+} wurden die Proberöhrchen mit den mikrofiltrierten Proben aufgefüllt und mit 0,3 molarer Salpetersäure (HNO_3) angesäuert. Danach wurden sie im Ionenchromatograph für die Dauer von 43 Minuten analysiert und die jeweiligen Werte in mg/l angegeben (vgl.: ROHRER, 2011, 3).

3.4.4.5 Anionenbestimmung

Nichtmetallische Elemente wie Chlor, Phosphor, Schwefel bilden negativ geladene Ionen, die als Anionen bezeichnet werden (vgl.: LATSCHA UND KAZMAIER, 2008, 33).

Wie bei der Kationenbestimmung wurden auch hier die Proberöhrchen mit mikrofiltrierten Proben aufgefüllt und danach im Ionenchromatograph für die Dauer von 19 Minuten analysiert. Dabei werden Chlorid Cl^- , Nitrit NO_2^- , Nitrat NO_3^- , Phosphat PO_4^{2-} und Sulfat SO_4^{2-} in mg/l gemessen (vgl.: ROHRER, 2011, 3).

3.4.4.6 Gesamtphosphor

Der Gesamtphosphor setzt sich aus der Summe von gelöstem (anorganisches, gelöstes Orthophosphat und gelöste organische Phosphorverbindungen) und partikulärem Phosphor (in Biomasse gebunden) zusammen (vgl.: FESSMANN UND ORTH, 2002, 207).

Zur Bestimmung des Gesamtphosphorgehalts wurden 100 ml der Wasserprobe unter Zugabe von 3 ml 5-prozentiger Kaliumperoxodisulfat-Lösung im Autoklav 1 Stunde bei 109° C aufgeschlossen. Anschließend wurde die Probe abgekühlt und 4 ml Mischreagenz und 1 ml Ascorbinsäure-Lösung zugegeben. Nach ca. 15 Minuten erfolgte bei 865 nm die Messung im Photometer (vgl.: ROHRER, 2011, 1f).

3.4.5 STICKSTOFFFLÄCHENBILANZ

Die durchgeführte Stickstoffbilanz setzt sich aus verschiedenen Bilanzgliedern zusammen, die zum einen geschätzt werden müssen und zum anderen aus Analysendaten des Versuches genau vorliegen.

3.4.5.1 Stickstoffdeposition

Für die Schätzung der Deposition wurden Daten vom Amt der Salzburger Landesregierung verwendet (LEDER et al., 2011).

Im Bundesland Salzburg befinden sich drei WADOS-Stationen (Wet and dry only precipitation sampler) zur Niederschlagsmessung im Betrieb. Anhand der Untersuchung der Niederschläge ist die Erfassung der zeitlichen und räumlichen Trends der Stoffeinträge von Schwefel, Stickstoffverbindungen, freier Säure sowie von neutralisierenden Kationen möglich (LEDER et al., 2011, 5ff).

Die drei Stationen befinden sich am Sonnblick (Seehöhe 3106 m), Werfenwengen (Seehöhe 940 m) und Haunsberg (Seehöhe 520 m). Da es sich bei der Station am Sonnblick um hochalpines Gebiet handelt, wurden die Werte der beiden Stationen Werfenwengen und Haunsberg verwendet. Oberalm liegt ca. in der Mitte zwischen Haunsberg und Werfenwengen. Die Werte für den Gesamtstickstoffeintrag in kg N/ha setzen sich aus $\text{NH}_4\text{-N}$ (Ammonium-Stickstoff) und $\text{NO}_3\text{-N}$ (Nitrat-Stickstoff) zusammen (LEDER et al., 2011, 5ff).

Die Gesamtdeposition setzt sich aus nasser, trockener und okkult (feuchter) Deposition zusammen. Beim Gesamtstickstoffeintrag verhalten sich die nasse und trockene Deposition im Mittel etwa wie ein Drittel zu zwei Dritteln (vgl.: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/eintraege-wirkungen/deposition.htm> und <http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe/luft/eutrophierung/versauerung/deposition/index.htm>, Stand: Oktober 2011).

Zur Berechnung der nassen Deposition wurden für die einzelnen Untersuchungsperioden die Werte für den Stickstoffeintrag [kg/ha*a] über nasse Deposition der Stationen Haunsberg und Werfenwengen gemittelt. Anschließend erfolgte die Multiplikation des Mittelwerts mit 3 um auf die Gesamtstickstoffdeposition [kg/ha*a] zu gelangen (siehe Tabelle 19). Bei der ermittelten Gesamtstickstoffdeposition handelt es sich um einen Schätzwert.

Tabelle 19: Werte für den Stickstoffeintrag über nasse Deposition (Haunsberg, Werfenwengen) und Schätzung der Gesamtdeposition für den Versuchsstandort Winklhof

Untersuchungs- periode	Stickstoffeintrag [kg/ha*a]		Versuchsjahr	Mittelwert	Gesamtstickstoff-
	nasse Deposition			Stickstoffeintrag	deposition
	Haunsberg	Werfenwengen		[kg/ha*a]	[kg/ha*a]
2006/07	8,5	5,2	2007	6,9	20,6
2007/08	7,4	7,8	2008	7,6	22,8
2008/09	9,4	8,1	2009	8,8	26,3
2009/10	11,4	8,2	2010	9,8	29,4

Quelle: vgl.: LEDER et al., 2011, 42.

3.4.5.2 N₂-Bindung

Zur Abschätzung der N₂-Bindung gibt es verschiedene Methoden unter anderem die einfache Differenzmethode. Bei dieser Methode wird die Stickstofffixierungsleistung einer Leguminose über die Differenz in der Gesamtstickstoffaufnahme einer Leguminose (zur Stickstofffixierung befähigt) zu einer Referenzpflanze (nicht zur Stickstofffixierung befähigt), die zur selben Zeit am selben Standort abgebaut werden, geschätzt. Voraussetzungen der Methode sind gleiche Standortbedingungen und dass die Leguminose und Referenzpflanze die gleichen Mengen an Stickstoff aus dem Boden aufnehmen können. In der Regel wird nur der geerntete Aufwuchs berücksichtigt. Unterschiede im Rohproteingehalt der Restpflanze werden meist im Feldversuch außer Acht gelassen, da hier eine Probenahme nicht möglich ist (vgl.: DYCKMANS, 1986, 17f und PIETSCH, 2004, 33).

Um die Stickstofffixierung am Versuchsstandort abzuschätzen, wird von folgenden Annahmen ausgegangen. Ein Leguminosenreinbestand liefert bei optimalem Schnitzeitpunkt einen Trockenmasseertrag von 10.000 kg/ha und einen Rohproteingehalt von 20 % i. d. TM. Aus diesem TM-Ertrag und XP-Gehalt ergibt sich ein Rohproteinertrag von 2.000 kg/ha und damit ein N-Entzug von 320 kg N/ha. Die Stickstoffnachlieferung aus dem Boden (durch Mineralisierung) wurde aus vorliegenden Versuchsergebnissen (ungedüngter, leguminosenfreier Bestand) mit 70 kg N/ha abgeschätzt. Zieht man nun die N-Nachlieferung vom N-Entzug ab, ergibt die Differenz die geschätzte Stickstofffixierungsleistung von 250 kg N/ha. 100 G-% Leguminosen binden demnach bei einem Ertragsniveau von 10.000 kg TM rund 250 kg N/ha.

Zur Ermittlung der N₂-Fixierung für den Versuch wurden die Trockenmasseerträge der einzelnen Parzellen (TM-Ertrag Versuch) jeweils auf den geschätzten TM-Ertrag des Leguminosenreinbestands (10.000 kg/ha) bezogen. Da die Leguminosen G-% aus dem Versuch vorliegen, ergibt sich folgende Formel zur Berechnung der N₂-Fixierung:

$$\text{N}_2\text{-Fixierung [kg N/ha]} = \frac{250 \text{ [kg N/ha]}}{100 \%} * \text{Leguminosen G- \%} * \frac{\text{TM-Ertrag [kg/ha] (Versuch)}}{10.000 \text{ [kg/ha]}}$$

3.4.5.3 Stickstoffdüngung

Die Daten für die zugeführten Stickstoffmengen über die Düngung stammen aus der Gülleuntersuchung, die in Gumpenstein durchgeführt wurde. Die Analyse erfolgte für die Nährstoffe Stickstoff, Kalium und Phosphor. Bei den Stickstoffmengen in kg/ha handelt es sich um Werte ex Lager (nach Abzug der Stall- und Lagerungsverluste, siehe Kapitel 2.2.7).

3.4.5.4 Stickstoffentzug über die Futterernte

Für die Stickstoffbilanzierung wird der Stickstoffertrag (siehe 3.4.2.2.4) innerhalb des Lysimeterrings als N-Entzugsgröße verwendet.

Im Anlagejahr erfolgte keine Untersuchung der Futterproben auf den Rohproteingehalt. Daher wurden für das Jahr 2007 die XP-Gehalte der drei Hauptnutzungsjahre gemittelt und der Mittelwert für die Schätzung der N-Entzugswerte verwendet.

3.4.5.5 Stickstoffauswaschung

Die Daten zur Stickstoffauswaschung stammen von den Sickerwässern in Winklhof, welche im Wasserlabor in Gumpenstein analysiert wurden. Dazu wurden jeweils die Konzentrationen [mg/l] von Ammonium-N, Nitrit-N und Nitrat-N addiert, anschließend mit der Sickerwassermenge [l/m²] dividiert durch 100 multipliziert und für den Zeitraum 1.1 bis 31.12 des jeweiligen Jahres aufsummiert um die anorganische Stickstoffauswaschung [kg/ha*a] zu erhalten.

$$N_{\text{anorg}} = \sum_{1.1.-31.12} \frac{(\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}) * \text{Sickerwassermenge}}{100}$$

3.4.5.6 Unvermeidbare Stickstoffverluste

Im landwirtschaftlichen Kreislauf unterliegt der Wirtschaftsdüngerstickstoff Verlusten, die vom Zeitpunkt der Ausscheidung bis hin zur Ausbringung auf der Nutzfläche auftreten. Neben den Stall- und Lagerungsverlusten werden für die Berechnung der im Wasserrechtsgesetz festgelegten N-Obergrenze auch die Verluste bei der Ausbringung berücksichtigt, welche für Gülle 13 % betragen (siehe Kapitel 2.2.7). Diese Verluste wurden auch bei der durchgeführten N-Bilanzierung berücksichtigt.

$$\text{unvermeidbare N-Verluste} = \text{N-Düngung (ex Lager)} * 0,13$$

3.5 STATISTISCHE AUSWERTUNGEN

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Statistik-Programm PASW Statistics 18 (Nachfolgeprogramm von SPSS). Dazu wurden einerseits mithilfe der deskriptiven Statistik Tabellen erstellt, in denen Lagemaße wie der Median und das arithmetische Mittel (Mittelwert), Streuungsparameter wie die Standardabweichung sowie Minimum und Maximum dargestellt sind.

Andererseits wurden bei gegebener Normalverteilung und vorliegender Varianzhomogenität der Variablen ein- und multifaktorielle Varianzanalysen durchgeführt. Während die einfaktorielle Varianzanalyse lediglich einen Faktor berücksichtigt, leistet die multifaktorielle auch für eine höhere Anzahl an Faktoren. Bei der multifaktoriellen Varianzanalyse wurde das Bestimmtheitsmaß r^2 , welches den Anteil an der aufgeklärten Varianz im Gesamtmodell angibt, errechnet und dargestellt.

Weiters wurden multiple Vergleiche zur Überprüfung auf Signifikanz der Mittelwertdifferenzen aller Kombinationen von Vergleichspaaren durchgeführt. Hierfür wurde bei Varianzhomogenität der Scheffé-Test und bei Varianzungleichheit der Dunnett-T3-Test verwendet. Damit können Unterschiede innerhalb eines Faktors auf Signifikanz überprüft und dargestellt werden.

Bei nicht normal verteilten Variablen wurde ein nicht parametrischer Test, in diesem Fall der Kruskal-Wallis-Test eingesetzt (mit * gekennzeichnet). Dieser berücksichtigt wie die einfaktorielle Varianzanalyse auch nur einen einzelnen Faktor.

Für die statistische Auswertung der Schwerkraftlysimetervariante wurden die Werte innerhalb und außerhalb der Parzelle gewichtet.

Folgende Faktoren wurden je nach Analyse und abhängiger Variable eingesetzt: Düngung (niedriges und hohes Düngungsniveau), Lysimetersystem (Saugkerze, Schwerkraftlysimeter, ohne Lysimetersystem), Wiederholung (1., 2. und 3. Wiederholung), Jahr (2009 und 2010) und deren Wechselwirkungen. Das Konfidenzniveau wurde mit 0,95 bzw. 95 % festgelegt, wodurch sich ein Signifikanzniveau = 0,05 bzw. 5 % ergibt. Der p-Wert (Irrtumswahrscheinlichkeit) ist das Ergebnis eines Signifikanztests zur Überprüfung der vorab aufgestellten Nullhypothese (H_0). Ist der p-Wert kleiner als das Signifikanzniveau α , dann gilt das Ergebnis als statistisch signifikant (vgl.: JANSSEN und LAATZ, 2010, 229ff).

Die grafische Aufbereitung der Daten erfolgte mit Microsoft Excel 2010.

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

In diesem Kapitel folgt die Beschreibung und anschließende Diskussion der einzelnen Ergebnisse, unterteilt in die Unterkapitel Auswirkung der Versuchsfaktoren auf ausgewählte Bodenkennwerte, pflanzenbauliche Kennwerte, ausgewählte Kennwerte des Wasserhaushaltes und Stickstoffflächenbilanz.

4.1 AUSWIRKUNG DER VERSUCHSFAKTOREN AUF AUSGEWÄHLTE BODENKENNWERTE

In Tabelle 27 „Mittelwerte ausgewählter Bodenkennwerte“ ist für die einzelnen Bodenparameter der Mittelwert für das niedrige und hohe Düngungsniveau jeweils unterteilt in die drei Lysimetersysteme Saugkerze, Schwerkraftlysimer und ohne Lysimetersystem dargestellt. Weiters ist jeweils der Durchschnitt der Düngungsvarianten, der Lysimetersysteme und des Jahres abgebildet.

Die detaillierten Ergebnisse der Bodenuntersuchung mit Mittelwert ($\bar{x}$), Median (Med), Standardabweichung (s), Minimum (min) und Maximum (max), sowie die varianzanalytischen Auswertungen sind in Tabelle 100 und Tabelle 101 im Anhang dargestellt.

Anhand der Richtlinie für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006) werden an dieser Stelle die Ergebnisse der Bodenuntersuchung interpretiert.

4.1.1 BODENART UND BODENSCHWERE

Das Verhältnis der Korngrößenklassen Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) zueinander charakterisiert die Bodenart, welche wesentlich die Bodenbewirtschaftung beeinflusst. Daher kann vereinfacht die Bodenart als Bodenschwere angegeben werden, wofür nur mehr der Tongehalt erforderlich ist (vgl.: BMLFUW, 2006, 10).

Die Körnung beschreibt die gewichtsmäßige Zusammensetzung nach der Korngröße, wobei der Boden in ein Bodenskelett (Durchmesser größer 2 mm) und Feinerde (Durchmesser kleiner als 2 mm) unterteilt wird. Zur weiteren Charakterisierung der Korngrößenverteilung wird die Feinerde in die Sandfraktion (0,063 bis 2 mm), die Schlufffraktion (0,002 bis 0,063 mm) und die Tonfraktion (< 0,002 mm) unterschieden (vgl.: WILLIMANN und EGLI-BROZ, 2003, 120f und DERSCH, 2009., 18).

Das Bodenskelett als Bodengrundlage für die Pflanzen erweist sich als wenig ergiebig, da es Wasser kaum zurückhält, spärlich Nährstoffe liefert und für die Wurzeln ein mechanisches Hindernis darstellt. Hingegen speichert die Feinerde Wasser und Nährstoffe. Schluff- und Tonfraktionen bieten mit ihrem großen Oberflächen-Volumen-Verhältnis reichlich Bindungsstellen für Nährstoffe und Wasser. Feinporige Tonböden neigen zu starker Vernässung und Sauerstoffknappheit, weshalb das Pflanzenwachstum beeinträchtigt wird. Eine mittlere Kornverteilung mit einer ausgewogenen Mischung von Ton, Schluff und Sand ist am günstigsten (vgl.: WILLIMANN und EGLI-BROZ, 2003, 120f).

In Tabelle 20 ist die Einstufung der Bodenschwere nach Tongehalt oder Bodenart dargestellt. L steht dabei für Lehm, S für Sand, U für Schluff und T für Ton.

Tabelle 20: Einstufung der Bodenschwere nach dem Tongehalt oder der Bodenart

Bodenschwere	Tongehalt	Bodenart
leicht	unter 15 %	S, uS, IS, sU
mittel	15-25 %	tS, U, IU, sL
schwer	über 25 %	L, uS, sT, IT, T

Quelle: BMLFUW, 2006, 10.

Der Tongehalt liegt am Versuchsstandort 2007 im Mittel bei 21,78 %, 2008 bei 23,48 % und 2010 bei 16,90 % (siehe Tabelle 27), wodurch sich gemäß BMLFUW (2006) eine mittlere Bodenschwere ergibt. Der Tongehalt steigt im ersten Jahr im Durchschnitt um ca. 1,7 %, fällt aber von 2008 auf 2010 um mehr als 6 %.

Die Statistik ergibt bei Einzelbetrachtung der jeweiligen Jahre keinen signifikanten Einfluss des Faktors Düngung, der Faktor Lysimetersystem hat hingegen im Jahr 2007 und 2008 einen signifikanten Einfluss. Bei der Bodenart handelt es sich auf Basis der ermittelten Korngrößenverteilung um einen lehmigen Schluff.

4.1.2 HUMUSGEHALT UND ORGANISCHER KOHLENSTOFF

Der feste Teil des Bodens (Bodenmatrix) ist eine Mischung von mineralischen und organischen Bestandteilen. Die Verwitterung zerkleinert das Ausgangsgestein, wodurch sie die mineralische Grundlage für die Böden schafft. Das Pflanzenwachstum hingegen ist die Basis für die Entwicklung der organischen Bodenkomponenten, den Humus. Der Humus ist stofflich sehr uneinheitlich zusammengesetzt und umfasst:

- alle in und auf dem Mineralböden befindlichen Pflanzen-, Tier- und Mikroorganismenkörper,
- deren Umwandlungsprodukte
- sowie die organischen Ausscheidungen der lebenden Organismen.

Humus wird in Streustoffe und Huminstoffe unterteilt. Die Streustoffe sind nicht oder nur schwach umgewandelte Totmaterialien, welche abgestorbene Pflanzenteile und tote Bodenorganismen umfassen. Huminstoffe sind dunkel-gefärbte, großmolekulare Substanzen, welche aus Spaltungsprodukten des Streuabbaus neu entstanden sind. Sie wirken positiv auf die Bodenfruchtbarkeit, da sie große Mengen an Nährstoffen und Wasser speichern können (vgl.: WILLIMANN und EGLI-BROZ, 2003, 120f).

Anhand des Humusgehaltes kann die Bodenqualität bewertet werden. Der Humusgehalt ist neben der Bodenart von den klimatischen Standortverhältnissen und der Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung) abhängig. In Tabelle 21 ist die Einstufung des Humusgehaltes in die einzelnen Gehaltsklassen dargestellt, welche der Richtlinie für sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006) entnommen sind.

Tabelle 21: Einstufung des Humusgehaltes in Gehaltsklassen

Gehaltsklasse		Humusgehalt in %
A	schwach humos	unter 2 %
C	humos	2 bis 4,5 %
E	stark humos	über 4,5 %

Quelle: vgl.: BMLFUW, 2006, 9.

Die Humusgehalte am Versuchsstandort Winklhof liegen im Mittel bei 6,07 % (2007), 6,16 % (2008) und 6,77 % (2010), weshalb sie als Gehaltsklasse E stark humos eingestuft werden können und sich auf einem sehr hohen Niveau befinden (siehe Tabelle 27). Die Faktoren Düngung (2008 und 2010) und Lysimetersystem (2007, 2008, und 2010) haben keinen signifikanten Einfluss auf den Humusgehalt. Durch den fehlenden Umbruch und den ständigen Pflanzenbewuchs hat der Humusgehalt vom Jahr 2007 auf 2010 um durchschnittlich 0,7 % zugenommen.

Die Speicherung von organischem Kohlenstoff (C_{org}) in Böden, die unter anderem vom Klima, der Vegetation und damit der Zufuhr an organischer Substanz, dem Grundwasserstand, der Durchwurzelungstiefe und der Bodenart gesteuert wird, schwankt in einem weiten Bereich. Die Bildung und Menge der organischen Substanz hängt wiederum von der Bodenart, der Lagerungsdichte und dem Skelettgehalt ab. Für Pflanzen stellt die Mineralisierung von Pflanzenresten eine wesentliche Nährstoffquelle dar. Weiters ist die organische Bodensubstanz Kohlenstoff- und Energiequelle für Bodenfauna und -mikroflora (vgl.: BLUME et al., 2010, 51ff).

Die organische Substanz ist für die Ausbildung einer stabilen Bodenstruktur durch Gefügebildung und Aggregierung von zentraler Bedeutung und ihr Gehalt bestimmt wesentlich die Bodenfarbe im Oberboden und wirkt sich vor allem in ackerbaulich genutzten Böden auf den Bodenwärmehaushalt aus (vgl.: BLUME et al., 2010, 12 und 46).

Unter natürlicher Vegetation oder bei langjähriger gleichbleibender Nutzung in Abhängigkeit von den Klimabedingungen stellt sich in jedem Boden ein Gleichgewicht zwischen Anlieferung und Abbau der organischen Substanz ein, welches durch Änderung der Nutzungsform gestört wird. Die Speicherfunktion des Bodens für Kohlenstoff gewinnt im Rahmen des Klimaschutzes immer mehr an Bedeutung, da der Aufbau von Bodenkohlenstoffpools mit einer Verminderung der atmosphärischen CO₂-Konzentration einhergeht (vgl.: BLUME et al., 2010, 74ff).

Im Allgemeinen macht die organische Bodensubstanz nur wenige Prozent der Festphase von Mineralböden aus, jedoch ist sie entscheidend für die Aufrechterhaltung einer Vielzahl von Bodenfunktionen. Sie ist unter anderem Speicher- und Puffermedium für Wasser, Nähr- und Schadstoff zugleich, dient als Substrat und Lebensraum für Bodenorganismen, ist bodenstrukturbildend und wirkt aggregatstabilisierend. Sie ist Kohlenstoffspeicher, wodurch sie eine wichtige Funktion im C-Kreislauf einnimmt und erheblichen Einfluss auf die klimarelevanten Gase wie CO₂ und CH₄ (Methan) hat. In agrarisch genutzten Böden liegen die Gehalte der organischen Substanz in der Regel bei etwa 1-2 % C_{org}, bei forstlich genutzten Böden bei etwa 0,5-10 % C_{org} (vgl.: WESSOLEK et al., 2008, 1ff).

Die Änderung der Nutzungsform zum Beispiel Umbruch von Grünland zu Ackerland führt zu einer verstärkten Mineralisierung von Kohlenstoff und damit zu Verlusten von 10-65 % an C_{org}. Ackerland hat daher deutlich geringere C_{org}-Gehalte als Wald oder Grünland (vgl.: WESSOLEK et al., 2008, 1ff).

Die Gehalte an C_{org} liegen in Winklhof im Jahr 2007 bei 3,54 %, 2008 bei 3,58 % und 2010 bei 3,94 % (siehe Tabelle 27). Die Faktoren Düngung und Lysimetersystem haben jeweils in den einzelnen Jahren keinen signifikanten Einfluss. Der C_{org}-Gehalt liegt wie auch der Humusgehalt auf einem sehr guten und hohen Niveau. Der durchschnittliche Gehaltswert hat vom Jahr 2007 auf 2010 um 0,4 % zugenommen, auch hier haben sich der fehlende Umbruch und der ständige Pflanzenbewuchs positiv auf diesen wichtigen Bodenkennwert ausgewirkt.

4.1.3 BODENREAKTION – SÄUREGRAD

Die Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen und die Mobilität der Nährstoffe werden von der Bodenreaktion mitbestimmt. Anhand des pH-Wertes kann die Bodenreaktion eingestuft werden (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Einstufung der Bodenreaktion

pH-Wert	Bodenreaktion
unter 4,6	stark sauer
4,6 - 5,5	sauer
5,6 - 6,5	schwach sauer
6,6 - 7,2	neutral
7,3 - 8,0	alkalisch
über 8,0	stark alkalisch

Quelle: BMLFUW, 2006, 13.

Am Versuchsstandort liegt der pH-Wert sowohl 2007 als auch 2008 und 2010 im Mittel bei 6,6 und somit im Übergang zum neutralen Bereich (siehe Tabelle 27). Für die Verfügbarkeit der Pflanzennährstoffe kann dieser pH-Wert Bereich als optimal betrachtet werden. Der Faktor Düngung hat in den jeweiligen Untersuchungsjahren keinen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert, der Faktor Lysimetersystem weist jeweils einen hochsignifikanten Einfluss auf, der allerdings nicht schlüssig erklärbar ist.

4.1.4 STICKSTOFFMINERALISIERUNGSPOTENZIAL

Durch die Mineralisierung, welche von einer Vielzahl von Standortfaktoren, unter anderem von der Witterung (Temperatur, Feuchtigkeit) abhängig ist, entsteht aus organischer Substanz pflanzenverfügbarer Stickstoff. Jeder Boden besitzt aufgrund von spezifischen Bodeneigenschaften wie Humusgehalt, Tongehalt, pH-Wert, Gefügeform oder Porenvolumen ein bestimmtes Mineralisierungspotenzial, welches abhängig von der Witterung mehr oder weniger ausgeschöpft werden kann.

Durch anaerobe Bebrütung wird das Stickstoffmineralisierungspotenzial in mg N/1000g Feinboden und Woche abgeschätzt (vgl.: BMLFUW, 2006, 14f).

In Tabelle 23 ist die Einstufung des Stickstoffmineralisierungspotenzials anhand der anaeroben Mineralisierung bzw. des Humusgehaltes zu sehen.

Tabelle 23: Einstufung des Stickstoffmineralisierungspotenzials

Einstufung des Mineralisierungspotenzials	Anaerobe N-Mineralisation in mg N/1000 g Feinboden und Woche	Humusgehalt in %
niedrig	unter 35	unter 2
mittel	35 - 75	2 - 4,5
hoch	über 75	über 4,5

Quelle: BMLFUW, 2006, 15.

Die Gehalte an nachlieferbarem Stickstoff liegen in Winklhof 2007 bei 153,40 mg/1000g, 2008 bei 157,54 mg/1000g und im Jahr 2010 bei 213,78 mg/1000g (siehe Tabelle 27) und damit bedingt durch die hohen Humusgehalte auf einem sehr hohen Niveau. Die Faktoren Düngung und Lysimetersystem weisen keinen signifikanten Einfluss auf die Höhe des nachlieferbaren Stickstoffs auf.

Das Verhältnis vom Gesamtstickstoffgehalt (N_{tot}) im Boden zum Gehalt an organischen Kohlenstoff (C_{org}), C/N-Verhältnis genannt, ist ein Indikator für die Bodenfruchtbarkeit. Die Verfügbarkeit von Stickstoff ist umso besser, je enger das C/N-Verhältnis ist (vgl.: SEDY, 2010, 12).

Durch einen hohen Gehalt an unzersetzter Pflanzenmasse entstehen weite C/N-Verhältnisse wie etwa auf Magerstandorten, während durch hohe mikrobielle Aktivität bzw. hohe N-Mineralisierung sehr enge Verhältnisse entstehen (vgl.: SEDY, 2010, 12).

Für eine hohe Stickstoffmineralisierung im Boden ist ein enges C/N-Verhältnis von etwa 10:1 günstig (vgl.: BOHNER und EDER, 2006, 56f).

Am Versuchsstandort Winklhof liegt im Jahr 2007 das C/N-Verhältnis bei 10,3:1, 2008 bei 10,1:1 und 2010 bei 10,5:1 (siehe Tabelle 27). Das C/N-Verhältnis ist damit sehr eng und liegt im günstigen Bereich von etwa 10:1. Sowohl der Faktor Düngung als auch der Faktor Lysimetersystem weisen in den einzelnen Untersuchungsjahren keinen signifikanten Einfluss auf das C/N-Verhältnis auf.

4.1.5 PFLANZENVERFÜGBARE NÄHRSTOFFE – PHOSPHOR UND KALIUM

In Grünlandböden ist der pflanzenverfügbare Phosphorgehalt sehr niedrig, da durch die Verwitterung der bodenbildenden Gesteine relativ wenig Phosphor nachgeliefert wird und der P-Eintrag durch den Niederschlag aufgrund der geringen Werte unbedeutend ist. Dünger stellen in jedem Fall die wichtigste Phosphorquelle im Grünland dar. Neben dem pH-Wert und dem Ca-Gehalt des Bodens ist die Verfügbarkeit der Bodenphosphate vom Bodenwassergehalt abhängig. Aufgrund der nahezu fehlenden Bodenerosion und des niedrigen P-Austrages mit dem Sickerwasser im Dauergrünland sind die P-Verluste praktisch unbedeutend (vgl.: BOHNER, 2005, 4f).

Der Gehalt an Kalium im Boden hängt wesentlich von der mineralogischen Zusammensetzung des bodenbildenden Muttergesteins, dem Grad der Verwitterung, der Bewirtschaftungsart, -intensität und der Art und Menge der Tonminerale ab. Reich an Kalium sind in der Regel glimmerreiche, saure Grünlandböden (vgl.: BOHNER, 2005, 4f).

In Tabelle 24 ist die Einteilung in Gehaltsklassen und Versorgungsstufen für den Nährstoff Phosphor und in Tabelle 25 für Kalium dargestellt. Weiters wurde in Ackerland und Grünland unterteilt, weil diese Kulturformen unterschiedlich bewertet sind und bei Kalium auf Ackerstandorten auch die Bodenschwere berücksichtigt wird (vgl.: BMLFUW, 2006, 15f).

Tabelle 24: Einstufung der Phosphorgehalte

Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung	Ackerland	Grünland
		mg P/1000 g	mg P/1000 g
A	sehr niedrig	unter 26	unter 26
B	niedrig	26 - 46	26 - 46
C	ausreichend	47 - 111	47 - 68
D	hoch	112 - 174	69 - 174
E	sehr hoch	über 174	über 174

Quelle: BMLFUW, 2006, 15.

Im Jahr 2007 liegen die Phosphorgehaltswerte am Versuchsstandort bei 18,22 mg/1000g und sinken 2008 auf 10,50 mg/1000g und 2010 sogar auf 8,39 mg/1000g ab (siehe Tabelle 27). Aufgrund dieser sehr niedrigen Phosphorgehaltswerte (Gehaltsklasse A) wäre eine Phosphorergänzungsdüngung unbedingt notwendig.

Die Faktoren Düngung und Lysimetersystem haben keinen signifikanten Einfluss auf den Phosphorgehalt im Boden.

Tabelle 25: Einstufung der Kaliumgehalte unter Berücksichtigung der Bodenschwere

Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung	mg K/1000 g			mg K/1000 g
		Ackerland			Grünland
		Bodenschwere			Bodenschwere
		leicht	mittel	schwer	
A	sehr niedrig	unter 50	unter 66	unter 83	unter 50
B	niedrig	50 - 87	66 - 112	83 - 137	50 - 87
C	ausreichend	88 - 178	113 - 212	138 - 245	88 - 170
D	hoch	179 - 291	213 - 332	246 - 374	171 - 332
E	sehr hoch	über 291	über 332	über 374	über 332

Quelle: BMLFUW, 2006, 16.

Die Kaliumgehaltswerte liegen im Jahr 2007 bei 42,81 mg/1000g Feinboden, 2008 bei 72,17 mg/1000g und 2010 bei 71,72 mg/1000g (siehe Tabelle 27). Die Werte liegen 2007 in der Gehaltsklasse A (sehr niedrige Nährstoffversorgung) und 2008 und 2010 in der Gehaltsklasse B (niedrige Nährstoffversorgung).

Der Faktor Lysimetersystem hat keinen signifikanten Einfluss auf den Kaliumgehalt im Boden, wohingegen die Düngung im Jahr 2008 einen signifikanten Einfluss hat.

4.1.6 KALIUMFIXIERUNG

Unter Kaliumfixierung versteht man das Diffundieren von gelöstem oder austauschbarem Kalium in Zwischenschichten von Tonmineralien, welche dann zusammenklappen und Kalium fixieren. Erst, wenn die K-Konzentration der Bodenlösung sinkt, z. B. durch Entzug der Pflanzen wird fixiertes Kalium zunehmend freigesetzt, dagegen wird durch steigende K-Konzentration z. B. durch K-Düngung mehr Kalium fixiert. Mit dem Tongehalt des Bodens steigen das Ausmaß und die Intensität der K-Fixierung (vgl.: BLUME et al., 2010, 424).

Die Kaliumfixierung beträgt 2008 152,90 kg/ha und 2010 148,94 kg/ha (siehe Tabelle 27). Der Faktor Lysimetersystem hat keinen, der Faktor Düngung hat im Jahr 2008 einen signifikanten Einfluss auf die Kaliumfixierung.

4.1.7 AUSTAUSCHBARE KATIONEN

Eine wichtige Größe für die Bodenfruchtbarkeit ist der Gehalt an austauschbaren Kationen, da elektrisch geladene Teilchen aufgrund der Oberflächenladung der Bodenbestandteile absorbiert werden können. Vor allem positiv geladene Ionen (Kationen) können aufgrund der überwiegend negativen Überschussladungen der Ton- und Humusteilchen sowie Oxiden gut gespeichert werden (vgl.: BMLFUW, 2006, 17).

Zu den Kationen zählen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium als basisch wirkende und Aluminium, Eisen, Mangan und Protonen als sauer wirkende Kationen. Für ein ausgeglichenes Nährstoffangebot und eine günstige Bodenstruktur sollte der Austauschkomplex im Boden wie folgt belegt sein:

- 60-90 % Calcium (Ca)
- 5-15 % Magnesium (Mg)
- 2-5 % Kalium (K)
- weniger als 1 % Natrium (Na) (vgl.: BMLFUW, 2006, 17).

Die Austauschkapazität ist wesentlich vom Ausgangsmaterial des Bodens abhängig. Die Gesamtmenge an Kationen wird in Centimol Ionenäquivalent pro 1000 g Boden (cmol+/1000 g) angegeben und liegt normalerweise im Bereich von 10 bis 40 cmol+/1000 g. Höhere Gesamtmengen an Kationen ergeben sich in ton- und humusreichen Böden, wohingegen humusarme Sandböden niedrigere Werte aufweisen (vgl.: BMLFUW, 2006, 17).

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) am Versuchsstandort beträgt 2007 im Mittel 27,74 cmol+/1000 g, 2008 27,78 cmol+/1000g und 2010 im Mittel 28,71 cmol+/1000 g (siehe Tabelle 27), womit die Werte im Normalbereich liegen. Der Faktor Düngung hat keinen, der Faktor Lysimetersystem hat 2007 einen unerwartet hochsignifikanten, 2008 und 2010 jeweils einen signifikanten Einfluss auf die KAK.

Im Mittel liegen 2007 79,58 %, 2008 77,17 % und 2010 77,05 % der Kationen in Form von Calcium (Ca AK) vor, das dem optimalen Bereich entspricht. Sowohl der Faktor Düngung als auch der Faktor Lysimetersystem haben keinen signifikanten Einfluss.

Der Anteil an Kalium an der Kationenaustauschkapazität sollte sich zwischen 2-5 % befinden. Am Versuchsstandort liegen die Werte deutlich niedriger mit 0,68 % (2007), 0,79 % (2008) und 0,88 % (2010) vor. Der Faktor Lysimetersystem hat 2007 einen hochsignifikanten und 2008 und 2010 einen signifikanten Einfluss auf die Kaliumaustauschkapazität (K AK). Der Faktor Düngung hat 2008 einen signifikanten und 2007 und 2010 keinen signifikanten Einfluss.

Der Anteil an Magnesium liegt mit 19,18 % (2007), 20,94 % (2008) und 21,18 % (2010) außerhalb des optimalen Bereiches von 5-15 %. Nur der Faktor Lysimetersystem hat im Jahr 2008 einen signifikanten Einfluss auf die Magnesiumaustauschkapazität (Mg AK).

Auch die Natriumaustauschkapazität (Na AK) liegt mit 0,16 % (2007), 0,53 % (2008) und 0,52 % (2010) im Optimum. Die Faktoren Düngung und Lysimetersystem haben 2008 einen hochsignifikanten und 2010 einen signifikanten Einfluss. Der Faktor Lysimetersystem hat im Jahr 2007 ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Na AK.

4.1.8 PFLANZENVERFÜGBARES MAGNESIUM

Durch Verwitterung von magnesiumhaltigen Gesteinen und Mineralien werden Mg^{2+} -Ionen freigesetzt, welche von den Pflanzen aufgenommen werden können. Magnesium kann unter humiden Klimabedingungen in größeren Mengen ausgewaschen werden (vgl.: BAHADIR et al., 2000, 730).

Die Magnesiumaufnahme in die Pflanzen wird stark durch den Effekt der Ionenkonkurrenz beeinträchtigt. Calcium ist der wichtigste Antagonist für Magnesium, aber auch Ammonium, Kalium, Mangan und Wasserstoff-Ionen beeinflussen die Magnesiumaufnahme (vgl.: POTT und HÜPPE, 2007, 207).

Tabelle 26: Einstufung der Magnesiumgehalte unter Berücksichtigung der Bodenschwere

Gehaltsklasse	mg Mg/1000 g Bodenschwere			
	Nährstoffversorgung	leicht	mittel	schwer
A	sehr niedrig	-	unter 30	unter 40
B	niedrig	unter 50	30 - 55	40 - 75
C	ausreichend	50 - 75	56 - 105	76 - 135
D	hoch	76 - 150	106 - 190	135 - 220
E	sehr hoch	über 150	über 190	über 220

Quelle: BMLFUW, 2006, 17.

Die Magnesiumgehalte liegen am Versuchsstandort im Jahr 2007 im Mittel bei 320,69 mg/1000g, 2008 bei 410,83 mg/1000g Feinboden und 2010 bei 446,78 mg/1000g (siehe Tabelle 27). Anhand Tabelle 26 können die Magnesiumgehalte der Gehaltsklasse E (sehr hoch) zugeteilt werden, da die Bodenschwere mittel ist und die Werte deutlich über 190 mg/1000g Feinboden liegen.

Der Faktor Lysimetersystem hat sowohl 2007 als auch 2008 und 2010 einen signifikanten Einfluss auf den Magnesiumgehalt, der Faktor Düngung hat hingegen keinen signifikanten Einfluss.

Das Kalium:Magnesium-Verhältnis sollte zwischen 1,7:1 und 5:1 liegen. Verhältnisse außerhalb dieser Spannweite können Mg-Mangelsymptome verursachen, Verhältnisse unterhalb des Bereiches können bei empfindlichen Kulturen oder trockenen Witterungsbedingungen Kaliummangelsymptome verursachen (vgl.: BMLFUW, 2006, 42f).

Aufgrund der hohen Magnesiumgehalte, niedrigen Kaliumgehalte und hohen Kaliumfixierung im Boden liegt das Verhältnis am Versuchsstandort deutlich unter 1,7:1, was bei der Empfehlung für die Magnesium- und Kaliumdüngung in der „Richtlinie für die sachgerechte Düngung, 6. Auflage“ zu berücksichtigen ist. Eine zusätzliche mineralische Magnesiumdüngung ist nicht erforderlich. Die Kaliumdüngung sollte vorwiegend mit Wirtschaftsdünger sowie in den Gehaltsklassen A und B nach Bedarf auch kombiniert mit einer mineralischen Kalium-Ergänzungsdüngung erfolgen.

4.1.9 ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT

Die Leitfähigkeit für den elektrischen Strom einer Boden- oder Nährlösung ist von ihrem Gehalt an Ionen abhängig. Sie gibt somit einen Aufschluss über den Grad der Versalzung eines Bodens. Die Spannweite liegt in Ackerböden bei ca. 50-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ab 500-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ kann es zu Beeinträchtigungen kommen (vgl.: DERSCH, 2009., 14).

Die elektrische Leitfähigkeit liegt des Versuchsbodens liegt 2007 bei 69,04 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2008 bei 86,79 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 2010 bei 74,44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (siehe Tabelle 27). Der Faktor Lysimetersystem hat 2007 einen signifikanten und 2008 und 2010 einen hochsignifikanten Einfluss auf die elektrische Leitfähigkeit, hingegen hat der Faktor Düngung nur im Jahr 2008 signifikanten Einfluss.

Insgesamt zeigte sich im Versuchszeitraum ein unerwartet starker Einfluss des Faktors Lysimetersystem auf ausgewählte Bodenkennwerte, während der Faktor Düngung nur in wenigen Fällen eine signifikante Auswirkung zeigte. Es liegt die Vermutung nahe, dass die unter 3.2 dargestellte und beschriebene Vornutzung der Versuchsfläche zu einer gewissen Inhomogenität des Bodens hinsichtlich der Nährstoffgehalte geführt hat. Jedoch bleibt anzumerken, dass trotz signifikanter Unterschiede bei ausgewählten Bodenkennwerten die Konzentration an wichtigen Pflanzennährstoffen nur jeweils innerhalb derselben Gehaltsklasse variierte.

Tabelle 27: Ausgewählte Bodenkennwerte im Lysimetervergleichsversuch Winklhof (Mittelwerte)

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft- lysometer	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
Ton [%]												
2007	18,67	21,33	24,67	21,56 ^a	16,67	24,00	25,33	22,00 ^a	17,67 ^e	22,67 ^{ef}	25,00 ^f	21,78
2008	21,93	24,77	22,07	23,38 ^a	22,93	24,30	22,80	23,58 ^a	22,43 ^e	24,53 ^f	22,43 ^e	23,48
2010	16,40	18,60	16,40	17,13 ^a	15,83	15,83	18,33	16,67 ^a	16,12 ^e	17,22 ^e	17,37 ^e	16,90
Schluff [%]												
2007												
2008	60,53	58,33	60,80	59,50 ^b	57,70	57,95	57,90	57,88 ^a	59,12 ^e	58,14 ^e	59,35 ^e	58,69
2010	62,20	60,20	62,37	61,59 ^a	57,90	56,63	61,10	58,54 ^a	60,05 ^e	58,42 ^e	61,73 ^e	60,07
Sand [%]												
2007												
2008	17,53	16,88	17,13	17,11 ^a	19,37	17,70	19,33	18,53 ^a	18,45 ^e	17,29 ^e	18,23 ^e	17,82
2010	21,43	21,20	21,23	21,29 ^a	26,27	27,53	20,57	24,79 ^a	23,85 ^e	24,37 ^e	20,90 ^e	23,04
Humusgehalt [%]												
2007	6,13	5,92	5,85	5,97	6,80	5,69	6,01	6,17	6,47 ^e	5,81 ^e	5,93 ^e	6,07
2008	6,33	6,18	5,93	6,16 ^a	6,67	5,97	6,07	6,17 ^a	6,50 ^e	6,08 ^e	6,00 ^e	6,16
2010	7,00	7,03	6,30	6,78 ^a	7,43	6,33	6,53	6,77 ^a	7,22 ^e	6,68 ^e	6,42 ^e	6,77
Kohlenstoff organisch [%]												
2007	3,57	3,44	3,40	3,47	3,95	3,31	3,50	3,58	3,76 ^e	3,38 ^e	3,45 ^e	3,53
2008	3,68	3,59	3,45	3,58 ^a	3,88	3,47	3,53	3,59 ^a	3,78 ^e	3,53 ^e	3,49 ^e	3,58
2010	4,07	4,09	3,66	3,94 ^a	4,32	3,68	3,80	3,93 ^a	4,12 ^e	3,89 ^e	3,73 ^e	3,94
pH-Wert												
2007	6,8	6,6	6,1	6,5	6,9	6,7	6,2	6,6	6,9 ^f	6,6 ^f	6,2 ^e	6,6
2008	6,8	6,7	6,0	6,6 ^a	6,9	6,8	6,0	6,6 ^a	6,9 ^f	6,7 ^f	6,0 ^e	6,6
2010	6,8	6,7	6,1	6,5 ^a	6,9	6,7	6,2	6,6 ^a	6,9 ^f	6,7 ^f	6,1 ^e	6,6
Nachliefer- barer N [mg/1000g]												
2007	154,40	139,98	169,34	154,57	161,95	129,33	165,37	152,22	158,18 ^e	134,65 ^e	167,36 ^e	153,40
2008	134,33	150,67	178,00	153,42 ^a	167,00	144,50	190,67	161,67 ^a	150,67 ^e	147,58 ^e	184,33 ^e	157,54
2010	235,67	201,67	193,33	210,22 ^a	244,67	194,00	213,33	217,33 ^a	240,17 ^e	197,83 ^e	203,33 ^e	213,78
C:N-Verhältnis												
2007	10,31	9,90	10,22	10,14	10,95	10,37	10,23	10,52	10,63 ^e	10,13 ^e	10,22 ^e	10,33
2008	10,40	10,07	10,07	10,15 ^a	10,15	10,05	10,05	10,07 ^a	10,28 ^e	10,06 ^e	10,06 ^e	10,11
2010	10,81	10,81	10,32	10,65 ^a	10,42	10,41	10,39	10,40 ^a	10,62 ^e	10,61 ^e	10,35 ^e	10,53
P [mg/1000g]												
2007	19,70	19,76	16,03	18,50	24,02	14,77	15,04	17,94	21,86 ^e	17,27 ^e	15,53 ^e	18,22
2008	9,33	9,33	11,00	9,75 ^a	16,33	8,00	12,67	11,25 ^a	12,83 ^e	8,67 ^e	11,83 ^e	10,50
2010	8,67	6,33	4,33	6,44 ^a	17,33	5,00	8,67	10,33 ^a	13,00 ^e	5,67 ^e	6,50 ^e	8,39
K [mg/1000g]												
2007	39,87	44,48	42,49	42,28	45,51	44,34	40,19	43,35	42,69 ^e	44,41 ^e	41,34 ^e	42,81
2008	64,67	69,50	60,00	65,92 ^a	84,33	76,67	76,00	78,42 ^b	74,50 ^e	73,08 ^e	68,00 ^e	72,17
2010	75,67	73,33	64,67	71,22 ^a	80,00	59,33	77,33	72,22 ^a	77,83 ^e	66,33 ^e	71,00 ^e	71,72
K-Fixierung [kg/ha]												
2007												
2008	164,39	154,64	159,33	158,25 ^b	154,29	151,96	131,98	147,55 ^a	159,34 ^e	153,30 ^e	145,66 ^e	152,90
2010	147,56	155,81	142,10	148,49 ^a	167,23	153,46	127,45	149,38 ^a	157,40 ^e	154,63 ^e	134,78 ^e	148,94
K KAK [%]												
2007	0,59	0,69	0,77	0,68	0,62	0,68	0,75	0,68	0,61 ^e	0,69 ^e	0,76 ^f	0,68
2008	0,66	0,74	0,79	0,73 ^a	0,80	0,81	0,98	0,85 ^b	0,73 ^e	0,78 ^{ef}	0,88 ^f	0,79
2010	0,85	0,81	0,95	0,87 ^a	0,85	0,76	1,05	0,89 ^a	0,85 ^{ef}	0,78 ^e	1,00 ^f	0,88
Ca KAK [%]												
2007	80,85	79,24	78,42	79,51	82,20	78,57	78,22	79,66	81,52 ^e	78,91 ^e	78,32 ^e	79,58
2008	78,27	77,30	77,31	77,55 ^a	79,01	75,88	76,41	76,80 ^a	78,64 ^e	76,59 ^e	76,86 ^e	77,17
2010	77,48	77,20	77,15	77,27 ^a	78,56	75,84	76,06	76,82 ^a	78,02 ^e	76,52 ^e	76,61 ^e	77,05
Mg KAK [%]												
2007	18,22	19,65	19,83	19,23	16,92	20,40	20,11	19,14	17,57 ^e	20,02 ^e	19,97 ^e	19,19
2008	20,42	21,15	20,18	20,72 ^a	19,40	22,37	20,51	21,16 ^a	19,91 ^e	21,76 ^e	20,35 ^e	20,94
2010	21,11	21,36	20,53	21,00 ^a	19,96	22,71	21,42	21,36 ^a	20,54 ^e	22,04 ^e	20,97 ^e	21,18

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau				Ø			
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Ø ohne Lysimeter- system	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
Na KAK [%]												
2007	0,15	0,14	0,20	0,17	0,12	0,16	0,19	0,15	0,14 ^e	0,15 ^e	0,19 ^f	0,16
2008	0,34	0,41	0,48	0,41 ^a	0,50	0,62	0,85	0,65 ^b	0,42 ^e	0,52 ^e	0,66 ^e	0,53
2010	0,41	0,44	0,53	0,46 ^a	0,50	0,53	0,72	0,59 ^b	0,46 ^e	0,49 ^e	0,62 ^f	0,52
KAK [cmol+/1000g]												
2007	29,41	28,82	24,73	27,65	30,71	27,81	24,97	27,83	30,06 ^f	28,31 ^f	24,85 ^e	27,74
2008	29,45	28,78	23,15	27,54 ^a	31,30	28,21	24,39	28,03 ^a	30,38 ^f	28,50 ^f	23,77 ^e	27,78
2010	30,78	30,02	24,11	28,30 ^a	33,37	28,90	25,12	29,13 ^a	32,07 ^f	29,46 ^f	24,61 ^e	28,71
Mg [mg/1000g]												
2007	272,02	336,41	372,80	327,08	256,42	299,26	387,23	314,30	264,22 ^e	317,84 ^{ef}	380,02 ^f	320,69
2008	411,00	424,83	365,67	406,58 ^a	407,00	437,00	379,33	415,08 ^a	409,00 ^{ef}	430,92 ^f	372,50 ^e	410,83
2010	460,33	470,33	397,00	442,56 ^a	452,67	474,00	426,33	451,00 ^a	456,50 ^{ef}	472,17 ^f	411,67 ^e	446,78
EL [µS/cm]												
2007	91,67	65,07	45,53	67,42	99,60	64,70	47,70	70,67	95,63 ^f	64,88 ^e	46,62 ^e	69,04
2008	98,33	83,67	55,67	80,33 ^a	118,33	96,50	61,67	93,25 ^b	108,33 ^e	90,08 ^f	58,67 ^e	86,79
2010	103,33	77,33	43,00	74,56 ^a	111,00	63,67	48,33	74,33 ^a	107,17 ^f	70,50 ^{ef}	45,67 ^e	74,44

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

4.2 PFLANZENBAULICHE KENNWERTE

Unter anderem werden in diesem Kapitel die Futtererträge und –qualitäten, die Stickstoffeffizienz und die Entwicklung der Pflanzenbestände dargestellt und diskutiert.

In Tabelle 28, Tabelle 33, Tabelle 36, Tabelle 38, Tabelle 40 und Tabelle 42 ist jeweils die deskriptive Statistik mit dem Mittelwert (MW), dem Median, der Standardabweichung (s.), dem Minimum (min) und Maximum (max) der einzelnen Versuchsjahre von 2007 bis 2010 dargestellt. Die Gliederung erfolgt dabei in niedriges Düngungsniveau und hohes Düngungsniveau, unterteilt in die drei Lysimetersysteme (Saugkerze, Schwerkraftlysimeter und ohne Lysimetersystem) und dem Durchschnitt des jeweiligen Düngungsniveaus unabhängig von der Lysimetersystemvariante.

Weiters ist der Durchschnitt jeder Lysimetersystemvariante unabhängig vom Düngungsniveau und der Durchschnitt des jeweiligen Versuchsjahres unabhängig von Lysimetersystemvariante und Düngungsniveau abgebildet.

Die Tabelle 29, Tabelle 34, Tabelle 37, Tabelle 39, Tabelle 41 und Tabelle 43 zeigen die jeweiligen Ergebnisse der multivariaten Varianzanalyse bei normal verteilten bzw. des Kruskal-Wallis-Tests (mit * gekennzeichnet) bei nicht normal verteilten Daten. Die Faktoren sind für die einzelnen Versuchsjahre (2007-2010) Lysimetersystem, Düngung, Wiederholung und bei der Varianzanalyse auch die jeweiligen Wechselwirkungen. Bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 wurde zusätzlich der Faktor Jahr getestet.

4.2.1 FUTTERERTRAG UND FUTTERQUALITÄT

4.2.1.1 Trockenmasseerträge

Im Anlagejahr 2007 liegt am Versuchsstandort Winklhof der durchschnittliche TM-Ertrag der niedrig gedüngten Parzellen bei 27,98^a dt/ha und der hoch gedüngten bei 32,73^b dt/ha (siehe Tabelle 28). Die hochgestellten Buchstaben weisen hier auf den signifikanten Einfluss des Faktors Düngung (siehe Tabelle 29). Deshalb wird die Nullhypothese, nämlich dass kein signifikanter Einfluss des Faktors Düngung auf die abhängige Variable TM-Ertrag besteht, abgelehnt. Auch der Faktor Wiederholung hat einen signifikanten und der Faktor Lysimetersystem einen hochsignifikanten Einfluss auf den TM-Ertrag, wobei sich die Varianten Saugkerze und ohne Lysimetersystem nicht signifikant, die Varianten Saugkerze und Schwerkraftlysimeter bzw. ohne Lysimetersystem und Schwerkraftlysimeter signifikant voneinander unterscheiden.

Zum einem erreichen neu angelegte Bestände im Anlagejahr nicht die volle Ertragsfähigkeit, weil die verschiedenen Pflanzenarten unterschiedlich lange zur Keimung und Entwicklung brauchen. Daher ist eine gewisse Wartezeit zur vollen Entwicklung des Pflanzenbestands notwendig, wodurch sich die Vegetationszeit für weitere Aufwüchse verkürzt. Zum anderen erfolgten 2007 zuerst zwei Schröpfungsschnitte, die bei der Ertragsbestimmung nicht berücksichtigt wurden, bevor dann der Versuch zweimal geerntet wurde.

Auf den Schwerkraftlysimeterparzellen wurde im Anlagejahr nur die Fläche innerhalb des Lysimeterings mittels Gartenschere zur Ertragsbestimmung beprobt, weshalb es wahrscheinlich bedingt durch eine niedrigere Schnitthöhe im Vergleich zu den mit Motormäher beprobten Varianten (Saugkerzen- und ohne Lysimetersystem) zu höheren Ernteerträgen gekommen ist.

Tabelle 28: Trockenmasseerträge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							Ø Jahr
	Saugkerze	Schwerkraft-lysimeter	ohne Lysimetersystem	Ø niedriges Düngungsniveau	Saugkerze	Schwerkraft-lysimeter	ohne Lysimetersystem	Ø hohes Düngungsniveau	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft-lysimeter	Ø ohne Lysimetersystem	
TM-Ertrag [dt/ha]												
2007												
$\bar{x}$	19,62	38,80	25,54	27,98 ^a	26,57	42,46	29,16	32,73 ^b	23,10 ^e	40,63 ^f	27,35 ^e	30,36
Med	21,71	35,42	26,02	26,02	26,74	41,01	29,75	30,40	22,39	38,79	26,59	28,45
s	4,06	7,87	1,91	9,64	3,91	6,72	3,16	8,49	5,22	6,85	3,06	9,14
min	14,94	33,17	23,44	14,94	22,58	36,57	25,74	22,58	14,94	33,17	23,44	14,94
max	22,20	47,79	27,16	47,79	30,40	49,78	31,98	49,78	30,40	49,78	31,98	49,78
2008												
$\bar{x}$	77,73	93,72	91,08	87,51 ^a	92,05	105,19	90,53	95,92 ^a	84,89 ^e	99,45 ^e	90,80 ^e	91,72
Med	82,03	92,90	104,30	92,90	92,53	103,40	79,51	94,68	90,74	99,16	91,90	93,79
s	20,58	2,30	30,71	19,95	2,90	4,36	20,10	12,51	15,31	7,01	23,22	16,73
min	55,34	91,94	55,97	55,34	88,95	102,00	78,35	78,35	55,34	91,94	55,97	55,34
max	95,82	96,31	112,97	112,97	94,68	110,16	113,73	113,73	95,82	110,16	113,73	113,73
2009												
$\bar{x}$	70,14	71,73	75,56	72,48 ^a	89,38	86,61	84,05	86,68 ^b	79,76 ^e	79,17 ^e	79,81 ^e	79,58 ^k
Med	69,39	74,64	76,43	72,37	87,04	87,00	83,85	87,00	78,10	80,45	77,66	77,66
s	1,96	5,49	3,83	4,24	7,01	0,75	15,52	8,83	11,50	8,87	11,13	9,93
min	68,66	65,39	71,37	65,39	83,83	85,75	68,63	68,63	68,66	65,39	68,63	65,39
max	72,37	75,15	78,89	78,89	97,27	87,08	99,68	99,68	97,27	87,08	99,68	99,68
2010												
$\bar{x}$	63,13	57,11	72,80	64,35 ^a	76,98	77,30	83,23	79,17 ^b	70,06 ^e	67,20 ^e	78,02 ^e	71,76 ^k
Med	63,53	59,94	72,01	63,53	77,61	78,82	82,40	79,26	69,31	66,93	78,15	72,91
s	5,31	5,01	1,92	7,83	6,30	3,02	2,44	4,79	9,20	11,66	6,04	9,89
min	57,64	51,33	71,41	51,33	70,40	73,81	81,31	70,40	57,64	51,33	71,41	51,33
max	68,23	60,05	74,99	74,99	82,94	79,26	85,98	85,98	82,94	79,26	85,98	85,98

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Die durchschnittlichen TM-Erträge im Hauptnutzungsjahr 2008 betragen 87,51^a dt/ha beim niedrigen und 95,92^a dt/ha beim hohen Düngungsniveau. In diesem Jahr hat weder der Faktor Düngung noch das Lysimetersystem und die Wiederholung einen signifikanten Einfluss auf den Trockenmassegehalt. Aufgrund der großen Streuung (s Ø 16,73 dt/ha) ist in diesem Jahr auch kein signifikanter Unterschied der beiden Düngungsvarianten zustande gekommen.

Im zweiten Hauptnutzungsjahr 2009 liegt ein signifikanter Einfluss des Faktors Düngung vor, was bedeutet, dass sich das niedrige Düngungsniveau (72,48^a dt/ha) signifikant von dem hohen Düngungsniveau (86,68^b dt/ha) unterscheidet. Die Faktoren Lysimetersystem Wiederholung haben keinen Einfluss auf den Trockenmasseertrag im Jahr 2009. Im Vergleich zum Jahr 2008 ist insgesamt ein deutlicher Ertragsrückgang um ca. 10 dt/ha zu erkennen.

Die TM-Erträge im dritten Hauptnutzungsjahr liegen bei 64,35^a dt/ha beim niedrigen Düngungsniveau und 79,17^b dt/ha beim hohen Düngungsniveau. In diesem Jahr haben die Faktoren Düngung und Lysimetersystem einen signifikanten und der Faktor Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf den TM-Ertrag.

Die Feldfuttermischung IM konnte somit den guten Trockenmasseertrag des ersten Hauptnutzungsjahres nicht halten und verzeichnete im Vergleich 2008 zu 2010 einen durchschnittlichen Ertragsrückgang von 22 %.

Vergleicht man nun die Jahre 2009 und 2010 miteinander, hat der Faktor Jahr einen signifikanten, der Faktor Düngung einen hoch signifikanten und der Faktor Lysimetersystem keinen signifikanten Einfluss auf den TM-Ertrag. In keinem der Versuchsjahre haben die Wiederholung und die verschiedenen Wechselwirkungen einen signifikanten Einfluss auf den TM-Ertrag.

Tabelle 29: Varianzanalytische Auswertungen zum TM-Ertrag im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

abhängige Variable TM-Ertrag [dt/ha]	2007	2008	2009	2010	2009-2010
Jahr					0,005
Lysimetersystem	0,001	0,302	0,986	0,046	0,067
Düngung	0,020	0,272	0,015	0,003	0,001
Wiederholung	0,018	0,129	0,761	0,353	0,874
Jahr*Lysimetersystem					0,089
Jahr*Düngung					0,838
Jahr*Wiederholung					0,183
Lysimetersystem*Düngung	0,524	0,653	0,507	0,340	0,147
Lysimetersystem*Wiederholung	0,201	0,477	0,286	0,780	0,089
Düngung*Wiederholung	0,331	0,329	0,758	0,940	0,645
Jahr*Lysimetersystem*Düngung					0,382
Jahr*Lysimetersystem*Wiederholung					0,320
Jahr*Düngung*Wiederholung					0,618
Lysimetersystem*Düngung*Wiederholung					0,131
R ²	0,980	0,835	0,871	0,938	0,981
korrigiertes R ²	0,914	0,295	0,450	0,737	0,837

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

Bei der Feldfuttermischung IM handelt es sich um eine gräserbetonte Mischung. Die Ertragslage kann 2008 und 2009 bei beiden Düngungsstufen und 2010 beim hohen Düngungsniveau gemäß Tabelle 30 als mittel eingestuft werden. Beim niedrigen Düngungsniveau liegt die Ertragslage 2010 im niedrigen Bereich. Aufgrund der Bodenverhältnisse und des natürlichen Bodenwerts handelt es sich beim Versuchsstandort um hochwertiges Grünland (vgl.: BFW, 2012), wodurch eigentlich höhere Trockenmasseerträge zu erwarten waren.

Tabelle 30: Einschätzung der Ertragslage auf Basis des durchschnittlichen Ertrages

		Ertragslage	
	niedrig	mittel	hoch
Feldfutter		Ø Ertrag in t TM/ha und Jahr	
kleebetont	< 7,0	7,0 - 10,0	> 10,0
gräserbetont	< 7,0	7,0 - 10,5	> 10,5
gräserreinbestände	< 8,0	8,0 - 12,0	> 12,0

Quelle: vgl. BMLFUW, 2006, 38.

In Tabelle 31 sind die österreichischen Futtererträge für Klee gras der Jahre 2007-2010 dargestellt. Die durchschnittlichen brutto Trockenmasse-Erträge im Jahr 2007 liegen bei 101 dt/ha, 2008 bei 106 dt/ha, 2009 dt/ha und 2010 bei 104 dt/ha. Die Trockenmasseerträge am Versuchsstandort liegen deutlich unter den durchschnittlichen brutto TM-Erträge in Österreich.

Tabelle 31: Österreichische Futtererträge für Klee gras der Jahre 2007-2010

Klee gras	Fläche in ha	Ø TM-Ertrag Brutto in t/ha	Ø TM-Ertrag Brutto in dt/ha
2007	65.723	10,1	101
2008	62.265	10,6	106
2009	61.959	10,0	100
2010	62.994	10,4	104

Quelle: vgl. <http://www.agrarökonomik.at/index.php?id=gruenerbericht>, Stand: Oktober 2011.

Einerseits ist eine gute Entwicklung und Etablierung des neu angelegten Bestands wichtig, weshalb eine Düngegabe zur Pflanzenernährung notwendig ist, andererseits führen zu hohe Düngemengen zu Nährstoffauswaschungen, wenn sie von den Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden können. Daher ist es wichtig einen Kompromiss zu finden, um die Pflanzen bedarfsgerecht zu düngen und hohe Nährstoffauswaschungen zu vermeiden.

4.2.1.2 Rohproteingehalt des Futters

Proteine bestehen aus den Grundbausteinen Aminosäuren und sind Makromoleküle. Sie setzen sich aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff zusammen und können Elemente wie Schwefel oder Selen enthalten. Somit führen Proteine als einziger Nährstoff dem Organismus nennenswerte Mengen an Stickstoff und organischen Schwefel zu (vgl.: KIRCHGEßNER et al., 2008, 94).

Folgende Elemente kommen prozentuell am häufigsten in den Proteinen vor:

Tabelle 32: Zusammensetzung des Proteins mit den prozentuell am häufigsten vorkommenden Elementen

Kohlenstoff	51 - 55 %	Wasserstoff	6,5 - 7,3 %
Sauerstoff	21,5 - 23,5 %	Schwefel	0,5 - 2,0 %
Stickstoff	15,5 - 18,0 %	Phosphor	0 - 1,5 %

Quelle: KIRCHGEßNER et al., 2008, 94

Um Spitzenqualitäten für Hochleistungstiere zu erreichen, sollte der XP-Gehalt von Grünlandfutter bei 15-20 % i. d. TM liegen. Allerdings liegt der Normalbereich in der Praxis bei 10-14 % i. d. TM (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 69).

Die Rohproteingehalte im Futter lassen sich wesentlich vom Nutzungszeitpunkt, vom Leguminosenanteil des Futters und von der Stickstoffdüngung beeinflussen. Bei Beständen, die im Ähren- und Rispschieben der Leitgräser geerntet und sachgerecht gedüngt werden, kann mit einem Rohproteingehalt von 15 % bzw. 150 g/kg in der Trockenmasse gerechnet werden. Bei frühem Vegetationsstadium sind die XP-Gehalte im Futter höher, der optimale Nutzungszeitpunkt richtet sich nach der jeweiligen Nutzungsform (Silage, Heu/Grummet, Grünfutter) (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 61ff).

In Tabelle 33 ist die deskriptive Statistik für den Rohproteingehalt der drei Hauptnutzungsjahre 2008-2010 dargestellt, in Tabelle 28 finden sich die Ergebnisse der Varianzanalyse. Im Anlagejahr wurden die Futterproben nicht auf den Rohproteingehalt untersucht.

2008 liegen die XP-Gehalte des Futters bei Ø 149,7^b g/kg bei den niedrig gedüngten Parzellen und bei Ø 148,0^a g/kg auf den hoch gedüngten Parzellen. Der Faktor Lysimetersystem hat hochsignifikanten, der Faktor Düngung und die Wechselwirkung Lysimetersystem*Düngung einen signifikanten Einfluss auf den XP-Gehalt (siehe Tabelle 34). Alle drei Lysimetersysteme wie auch die beiden Düngungsniveaus unterscheiden sich jeweils hochsignifikant bzw. signifikant voneinander.

Im zweiten Hauptnutzungsjahr 2009 betragen die XP-Gehalte 151,7^b g/kg (niedriges Düngungsniveau) und 146,4^a g/kg (hohes Düngungsniveau), welche sich signifikant voneinander unterscheiden. Weiters hat der Faktor Lysimetersystem einen signifikanten Einfluss auf den XP-Gehalt.

Im dritten Hauptnutzungsjahr 2010 liegen die XP-Gehalte im Futter der niedrigen Düngungsstufe bei 137,3^a g/kg und jene der hohen bei 136,0^a g/kg. Allerdings hat der Faktor Lysimetersystem einen hochsignifikanten und die Wechselwirkung Lysimetersystem*Düngung einen signifikanten Einfluss.

Betrachtet man nun die Jahre 2009 und 2010, ist ein hochsignifikanter Einfluss des Faktors Jahr zu sehen.

Die Jahre 2008 und 2009 liegen beim XP-Gehalt noch ungefähr gleich, erst im dritten Hauptnutzungsjahr 2010 ist ein deutlicher Rückgang von ca. 12 g/kg Rohprotein im Vergleich zu 2008 zu sehen. Als Ursache hierfür kann unter anderem der Rückgang des Leguminosenanteils um ca. 6 Gewichtsprozent gesehen werden (siehe Tabelle 40), worauf später noch genauer eingegangen wird.

Tabelle 33: XP-Gehalte im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau				Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft-lysimeter	Ø ohne Lysimetersystem	Ø Jahr
	Saugkerze	Schwerkraft-lysimeter	ohne Lysimetersystem	Ø niedriges Düngungsniveau	Saugkerze	Schwerkraft-lysimeter	ohne Lysimetersystem	Ø hohes Düngungsniveau				
XP-Gehalt [g/kg]												
2008												
$\bar{x}$	143,7	155,1	150,3	149,7 ^b	143,1	151,4	149,4	148,0 ^a	144,0 ^e	153,2 ^g	149,8 ^f	148,8
Med	143,3	155,3	150,1	150,1	142,9	151,4	149,4	149,4	143,1	152,9	149,8	149,8
s	1,0	0,9	0,6	5,0	0,6	0,4	0,4	3,8	0,8	2,1	0,7	4,4
min	142,9	154,1	149,8	142,9	142,7	150,9	149,0	142,7	142,7	150,9	149,0	142,7
max	144,8	155,9	151,0	155,9	143,8	151,8	149,7	151,8	144,8	155,9	151,0	155,9
2009												
$\bar{x}$	148,8	148,8	157,6	151,7 ^b	142,5	146,6	150,0	146,4 ^a	145,7 ^e	147,7 ^e	153,8 ^f	149,1 ⁱ
Med	149,3	148,9	157,7	149,3	142,5	146,6	150,0	146,6	144,9	147,8	154,0	148,9
s	1,3	0,2	0,6	4,5	0,1	0,4	1,0	3,3	3,5	1,2	4,3	4,7
min	147,3	148,6	157,0	147,3	142,5	146,3	148,9	142,5	142,5	146,3	148,9	142,5
max	149,8	148,9	158,2	158,2	142,6	147,0	151,0	151,0	149,8	148,9	158,2	158,2
2010												
$\bar{x}$	140,3	138,8	132,8	137,3 ^a	137,8	141,3	128,8	136,0 ^a	139,0 ^f	140,0 ^f	130,8 ^e	136,6 ^k
Med	141,7	138,9	132,5	138,0	137,7	141,7	128,9	137,7	138,1	139,8	130,8	137,8
s	2,8	0,8	0,6	3,8	0,6	1,2	0,5	5,6	2,3	1,7	2,2	4,7
min	137,0	138,0	132,3	132,3	137,2	139,9	128,3	128,3	137,0	138,0	128,3	128,3
max	142,1	139,6	133,5	142,1	138,5	142,3	129,3	142,3	142,1	142,3	133,5	142,3

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 34: Varianzanalytische Auswertungen zum XP-Gehalt im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

abhängige Variable XP-Gehalt [g/kg]	2007	2008	2009*	2010	2009-2010*
Jahr					0,000
Lysimetersystem		0,000	0,008	0,000	0,916
Düngung		0,002	0,024	0,064	0,359
Wiederholung		0,877	0,994	0,079	0,919
Lysimetersystem*Düngung		0,012		0,014	
Lysimetersystem*Wiederholung		0,131		0,567	
Düngung*Wiederholung		0,339		0,511	
R ²		0,997		0,988	
korrigiertes R ²		0,986		0,947	

p-Werte bei Konfidenzniveau 95%

< 0,001 hoch signifikant

< 0,05 signifikant

>= 0,05 nicht signifikant

Leguminosen haben einen höheren XP-Gehalt als Gräser und Kräuter, weshalb dieser durch steigende Kleeanteile im Futter erhöht werden kann. Ein Leguminosenanteil von 10 % erhöht den normalen XP-Gehalt des Futters um ca. 5 bis 7 g/kg TM (BUCHGRABER und GINDL, 2004, 61ff).

Aufgrund der Leguminosenanteile in Gewichtsprozent (siehe Tabelle 40) würde man für 2007 und 2010 einen XP-Gehalt von 165 g/kg (150 g/kg + ca. 15 g/kg = 165 g/kg) und für 2008 und 2009 von 170 g/kg erwarten.

Die Rohproteingehalte blieben jedoch in allen drei Hauptnutzungsjahren unter den Erwartungen von 165 bzw. 170 g/kg. Auch im Vergleich zu den durchschnittlichen österreichischen Rohproteingehalten im grünen Bericht, welche in Tabelle 35 dargestellt sind, liegen die Gehaltswerte am Versuchsstandort deutlich darunter.

Tabelle 35: Österreichische Rohproteingehalte und –erträge für Klee gras der Jahre 2007-2010

Klee gras	Fläche in ha	Rohproteingehalt in g/kg TM	Rohproteinertrag in kg/ha
2007	65.723	170	1.717,00
2008	62.265	170	1.802,00
2009	61.959	154	1.540,00
2010	62.994	154	1.601,60

Quelle: vgl. <http://www.agrarökonomik.at/index.php?id=gruenerbericht>, Stand: Oktober 2011.

4.2.1.3 Rohproteinerträge

Der Rohproteinertrag gibt an, wie viel kg Rohprotein von einem Hektar geerntet werden kann. Betrachtet man nun die Rohproteinerträge, welche die Verknüpfung zwischen Trockenmasseertrag und Rohproteingehalt darstellen, so liegen diese beim niedrigen Düngungsniveau bei 1313,0^a kg/ha und beim hohen Düngungsniveau bei 1420,7^a kg/ha (siehe Tabelle 36). Im ersten Hauptnutzungsjahr hatte keiner der Faktoren einen signifikanten Einfluss auf den XP-Ertrag.

Tabelle 36: Rohproteinerträge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							Ø Jahr
	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saug- kerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø ohne Lysimeter- system	
XP-Ertrag [kg/ha]												
2008												
$\bar{x}$	1115,4	1453,4	1370,1	1313,0 ^a	1317,4	1592,3	1352,5	1420,7 ^a	1216,4 ^e	1522,9 ^e	1361,3 ^e	1366,8
Med	1175,6	1448,2	1565,5	1428,1	1330,3	1560,7	1184,6	1351,0	1300,6	1514,2	1375,1	1398,7
s	288,7	28,3	465,6	313,8	41,6	69,3	303,3	203,5	215,1	89,6	351,6	262,5
min	801,4	1428,1	838,6	801,4	1270,9	1544,3	1170,3	1170,3	801,4	1428,1	838,6	801,4
max	1369,2	1484,0	1706,1	1706,1	1351,0	1671,8	1702,5	1702,5	1369,2	1671,8	1706,1	1706,1
2009												
$\bar{x}$	1043,8	1067,3	1190,8	1100,6 ^a	1274,0	1270,1	1259,8	1268,0 ^b	1158,9 ^e	1168,7 ^e	1225,3 ^e	1184,3 ^l
Med	1035,6	1111,2	1199,6	1111,2	1240,5	1273,0	1265,8	1265,8	1139,4	1186,8	1221,8	1197,0
s	37,2	80,9	58,1	86,7	100,6	12,1	227,7	124,8	143,2	122,6	153,3	135,2
min	1011,3	973,9	1128,8	973,9	1194,4	1256,8	1029,2	1029,2	1011,3	973,9	1029,2	973,9
max	1084,3	1116,7	1244,1	1244,1	1387,1	1280,5	1484,4	1484,4	1387,1	1280,5	1484,4	1484,4
2010												
$\bar{x}$	884,6	792,7	966,5	881,3 ^a	1060,5	1092,2	1072,5	1075,1 ^b	972,6 ^e	942,5 ^e	1019,5 ^e	978,2 ^k
Med	900,2	826,9	953,2	900,2	1068,6	1109,1	1062,5	1068,6	954,8	942,3	1018,5	984,1
s	59,5	69,5	23,4	88,9	81,9	40,4	35,1	50,9	115,7	171,8	63,9	122,0
min	818,8	712,8	952,9	712,8	974,8	1046,1	1043,5	974,8	818,8	712,8	952,9	712,8
max	934,8	838,5	993,5	993,5	1138,1	1121,5	1111,4	1138,1	1138,1	1121,5	1111,4	1138,1

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

2009 konnten von den niedrig gedüngten Parzellen 1100,6^a kg XP/ha und auf den hoch gedüngten 1268,0^b kg XP/ha geerntet werden, der Faktor Düngung hat in diesem Jahr einen signifikanten Einfluss.

Im dritten Hauptnutzungsjahr hat ebenfalls nur der Faktor Düngung einen signifikanten Einfluss auf den XP-Ertrag, die Düngungsvariante niedrig (881,3^a kg/ha) unterscheidet sich signifikant von der hohen (1075,1^b kg/ha).

Bei der Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 fällt der hochsignifikante Einfluss der Faktoren Jahr und Düngung auf, wohingegen keine signifikante Wechselwirkung Jahr*Düngung besteht (siehe Tabelle 37).

Der Rohproteinерtrag in Österreich liegt im Jahr 2007 für Klee gras bei durchschnittlich 1717 kg/ha, 2008 bei 1802 kg/ha, 2009 bei 1575 kg/ha und 2010 bei 1665 kg/ha (siehe Tabelle 35). Die XP-Erträge am Versuchsstandort liegen deutlich unter dem österreichischen Durchschnitt. Aufgrund des hohen Ertragspotenzials in Winklhof (hochwertiger Grünlandstandort) wären durchaus Trockenmasseerträge von 10,5 dt/ha und 165-170 g/kg Rohproteingehalte möglich, wodurch sich rechnerisch Rohproteinерträge von ca. 1730 bis 1790 kg/ha ergäben.

Tabelle 37: Varianzanalytische Auswertungen zum XP-Ertrag im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

abhängige Variable XP-Ertrag [kg/ha]	2007	2008	2009	2010	2009-2010
Jahr					0,001
Lysimetersystem		0,143	0,576	0,288	0,101
Düngung		0,331	0,032	0,005	0,001
Wiederholung		0,128	0,742	0,494	0,990
Jahr*Lysimetersystem					0,737
Jahr*Düngung					0,546
Jahr*Wiederholung					0,217
Lysimetersystem*Düngung		0,668	0,470	0,177	0,065
Lysimetersystem*Wiederholung		0,466	0,302	0,854	0,093
Düngung*Wiederholung		0,316	0,806	0,948	0,667
Jahr*Lysimetersystem*Düngung					0,391
Jahr*Lysimetersystem*Wiederholung					0,260
Jahr*Düngung*Wiederholung					0,698
Lysimetersystem*Düngung*Wiederholung					0,112
R ²		0,854	0,843	0,917	0,985
korrigiertes R ²		0,379	0,334	0,648	0,866
p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant					

4.2.2 STICKSTOFFEFFIZIENZ

Die Stickstoffeffizienz gibt den Trockenmasseertrag je eingesetzter Menge an Wirtschaftsdüngerstickstoff ($N_{\text{ex Lager}}$) an.

$$\text{Stickstoffeffizienz (ex Lager)} = \frac{\text{TM-Ertrag [kg/ha]}}{\text{eingesetzter Wirtschaftsdüngerstickstoff [kg/ha]}}$$

Nach TREYSE und TAUBE sind geringe Stickstoffeffizienzen (N-Effizienz) ein Hinweis auf potenzielle Stickstoffverluste (vgl.: TREYSE und TAUBE, 2005, 267ff).

Anders ausgedrückt wird das Risiko von Umweltbelastung umso geringer eingeschätzt, je höher die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs ist. Die Nähe zum Umweltproblem ist bei der Bewertung der Stickstoffeffizienz weniger eng im Vergleich zur Stickstoffbilanz. Daher lässt sich anhand der N-Effizienz nicht die Umweltwirkung, sondern nur die Qualität des Düngemanagements, mit dem ein möglichst hoher Nährstoffausnutzungsgrad aus Düngenährstoffen erreicht werden soll, aufdecken (vgl.: BERGSCHMIDT, 2004, 63ff).

In Tabelle 38 ist die deskriptive Statistik, in Tabelle 39 das Ergebnis der multiplen Varianzanalyse bzw. des Kruskal-Wallis-Tests (*gekennzeichnet) der abhängigen Variable Stickstoffeffizienz ($N_{\text{ex Lager}}$) in kg TM/kg N dargestellt.

Im Anlagejahr liegt die N-Effizienz bei 40,0^b kg TM/kg N beim niedrigen und 18,2^a kg TM/kg N beim hohen Düngungsniveau, sie steigt im ersten Hauptnutzungsjahr auf 109,4^b und 46,8^a an. Während die hohe Düngungsstufe 2009 im Vergleich zu den Vorjahren noch zulegen kann und auf 51,0^a kg TM/kg N ansteigt, sinkt die N-Effizienz der niedrigen Düngungsstufe auf 80,5^b kg TM/ha.

Im Jahr 2010 liegt die Stickstoffeffizienz bei 71,5^b kg TM/kg N beim niedrigen und 46,6^a kg TM/kg N beim hohen Düngungs niveau. Bei der niedrigen Düngungsstufe konnte über den gesamten Versuchszeitraum jeweils mehr Trockenmasse je Einheit Wirtschaftsdüngerstickstoff produziert werden als bei der hohen Düngungsstufe.

Tabelle 38: Stickstoffeffizienzen ex Lager im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungs niveau				hohes Düngungs niveau							
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft- lysimeter	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
N-Effizienz (ex Lager) [kg TM/kg N]												
2007												
$\bar{x}$	28,0	55,4	36,5	40,0 ^b	14,8	23,6	16,2	18,2 ^a	21,4 ^e	39,5 ^f	26,3 ^e	29,1
Med	31,0	50,6	37,2	37,2	14,9	22,8	16,5	16,9	19,1	37,5	25,6	25,2
s	5,8	11,2	2,7	13,8	2,2	3,7	1,8	4,7	8,3	19,0	11,3	15,0
min	21,3	47,4	33,5	21,3	12,5	20,3	14,3	12,5	12,5	20,3	14,3	12,5
max	31,7	68,3	38,8	68,3	16,9	27,7	17,8	27,7	31,7	68,3	38,8	68,3
2008												
$\bar{x}$	97,2	117,1	113,8	109,4 ^b	44,9	51,3	44,2	46,8 ^a	71,0 ^e	84,2 ^e	79,0 ^e	78,1
Med	102,5	116,1	130,4	116,1	45,1	50,4	38,8	46,2	57,7	84,3	62,7	62,3
s	25,7	2,9	38,4	24,9	1,4	2,1	9,8	6,1	32,9	36,1	45,7	36,7
min	69,2	114,9	70,0	69,2	43,4	49,8	38,2	38,2	43,4	49,8	38,2	38,2
max	119,8	120,4	141,2	141,2	46,2	53,7	55,5	55,5	119,8	120,4	141,2	141,2
2009												
$\bar{x}$	77,9	79,7	84,0	80,5 ^b	52,6	50,9	49,4	51,0 ^a	65,3 ^e	65,3 ^e	66,7 ^e	65,8 ^k
Med	77,1	82,9	84,9	80,4	51,2	51,2	49,3	51,2	66,8	61,9	69,0	65,6
s	2,2	6,1	4,3	4,7	4,1	0,4	9,1	5,2	14,2	16,2	20,0	15,9
min	76,3	72,7	79,3	72,7	49,3	50,4	40,4	40,4	49,3	50,4	40,4	40,4
max	80,4	83,5	87,7	87,7	57,2	51,2	58,6	58,6	80,4	83,5	87,7	87,7
2010												
$\bar{x}$	70,1	63,5	80,9	71,5 ^b	45,3	45,5	49,0	46,6 ^a	57,7 ^e	54,5 ^e	64,9 ^e	59,0 ^k
Med	70,6	66,6	80,0	70,6	45,7	46,4	48,5	46,6	56,4	51,8	65,0	53,8
s	5,9	5,6	2,1	8,7	3,7	1,8	1,4	2,8	14,3	10,5	17,6	14,3
min	64,0	57,0	79,3	57,0	41,4	43,4	47,8	41,4	41,4	43,4	47,8	41,4
max	75,8	66,7	83,3	83,3	48,8	46,6	50,6	50,6	75,8	66,7	83,3	83,3

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungs niveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungs niveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Die Daten des Anlagejahres waren normal verteilt, weshalb zur Prüfung auf einen signifikanten Einfluss der Faktoren die multiple Varianzanalyse verwendet wurde. In den drei Hauptnutzungsjahren 2008 bis 2010 und bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 waren die Daten nicht normal verteilt, weshalb der nicht-parametrische Kruskal-Wallis-Test verwendet wurde.

Tabelle 39: Varianzanalytische Auswertungen zur Stickstoffeffizienz ex Lager im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

abhängige Variable - Stickstoffeffizienz (ex Lager)

[kg TM/kg N]	2007	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,076
Lysimetersystem	0,002	0,717	0,911	0,309	0,641
Düngung	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Wiederholung	0,044	0,612	0,983	0,805	0,993
Lysimetersystem*Düngung	0,025				
Lysimetersystem*Wiederholung	0,315				
Düngung*Wiederholung	0,212				
R ²	0,987				
korrigiertes R ²	0,945				

p-Werte bei Konfidenzniveau 95%

< 0,001 hoch signifikant

< 0,05 signifikant

>= 0,05 nicht signifikant

Die Faktoren Lysimetersystem und Wiederholung und die Wechselwirkung Lysimetersystem*Düngung haben im Anlagejahr einen signifikanten, der Faktor Düngung einen hochsignifikanten Einfluss auf die N-Effizienz.

In den Folgejahren 2008 bis 2010 hat der Faktor Düngung einen hochsignifikanten, die Faktoren Lysimetersystem und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss. Die Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt einen hochsignifikanten Einfluss des Faktors Düngung, die Faktoren Jahr, Lysimetersystem und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss.

Die höchste Stickstoffeffizienz wurde beim niedrigen Düngungsniveau im Jahr 2008 mit 109,4 kg TM/kg N und beim hohen Düngungsniveau im Jahr 2009 mit 51,0 kg TM/kg N erreicht. Die niedrige Düngungsstufe ist deutlich effizienter als die hohe und kann wesentlich mehr Trockenmasse aus einem Kilogramm Wirtschaftsdüngerstickstoff produzieren. Dadurch ist auch das Risikopotenzial für Stickstoffverluste bei hohem Düngungsniveau eindeutig höher.

4.2.3 ENTWICKLUNG DER PFLANZENBESTÄNDE

4.2.3.1 Artengruppenverhältnis in Gewichtsprozent

Der Anteil an **Gräsern in Gewichts-% (G-%)** liegt im Anlagejahr bei 40,7^a beim niedrigen und 42,5^a beim hohen Düngungsniveau, im ersten Hauptnutzungsjahr bei 39,2^a G-% und 41,8^a G-% und im zweiten Hauptnutzungsjahr bei 40,1^a G-% und 42,6^a G-% (siehe Tabelle 40). Die Faktoren Düngung und Lysimetersystem haben 2007, 2008 und 2009 jeweils keinen signifikanten Einfluss auf den Gräseranteil in G-%. Im Anlagejahr hat der Faktor Wiederholung einen signifikanten, in den Folgejahren keinen signifikanten Einfluss (siehe Tabelle 41).

Im dritten Hauptnutzungsjahr 2010 ist der Anteil an Gräsern in G-% im Vergleich zum Anlagejahr beim niedrigen Düngungsniveau auf 37,8^a leicht zurückgegangen und beim hohen auf 43,5^b angestiegen. In diesem Jahr hat der Faktor Düngung einen signifikanten Einfluss. Betrachtet man die Jahre 2009 und 2010, so hat der Faktor Düngung einen signifikanten, die Faktoren Jahr, Lysimetersystem und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss.

Der **Anteil an Leguminosen** liegt im Anlagejahr bei guten 34,0^a (niedrig gedüngt) und 33,7^a (hoch gedüngt) G-%. Im ersten Hauptnutzungsjahr steigen die Anteile auf 41,2^a und 36,8^a G-%, welche sie 2009 mit 42,4^a und 41,8^a G-% halten. 2010 fallen sie wieder in etwa auf das Niveau des Anlagejahres mit 33,6^a und 32,7^a G-% zurück.

Beim Anteil der Leguminosen haben die Faktoren Düngung und Wiederholung im Anlagejahr und in den drei Hauptnutzungsjahren keinen signifikanten Einfluss. Der Faktor Lysimetersystem hat im Anlagejahr einen signifikanten und im ersten, zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr keinen signifikanten Einfluss auf den Leguminosenanteil in G-%. Sieht man sich nun die Jahre 2009 und 2010 an, ergeben der Faktor Jahr, einen hoch signifikanten, die Faktoren Lysimetersystem und Düngung einen signifikanten Einfluss.

Die über den gesamten Versuchszeitraum hohen Leguminosenanteile sind trotz der sehr niedrigen Phosphorversorgung des Versuchsbodens sehr erstaunlich. Ein höheres Phosphorangebot verbessert das Pflanzenwachstum und verstärkt eine Knöllchenentwicklung (vgl.: KLATT, 2008, 101).

Durch eine entsprechende Phosphorergänzungsdüngung ließen sich also noch bessere Bedingungen für das Wachstum von Leguminosen schaffen.

Der **Kräuteranteil** liegt im Anlagejahr bei 25,4^a G-% (niedrig gedüngt) und 23,8^a G-% (hoch gedüngt). Im ersten Hauptnutzungsjahr sind die Anteile auf 19,6^a und 21,4^a G-%, im Zweiten auf 17,5^a und 15,6^a G-% zurückgegangen, bevor sie 2010 wieder auf 28,6^a und 23,8^a G-% angestiegen sind.

Es zeigt sich kein signifikanter Einfluss der Faktoren Düngung und Wiederholung in den Jahren 2007 bis 2010 und bei Betrachtung der Jahre 2009-2010, allerdings hat der Faktor Lysimetersystem im Jahr 2010 einen signifikanten und der Faktor Jahr 2009-2010 einen hochsignifikanten Einfluss auf den Kräuteranteil.

Tabelle 40: Artengruppenverhältnis im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimer	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimer	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimer	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
Gewichts-% Gräser												
2007												
$\bar{x}$	38,6	42,9	40,5	40,7 ^a	43,4	41,8	42,4	42,5 ^a	41,0 ^e	42,3 ^e	41,5 ^e	41,6
Median	37,7	41,5	39,4	39,4	41,2	40,4	40,8	40,8	40,4	41,0	40,3	40,4
s	1,5	6,3	3,3	4,1	4,5	4,7	3,7	3,8	4,0	5,0	3,3	3,9
min	37,7	37,4	37,9	37,4	40,4	37,9	39,8	37,9	37,7	37,4	37,9	37,4
max	40,4	49,7	44,2	49,7	48,6	47,1	46,6	48,6	48,6	49,7	46,6	49,7
2008												
$\bar{x}$	37,1	40,9	39,5	39,2 ^a	42,1	40,3	43,0	41,8 ^a	39,6 ^e	40,6 ^e	41,3 ^e	40,5
Median	36,8	42,5	36,1	36,9	42,1	39,2	42,3	42,2	38,9	40,9	42,3	41,0
s	0,8	3,5	6,4	4,0	2,2	4,0	1,3	2,6	3,1	3,4	4,5	3,6
min	36,4	36,9	35,5	35,5	39,9	37,0	42,2	37,0	36,4	36,9	35,5	35,5
max	38,0	43,3	46,9	46,9	44,3	44,7	44,4	44,7	44,3	44,7	46,9	46,9
2009												
$\bar{x}$	38,8	41,1	40,5	40,1 ^a	42,8	43,7	41,4	42,6 ^a	40,8 ^e	42,4 ^e	41,0 ^e	41,4 ^k
Median	39,8	41,5	39,9	39,9	42,6	45,6	40,8	42,6	40,2	41,7	40,3	40,7
s	2,5	1,2	1,5	1,9	3,2	4,1	2,9	3,1	3,4	3,1	2,1	2,8
min	36,0	39,8	39,5	36,0	39,7	39,0	38,8	38,8	36,0	39,0	38,8	36,0
max	40,6	42,0	42,2	42,2	46,1	46,6	44,5	46,6	46,1	46,6	44,5	46,6
2010												
$\bar{x}$	37,5	40,4	35,4	37,8 ^a	44,3	46,9	39,3	43,5 ^b	40,9 ^e	43,6 ^e	37,4 ^e	40,6 ^k
Median	36,7	38,0	35,4	35,9	46,3	45,1	38,6	44,9	39,1	45,0	36,5	38,3
s	3,7	6,0	0,3	4,1	7,1	3,3	2,4	5,3	6,3	5,6	2,6	5,5
min	34,3	35,9	35,1	34,3	36,4	44,9	37,3	36,4	34,3	35,9	35,1	34,3
max	41,5	47,2	35,7	47,2	50,2	50,7	41,9	50,7	50,2	50,7	41,9	50,7
Gewichts-% Leguminosen												
2007												
$\bar{x}$	31,1	38,0	32,9	34,0 ^a	32,5	37,5	31,0	33,7 ^a	31,8 ^e	37,7 ^f	32,0 ^e	33,8
Median	33,0	36,4	34,6	34,6	31,3	37,8	31,7	31,7	32,1	37,1	31,7	33,3
s	3,8	3,5	4,5	4,6	4,4	4,3	1,2	4,3	3,7	3,5	3,1	4,3
min	26,7	35,5	27,7	26,7	28,8	33,1	29,6	28,8	26,7	33,1	27,7	26,7
max	33,5	42,0	36,3	42,0	37,3	41,6	31,7	41,6	37,3	42,0	36,3	42,0
2008												
$\bar{x}$	38,2	47,3	38,1	41,2 ^a	35,4	42,5	32,5	36,8 ^a	36,8 ^e	44,9 ^e	35,3 ^e	39,0
Median	39,1	47,6	41,2	41,2	35,5	42,0	29,4	37,8	36,7	45,0	34,8	40,5
s	3,3	1,6	11,0	7,4	2,6	1,7	6,6	5,7	3,1	3,0	8,7	6,8
min	34,6	45,6	25,9	25,9	32,7	41,0	28,1	28,1	32,7	41,0	25,9	25,9
max	40,9	48,8	47,3	48,8	37,8	44,4	40,1	44,4	40,9	48,8	47,3	48,8
2009												
$\bar{x}$	41,7	44,3	41,2	42,4 ^a	43,0	41,0	41,3	41,8 ^a	42,4 ^e	42,7 ^e	41,3 ^e	42,1
Median	40,7	43,1	42,8	42,8	43,0	41,6	39,9	42,1	42,6	42,2	41,3	42,2
s	2,2	2,9	4,5	3,2	0,9	1,7	4,5	2,6	1,7	2,8	4,0	2,9
min	40,1	42,2	36,2	36,2	42,1	39,1	37,7	37,7	40,1	39,1	36,2	36,2
max	44,2	47,6	44,7	47,6	44,0	42,2	46,3	46,3	44,2	47,6	46,3	47,6
2010												
$\bar{x}$	32,6	36,0	32,1	33,6 ^a	33,3	33,9	30,8	32,7 ^a	32,9 ^e	35,0 ^e	31,5 ^e	33,1 ^k
Median	31,4	35,7	32,1	32,9	33,3	33,4	29,7	33,3	33,1	34,5	31,7	32,9
s	3,0	3,3	0,9	2,9	0,4	2,3	2,4	2,2	2,0	2,8	1,8	2,6
min	30,4	32,9	31,2	30,4	32,9	32,0	29,2	29,2	30,4	32,0	29,2	29,2
max	36,1	39,5	33,0	39,5	33,6	36,4	33,6	36,4	36,1	39,5	33,6	39,5

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau				Ø	Ø	Ø	Ø Jahr
	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- niveau				
Gewichts-% Kräuter												
2007												
$\bar{x}$	30,3	19,1	26,6	25,4 ^a	24,1	20,7	26,6	23,8 ^a	27,2 ^e	19,9 ^e	26,6 ^e	24,6
Median	29,3	23,0	26,0	26,2	28,3	21,8	28,5	28,3	29,0	22,4	27,0	27,1
s	2,2	9,6	1,3	7,0	8,8	8,9	4,3	7,1	6,6	8,3	2,8	6,9
min	28,8	8,3	25,7	8,3	14,1	11,3	21,7	11,3	14,1	8,3	21,7	8,3
max	32,9	26,2	28,0	32,9	30,0	29,0	29,5	30,0	32,9	29,0	29,5	32,9
2008												
$\bar{x}$	24,7	11,8	22,3	19,6 ^a	22,6	17,2	24,5	21,4 ^a	23,6 ^e	14,5 ^e	23,4 ^e	20,5
Median	24,5	11,9	23,3	22,2	23,0	19,7	28,3	21,0	23,8	13,1	25,2	21,6
s	2,6	2,6	5,4	6,8	2,3	5,5	7,9	5,9	2,5	4,9	6,1	6,3
min	22,2	9,1	16,5	9,1	20,1	10,9	15,4	10,9	20,1	9,1	15,4	9,1
max	27,4	14,3	27,2	27,4	24,6	21,0	29,7	29,7	27,4	21,0	29,7	29,7
2009												
$\bar{x}$	19,5	14,6	18,3	17,5 ^a	14,2	15,3	17,3	15,6 ^a	16,8 ^e	14,9 ^e	17,8 ^e	16,5 ^k
Median	18,7	15,4	17,4	17,4	15,3	15,3	21,3	15,3	16,6	15,3	19,3	16,6
s	4,0	3,8	5,7	4,5	3,8	3,5	7,1	4,6	4,6	3,3	5,8	4,5
min	16,0	10,4	13,1	10,4	10,0	11,8	9,2	9,2	10,0	10,4	9,2	9,2
max	23,9	18,0	24,3	24,3	17,2	18,8	21,5	21,5	23,9	18,8	24,3	24,3
2010												
$\bar{x}$	29,9	23,6	32,5	28,6 ^a	22,5	19,2	29,9	23,8 ^a	26,2 ^{ef}	21,4 ^e	31,2 ^f	26,2 ⁱ
Median	29,6	28,4	32,7	29,6	20,4	21,5	29,1	23,1	28,8	22,3	31,9	28,7
s	1,9	8,9	0,7	6,1	6,8	5,5	2,0	6,5	6,0	7,1	2,0	6,6
min	28,1	13,3	31,7	13,3	16,9	12,9	28,4	12,9	16,9	12,9	28,4	12,9
max	31,9	29,1	33,0	33,0	30,0	23,1	32,1	32,1	31,9	29,1	33,0	33,0

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 41: Varianzanalytische Auswertungen zum Artengruppenverhältnis im Lysimetervergleichsversuch Winkelhof

abhängige Variable Gewichtsprozent Gräser [%]	2007*	2008	2009	2010*	2009-2010
Jahr					0,282
Lysimetersystem	0,884	0,740	0,474	0,150	0,099
Düngung	0,171	0,203	0,081	0,015	0,008
Wiederholung	0,014	0,171	0,693	0,444	0,256
Lysimetersystem*Düngung		0,459	0,540		
Lysimetersystem*Wiederholung		0,837	0,170		
Düngung*Wiederholung		0,784	0,559		
R ²		0,757	0,847		
korrigiertes R ²		-0,035	0,348		
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant
abhängige Variable Gewichtsprozent Leguminosen [%]	2007	2008	2009	2010*	2009-2010
Jahr					0,000
Lysimetersystem	0,019	0,063	0,440	0,108	0,002
Düngung	0,795	0,144	0,494	0,965	0,026
Wiederholung	0,568	0,259	0,291	0,459	0,461
Jahr*Lysimetersystem					0,037
Jahr*Düngung					0,564
Jahr*Wiederholung					0,006
Lysimetersystem*Düngung	0,540	0,895	0,176		0,006
Lysimetersystem*Wiederholung	0,068	0,453	0,045		0,002
Düngung*Wiederholung	0,247	0,490	0,671		0,089
Jahr*Lysimetersystem*Düngung					0,157
Jahr*Lysimetersystem*Wiederholung					0,005
Jahr*Düngung*Wiederholung					0,114
Lysimetersystem*Düngung*Wiederholung					0,010
R ²	0,930	0,865	0,908		0,998
korrigiertes R ²	0,705	0,425	0,611		0,984
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

abhängige Variable Gewichtsprozent Kräuter[%]	2007*	2008	2009	2010*	2009-2010*
Jahr					0,000
Lysimetersystem	0,096	0,059	0,113	0,021	0,103
Düngung	0,895	0,494	0,093	0,102	0,184
Wiederholung	0,700	0,959	0,713	0,331	0,643
Lysimetersystem*Düngung		0,499	0,092		
Lysimetersystem*Wiederholung		0,389	0,007		
Düngung*Wiederholung		0,590	0,174		
R ²		0,843	0,963		
korrigiertes R ²		0,331	0,844		
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

4.2.3.2 Gräser-, Leguminosen- und Kräutererträge

Aus dem Trockenmasseertrag in kg/ha und dem geschätzten Artengruppenverhältnis in Gewichtsprozent wird der jeweilige Anteil an Gräser-, Leguminosen- und Kräuterertrag errechnet.

Der **Gräserertrag** liegt 2007 auf den niedrig gedüngten Parzellen bei 1140,0^a kg/ha und auf den hochgedüngten Parzellen bei 1378,1^a kg/ha (siehe Tabelle 42). Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben keinen, der Faktor Lysimetersystem einen signifikanten Einfluss auf den Gräserertrag.

Im ersten Hauptnutzungsjahr sind die Gräsererträge auf 3395,1^a kg/ha beim niedrigen und 4003,7^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau angestiegen, die Faktoren Lysimetersystem, Düngung und Wiederholung zeigten keinen signifikanten Einfluss auf den Gräserertrag.

Im Vergleich zum ersten Hauptnutzungsjahr hat der Gräserertrag im zweiten Hauptnutzungsjahr auf 2911,9^a kg/ha (niedriges Düngungsniveau) und 3704,7^b kg/ha (hohes Düngungsniveau) und im dritten Hauptnutzungsjahr auf 2425,7^a kg/ha (niedriges Düngungsniveau) und 3443,6^b kg/ha (hohes Düngungsniveau) abgenommen. Der Faktor Lysimetersystem hat sowohl 2009 wie auch 2010 keinen signifikanten Einfluss auf den Gräserertrag, jedoch hat der Faktor Düngung im Jahr 2009 und 2010 einen signifikanten Einfluss. Bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt sich ein hochsignifikanter Einfluss des Faktors Düngung, die anderen Faktoren haben keinen signifikanten Einfluss (siehe Tabelle 43).

Gräsererträge von ca. 5000-6000 kg/ha (bei 105 dt/ha TM-Ertrag und 50-60 G-% Gräser) wären aufgrund der Standortbedingungen durchaus möglich gewesen, allerdings blieb sowohl der TM-Ertrag als auch der G-% Gräseranteil und somit auch der Gräserertrag unter den Erwartungen.

Der **Leguminosenertrag** liegt im Anlagejahr beim niedrigen Düngungsniveau bei 976,2^a kg/ha und beim hohen Düngungsniveau bei 1111,7^a kg/ha, die Faktoren Düngung und Wiederholung haben keinen, der Faktor Lysimetersystem hat einen signifikanten Einfluss auf den Leguminosenertrag.

Im ersten Hauptnutzungsjahr stieg der Leguminosenertrag auf 3714,9^a kg/ha beim niedrigen Düngungsniveau und 3584,1^a beim hohen Düngungsniveau an. Die Faktoren Lysimetersystem, Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf den Leguminosenertrag.

Im zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr sanken die Leguminosenerträge beim niedrigen Düngungsniveau auf 3077,7^a und 2148,7^a kg/ha und beim hohen Düngungsniveau auf 3636,0^b und 2582,5^b kg/ha. Der Faktor Lysimetersystem hat sowohl 2009, als auch 2010 und der Faktor Wiederholung hat 2009 keinen signifikanten Einfluss. Die Faktoren Wiederholung 2010 und Düngung 2009 haben einen signifikanten, der Faktor Düngung 2010 einen hochsignifikanter Einfluss auf den Leguminosenertrag. Bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt sich ein hochsignifikanter Einfluss des Faktors Jahr und ein signifikanter Einfluss des Faktors Düngung.

Aufgrund der hohen Leguminosenanteile der Pflanzenbestände konnten trotz der unter den Erwartungen gebliebenen TM-Erträge hohe durchschnittliche Leguminosenerträge erreicht werden.

Bei einem erwarteten Trockenmasseertrag von 105 dt/ha und einem angestrebten Leguminosenanteil von 20-30 G-% können zwischen 2000-3000 kg/ha Leguminosenertrag erreicht werden. Diese Leguminosenerträge konnten am Versuchsstandort in allen drei Hauptnutzungsjahren aufgrund der hohen Leguminosenanteile auch erreicht werden.

Tabelle 42: Gräser-, Leguminosen- und Kräutererträge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
Gräserertrag [kg/ha]												
2007												
$\bar{x}$	753,1	1636,1	1030,7	1140,0 ^a	1142,5	1755,7	1236,0	1378,1 ^a	947,8 ^e	1695,0 ^f	1133,3 ^e	1259,0
Median	818,8	1649,4	1030,5	1030,5	1101,2	1722,3	1271,9	1271,9	967,3	1689,6	1043,6	1165,2
s	130,2	159,4	5,6	404,3	75,1	119,0	170,1	306,6	233,5	141,8	155,6	369,0
min	603,2	1470,5	1025,3	603,2	1097,2	1657,0	1050,8	1050,8	603,2	1470,5	1025,3	603,2
max	837,4	1788,4	1036,4	1788,4	1229,3	1887,8	1385,2	1887,8	1229,3	1887,8	1385,2	1887,8
2008												
$\bar{x}$	2873,7	3839,3	3472,2	3395,1 ^a	3872,3	4230,0	3908,9	4003,7 ^a	3373,0 ^e	4034,6 ^e	3690,6 ^e	3699,4
Median	2989,0	3950,1	3707,0	3528,3	3774,9	4073,0	3364,3	4054,4	3636,4	4063,7	3535,6	3759,7
s	719,1	402,2	755,2	700,3	195,7	288,2	993,0	553,1	722,0	379,1	824,5	687,6
min	2103,9	3393,2	2627,5	2103,9	3744,5	4054,4	3307,4	3307,4	2103,9	3393,2	2627,5	2103,9
max	3528,3	4174,5	4082,2	4174,5	4097,5	4562,7	5055,1	5055,1	4097,5	4562,7	5055,1	5055,1
2009												
$\bar{x}$	2718,7	2951,2	3065,9	2911,9 ^a	3828,0	3789,1	3497,2	3704,7 ^b	3273,3 ^e	3370,2 ^e	3281,5 ^e	3308,3 ^k
Median	2762,7	3119,2	3046,4	2820,3	4009,5	3966,6	3256,3	3966,6	3059,9	3238,5	3151,4	3194,8
s	100,6	303,3	255,8	255,6	436,4	388,4	845,8	537,3	670,4	554,7	606,8	577,1
min	2603,6	2601,1	2820,3	2601,1	3330,1	3343,7	2797,9	2797,9	2603,6	2601,1	2797,9	2601,1
max	2789,8	3133,4	3330,9	3330,9	4144,3	4057,0	4437,3	4437,3	4144,3	4057,0	4437,3	4437,3
2010												
$\bar{x}$	2380,7	2318,7	2577,7	2425,7 ^a	3431,3	3629,1	3270,3	3443,6 ^b	2906,0 ^e	2973,9 ^e	2924,0 ^e	2934,6 ^k
Median	2330,1	2283,9	2572,1	2525,3	3841,5	3542,3	3321,3	3456,2	2696,8	3079,5	2834,5	2831,6
s	430,3	494,1	55,4	349,0	755,4	350,8	216,0	457,5	795,9	813,6	404,7	655,8
min	1978,0	1842,9	2525,3	1842,9	2559,6	3329,8	3033,4	2559,6	1978,0	1842,9	2525,3	1842,9
max	2834,0	2829,3	2635,6	2834,0	3892,9	4015,2	3456,2	4015,2	3892,9	4015,2	3456,2	4015,2
Leguminosenertrag [kg/ha]												
2007												
$\bar{x}$	619,7	1463,5	845,5	976,2 ^a	854,6	1573,8	906,7	1111,7 ^a	737,1 ^e	1518,6 ^f	876,1 ^e	1043,9
Median	727,8	1393,5	900,1	900,1	843,1	1551,7	943,7	950,9	750,7	1537,2	921,9	947,3
s	190,6	247,2	174,6	418,4	91,1	65,0	129,4	357,7	185,5	172,6	141,5	384,0
min	399,6	1258,8	650,1	399,6	769,8	1522,7	762,8	762,8	399,6	1258,8	650,1	399,6
max	731,7	1738,1	986,2	1738,1	950,9	1646,9	1013,5	1646,9	950,9	1738,1	1013,5	1738,1
2008												
$\bar{x}$	3013,4	4434,4	3696,9	3714,9 ^a	3251,5	4467,1	3033,7	3584,1 ^a	3132,4 ^e	4450,7 ^e	3365,3 ^e	3649,5
Median	3204,6	4487,6	4297,0	4232,9	3363,0	4528,9	2336,2	3365,9	3283,8	4508,2	3316,6	4078,1
s	1019,0	180,9	2016,4	1289,6	195,7	199,8	1326,9	952,5	669,1	171,4	1569,2	1101,8
min	1912,3	4232,9	1448,6	1448,6	3025,5	4243,7	2201,0	2201,0	1912,3	4232,9	1448,6	1448,6
max	3923,2	4582,7	5345,1	5345,1	3365,9	4628,6	4563,9	4628,6	3923,2	4628,6	5345,1	5345,1
2009												
$\bar{x}$	2921,6	3185,5	3125,9	3077,7 ^a	3843,0	3549,1	3515,8	3636,0 ^b	3382,3 ^e	3367,3 ^e	3320,9 ^e	3356,8 ^l
Median	2902,6	3240,5	3269,7	3066,3	3827,3	3619,7	3343,3	3619,7	3337,5	3477,3	3306,5	3372,1
s	136,1	398,5	488,2	343,9	242,6	128,4	1026,1	553,5	534,4	331,3	749,7	531,4
min	2796,1	2762,4	2581,9	2581,9	3608,6	3400,9	2587,0	2587,0	2796,1	2762,4	2581,9	2581,9
max	3066,3	3553,6	3526,0	3553,6	4093,0	3626,8	4617,2	4617,2	4093,0	3626,8	4617,2	4617,2
2010												
$\bar{x}$	2049,3	2058,5	2338,1	2148,7 ^a	2559,8	2623,5	2564,1	2582,5 ^b	2304,5 ^e	2341,0 ^e	2451,1 ^e	2365,6 ^k
Median	2074,4	1975,0	2354,9	2079,0	2553,5	2518,3	2513,6	2518,3	2223,1	2416,5	2428,2	2389,2
s	47,5	277,9	81,3	204,3	195,8	230,4	149,2	171,4	307,3	384,5	163,9	288,6
min	1994,5	1832,0	2249,7	1832,0	2367,2	2464,4	2446,7	2367,2	1994,5	1832,0	2249,7	1832,0
max	2079,0	2368,6	2409,8	2409,8	2758,7	2887,6	2732,1	2887,6	2758,7	2887,6	2732,1	2887,6

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwer- kraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
Kräuterertrag [kg/ha]												
2007												
$\bar{x}$	588,9	780,1	677,5	682,2 ^a	660,2	916,2	773,1	783,2 ^a	624,6 ^e	848,1 ^e	725,3 ^e	732,7
Med	624,8	813,1	676,5	657,1	803,5	892,5	760,5	803,5	637,8	852,8	687,7	687,7
s	85,7	490,0	20,9	262,4	298,2	516,2	133,6	325,0	200,1	456,3	100,3	291,2
min	491,1	274,4	657,1	274,4	317,5	412,2	646,2	317,5	317,5	274,4	646,2	274,4
max	650,8	1252,7	698,9	1252,7	859,7	1443,8	912,5	1443,8	859,7	1443,8	912,5	1443,8
2008												
$\bar{x}$	1886,0	1098,2	1938,8	1641,0 ^a	2081,6	1821,4	2110,3	2004,4 ^a	1983,8 ^e	1459,8 ^e	2024,5 ^e	1822,7
Med	2009,6	1106,7	1869,5	1520,8	2130,2	2041,8	2250,2	2130,2	2069,9	1210,8	2059,9	1939,6
s	324,4	219,7	456,5	506,7	273,5	632,5	310,8	402,3	289,0	579,9	361,7	481,6
min	1518,0	874,3	1520,8	874,3	1787,1	1108,2	1754,1	1108,2	1518,0	874,3	1520,8	874,3
max	2130,5	1313,5	2425,9	2425,9	2327,6	2314,3	2326,5	2327,6	2327,6	2314,3	2425,9	2425,9
2009												
$\bar{x}$	1373,6	1035,9	1364,7	1258,1 ^a	1267,0	1322,9	1392,1	1327,3 ^a	1320,3 ^e	1179,4 ^e	1378,4 ^e	1292,7 ^k
Med	1280,6	1155,5	1326,4	1175,5	1444,7	1332,7	1478,0	1444,7	1362,6	1165,5	1402,2	1303,5
s	320,6	224,7	352,8	311,8	347,0	293,6	442,5	321,8	304,4	281,7	358,2	309,4
min	1109,8	776,7	1032,6	776,7	867,1	1024,6	913,0	867,1	867,1	776,7	913,0	776,7
max	1730,4	1175,5	1735,0	1735,0	1489,2	1611,5	1785,3	1785,3	1730,4	1611,5	1785,3	1785,3
2010												
$\bar{x}$	1883,4	1333,3	2364,7	1860,5 ^a	1707,3	1477,0	2488,8	1891,1 ^a	1795,4 ^e	1405,2 ^e	2426,8 ^f	1875,8
Med	1914,4	1457,7	2379,4	1914,4	1694,2	1587,2	2365,7	1821,2	1810,7	1522,4	2372,5	1867,8
s	163,2	486,7	97,6	517,7	399,1	410,5	238,1	554,1	289,2	410,3	176,4	520,4
min	1707,0	796,5	2260,6	796,5	1315,0	1022,7	2337,6	1022,7	1315,0	796,5	2260,6	796,5
max	2028,9	1745,8	2454,1	2454,1	2112,8	1821,2	2763,3	2763,3	2112,8	1821,2	2763,3	2763,3

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Die **Kräutererträge** liegen im Anlagejahr bei 682,2^a kg/ha beim niedrigen Düngungsniveau und 783,2^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau und stiegen im ersten Hauptnutzungsjahr auf 1641,0^a und 2004,4^a kg/ha an. Im zweiten Hauptnutzungsjahr sank der Kräuterertrag auf 1258,1^a und 1327,3^a kg/ha bevor er im dritten Hauptnutzungsjahr auf 1860,5^a und 1891,1^a kg/ha anstieg.

Sowohl im Anlagejahr als auch in den drei Hauptnutzungsjahren hat der Faktor Düngung keinen signifikanten Einfluss auf den Kräuterertrag. Der Faktor Lysimetersystem hat im Jahr 2010 und der Faktor Wiederholung im Jahr 2007 einen signifikanten Einfluss, in den anderen Versuchsjahren haben beide Faktoren keinen signifikanten Einfluss. Bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt sich ein hochsignifikanter Einfluss des Faktors Jahr und ein signifikanter Einfluss des Faktors Lysimetersystem.

Die Kräutererträge sollten in einem Bestand mit ca. 10-20 G-% Kräutern und 105 dt/ha Trockenmasse maximal 1000-2000 kg/ha betragen. Am Versuchsstandort sind die Kräuteranteile zulasten der Gräseranteile relativ hoch, daher lagen auch die Kräutererträge auf einem ungünstigen, hohen Niveau.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Gräsererträge unter den Erwartungen blieben, Grund dafür sind unter anderem die zu hohen Kräutererträge. Die Leguminosenerträge liegen auf einem sehr guten hohen Niveau.

Tabelle 43: Varianzanalytische Auswertungen zum Gräser-, Leguminosen- und Kräuterertrag im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

abhängige Variable Gräser-Ertrag [kg/ha]	2007*	2008	2009	2010	2009-2010*
Jahr					0,082
Lysimetersystem	0,003	0,241	0,894	0,963	0,812
Düngung	0,070	0,083	0,012	0,008	0,000
Wiederholung	0,778	0,478	0,859	0,269	0,676
Lysimetersystem*Düngung		0,619	0,401	0,529	
Lysimetersystem*Wiederholung		0,324	0,184	0,517	
Düngung*Wiederholung		0,370	0,570	0,736	
R ²		0,842	0,893	0,895	
korrigiertes R ²		0,330	0,547	0,553	
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant	< 0,05 signifikant	>= 0,05 nicht signifikant		
abhängige Variable Leguminosen-Ertrag [kg/ha]	2007*	2008	2009	2010	2009-2010*
Jahr					0,000
Lysimetersystem	0,002	0,132	0,942	0,089	0,973
Düngung	0,310	0,778	0,021	0,000	0,023
Wiederholung	0,402	0,175	0,423	0,009	0,898
Lysimetersystem*Düngung		0,697	0,336	0,053	
Lysimetersystem*Wiederholung		0,457	0,061	0,244	
Düngung*Wiederholung		0,391	0,542	0,462	
R ²		0,836	0,915	0,979	
korrigiertes R ²		0,302	0,637	0,911	
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant	< 0,05 signifikant	>= 0,05 nicht signifikant		
abhängige Variable Kräuter-Ertrag [kg/ha]	2007	2008	2009	2010	2009-2010
Jahr					0,000
Lysimetersystem	0,122	0,165	0,334	0,004	0,002
Düngung	0,206	0,162	0,518	0,793	0,379
Wiederholung	0,017	0,291	0,950	0,173	0,169
Jahr*Lysimetersystem					0,006
Jahr*Düngung					0,721
Jahr*Wiederholung					0,119
Lysimetersystem*Düngung	0,925	0,542	0,347	0,476	0,103
Lysimetersystem*Wiederholung	0,044	0,848	0,049	0,121	0,007
Düngung*Wiederholung	0,333	0,805	0,503	0,804	0,764
Jahr*Lysimetersystem*Düngung					0,643
Jahr*Lysimetersystem*Wiederholung					0,511
Jahr*Düngung*Wiederholung					0,279
Lysimetersystem*Düngung*Wiederholung					0,142
R ²	0,944	0,794	0,894	0,953	0,990
korrigiertes R ²	0,762	0,123	0,550	0,802	0,913
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant	< 0,05 signifikant	>= 0,05 nicht signifikant		

4.2.3.3 Pflanzenbestandsaufnahme – Vergleich Ausgangsmischung und Endbestand

Nachfolgend erfolgt eine kurze Erläuterung der Einzelnen, in der Mischung, vorkommenden Arten und der bedeutendsten bzw. am meisten vorkommenden, nicht angesäten Arten.

Gräser:

Das **Englische Raygras** ist das wichtigste Untergras in milden bis mittleren Lagen und das wichtigste Weidegras aufgrund seiner Trittfestigkeit und Weidefestigkeit. Durch die langen unterirdischen Kriechtriebe ist es rasenbildend, weshalb es auch zur raschen Narbenbildung beiträgt und somit eine stärkere Basisverunkrautung bei Neuansaat verhindert. Es hat eine hohe Konkurrenzkraft, eine hohe Ertragsfähigkeit und eine hervorragende Futterqualität, ist vielschnittgeeignet und gut silierfähig (hoher Zuckergehalt) und kann Gülle- und Jauchegaben gut verwerten. Das Englische Raygras liebt nährstoffreiche, stickstoffbeeinflusste, schwere Böden mit mittelfeuchtem Klima ohne strenge Winter (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 35 und PÖTSCH et al., 2008, 12).

Das **Bastardraygras** ist ein Kreuzungsprodukt zwischen Englischem und Italienischem Raygras, welches sich bei durchschnittlicher Witterung für zwei Hauptnutzungsjahre eignet. Aufgrund seiner Ertragsfähigkeit und Futterqualität ist es für den Feldfutterbau bestens geeignet (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 35f).

Das **Knaulgras** ist ein horstbildendes Obergras, welches gut anpassungsfähig (Tiefland bis Gebirge), widerstandsfähig, ertragreich, nährstoffreich und stickstoffliebend ist. Es ist das Leitgras in Grünlandlagen unter 600m Seehöhe. Besonders unter intensiveren Verhältnissen (Düngung und Nutzung) ist es ertragreich, konkurrenzstark und kann Trockenheit am besten überstehen. Knaulgras ist ein wertvolles Futtergras (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 33 und PÖTSCH et al., 2008, 14).

Das **Timothe** ist ein ausdauerndes, lockerhorstiges Gras, welches äußerst winterhart ist, allerdings eine geringe Konkurrenzkraft hat. Aufgrund seiner langsamen Entwicklung blüht es erst spät, oft erst beim 2. Aufwuchs. Es liebt nährstoffreiche, mäßig feuchte, mittelschwere bis schwere Böden (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 33f und PÖTSCH et al., 2008, 15).

Der **Wiesenschwingel** ist ein mehrjähriges, ausdauerndes Obergras, welches trittfest und vielseitig verwendbar ist. Er ist äußerst winterhart, weidefest und wird von den Tieren gerne gefressen. Der Wiesenschwingel ist gut ertragsfähig und fühlt sich besonders auf schweren Böden und in feuchten Lagen wohl. In der Anfangsentwicklung ist er gut, in der Bestandsentwicklung allerdings oft konkurrenzschwach. Er ist nur auf zusagenden Standorten bestandsbildend, auf Fettwiesenstandorten ist die Konkurrenzkraft und fallweise die Vitalität nicht ganz entsprechend (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 33 und PÖTSCH et al., 2008, 15).

Die **Wiesenrispe** ist das wichtigste Untergras, welche meist auf mäßig trockenen, lockeren, stickstoffbeeinflussten Böden vom Tiefland bis in die Berglagen vorkommt. Sie bildet unterirdische Ausläufer, mit denen sie zur Rasen- und Narbenbildung beiträgt, und ist weidefest, trockenheitsverträglich und konkurrenzstark. Die Wiesenrispe hat bei rechtzeitiger Nutzung und entsprechender N-Zufuhr eine hohe Leistung und gute Qualität, weshalb sie ein ausgezeichnetes Futtergras mit gutem Futterwert ist (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 33f und PÖTSCH et al., 2008, 13).

Der **Rotschwingel** ist ein ausdauerndes, sehr formenreiches Untergras, welcher keine besonderen Ansprüche an den Kalk- und Nährstoffhaushalt hat. Er hat eine relativ gute Ertragsfähigkeit und mittelmäßige Futterqualität (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 35 und PÖTSCH et al., 2008, 15).

Gräser mit verminderter Futterqualität:

Die **Gemeine Rispe** ist ein ausdauerndes Untergras mit oberirdischen Ausläufern (leicht ausreißbar). Dort wo die Obergräser zurückgehen, entstehen Lücken in der Grasnarbe, welche die Gemeine Rispe schließt und deshalb zur Verfilzung der Grasnarbe führt. Die Futterqualität ist nur mittelmäßig, aufgrund des muffigen Geruchs im Futter wird es von den Tieren nicht gefressen. Vor allem auf frischen bis feuchten, nährstoffreichen Grünlandboden kommt es vor (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 36).

Die **Acker-Quecke** ist ein ausdauerndes Obergras mit unterirdischen Ausläufern, welche sich besonders in Beständen mit guter Nährstoffversorgung infolge der hohen Konkurrenzkraft ausbreitet. Sie hat eine eher schlechte Futterqualität (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 36).

Leguminosen:

Der **Weißklee** kommt hauptsächlich in Vielschnittwiesen und –weiden vor, ist äußerst trittfest, weshalb er sehr gut für Weiden geeignet ist und hat eine hohe Nutzungselastizität. Er ist hochverdaulich und besitzt einen hohen Rohproteingehalt, weshalb er eine wertvolle Futterpflanze ist. Aufgrund seiner Lagerungsgefahr sollte er zeitgerecht genutzt werden.

Weißklee kann sich mit seinen Ausläufern gut vegetativ vermehren. Er ist lichthungrig, weshalb er einen häufigen Schnitt benötigt, um nicht von höherwüchsigen Gräser- und Kräuterarten unterdrückt zu werden (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 38 und PÖTSCH et al., 2008, 19).

Der **Gewöhnliche Hornklee** kommt auf Trockenem bis Wechselfeuchtem, meist etwas Wärmeren, Ein- bis Zweischnittigem Dauergrünland vor und ist ein Magerkeitszeiger im Dauergrünland (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 40 und PÖTSCH et al., 2008, 20).

Der **Rotklee** hat bei guter Phosphor- und Kaliumversorgung eine hohe Ertrags- und Qualitätsleistung. Es kann der langlebige Wiesenrotklee und der eher kurzlebige Ackerrotklee, welcher eine wichtige Proteinquelle in der Rinderfütterung ist, unterschieden werden. Er kommt auf mäßig trockenem bis feuchtem Dauergrünland vor und verträgt im Feldfutterbau bis zu 4 Schnitte pro Jahr (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 38f).

Kräuter:

Der **Kriechende Hahnenfuß** kommt auf frischen bis nassen, etwas verdichteten, nährstoffreichen sowie lückigen Wiesen und Weiden vor und ist ein Lehm- und Bodenverdichtungszeiger. Durch rechtzeitige Mahd kann der Kriechende Hahnenfuß in seiner Verbreitung gebremst werden (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 44).

Der **Scharfe Hahnenfuß** ist ein Nährstoffzeiger, der etwas feuchte, stickstoffhaltige Lehmböden liebt. Aufgrund seines scharf schmeckenden Giftes wird er von den Rindern auf der Weide nicht gerne gefressen, allerdings verliert er durch die Trocknung an Giftigkeit. Bei Auftreten des Scharfen Hahnenfußes auf Wiesen oder Weiden sollte dieser bekämpft werden, durch Mähweiden wird er unter anderem reduziert, durch späte Nutzung jedoch begünstigt (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 44).

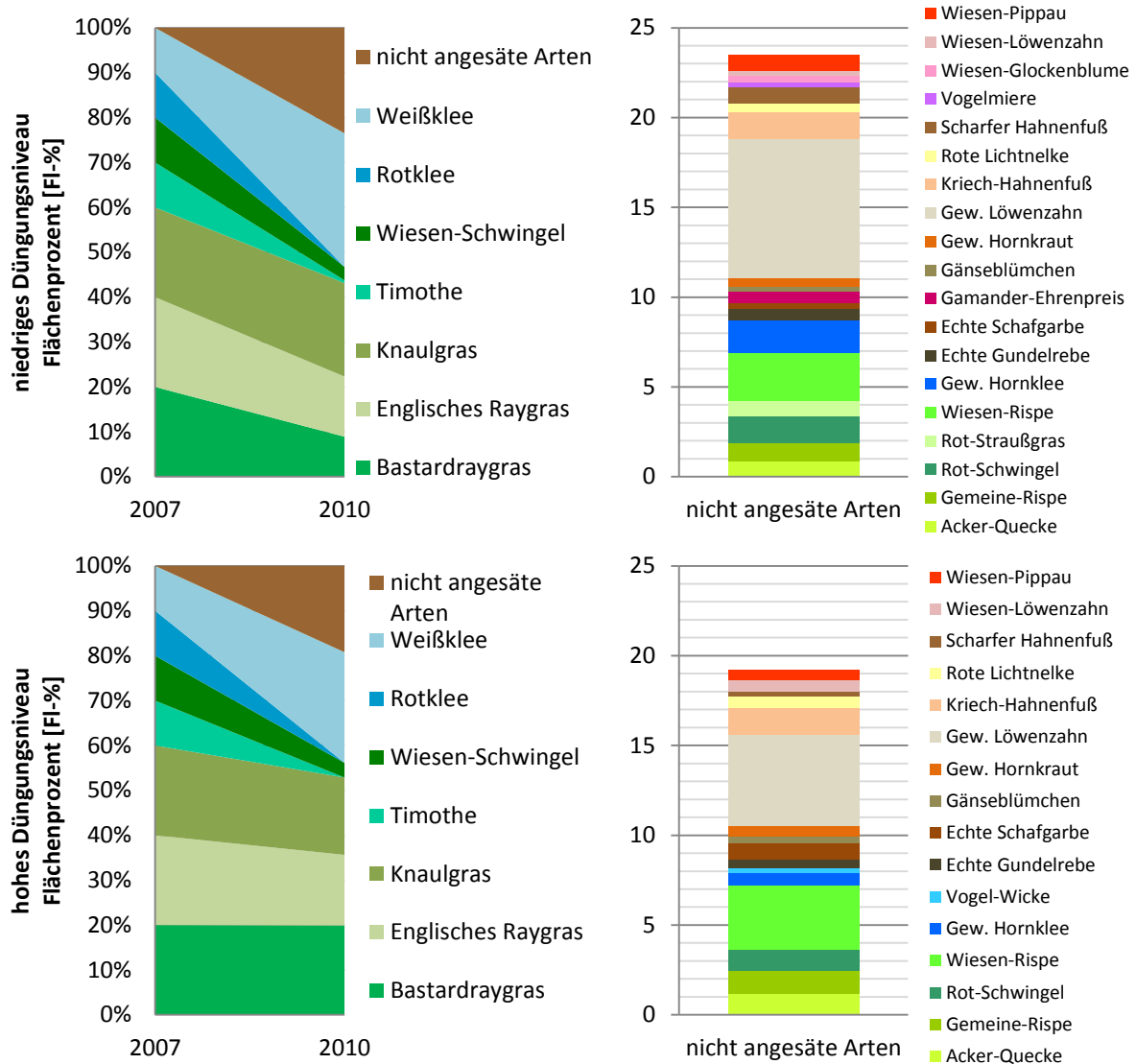
Der **Gewöhnliche Löwenzahn** (auch Kuhlblume genannt) ist ein Korbblütler mit Pfahlwurzel, der hauptsächlich im Frühjahr blüht und besonders bei Vielschnittnutzung und guter Nährstoffversorgung vorkommt. Aufgrund seiner Flugsamen kann er Bestandslücken rasch besiedeln und schließen. Im grünen Zustand ist er unter anderem aufgrund seines hohen Mineralstoffgehaltes eine qualitativ wertvolle Futterpflanze, allerdings hat er bei der Silage- bzw. Heubereitung hohe Bröckelverluste (vgl.: BUCHGRABER und GINDL, 2004, 44).

In Abbildung 17 bis Abbildung 19 sind jeweils für die einzelnen Lysimetersysteme und Düngungsvarianten einerseits der Vergleich zwischen der Ausgangsmischung 2007 und dem Endbestand 2010, andererseits der Anteil der einzelnen nicht angesäten Arten in Flächenprozent (FL-%), dargestellt.

Für die Ausgangsmischung 2007 wurden die Werte des Mischungsrahmens für die Feldfuttermischung IM für milde und mittlere Lagen verwendet (siehe Tabelle 14). Für den Endbestand 2010 wurden die Ergebnisse der am 2. Juli 2010 durchgeführten Pflanzenbestandsaufnahmen verwendet (siehe Anhang Tabelle 102 bis Tabelle 109). Die Flächenprozentanteile der einzelnen Arten wurden je Variante gemittelt (Mittelwert über je 3 Wiederholungen). Oftmals liegt die Gesamtdeckung über 100 %, deshalb wurden die gemittelten Werte wiederum auf die Basis von 100 % bezogen, um sie untereinander vergleichen zu können.

In Abbildung 17 ist die **Bestandesentwicklung der Saugkerzenvariante** im oberen Bereich des niedrigen, im unteren Bereich des hohen Düngungsniveaus abgebildet. Es wurden jeweils die Mittelwerte aus den drei Wiederholungen gebildet und diese für den Vergleich verwendet. Links sind die Artenzusammensetzung der Ausgangsmischung 2007 und deren Entwicklung im Jahr 2010 dargestellt. Der braune Ausschnitt stellt die nicht angesäten Arten dar, die im Laufe des Versuchszeitraumes von außen in den Bestand eingewandert sind. Im rechten Bereich der Abbildung findet sich eine detaillierte Auflistung der nicht angesäten Arten.

Abbildung 17: Entwicklung des Pflanzenbestandes auf den mit Saugkerzen ausgestatteten Parzellen des Lysimetervergleichsversuches Winklhof



In der Lysimetersystemvariante Saugkerze ist in beiden Düngungsvarianten Rotklee (Leguminosen) von 10 FL-% in der Ausgangsmischung auf 0 FL-% im Endbestand gesunken und somit gänzlich verschwunden. Auch der Wiesenschwingel und das Timothe (Gräser) haben sich von 10 FL-% in der Ausgangsmischung auf 3 FL-% und 1 FL-% beim niedrigen bzw. 3 FL-% und 0 FL-% beim hohen Düngungsniveau dezimiert. Der Flächenprozentanteil von Weißklee ist von 10 auf 30 (niedriges Düngungsniveau) und 25 (hohes Düngungsniveau) angestiegen.

Das Knautgras hat seinen Anteil von 20 FL-% in der Ausgangsmischung mit 21 FL-% beim niedrigen und 17 FL-% beim hohen Düngungsniveau in etwa halten können. Es ist das Leitgras für Grünlandgebiet unter 600 m Seehöhe und somit auch für den Versuchsstandort (452 m Seehöhe). Das Englische Raygras und das Bastardraygras sind jeweils von 20 FL-% in der Ausgangsmischung auf 13 und 9 FL-% beim niedrigen bzw. 16 und 20 FL-% beim hohen Düngungsniveau zurückgegangen bzw. haben ihren Anteil gehalten.

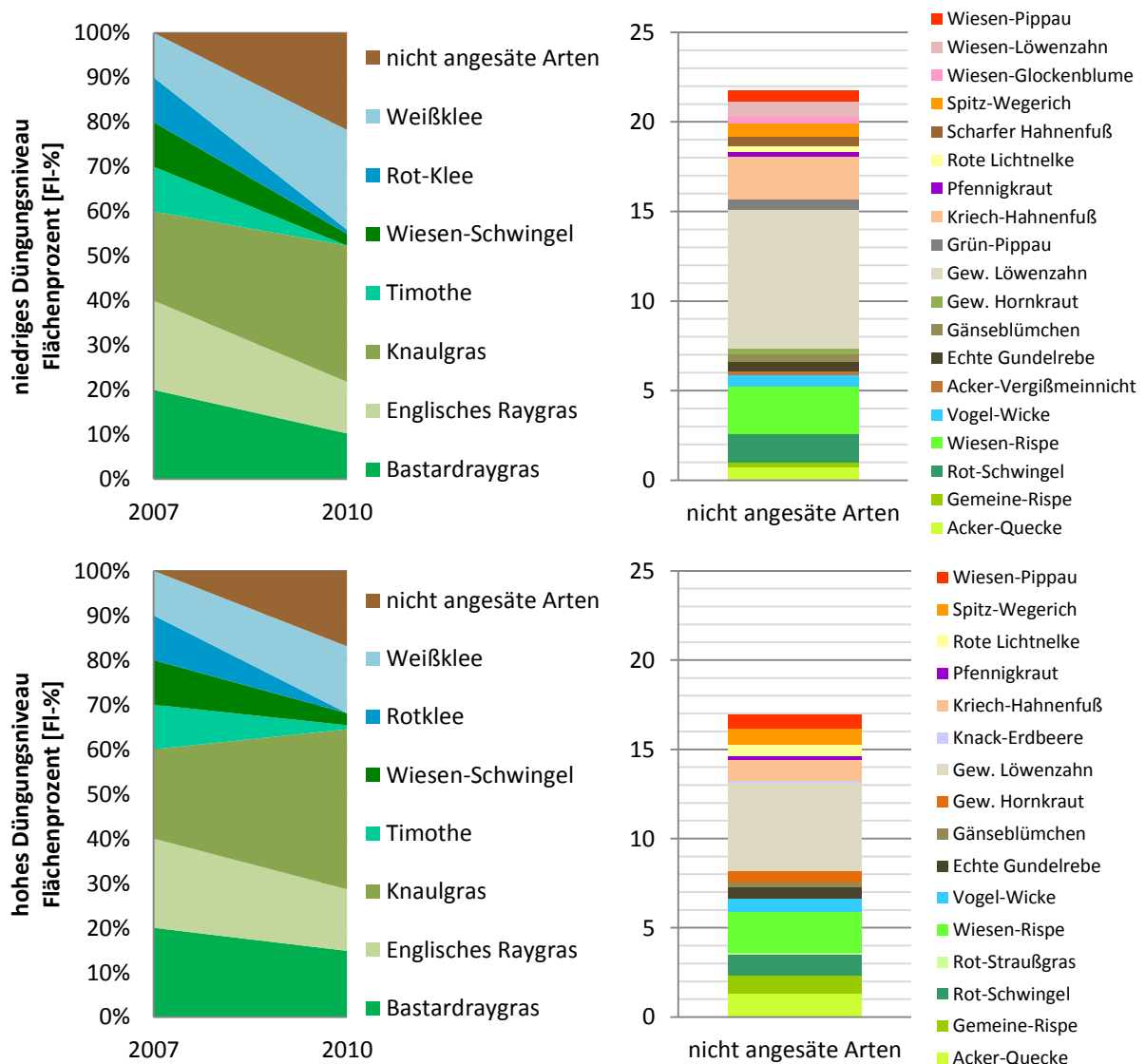
Der Flächenprozentanteil der nicht angesäten Arten ist beim niedrigen Düngungsniveau mit 24 deutlich höher als beim hohen mit 19. Den höchsten Anteil der nicht angesäten Arten hat der Gewöhnliche Löwenzahn (Kräuter) mit 8 FL-% beim niedrigen bzw. 5 FL-% beim hohen Düngungsniveau, gefolgt von der Wiesenrispe mit 3 bzw. 4 FL-% (Gräser) und dem Gewöhnlichen Hornklee mit 2 bzw. 1 FL-% (Leguminosen).

Die Problemunkräuter Scharfe Hahnenfuß und Kriechende Hahnenfuß kommen im Ausmaß von etwa jeweils 1 FL-% bei beiden Düngungsvarianten vor. Auch die Gräser Rot-Schwengel, Gemeine Rispe und Acker-Quecke kommen mit je 1 FL-% vor.

Die beiden zuletzt genannten Arten werden jedoch im Bestand nur im geringen Ausmaß toleriert, da sie eine verminderte Futterqualität und eine hohe Konkurrenzkraft (breiten sich rasch aus) haben.

In Abbildung 18 ist nun die **Bestandsentwicklung der Schwerkraftlysimetervariante** zu sehen. Hierfür wurde jeweils der Mittelwert der drei Wiederholungen sowohl vom Lysimeterring als auch von der restlichen Parzelle gebildet. Grundsätzlich sind innerhalb des Lysimeterrings deutlich weniger Arten vorgekommen als außerhalb (siehe Anhang Tabelle 104 bis Tabelle 107). Während beim niedrigen Düngungsniveau 17 bis 19 und beim hohen 17 bis 20 verschiedene Arten außerhalb des Lysimeterrings vorkommen, sind es im Lysimeterring nur 8 bis 9 bzw. 7 bis 8 Arten.

Abbildung 18: Entwicklung des Pflanzenbestandes auf den mit Schwerkraftlysimeter ausgestatteten Parzellen des Lysimetervergleichsversuches Winklhof



Timothee und Rotklee sind bei beiden Düngungsvarianten fast bzw. gänzlich verschwunden (jeweils 10 FL-% in der Ausgangsmischung). Auch der Wiesenschwengel ist von 10 FL-% in der Ausgangsmischung auf jeweils 3 FL-% abgesunken.

Der Weißklee ist gegenüber der Ausgangsmischung mit 10 FL-% auf 22 FL-% beim niedrigen und auf 15 FL-% beim hohen Düngungsniveau angestiegen.

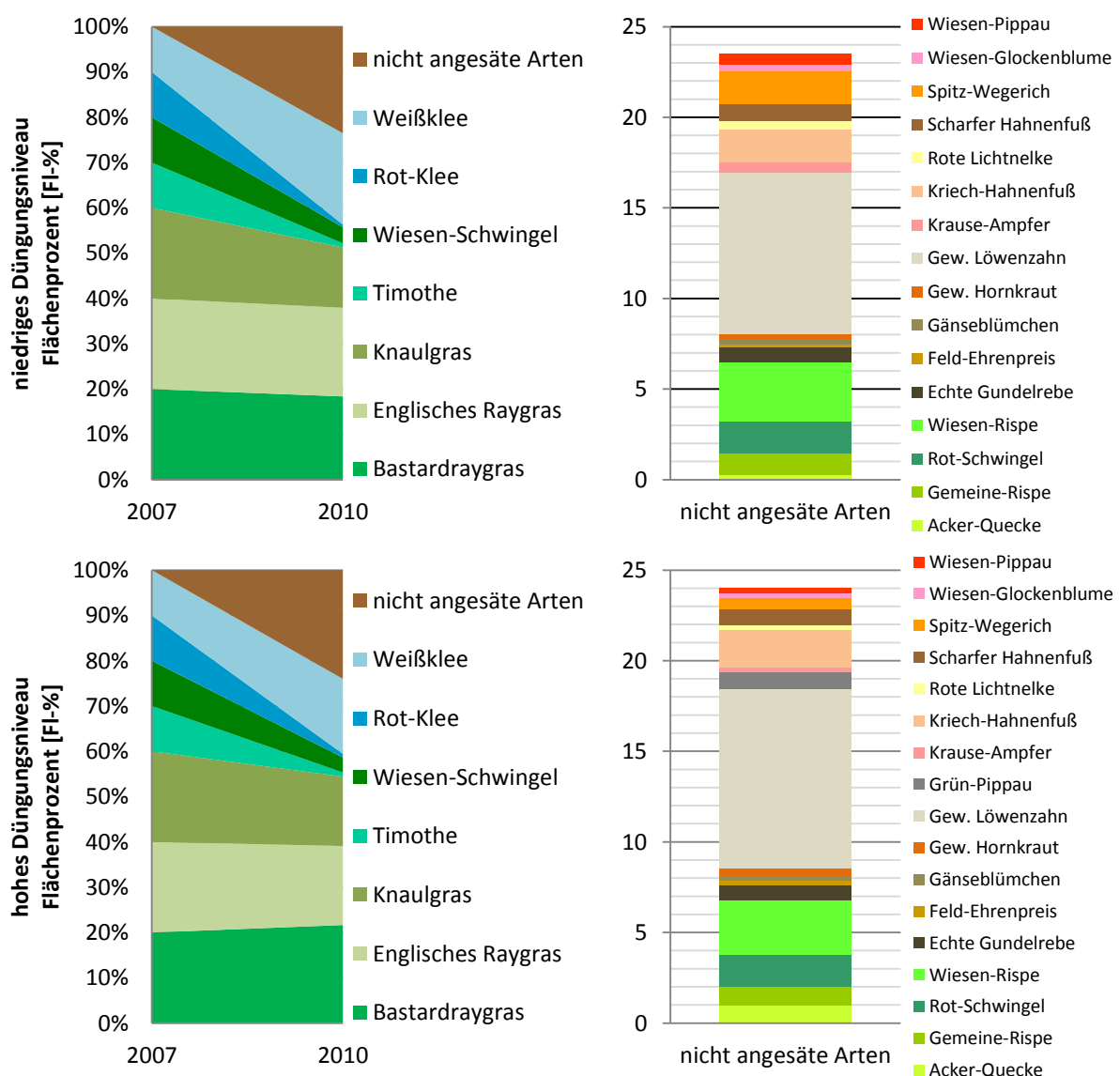
Das Bastardraygras und das Englische Raygras sind von 20 FL-% in der Ausgangsmischung auf 10 und 12 FL-% beim niedrigen bzw. auf 15 und 14 FL-% beim hohen Düngungsniveau zurückgegangen. Der Flächenprozentanteil von Knautgras ist auf 31 beim niedrigen und 36 am hohen Düngungsniveau angestiegen, wobei vor allem innerhalb des Lysimeterrings die hohen Anteile zu finden sind und sich daher die insgesamt hohen Werte erklären.

Die nicht angesäten Arten kommen im Ausmaß von 22 FL-% beim niedrigen und 17 FL-% beim hohen Düngungsniveau vor. Wie auch bei der Saugkerzenvariante ist der Gewöhnliche Löwenzahn die dominierende Art unter den nicht angesäten Arten mit 8 FL-% beim niedrigen und 5 FL-% beim hohen Düngungsniveau. Rotschwingel und Wiesenrispe erreichen 2 und 3 FL-% beim niedrigen und 1 und 2 FL-% beim hohen Düngungsniveau.

Der Flächenprozentanteil des Kriechenden Hahnenfußes beträgt 2 beim niedrigen und 1 FL-% beim hohen Düngungsniveau, der des Scharfen Hahnenfußes 1 FL-% beim niedrigen Düngungsniveau und beim hohen kommt er nicht vor. Die nicht im Bestand erwünschten Gräser Ackerquecke und Gemeine Rispe erreichen in etwa jeweils 1 FL-% bei beiden Düngungsvarianten.

In Abbildung 19 ist nun die **Bestandsentwicklung der Parzellen ohne Lysimetersystem** zu sehen.

Abbildung 19: Entwicklung des Pflanzenbestandes auf den ohne Lysimetersystem ausgestatteten Parzellen des Lysimetervergleichsversuches Winklhof



Das Knaulgras ist von 20 FL-% in der Ausgangsmischung auf 13 FL-% beim niedrigen und 15 FL-% beim hohen Düngungsniveau gesunken, wohingegen der Weißkleeanteil von 10 FL-% auf 20 FL-% und 17 FL-% gestiegen ist.

Das Bastardraygras und das Englische Raygras sind zu je 20 FL-% in der Ausgangsmischung enthalten und auf einem ähnlichen Niveau von 18 und 20 FL-% beim niedrigen bzw. 22 und 17 FL-% beim hohen Düngungsniveau geblieben. Der Wiesenschwingel ist von 10 FL-% in der Ausgangsmischung auf 4 FL-% bzw. 3 FL-% gesunken. Wie auch in den beiden anderen Lysimetersystemen sind Timothe und Rotklee von 10 FL-% auf etwa 1 FL-% bei beiden Düngungsvarianten gesunken.

Die nicht angesäten Arten nehmen einen Anteil von jeweils 24 FL-% ein. Der Gewöhnliche Löwenzahn nimmt auch hier mit 9 FL-% beim niedrigen und 10 FL-% beim hohen Düngungsniveau den höchsten Anteil unter den nicht angesäten Arten ein. Die Gräser Rotschwingel und Wiesenrispe kommen im Ausmaß von je 2 und 3 FL-% bei beiden Düngungsvarianten vor.

Die Ackerquecke und die Gemeine Rispe erreichen einen Flächenprozentanteil von in etwa 1 FL-% bei beiden Düngungsniveaus. Die Unkräuter Kriechender Hahnenfuß und Scharfer Hahnenfuß erreichen jeweils 2 bzw. 1 FL-% bei beiden Düngungsvarianten, der Spitz-Wegerich 2 FL-% beim niedrigen und 1 FL-% beim hohen Düngungsniveau.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass in allen drei Lysimetersystemen Timothe aufgrund seiner langsamen Entwicklung und geringen Konkurrenzkraft gänzlich verschwunden und Rotklee (jeweils 10 FL-% in der Ausgangsmischung) aufgrund der sehr niedrigen Phosphor- bzw. niedrigen Kaliumversorgung des Versuchsstandortes bzw. seiner Kurzlebigkeit fast gänzlich verschwunden ist. Auch der konkurrenzschwache Wiesenschwingel ist im Laufe der Bestandsentwicklung stark zurückgegangen.

Das Bastardraygras hat je nach Lysimetersystemvariante unterschiedlich reagiert. Während es auf der Variante ohne Lysimetersystem das Niveau der Ausgangsmischung von 20 FL-% ungefähr halten konnte, ist es auf der Variante Schwerkraftlysimeter um das 1,5- bis 2-fache gesunken und auf der Variante mit Saugkerze beim hohen Düngungsniveau gleich geblieben und beim niedrigen um mehr als das 2-fache gesunken. Das Bastardraygras ist für intensive Nutzung bestens geeignet, weshalb es am Versuchsstandort beim hohen Düngungsniveau auch immer in höheren Anteilen als beim niedrigen Düngungsniveau vorkommt. Seine Flächenprozentanteile sind nach drei Hauptnutzungsjahren auf einem guten Niveau, da es bei durchschnittlicher Witterung zwei Hauptnutzungsjahre gut überdauert.

Das Englische Raygras ist ähnlich wie das Bastardraygras auf der Variante ohne Lysimetersystem mit 20 FL-% auf dem Niveau der Ausgangsmischung geblieben und auf den beiden anderen Varianten um das 1,5- bis 2-fache gesunken. Auch das Englische Raygras möchte intensiv genutzt werden, ist äußerst konkurrenzstark und mag milde bis mittlere Lagen. Der Versuchsstandort ist etwas zu rau für das Englische Raygras, weshalb es im Ausmaß gesunken ist.

Das Knaulgras ist auf der Saugkerzenvariante annähernd auf dem Niveau der Ausgangsmischung mit 20 FL-% geblieben, auf der Variante ohne Lysimetersystem ca. um die Hälfte gesunken und auf der Schwerkraftlysimetervariante aufgrund der hohen Anteile innerhalb des Lysimeterrings um das 1,5-fache gestiegen. Auch das Knaulgras ist besonders unter intensiven Verhältnissen ertragreich und konkurrenzstark, weshalb es sich am Versuchsstandort gut etabliert hat.

Einzig der Weißklee ist im Vergleich zur Ausgangsmischung mit 10 FL-% um das 1,5- bis 3-fache angestiegen, wobei er beim niedrigen Düngungsniveau in höheren Anteilen vorkommt. Er will intensiv genutzt werden, um von den höherwüchsigen Gräsern und Kräutern nicht unterdrückt zu werden und hat sich daher am Versuchsstandort so stark ausgebreitet.

Der Scharfe Hahnenfuß kommt sehr selten bis selten in den einzelnen Varianten vor, allerdings ist er eine Giftpflanze (Giftstoff zerfällt jedoch während der Trocknung), weshalb er gänzlich unerwünscht ist (vgl.: <http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/unkrautsteckbrief/08877/>, Stand: Jänner 2012)

Der Kriechende Hahnenfuß ist deutlich weniger giftig als der Scharfe Hahnenfuß. Im Bestand ist er ebenfalls unerwünscht, da er sich schnell ausbreitet und überhandnimmt (vgl.: <http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/unkrautsteckbrief/12380/>, Stand: Jänner 2012).

Der Gewöhnliche Löwenzahn ist eine wertvolle Futterpflanze und daher im Pflanzenbestand durchaus erwünscht, allerdings besiedelt er rasch Lücken und sollte durch rechtzeitige Mahd in Schach gehalten werden. Die bonitierten Werte liegen noch im akzeptablen Bereich, sollten allerdings nicht mehr weiter ansteigen. Die Gemeine Rispe und die Ackerquecke sind beides minderwertige Futtergräser, welche nicht zu häufig im Bestand vorkommen sollten, damit sie wertvolle Futtergräser nicht verdrängen. Auch hier liegen die Werte auf einem guten, sehr niedrigen Niveau.

Tabelle 44 beinhaltet eine zusammenfassende Darstellung der Pflanzenbestandsaufnahme, in der unter anderem die Mittelwerte des Artengruppenverhältnisses in Gewichtsprozent sowie in Flächenprozent und der Artenanzahl angegeben sind.

Es ist zu erkennen, dass sich die Artenanzahl zwischen dem niedrigen mit 17 und dem hohen Düngungsniveau mit 16 nur minimal unterscheidet. Die Lysimetersysteme Saugkerze, ohne Lysimetersystem und Schwerkraftlysimeter außerhalb des Lysimeterrings haben ebenfalls eine sehr ähnliche Artenanzahl, jedoch weist der Lysimeterring eine wesentlich geringere Artenzahl (um ca. 10 Arten weniger) auf, was hauptsächlich auf die geringere Kräuteranzahl zurückzuführen ist.

Auch bei der projektiven Deckung in Prozent sind nur geringe Unterschiede hinsichtlich der Düngung zu sehen (niedriges und hohes Düngungsniveau 97 %), wohingegen sich bei den Lysimetersystemen wiederum der Lysimeterring von den restlichen Varianten deutlich unterscheidet. Der Pflanzenbestand sollte einen möglichst geringen Anteil an offenem Boden und somit wenige Lücken haben, daher sollte die projektive Deckung nahe 100 % sein. Die Werte liegen am Versuchsstandort auf einem durchaus guten Niveau, allerdings sind noch Verbesserungen möglich.

Das Artengruppenverhältnis in Gewichtsprozent liegt beim niedrigen Düngungsniveau im Durchschnitt bei 62 G-% Gräser, 25 G-% Leguminosen und 13 G-% Kräuter. Auch hier unterscheidet sich der Lysimeterring deutlich von der Fläche außerhalb des Ringes, denn die Gräseranteile liegen ca. 15 G-% höher und die Leguminosenanteile um 14 G-% niedriger, die Kräuteranteile unterscheiden sich nur minimal. Die Parzellen ohne Lysimetersystem weisen die höchsten Kräuteranteile mit 15 G-% auf.

Beim hohen Düngungsniveau liegt das Artengruppenverhältnis im Durchschnitt bei 72 G-% Gräser, 19 G-% Leguminosen und 9 G-% Kräuter. Wie auch beim niedrigen Düngungsniveau unterscheidet sich die Fläche innerhalb und außerhalb des Lysimeterrings deutlich, denn auch hier liegen die Gräseranteile innerhalb des Rings um ca. 20 G-% höher und die Leguminosenanteile um ca. 19 G-% niedriger, die Kräuteranteile sind ungefähr gleich. Auch hier erreichen die Parzellen ohne Lysimetersystem die höchsten Kräuteranteile mit 15 G-%.

In gutwüchsigen, geschlossenen Beständen sollte die Gesamtdeckung zwischen 130 und 140 FL-% liegen (BUCHGRABER, 2010, s.p).

Die im Versuch vorliegende Gesamtdeckung unterscheidet sich im Mittel zwischen niedriger und hoher Düngungsvariante mit jeweils 106 FL-% nicht, wohl aber zeigen sich deutliche Unterschiede innerhalb der Lysimetersysteme. Während die Gesamtdeckung auf den Varianten mit Saugkerze, ohne Lysimetersystem und Schwerkraftlysimeter außerhalb des Lysimeterrings nur geringe Unterschiede aufweisen, liegt die Deckung innerhalb des Ringes bei 95 FL-% (niedriges Düngungsniveau) und 94 FL-% (hohes Düngungsniveau) und damit auf einem niedrigen Niveau.

Das Artengruppenverhältnis in Flächenprozent liegt bei 65 FL-% Gräser, 27 FL-% Leguminosen und 14 FL-% Kräuter beim niedrigen bzw. 75 FL-%, 20 FL-% und 11 FL-% beim hohen Düngungsniveau. Deutlich erkennbar wird hier der höhere Gräseranteil beim hohen Düngungsniveau, da die Hauptgräser der Feldfutterintensivmischung Knautgras, Englisches Raygras und Bastardraygras hohe N-Gaben gut verwerten können. Die Leguminosen Anteile hingegen sind beim niedrigen Düngungsniveau wesentlich höher, da durch höhere N-Gaben eine unmittelbare Konkurrenz zur biologischen N-Bindung besteht und damit Leguminosen verdrängt werden.

Tabelle 44: Zusammenfassende Pflanzenbestandsaufnahme im Lysimetervergleichsversuch Winklhof (2010)

	niedriges Düngungsniveau					Ø niedriges Düngungs- niveau
	Saugkerze	Schwerkraftlysimeter			ohne Lysimeter- system	
		außerhalb	innerhalb	Ø Schwer- kraft- lysimeter		
Gräseranzahl	9	7	5	6	8	7
Leguminosenanzahl	2	2	1	1	2	2
Kräuteranzahl	9	10	3	6	10	8
Artenanzahl	19	18	9	14	20	17
Projektive Deckung [%]	96	97	95	96	98	97
offener Boden [%]	4	3	6	5	3	4
WHV [cm]	41	53	48	51	54	49
Gräser [Gewichtsprozent]	55	57	72	64	65	62
Leguminosen [Gewichtsprozent]	32	31	17	24	20	25
Kräuter [Gewichtsprozent]	12	12	11	12	15	13
Σ Gräser [Flächenprozent]	59	66	65	66	69	65
Σ Leguminosen [Flächenprozent]	35	32	19	25	23	27
Σ Kräuter [Flächenprozent]	14	14	11	13	17	14
Gesamtdeckung [Flächenprozent]	108	112	95	104	110	106
	hohes Düngungsniveau					Ø hohes Düngungs- niveau
	Saugkerze	Schwerkraftlysimeter			ohne Lysimeter- system	
		außerhalb	innerhalb	Ø Schwer- kraft- lysimeter		
Gräseranzahl	8	8	5	7	8	7
Leguminosenanzahl	2	2	1	1	2	2
Kräuteranzahl	8	8	2	5	9	7
Artenanzahl	18	18	7	13	19	16
Projektive Deckung [%]	97	98	94	96	97	96
offener Boden [%]	4	3	5	4	4	4
WHV [cm]	55	58	54	56	63	58
Gräser [Gewichtsprozent]	66	67	87	77	68	72
Leguminosen [Gewichtsprozent]	26	25	6	16	17	19
Kräuter [Gewichtsprozent]	8	8	7	7	15	9
Σ Gräser [Flächenprozent]	71	75	81	78	72	75
Σ Leguminosen [Flächenprozent]	29	28	6	17	19	20
Σ Kräuter [Flächenprozent]	11	10	7	8	17	11
Gesamtdeckung [Flächenprozent]	111	113	94	103	108	106

4.3 AUSGEWÄHLTE KENNWERTE DES WASSERHAUSHALTES

In diesem Kapitel wird zunächst der Zusammenhang zwischen Niederschlag und Sickerwassermenge erläutert. Anschließend werden der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit und die einzelnen Nährstoffe im Sickerwasser erörtert. Im Unterkapitel Nährstoffauswaschung erfolgt die Verknüpfung der einzelnen Nährstoffkonzentrationen mit der Sickerwassermenge. Abschließend werden mittels einer Stickstoffflächenbilanz die N-Inputs und N-Outputs gegenübergestellt und schlagbezogene Stickstoffsalden errechnet.

4.3.1 NIEDERSCHLAG UND SICKERWASSERMENGE

Das Sickerwasser ist das Transportmittel für den Austrag der Nährstoffe aus dem Boden in das Grundwasser. Die Sickerwassermenge hängt von vielen Faktoren ab, unter anderem der Niederschlagshöhe, der Niederschlagsverteilung, der Bodenart, der landwirtschaftlichen Nutzung und der Evapotranspirationsrate (vgl.: EDER, 2001, 63).

Tabelle 45: Niederschlag und Sickerwassermenge der einzelnen Versuchsjahre und Quartale unter Schwerkraftlysimeter im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Jahr	Quartal	Niederschlag [mm]	niedriges Düngungsniveau		hohes Düngungsniveau		Ø über Düngungsniveau	
			Sickerwassermenge [mm]	% SW	Sickerwassermenge [mm]	% SW	Sickerwassermenge [mm]	% SW
2007	I	242	183	75	194	80	188	78
	II	408	195	48	209	51	202	50
	III	644	399	62	429	67	414	64
	IV	356	278	78	279	78	279	78
	Jahres-summe	1649	1055	64	1110	67	1083	66
2008	I	231	208	90	218	94	213	92
	II	340	120	35	123	36	122	36
	III	459	132	29	161	35	146	32
	IV	303	218	72	230	76	224	74
	Jahres-summe	1332	678	51	732	55	705	53
2009	I	387	232	60	235	61	233	60
	II	595	278	47	299	50	289	48
	III	508	226	45	252	50	239	47
	IV	230	107	47	113	49	110	48
	Jahres-summe	1720	844	49	898	52	871	51
2010	I	164	126	77	141	86	133	81
	II	517	249	48	266	52	258	50
	III	435	154	35	177	41	166	38
	IV	185	120	65	143	77	131	71
	Jahres-summe	1301	649	50	727	56	688	53
Ø über Jahre	I	256	187	73	197	77	192	75
	II	465	211	45	224	48	217	47
	III	511	228	45	255	50	241	47
	IV	269	181	67	191	71	186	69
	Jahres-summe	1501	806	54	867	58	837	56
Σ über Jahre		6003	3226	54	3467	58	3346	56

Die Jahresniederschlagssummen liegen auf einem hohen durchschnittlichen Niveau von 1501 mm. Das niederschlagsreichste Versuchsjahr war 2009 mit 1720 mm, gefolgt vom Jahr 2007 mit 1649 mm. In den Jahren 2008 mit 1332 mm und 2010 mit 1301 mm Jahresniederschlag fiel um ca. ein Drittel weniger Niederschlag. Im ersten und zweiten Versuchsjahr sind jeweils im dritten Quartal die meisten Niederschläge gefallen, gefolgt vom zweiten Quartal, im ersten Quartal waren es die niedrigsten. 2009 und 2010 hingegen regnete es im zweiten Quartal am meisten, gefolgt vom Dritten.

Ein ähnliches Bild zeigt die mit den Schwerkraftlysometern gemessene Sickerwassermenge in mm, wobei hier im Anlagejahr 2007 die höchsten Mengen mit 1083 mm gebildet wurden, da der Pflanzenbestand noch nicht vollkommen entwickelt war und dadurch weniger Wasser von den Pflanzen aufgenommen wurde. In den drei Hauptnutzungsjahren wurde das meiste Sickerwasser im Jahr 2009 mit 871 mm gebildet, gefolgt vom Jahr 2008 mit 705 mm und dem Jahr 2010 mit 688 mm. Im Durchschnitt wurden in den Schwerkraftlysometern 837 mm Sickerwasser pro Jahr gemessen. Unter dem hohen Düngungsniveau wurde jeweils mehr Sickerwasser gebildet als unter dem niedrigen. Eine sinnvolle Erklärung hierfür gibt es jedoch nicht, da man erwarten würde, dass durch den höheren Ernteertrag am hohen Düngungsniveau auch mehr Wasser verbraucht wird.

Im ersten Versuchsjahr betrug die Sickerwasserrate (= prozentueller Anteil des Sickerwassers am Niederschlag) 64 % beim niedrigen und 67 % beim hohen Düngungsniveau, in den Folgejahren waren es in etwa 10-15 % weniger. In Winkelhof wurde in etwa die Hälfte des Niederschlags von den Pflanzen aufgenommen oder verdunstete, die andere Hälfte wurde als Sickerwasser ausgetragen.

Die Sickerwasserbildung lag aufgrund der vielen Niederschläge auf einem hohen Niveau. Das zeigt auch der Vergleich zu anderen, österreichischen Versuchen mit Grünlandbewuchs.

Der Standort Obere Pettenbachrinne (426 m Seehöhe) im Versuch „Erfassung und Bewertung der Sickerwasserquantität und –qualität im Pilotprojekt zur Grundwassersanierung in Oberösterreich“ liegt auf einer ähnlichen Seehöhe wie Winkelhof. In dem sechsjährigen Versuch (1995-2000) lagen die Niederschläge im Mittel bei 1052 mm und die Sickerwassermengen unter Grünland bei 451 mm (vgl. MURER, 2011).

Am Standort Gumpenstein (700 m Seehöhe) betrug der mittlere Niederschlag eines vierjährigen Grünlandversuches 1131 mm und die Sickerwassermenge 431 mm (vgl.: BOHNER et al., 2007).

Im Anlagejahr wurde das meiste Sickerwasser im dritten Quartal gebildet, 2008 im vierten Quartal und 2009 und 2010 im zweiten Quartal. Diese Zeitperioden sind im Untersuchungsgebiet am ehesten auswaschungsgefährdet.

Tabelle 46 zeigt die deskriptive Statistik der Jahressickerwassermenge in mm, welche sich durch Aufsummieren der bei den einzelnen Beprobungsterminen erhobenen Sickerwassermengen für den Zeitraum 1.1 bis 31.12 pro Jahr ergeben. Anschließend sind in Tabelle 47 die Ergebnisse der multiplen Varianzanalyse bzw. des Kruskal-Wallis-Tests (mit * gekennzeichnet) abgebildet.

Tabelle 46: Jahressickerwassermenge im Lysimetervergleichsversuch Winkelhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau				Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010				
$\bar{x}$	1055,0 ^a	677,7 ^a	844,2 ^a	648,8 ^a	1110,3 ^a	731,8 ^a	898,1 ^a	726,5 ^b	1082,65	704,78	871,2 ^k	687,7 ^l
Med	1072,28	659,12	853,13	648,82	1116,00	740,46	900,24	728,34	1073,14	707,28	864,88	682,03
s	31,49	32,51	37,62	9,32	65,13	29,21	44,26	19,78	54,89	40,53	47,13	44,76
min	1018,61	658,80	802,98	639,50	1042,56	699,29	852,88	705,92	1018,61	658,80	802,98	639,50
max	1074,00	715,26	876,62	658,14	1172,44	755,77	941,32	745,35	1172,44	755,77	941,32	745,35

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 47: Varianzanalytische Auswertungen der Jahressickerwassermenge im Lysimetervergleichsversuch Winkelhof

abhängige Variable Jahressickerwassermenge [mm]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010
Jahr					0,014
Düngung	0,275	0,127	0,275	0,050	0,097
Wiederholung	0,867	0,368	0,651	1,000	0,645
Düngung*Wiederholung					0,544
Jahr*Wiederholung					0,807
Jahr*Düngung					0,644
R ²					0,976
korrigiertes R ²					0,869

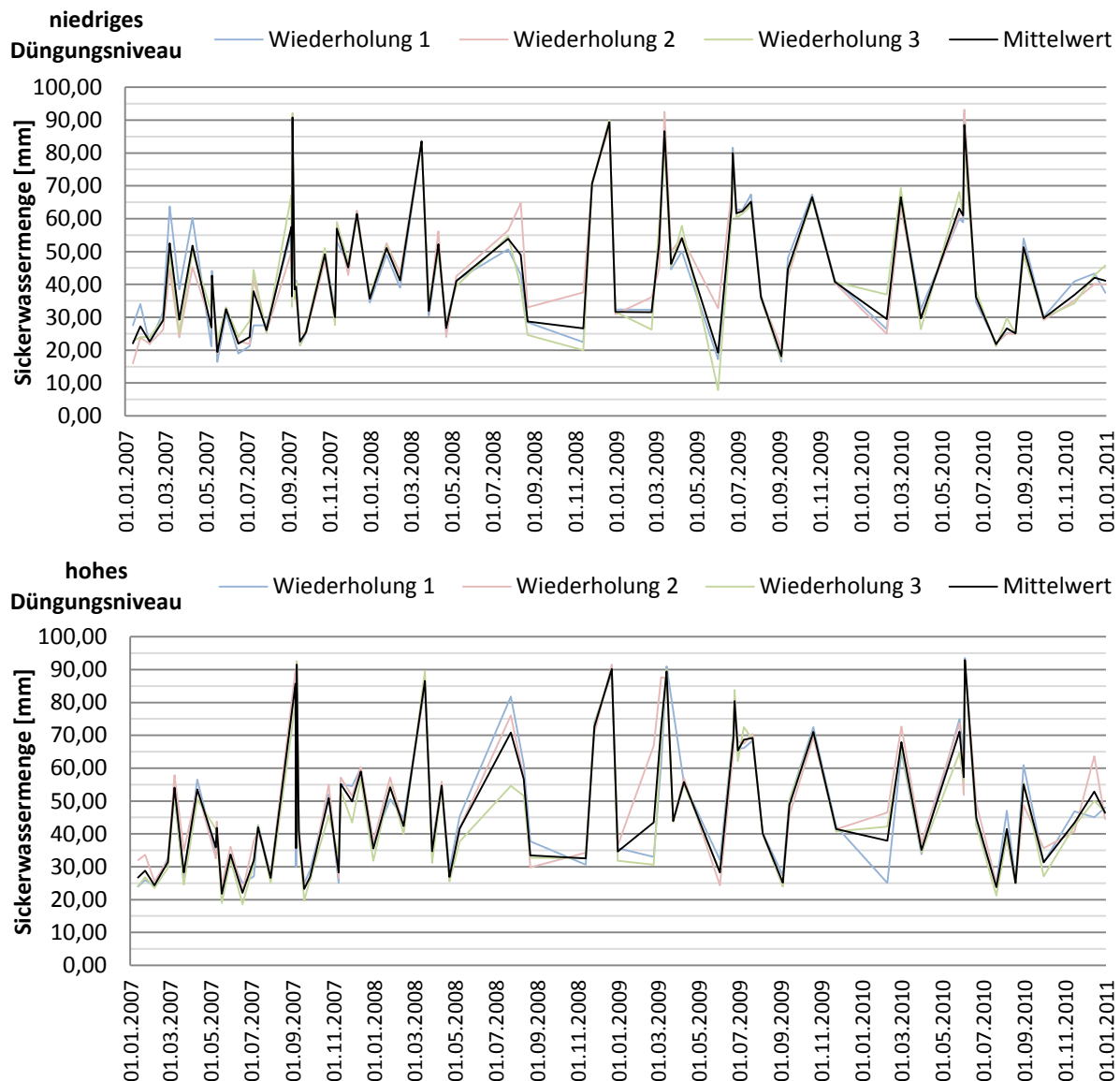
p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

Im Anlagejahr 2007 und in den Hauptnutzungsjahren 2008 und 2009 zeigt sich ein nicht signifikanter Einfluss der Faktoren Düngung und Wiederholung auf die Jahressickerwassermenge. Im dritten Hauptnutzungsjahr 2010 hat hingegen der Faktor Düngung einen signifikanten Einfluss.

Die Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt einen signifikanten Einfluss des Faktors Jahr, die Faktoren Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf die Jahressickerwassermenge.

In Abbildung 20 ist nun der Verlauf der Sickerwassermenge über den gesamten Versuchszeitraum für die Schwerkraftlysimetervariante jeweils für das niedrige und hohe Düngungsniveau dargestellt. Markante Ereignisse sind mit den Werten (jeweils Mittelwert der drei Wiederholungen) gekennzeichnet. Die Sickerwassermengenmessung und -beprobung erfolgte nicht in gleichmäßigen Abständen, daher werden die Zeiträume, in denen es zu hohen Mengen kam, angegeben.

Abbildung 20: Sickerwasserverlauf der Schwerkraftlysimetervariante über den gesamten Versuchszeitraum



Die höchste Sickerwassermenge (niedriges Düngungsniveau 90,85 mm bzw. hohes Düngungsniveau 91,49 mm) im Anlagejahr wurde zwischen 06.09.2007 und 07.09.2007 gebildet. Im ersten Hauptnutzungsjahr sind zwei hohe Ausschläge nach oben zu verzeichnen, zum einen im Zeitraum 14.02.2008 bis 17.03.2008 83,52mm bzw. 86,48 mm und zum anderen zwischen 26.11.2009 und 22.12.2009 89,38 mm bzw. 90,14 mm.

Im zweiten Hauptnutzungsjahr sammelten die Schwerkraftlysimeter im Zeitraum 06.03.2009 bis 14.03.2009 (86,60 mm bzw. 89,42 mm) und 22.06.2009 bis 25.06.2009 (79,93 mm bzw. 90,43 mm) die höchsten Mengen an Sickerwasser, im dritten Hauptnutzungsjahr zwischen 02.06.2010 und 04.06.2010 (88,55 mm bzw. 92,91 mm). Den hohen Sickerwassermengen gehen jeweils hohe Niederschläge voraus. Eine genaue Zuordnung ist aufgrund der unregelmäßigen Sickerwassermengenerhebung äußerst schwierig.

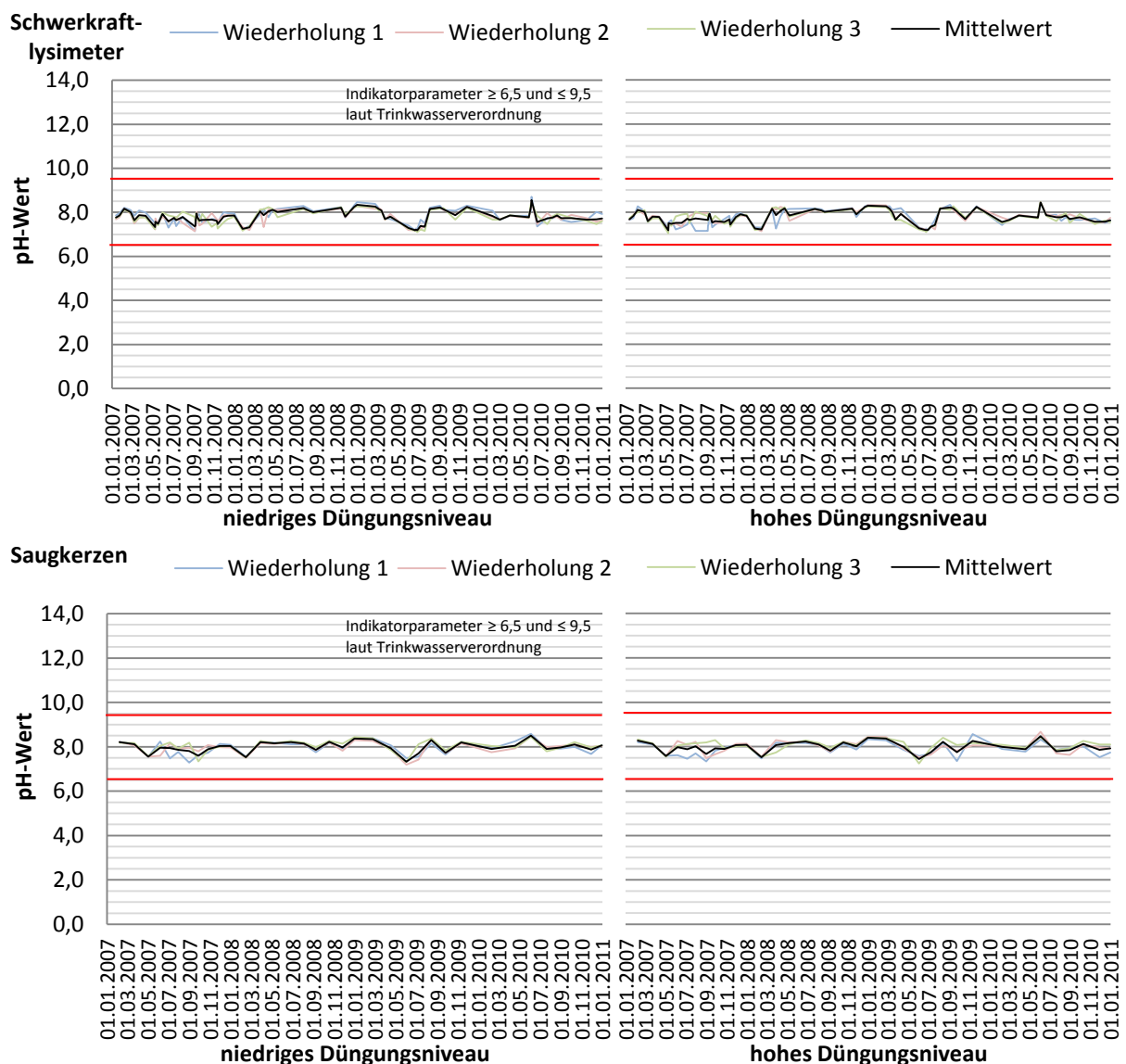
4.3.2 pH-WERT, ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT UND NÄHRSTOFFKONZENTRATIONEN IM SICKERWASSER

In diesem Unterkapitel werden der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit und die einzelnen Nährstoffkonzentrationen für Natrium, Ammonium, Kalium, Calcium, Magnesium, Chlorid, Nitrit, Nitrat, Gesamtphosphor und Sulfat der mittels Schwerkraftlysimeter und Saugkerzen gewonnenen Sickerwässer erläutert.

4.3.2.1 pH-Wert des Sickerwassers

Der pH-Wert gibt einen Hinweis auf das Korrosionsverhalten des Wassers und liegt in natürlich vorkommendem Wasser üblicherweise bei 5,5 bis 8,5. Leicht saures Wasser greift schon metallische und zementgebundene Werkstoffe an (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 35).

Abbildung 21: Verlauf des pH-Wertes im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum



In Abbildung 21 ist der Verlauf des pH-Wertes über den gesamten Versuchszeitraum zu sehen, der zwischen 7,0 und 8,7 Einheiten schwankt. Die roten Linien geben jeweils den Indikatorparameter von $\geq 6,5$ und $\leq 9,5$ pH-Einheiten an.

Der pH-Wert des Sickerwassers liegt im Anlagejahr bei beiden Düngungsvarianten bei 7,8^a (siehe Tabelle 48). Der Faktor Düngung hatte wie auch die Wiederholung keinen signifikanten Einfluss. Allerdings hat der Faktor Lysimetersystem einen hochsignifikanten Einfluss auf den pH-Wert, womit sich die Saugkerzenvariante hochsignifikant von der Schwerkraftlysimetervariante unterscheidet (siehe Tabelle 49).

Im ersten Hauptnutzungsjahr befindet sich der pH-Wert sowohl beim niedrigen wie auch beim hohen Düngungsniveau bei 8,0^a. Somit haben auch in diesem Jahr weder die Faktoren Düngung und Wiederholung noch das Lysimetersystem einen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert.

Tabelle 48: pH-Werte des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau			Ø Schwerkraft-lysimeter		
	Saugkerze	Schwerkraft-lysimeter	Ø niedriges Düngungsniveau	Saugkerze	Schwerkraft-lysimeter	Ø hohes Düngungsniveau	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft-lysimeter	Ø Jahr
pH-Wert									
2007									
$\bar{x}$	7,9	7,7	7,8 ^a	8,0	7,7	7,8 ^a	7,9 ^f	7,7 ^e	7,8
Med	8,0	7,8	7,8	8,1	7,7	7,8	8,0	7,7	7,8
s	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
min	7,3	7,1	7,1	7,3	7,0	7,0	7,3	7,0	7,0
max	8,2	8,2	8,2	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
2008									
$\bar{x}$	8,1	8,0	8,0 ^a	8,1	8,0	8,0 ^a	8,1 ^e	8,0 ^e	8,0
Med	8,2	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,2	8,1	8,1
s	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
min	7,5	7,2	7,2	7,5	7,1	7,1	7,5	7,1	7,1
max	8,4	8,5	8,5	8,5	8,3	8,5	8,5	8,5	8,5
2009									
$\bar{x}$	7,9	7,8	7,8 ^a	8,0	7,8	7,8 ^a	8,0 ^f	7,8 ^e	7,8 ^k
Med	8,1	7,8	7,9	8,1	7,7	7,9	8,1	7,8	7,9
s	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
min	7,2	7,1	7,1	7,2	7,1	7,1	7,2	7,1	7,1
max	8,4	8,4	8,4	8,6	8,3	8,6	8,6	8,4	8,6
2010									
$\bar{x}$	8,0	7,8	7,9 ^a	8,0	7,8	7,9 ^a	8,0 ^f	7,8 ^e	7,9 ^k
Med	8,0	7,8	7,9	8,0	7,8	7,8	8,0	7,8	7,8
s	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
min	7,7	7,4	7,4	7,5	7,4	7,4	7,5	7,4	7,4
max	8,6	8,7	8,7	8,7	8,5	8,7	8,7	8,7	8,7

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 49: Varianzanalytische Auswertungen zum pH-Wert im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

pH-Wert	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,706
Lysimetersystem	0,000	0,085	0,016	0,000	0,000
Düngung	0,813	0,828	0,982	0,288	0,647
Wiederholung	0,254	0,791	0,606	0,749	0,974
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant				

Im zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr liegen die pH-Werte bei 7,8^a und 7,9^a jeweils für beide Düngungsvarianten. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben 2009 und 2010 keinen signifikanten Einfluss, der Faktor Lysimetersystem hat 2009 einen signifikanten und 2010 einen hochsignifikanten Einfluss auf den pH-Wert.

Der Faktor Jahr hat bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 keinen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert.

Laut Trinkwasserverordnung BGBl. II Nr. 304/2001 Anhang I Teil C liegt der Indikatorparameter für die Wasserstoffionenkonzentration bzw. den pH-Wert bei $\geq 6,5$ und $\leq 9,5$ pH-Einheiten. Bei der Überschreitung der Indikatorparameter ist die Ursache zu prüfen und festzustellen (vgl.: TRINKWASSERVERORDNUNG BGBl. II NR. 304/2001 i. d. g. F.). Der pH-Wert liegt während des gesamten Versuchszeitraums im Mittel im leicht basischen Bereich (siehe Tabelle 50) und es ist zu keiner Überschreitung des Indikatorparameters gekommen.

Tabelle 50: pH-Wert Einteilung für Wasser

pH 0 bis 4	stark sauer
pH 4 bis 6,5	leicht sauer
pH 6,5 bis 7,5	neutral
pH 7,5 bis 9	leicht basisch
pH 9 bis 14	stark basisch

Quelle: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 35.

4.3.2.2 Elektrische Leitfähigkeit des Sickerwassers

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß für die Salzkonzentration des Sickerwassers, ihre Art und Menge ist von den vorhandenen Ionen abhängig und ein Maß für den Mineraliengehalt. Weiche Wässer haben niedrige Werte, härtere Wässer haben hohe Werte. Der Indikatorparameterwert laut Trinkwasserverordnung BGBl. II Nr. 304/2001 Anhang I Teil B liegt bei $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C (vgl.: TRINKWASSERVERORDNUNG BGBl. II NR. 304/2001 i. d. g. F. und AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 32).

Im Anlagejahr befindet sich die elektrische Leitfähigkeit (eL) der untersuchten Sickerwässer zwischen $494,42^a \mu\text{S}/\text{cm}$ (niedriges Düngungsniveau) und $488,64^a \mu\text{S}/\text{cm}$ (hohes Düngungsniveau), wobei die Faktoren Düngung, Wiederholung und Lysimetersystem keinen signifikanten Einfluss haben (siehe Tabelle 51). 2008 liegt die elektrische Leitfähigkeit bei $369,52^a$ beim niedrigen und bei $368,55^a$ beim hohen Düngungsniveau und damit deutlich niedriger als 2007. Auch 2008 haben die Faktoren Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss, allerdings hat der Faktor Lysimetersystem einen hochsignifikanten Einfluss (siehe Tabelle 52).

Tabelle 51: Elektrische Leitfähigkeit des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
eL [$\mu\text{S}/\text{cm}$]									
2007									
$\bar{x}$	470,61	503,77	494,42 ^a	484,97	490,10	488,64 ^a	477,79 ^e	496,98 ^e	491,54
Med	454,00	461,00	458,00	470,00	491,00	490,00	456,50	471,00	464,00
s	51,59	144,55	126,13	66,56	138,34	122,00	59,53	141,24	123,86
min	392,00	311,00	311,00	387,00	28,00	28,00	387,00	28,00	28,00
max	584,00	981,00	981,00	622,00	827,00	827,00	622,00	981,00	981,00
2008									
$\bar{x}$	422,93	335,19	369,52 ^a	431,33	328,19	368,55 ^a	427,13 ^f	331,69 ^e	369,04
Med	413,00	351,00	380,00	423,00	336,00	366,00	415,00	338,00	369,50
s	75,64	70,82	84,09	92,76	68,01	93,01	83,94	69,10	88,34
min	274,00	222,00	222,00	265,00	210,00	210,00	265,00	210,00	210,00
max	547,00	485,00	547,00	574,00	444,00	574,00	574,00	485,00	574,00

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft- lysimeter	Ø Jahr
2009									
$\bar{x}$	461,38	446,63	451,06 ^a	483,00	432,38	448,01 ^a	472,19 ^f	439,66 ^e	449,56 ^k
Med	486,00	428,00	439,00	505,00	424,00	451,00	492,00	426,00	445,50
s	101,88	92,02	94,58	82,32	99,83	97,06	92,13	95,68	95,47
min	220,00	308,00	220,00	350,00	300,00	300,00	220,00	300,00	220,00
max	618,00	631,00	631,00	598,00	605,00	605,00	618,00	631,00	631,00
2010									
$\bar{x}$	500,88	444,51	464,12 ^a	528,79	461,20	484,71 ^a	514,83 ^f	452,86 ^e	474,41 ^l
Med	510,50	503,00	503,00	558,50	481,00	505,00	527,50	493,50	503,00
s	122,07	121,97	124,09	123,55	120,27	124,80	122,32	120,73	124,42
min	258,00	240,00	240,00	280,00	238,00	238,00	258,00	238,00	238,00
max	656,00	626,00	656,00	679,00	665,00	679,00	679,00	665,00	679,00

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Im zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr ist die elektrische Leitfähigkeit wieder auf 451,06^a und 464,12^a $\mu\text{S}/\text{cm}$ beim niedrigen und 448,01^a und 484,71^a $\mu\text{S}/\text{cm}$ beim hohen Düngungsniveau angestiegen. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben 2009 und 2010 keinen signifikanten, der Faktor Lysimetersystem einen signifikanten Einfluss auf die elektrische Leitfähigkeit. Einen signifikanten Einfluss ergibt der Faktor Jahr bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010.

Die elektrische Leitfähigkeit liegt somit über den gesamten Versuchszeitraum auf einem mittleren Niveau und innerhalb des Indikatorparameterwerts von 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ der Trinkwasserverordnung.

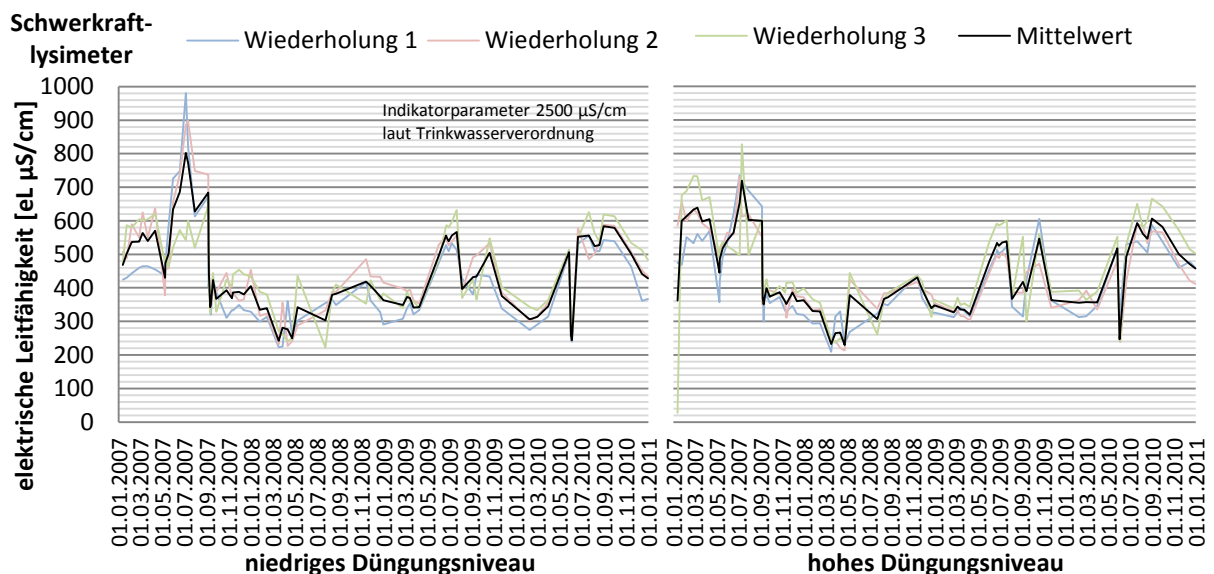
Tabelle 52: Varianzanalytische Auswertungen zur elektrischen Leitfähigkeit im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

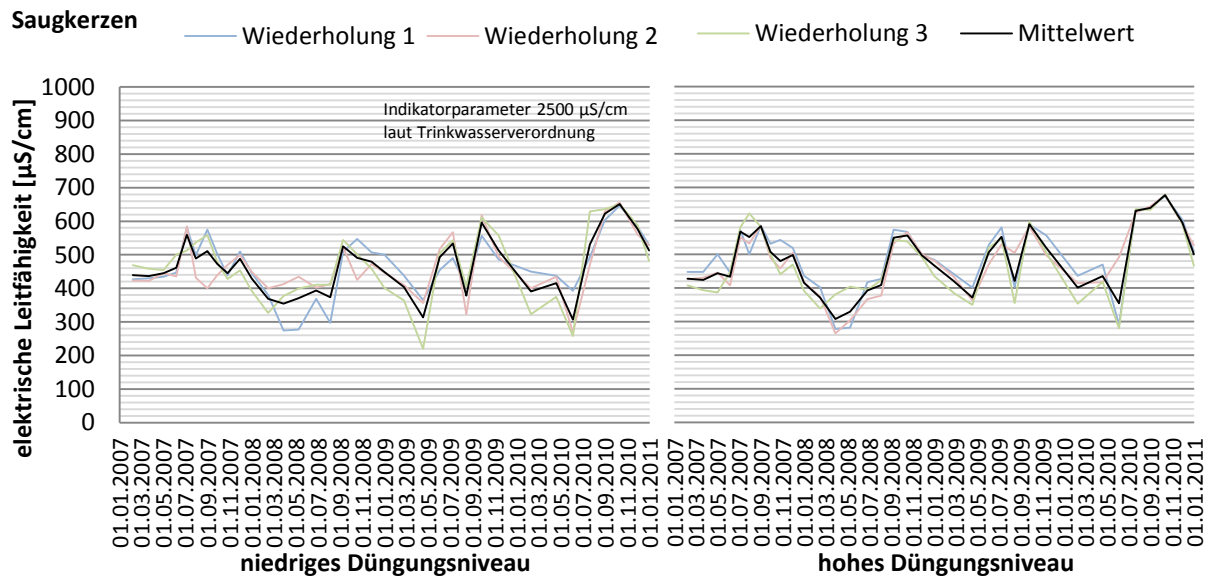
eL [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,039
Lysimetersystem	0,989	0,000	0,036	0,005	0,001
Düngung	0,998	0,764	0,697	0,366	0,601
Wiederholung	0,272	0,266	0,307	0,394	0,144

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant $\geq 0,05$ nicht signifikant

In Abbildung 22 ist der Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit in den Sickerwässern zu sehen.

Abbildung 22: Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum





Zwei Ausschläge des Verlaufs sind auffällig. Im Anlagejahr kam es im Juli zu einem Anstieg der Leitfähigkeit. Im Jahr 2010 fällt der rasante Ausschlag nach unten im Juni auf. Ansonsten verlief die elektrische Leitfähigkeit relativ stark schwankend, was auf doch recht unterschiedliche Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser im Verlauf des Beobachtungszeitraumes schließen lässt.

4.3.2.3 Natrium-Konzentration des Sickerwassers

Natrium hat als einwertiges Kation (Alkalimetall) einen relativ großen effektiven Ionenradius, weshalb es in Grünlandböden sehr schlecht absorbiert und bevorzugt mit dem Sickerwasser ausgewaschen wird. Es wird von den Grünlandpflanzen bei der Ionenaufnahme stark diskriminiert (vgl.: BOHNER et al., 2007, 97).

Natrium ist das sechsthäufigste Element der Erdkruste, welche zu 2,5 % aus Natrium besteht. Es ist ein essenzieller Mineralstoff, welches wichtige Funktionen im Körper z. B. bei der Regulierung des osmotischen Drucks in der Zelle hat. Der winterliche Straßendienst und die Abwasserentsorgung sind die Hauptverursacher für erhöhte Natriumkonzentrationen im Grundwasser. Weiters können geringe Mengen über Wirtschaftsdünger und über atmosphärische Deposition ins Grundwasser gelangen. Natriumhaltige Grundgesteine können ebenfalls zur Grundbelastung beitragen (vgl.: CEPUDER, 2008, 16ff).

Laut Trinkwasserverordnung BGBl. II Nr. 304/2001 Anhang I Teil C liegt der Indikatorparameterwert für Natrium bei 200 mg/l (vgl.: TRINKWASSERVERORDNUNG BGBl. II NR. 304/2001 i. d. g. F.).

Im Anlagejahr 2007 (siehe Tabelle 53) liegt die Natrium Konzentration (Na-Konz.) bei 0,98^a mg/l beim niedrigen und 1,07^b mg/l beim hohen Düngungsniveau, der Faktor Düngung hat einen signifikanten, die Faktoren Lysimetersystem und Wiederholung einen hochsignifikanten Einfluss (siehe Tabelle 54) auf die Na-Konzentration. Im ersten Hauptnutzungsjahr befindet sich die Na-Konzentration bei 0,88^a mg/l beim niedrigen und 0,90^a mg/l beim hohen Düngungsniveau, womit der Faktor Düngung keinen signifikanten Einfluss hat und die Wiederholung ebenfalls. Der Faktor Lysimetersystem hingegen hat einen hochsignifikanten Einfluss auf die Na-Konzentration.

Im zweiten Hauptnutzungsjahr liegt die Na-Konzentration im Sickerwasser bei 0,85^a mg/l beim niedrigen und 1,09^b mg/l beim hohen Düngungsniveau und im dritten Hauptnutzungsjahr bei 1,11^a mg/l und 143^b mg/l. Der Faktor Düngung hat jeweils einen signifikanten, der Faktor Wiederholung jeweils keinen signifikanten Einfluss auf die Na-Konzentration. Die Saugkerzenvarianten unterscheiden sich im zweiten Hauptnutzungsjahr hoch signifikant und im dritten Hauptnutzungsjahr signifikant von den Schwerkraftlysimetervarianten.

Bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt sich ein hochsignifikanter Einfluss des Faktors Jahr.

Tabelle 53: Natriumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
Na-Konz. [mg/l]									
2007									
$\bar{x}$	1,18	0,90	0,98 ^a	1,22	1,02	1,07 ^b	1,20 ^f	0,96 ^e	1,02
Med	1,20	0,88	0,94	1,21	1,04	1,06	1,20	0,94	1,00
s	0,25	0,16	0,23	0,35	0,21	0,27	0,30	0,20	0,25
min	0,33	0,57	0,33	0,75	0,49	0,49	0,33	0,49	0,33
max	1,57	1,26	1,57	2,28	1,47	2,28	2,28	1,47	2,28
2008									
$\bar{x}$	1,07	0,75	0,88 ^a	1,06	0,80	0,90 ^a	1,06 ^f	0,78 ^e	0,89
Med	0,94	0,72	0,83	1,04	0,78	0,89	1,02	0,75	0,84
s	0,57	0,21	0,42	0,22	0,24	0,26	0,43	0,23	0,35
min	0,07	0,50	0,07	0,72	0,40	0,40	0,07	0,40	0,07
max	3,58	1,73	3,58	1,69	1,48	1,69	3,58	1,73	3,58
2009									
$\bar{x}$	0,93	0,82	0,85 ^a	1,25	1,02	1,09 ^b	1,09 ^f	0,92 ^e	0,97 ^k
Med	0,89	0,82	0,84	1,12	0,87	0,94	1,02	0,85	0,89
s	0,27	0,25	0,26	0,46	1,00	0,87	0,41	0,72	0,65
min	0,30	0,48	0,30	0,71	0,01	0,01	0,30	0,01	0,01
max	1,56	1,50	1,56	2,44	7,42	7,42	2,44	7,42	7,42
2010									
$\bar{x}$	1,36	0,98	1,11 ^a	1,70	1,29	1,43 ^b	1,53 ^f	1,14 ^e	1,27 ^l
Med	1,22	0,88	1,06	1,39	1,27	1,28	1,26	1,03	1,19
s	0,61	0,49	0,56	0,88	0,63	0,75	0,77	0,58	0,68
min	0,56	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
max	2,77	2,11	2,77	3,34	2,67	3,34	3,34	2,67	3,34

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

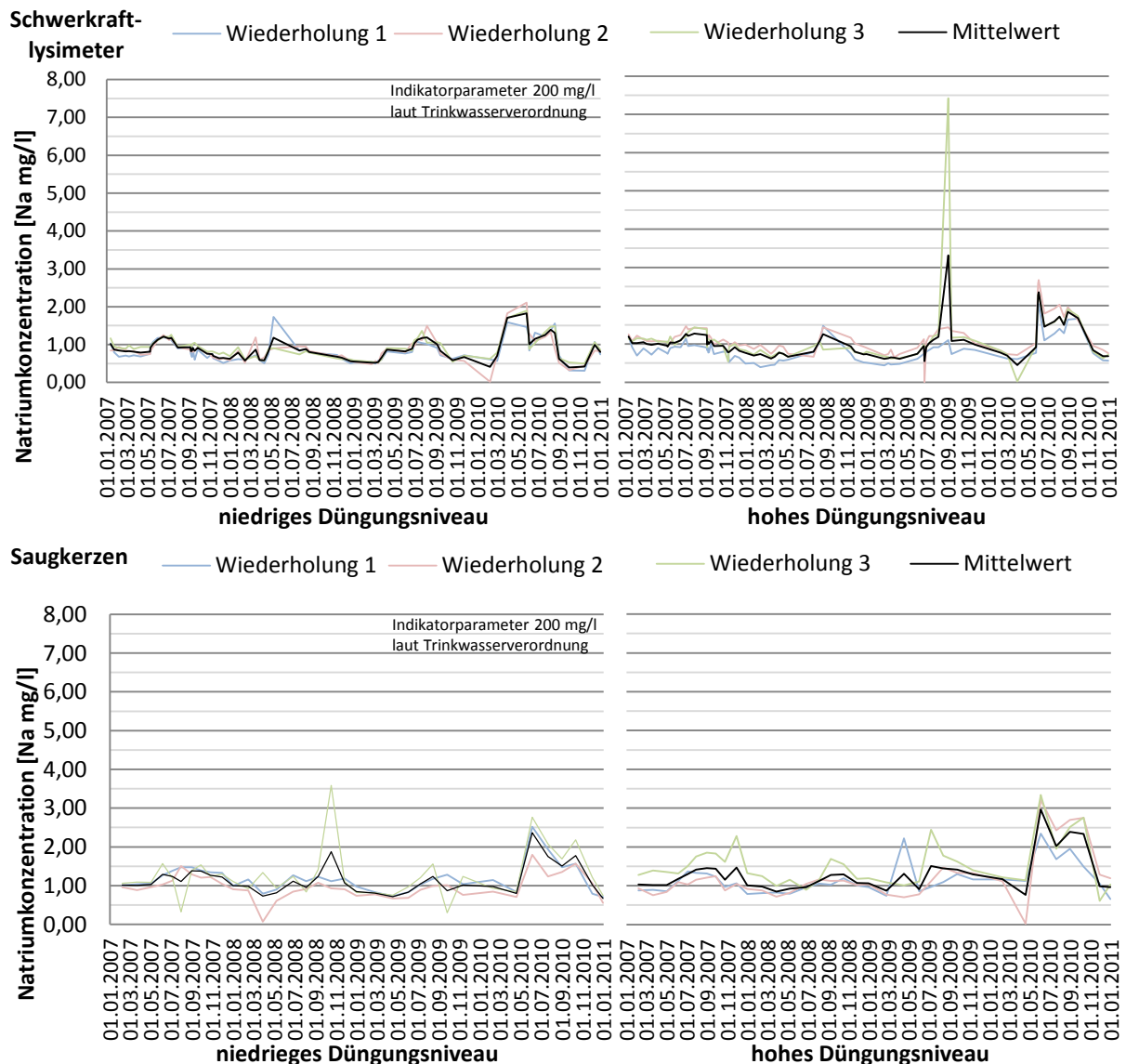
k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 54: Varianzanalytische Auswertungen zur Natriumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Na-Konz. [mg/l]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,000
Lysimetersystem	0,000	0,000	0,001	0,004	0,000
Düngung	0,003	0,149	0,020	0,008	0,001
Wiederholung	0,000	0,164	0,052	0,583	0,144
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

Die Natriumkonzentrationen im Sickerwasser liegen über den vierjährigen Versuchszeitraum auf einem sehr niedrigen Niveau. Der Verlauf der Na-Konzentration verläuft in beiden Lysimetersystemen tendenziell sehr ähnlich, auch wenn die Saugkerzenanlage durchschnittlich etwas höhere Konzentrationen als die Schwerkraftlysimeteranlage ergeben hat. Der Indikatorparameter laut Trinkwasserverordnung wurde keinesfalls überschritten.

Abbildung 23: Verlauf der Natriumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum



4.3.2.4 Ammonium-Konzentration des Sickerwassers

Da Ammonium als Abbauprodukt von organischer Substanz (auch in Jauche, Mist, etc.) auftritt, ist es ein Verschmutzungsindikator in hygienischer Hinsicht. In Tiefenwässern kann Ammonium aufgrund von Reduktionsvorgängen entstehen und geogen bedingt vorkommen, in diesem Fall sind Trinkwasserverordnung BGBl. II Nr. 304/2001 Anhang I Teil C Überschreitungen bis 5 mg/l zulässig. Ansonsten befindet sich der Indikatorparameter laut Trinkwasserverordnung Anhang I Teil C bei 0,5 mg/l und der Schwellenwert laut Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser BGBl. II Nr. 98/2010 Anlage 1 bei 0,45 mg/l. Brunnen, bei denen kein Tiefenwasser vorliegt, müssen bei erhöhten Werten auf eine mögliche Verunreinigung hin untersucht werden. Einerseits wird Ammonium im Boden beim Umsetzen von organischer Substanz gebildet, andererseits durch Düngung mit Wirtschaftsdünger, Ammoniakdünger und Harnstoff zugeführt (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 26).

Die Ammoniumkonzentration (NH_4 -Konz.) befindet sich im Anlagejahr bei $0,10^a$ mg/l beim niedrigen und $0,11^a$ mg/l beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 55). Während auf der Schwerkraftlysimetervariante der Indikatorparameter von 0,5 mg/l nur am 11.4.2007 auf der niedrigen Düngungsstufe Wiederholung 3 überschritten wurde, kam es auf den Saugkerzenvarianten von Mai bis Oktober laufend zu Überschreitungen (siehe Abbildung 24).

Eine mögliche Ursache für die erhöhte NH_4 -Konzentration auf der Schwerkraftlysimetervariante ist die erhöhte Mineralisierung aufgrund des Umbruches am 3.4.2007. Der Faktor Lysimetersystem hat somit einen hochsignifikanten, die Faktoren Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf die NH_4 -Konzentration im Anlagejahr (siehe Tabelle 56).

Tabelle 55: Ammoniumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winkhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
NH_4-Konz. [mg/l]									
2007									
$\bar{x}$	0,26	0,04	0,10 ^a	0,28	0,04	0,11 ^a	0,27 ^f	0,04 ^e	0,11
Med	0,07	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03
s	0,43	0,07	0,25	0,43	0,04	0,25	0,43	0,05	0,25
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	2,08	0,57	2,08	1,54	0,29	1,54	2,08	0,57	2,08
2008									
$\bar{x}$	0,15	0,04	0,08 ^a	0,16	0,06	0,10 ^a	0,15 ^f	0,05 ^e	0,09
Med	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
s	0,31	0,12	0,22	0,28	0,16	0,22	0,29	0,14	0,22
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	1,48	0,78	1,48	1,06	0,91	1,06	1,48	0,91	1,48
2009									
$\bar{x}$	0,18	0,02	0,07 ^a	0,22	0,02	0,08 ^a	0,20 ^f	0,02 ^e	0,08 ^k
Med	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
s	0,32	0,03	0,19	0,36	0,02	0,22	0,34	0,03	0,21
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	1,13	0,22	1,13	1,14	0,11	1,14	1,14	0,22	1,14
2010									
$\bar{x}$	0,29	0,17	0,21 ^a	0,55	0,17	0,30 ^a	0,42 ^f	0,17 ^e	0,26 ^l
Med	0,16	0,07	0,07	0,34	0,09	0,11	0,20	0,08	0,10
s	0,36	0,29	0,32	0,67	0,25	0,48	0,55	0,27	0,41
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	1,10	1,68	1,68	2,41	1,33	2,41	2,41	1,68	2,41

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 56: Varianzanalytische Auswertungen zur Ammoniumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winkhof

NH_4 -Konz. [mg/l]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,000
Lysimetersystem	0,000	0,007	0,002	0,009	0,000
Düngung	0,928	0,273	0,751	0,371	0,452
Wiederholung	0,421	0,151	0,001	0,400	0,027

p-Werte bei Konfidenzniveau 95%

< 0,001 hoch signifikant

< 0,05 signifikant

>= 0,05 nicht signifikant

Im ersten Hauptnutzungsjahr 2008 liegt die Ammoniumkonzentration mit 0,08^a mg/l beim niedrigen und 0,10^a mg/l beim hohen Düngungsniveau auf einem ähnlichen Niveau wie 2007. Auf den Schwerkraftlysimetervarianten kam es Mitte August (12.8.2008 beim niedrigen und 22.8.2008 beim hohen Düngungsniveau), auf den Saugkerzenvarianten am 28.3 und 8.9.2008 beim niedrigen und 4.8 und 8.9.2008 beim hohen Düngungsniveau zu Überschreitungen des Indikatorparameters. Die hohe NH_4 -Konzentration auf den Schwerkraftlysimetervarianten im August ist nicht eindeutig erklärbar. Auch in diesem Jahr hatten die Faktoren Düngung und Wiederholung keinen signifikanten und der Faktor Lysimetersystem einen signifikanten Einfluss auf die NH_4 -Konzentration.

Im zweiten Hauptnutzungsjahr liegt die Ammoniumkonzentration bei 0,07^a mg/l beim niedrigen und 0,08^a mg/l beim hohen Düngungsniveau. Auf der Schwerkraftlysimetervariante kam es auf beiden Düngungsniveaus zu keiner Überschreitung des Indikatorparameters.

In der Saugkerzenvariante hingegen kam es im Zeitraum August bis November 2009 beim niedrigen und Juli 2009 bis Februar 2010 zu Überschreitungen des Indikatorwertes von 0,5 mg/l. Der Faktor Lysimetersystem ergibt einen signifikanten, der Faktor Düngung keinen signifikanten und der Faktor Wiederholung einen hochsignifikanten Einfluss auf die Ammoniumkonzentration.

Die mittlere NH_4 -Konzentration befindet sich im dritten Hauptnutzungsjahr bei 0,21^a mg/l beim niedrigen und 0,30^a mg/l beim hohen Düngungsniveau. Die mittlere Konzentration ist im Vergleich zu den anderen Versuchsjahren im Jahr 2010 am höchsten. Auf beiden Lysimetersystemen und Düngungsvarianten kam es zu Überschreitungen des Indikatorparameters.

Während die Schwerkraftlysimetervariante am 31.3 und 2.6.2010 (beide Düngungsvarianten) den Indikatorparameter übertraten, kam es auf der Saugkerzenvariante von Juni bis November (niedriges Düngungsniveau) bzw. April bis November (hohes Düngungsniveau) zu Verletzungen. Die hohe NH_4 -Konz. auf der Lysimetervariante im Juni resultiert möglicherweise aus der am 31.5.2010 getätigten Düngung, welche aufgrund sehr hoher Niederschläge mit dem Sickerwasser ausgewaschen wurde.

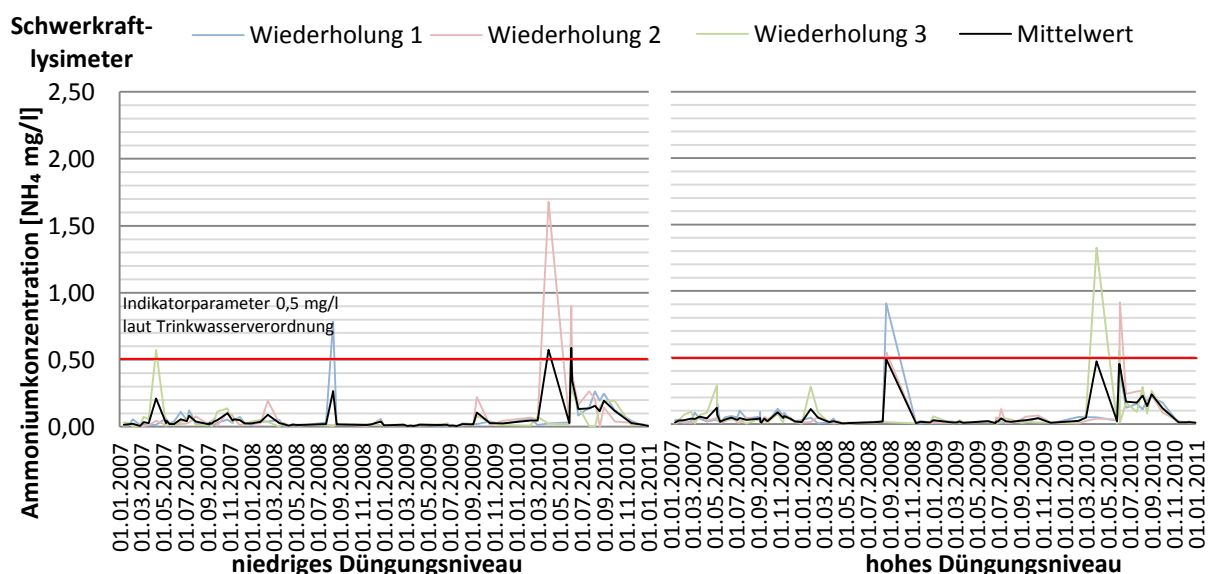
Der Kruskal-Wallis-Test ergibt einen signifikanten Einfluss des Faktors Lysimetersystem und keinen signifikanten Einfluss der Faktoren Düngung und Wiederholung auf die Ammoniumkonzentration. Der Faktor Jahr hat bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 einen hochsignifikanten Einfluss.

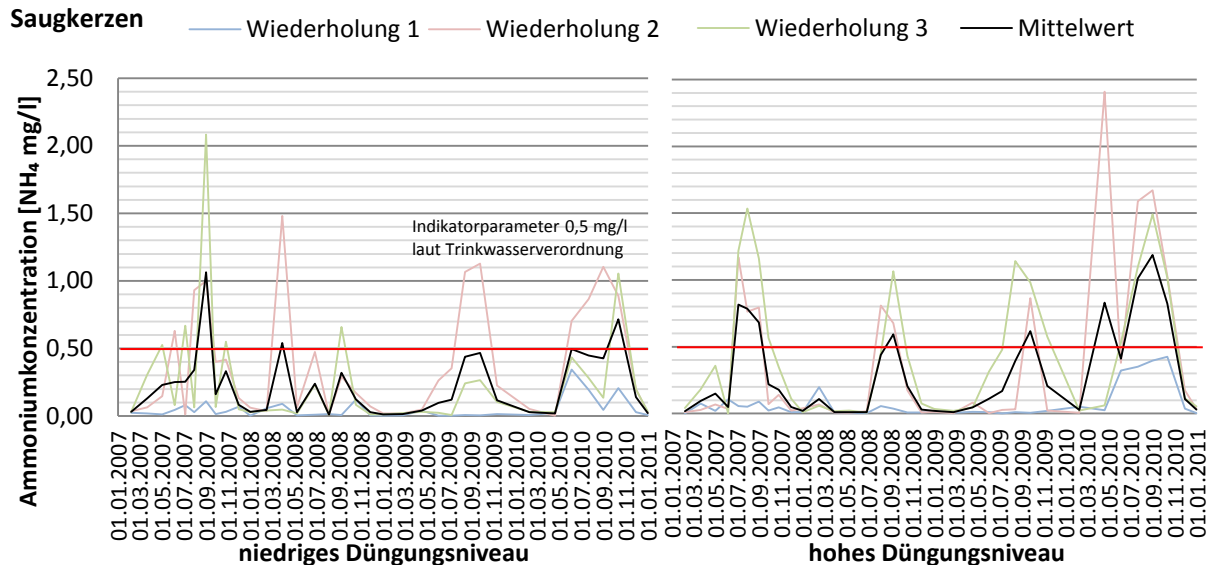
Während der gesamten Versuchsdauer ist eindeutig der hochsignifikante (2007) bzw. signifikante (2008, 2009 und 2010) Einfluss des Faktors Lysimetersystem auf die Ammoniumkonzentration zu erkennen. Die Saugkerzenvariante hat höhere Konzentration als die Schwerkraftlysimetervariante gemessen, wodurch es auch zu häufigeren Überschreitungen des Indikatorparameters gekommen ist.

Die Stickstoffnachlieferung beschreibt die N-Nachlieferung aus dem labilen N-Bodenvorrat durch Mineralisation während der Vegetationsperiode und ist von der Bodenfeuchte und Temperatur abhängig. Die Mineralisierung ist der vollständige mikrobielle Abbau der organischen Substanz zu anorganischen Stoffen (CO_2 , H_2O), bei dem auch die in den organischen Stoffen enthaltenen Pflanzennährelemente (z. B. Mg, Fe, N, S) freigesetzt werden. Hohe Temperaturen und ausreichende Bodenfeuchte fördern die Mineralisation (vgl.: BLUME et al., 2010, 52 und 408).

Das Mineralisierungspotenzial und dadurch auch die Stickstoffnachlieferung sind am Versuchsstandort sehr hoch und liegen über 150 kg N/ha (siehe Kapitel 4.1.4 Stickstoffmineralisierungspotenzial). Auch diese hohen Werte könnten Ursache für die Überschreitung der Ammoniumkonzentration sein.

Abbildung 24: Verlauf der Ammoniumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum





4.3.2.5 Kalium-Konzentration des Sickerwassers

Kalium hat einen Anteil von 2,6 % in der Erdkruste, ist ebenfalls ein Alkalimetall und ist ein essenzieller Mineralstoff für alle Lebewesen. Kalium ist unter anderem neben dem Natrium mitverantwortlich für den osmotischen Druck der Zellen (Na/K-Verhältnis). Vor allem die Landwirtschaft verursacht hohe Kaliumkonzentrationen im Grundwasser, dabei stellen hauptsächlich viehhaltende Betriebe mit kaliumreichem Kraftfutter ein mögliches Potenzial dar, aber auch mineralische Kaliumdünger, obwohl deren Einsatz in den letzten Jahren rückläufig ist. Eine untergeordnete Rolle spielen die atmosphärische Deposition und die Abwasserentsorgung (vgl.: CEPUDER, 2008, 15f).

Im österreichischen Lebensmittelbuch Codexkapitel/B1/Trinkwasser Anhang 3 sind zusätzliche Indikatorparameter, für die in der Trinkwasserverordnung keine Werte vorgesehen sind, enthalten und zur weiteren Sicherstellung der Trinkwasserqualität. Laut Codexkapitel B1 Trinkwasser Anhang 3 liegt der Indikatorwert für Kalium bei 50 (± 5) mg/l (vgl.: BMG, 2011, 44).

„Das Österreichische Lebensmittelbuch (Codex Alimentarius Austriacus) dient zur Verlautbarung von Sachbezeichnungen, Begriffsbestimmungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsgrundsätze sowie von Richtlinien für das Inverkehrbringen von Waren. Das Österreichische Lebensmittelbuch ist aus rechtlicher Sicht als ‚objektivierte Sachverständigengutachten‘ einzustufen. Es ist keine Rechtsvorschrift im engeren Sinn“ (<http://www.bmg.gv.at/>, Stand: November 2011).

In allen natürlichen Wässern findet sich Kalium meist bis zu 5 mg/l, geogen bedingte Überschreitungen sind bis zu 50 mg/l zulässig. Ursache für erhöhte Kaliumgehalte sind in der Regel Verunreinigungen durch Abwasser (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 30).

Die Kaliumkonzentration (K-Konz.) befindet sich im Anlagejahr zwischen 0,30^b mg/l beim niedrigen und 0,26^a mg/l beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 57). Die Faktoren Lysimetersystem und Wiederholung haben einen hochsignifikanten, der Faktor Düngung hat einen signifikanten Einfluss auf die K-Konzentration (siehe Tabelle 58).

Im ersten Hauptnutzungsjahr 2008 unterscheiden sich die zwei Düngungsvarianten nicht signifikant voneinander, die Kaliumkonzentration liegt beim niedrigen Düngungsniveau bei 0,19^a mg/l und beim hohen Düngungsniveau bei 0,25^a mg/l. Der Faktor Lysimetersystem hat einen hochsignifikanten, der Faktor Wiederholung einen signifikanten Einfluss.

2009 schwankt die Kaliumkonzentration zwischen 0,31^a mg/l beim hohen und 0,37^a mg/l beim niedrigen Düngungsniveau. Auch in diesem Jahr hat der Faktor Lysimetersystem einen hochsignifikanten Einfluss auf die K-Konzentration, wohingegen die Faktoren Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss haben. Im dritten Hauptnutzungsjahr liegt die Kaliumkonzentration bei 0,39^a mg/l beim niedrigen und 0,41^a beim hohen Düngungsniveau. Der Faktor Lysimetersystem hat einen hochsignifikanten, der Faktor Wiederholung einen signifikanten und der Faktor Düngung keinen signifikanten Einfluss auf die K-Konzentration. Bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt sich ein hochsignifikanter Einfluss des Faktors Jahr auf die Kaliumkonzentration.

Im gesamten Versuchszeitraum ist es zu keiner Überschreitung des Kalium Indikatorparameters (50 mg/l) laut österreichischem Lebensmittelbuch Codex B1 Trinkwasser Anhang 3 gekommen. Die Kaliumkonzentration liegt insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau.

Tabelle 57: Kaliumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimer	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimer	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimer	Ø Jahr
K-Konz. [mg/l]									
2007									
$\bar{x}$	0,42	0,25	0,30 ^b	0,48	0,17	0,26 ^a	0,45 ^f	0,21 ^e	0,28
Med	0,24	0,21	0,22	0,34	0,14	0,17	0,27	0,17	0,19
s	0,71	0,24	0,43	0,37	0,17	0,28	0,56	0,21	0,36
min	0,09	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00
max	4,26	1,88	4,26	1,29	1,46	1,46	4,26	1,88	4,26
2008									
$\bar{x}$	0,22	0,17	0,19 ^a	0,42	0,15	0,25 ^a	0,32 ^f	0,16 ^e	0,22
Med	0,19	0,16	0,17	0,39	0,14	0,17	0,26	0,15	0,17
s	0,12	0,10	0,11	0,27	0,08	0,22	0,23	0,09	0,18
min	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
max	0,51	0,55	0,55	0,91	0,34	0,91	0,91	0,55	0,91
2009									
$\bar{x}$	0,64	0,26	0,37 ^a	0,49	0,23	0,31 ^a	0,57 ^f	0,25 ^e	0,34 ^k
Med	0,23	0,19	0,20	0,37	0,20	0,21	0,26	0,20	0,21
s	1,51	0,37	0,89	0,38	0,14	0,27	1,09	0,28	0,66
min	0,08	0,03	0,03	0,13	0,03	0,03	0,08	0,03	0,03
max	7,12	2,65	7,12	1,52	0,69	1,52	7,12	2,65	7,12
2010									
$\bar{x}$	0,30	0,44	0,39 ^a	0,75	0,23	0,41 ^a	0,52 ^f	0,33 ^e	0,40 ^k
Med	0,23	0,18	0,19	0,44	0,12	0,17	0,31	0,15	0,18
s	0,28	0,87	0,72	1,15	0,33	0,76	0,86	0,67	0,74
min	0,07	0,03	0,03	0,06	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
max	1,45	4,27	4,27	5,27	1,68	5,27	5,27	4,27	5,27

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

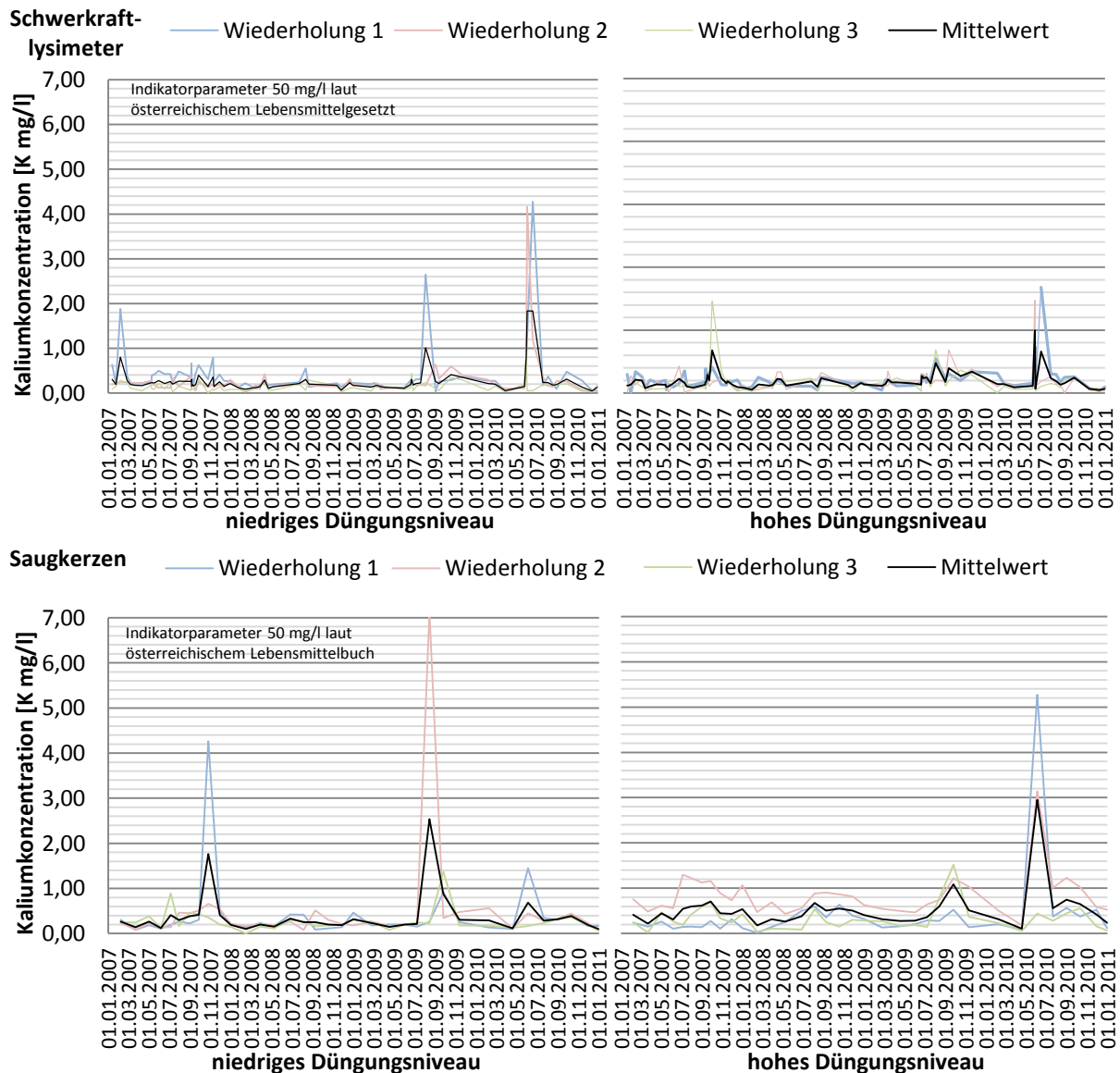
Tabelle 58: Varianzanalytische Auswertungen zur Kaliumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

K-Konz [mg/l]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,105
Lysimetersystem	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003
Düngung	0,043	0,543	0,198	0,664	0,613
Wiederholung	0,000	0,003	0,054	0,010	0,001

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

Abbildung 25 zeigt den Verlauf der Kaliumkonzentration über den gesamten Versuchszeitraum. Die beiden Lysimetersysteme Saugkerze und Schwerkraftlysometer verlaufen sehr ähnlich, auch wenn die Saugkerzenvariante mehr Kalium entzogen hat. Zu größeren Kaliumkonzentrationen kam es auf der Schwerkraftlysometervariante beim niedrigen Düngungsniveau am 6.2.2007, 5.8.2009, 4.6. bzw. 21.6.2010 und beim hohen Düngungsniveau am 12.9.2007, 31.3.2010 und 2.6.2010. Auf der Saugkerzenvariante waren beim niedrigen Düngungsniveau am 25.10.2007, 14.8.2008 bzw. 4.6.2010 und beim hohen Düngungsniveau am 25.9.2009 und 4.6.2010 höhere Konzentrationen festzustellen. Die zuvor getätigte Düngegabe (31.5.2010) und die hohen Niederschlagsmengen verursachten den Anstieg der Kaliumkonzentration im Juni 2010.

Abbildung 25: Verlauf der Kaliumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum



4.3.2.6 Calcium-Konzentration des Sickerwassers

Calcium ist ein Erdalkalimetall, welches das häufigste Kation in nicht marin beeinflussten Grundwässern ist und in mineralischer Form vor allem in Karbonatgesteinen (Kalkstein, Dolomit), Sulfatgestein und Silikaten gebunden ist (vgl.: KUNKEL et al., 2002,9).

Die Summe aller Calcium- und Magnesiumionen im Wasser ergibt die Gesamthärte. Bei der Grundwasserbildung werden beide Elemente aus dem Boden gelöst (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 28f).

Der Indikatorparameter laut österreichischem Lebensmittelbuch Codex B1 Trinkwasser Anhang 3 liegt für Calcium bei 400 mg/l (vgl.: BMG, 2011, 44).

Die Calciumkonzentration (Ca-Konz.) befindet sich im Jahr 2007 bei 90,18^a mg/l beim niedrigen und 90,96^a mg/l beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 59). Sowohl das Lysimetersystem als auch die Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf die Ca-Konzentration (siehe Tabelle 60). Im ersten Hauptnutzungsjahr liegt die Calciumkonzentration zwischen 81,68^a mg/l beim niedrigen und 82,08^a mg/l beim hohen Düngungsniveau. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten, der Faktor Lysimetersystem einen hochsignifikanten Einfluss.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch im zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr, denn auch hier haben die Faktoren Düngung und Wiederholung keinen signifikanten, der Faktor Lysimetersystem hingegen einen signifikanten Einfluss auf die Calciumkonzentration. Während die Ca-Konzentrationen 2009 bei 74,82^a mg/l beim niedrigen und 74,77^a mg/l beim hohen Düngungsniveau liegen, sind sie im Jahr 2010 auf 103,98^a mg/l und 110,22^a mg/l angestiegen. Für die Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt sich ein hochsignifikanter Einfluss des Jahres auf die Ca-Konzentration.

Tabelle 59: Calciumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
Ca-Konz. [mg/l]									
2007									
$\bar{x}$	92,94	89,10	90,18 ^a	91,59	90,71	90,96 ^a	92,26 ^e	89,90 ^e	90,57
Med	85,24	81,67	83,10	85,83	86,66	86,39	85,42	83,69	85,01
s	32,15	25,67	27,56	17,87	23,96	22,33	25,82	24,77	25,04
min	68,29	52,62	52,62	65,52	48,59	48,59	65,52	48,59	48,59
max	250,02	169,23	250,02	132,05	150,61	150,61	250,02	169,23	250,02
2008									
$\bar{x}$	91,34	75,47	81,68 ^a	99,35	70,97	82,08 ^a	95,35 ^f	73,22 ^e	81,88
Med	91,81	75,32	78,22	101,95	69,30	76,87	96,72	72,53	78,09
s	17,45	15,55	17,97	14,43	17,99	21,67	16,37	16,86	19,83
min	59,92	42,71	42,71	69,61	35,97	35,97	59,92	35,97	35,97
max	143,63	115,07	143,63	135,32	111,79	135,32	143,63	115,07	143,63
2009									
$\bar{x}$	76,80	73,98	74,82 ^a	84,34	70,50	74,77 ^a	80,57 ^f	72,27 ^e	74,80 ^k
Med	70,27	64,89	65,69	78,53	63,37	66,96	75,86	64,40	65,74
s	31,61	28,19	29,05	30,06	29,32	30,03	30,70	28,65	29,43
min	17,93	20,37	17,93	28,24	20,99	20,99	17,93	20,37	17,93
max	137,71	145,04	145,04	144,26	157,47	157,47	144,26	157,47	157,47
2010									
$\bar{x}$	112,36	99,51	103,98 ^a	119,26	105,40	110,22 ^a	115,81 ^f	102,45 ^e	107,10 ^l
Med	99,89	86,32	93,03	106,68	87,68	90,49	103,02	86,36	91,27
s	39,97	38,89	39,46	44,68	44,01	44,41	42,08	41,40	41,97
min	60,20	53,99	53,99	69,40	54,35	54,35	60,20	53,99	53,99
max	188,60	180,98	188,60	205,77	198,77	205,77	205,77	198,77	205,77

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 60: Varianzanalytische Auswertungen zur Calciumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

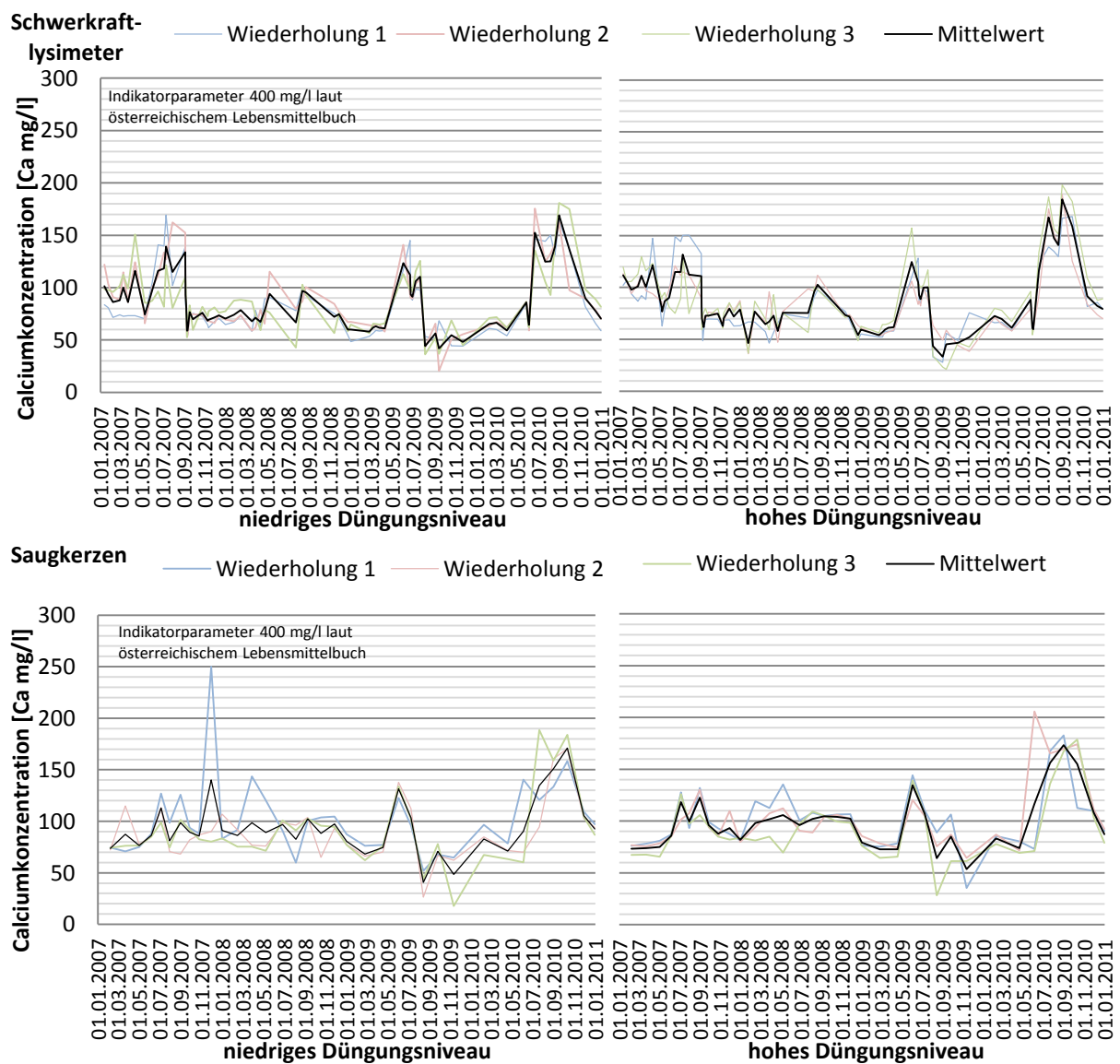
Ca-Konz. [mg/l]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,000
Lysimetersystem	0,218	0,000	0,046	0,023	0,003
Düngung	0,338	0,830	0,892	0,461	0,613
Wiederholung	0,402	0,648	0,988	0,896	0,978
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

Der Indikatorparameter für Calcium wurde während der gesamten Versuchsdauer nicht überschritten. Die Werte liegen allerdings aufgrund des Ausgangsgesteins Kalkstein auf einem, vergleichsweise zu anderen Versuchen (vgl.: BOHNER et al., 2007, 91ff und SEEBACHER, 2008, 60), hohem Niveau.

Weitere Gründe für die hohen Ca-Konzentrationen sind unter anderem die relativ geringe Aufnahme der Grünlandvegetation und die im Grünlandboden ständigen Aktivierungen durch Säurepufferreaktionen. Auch die Calciumaustauschkapazität des Bodens ist hoch (siehe Tabelle 100) und ebenfalls für die hohen Ca-Konzentrationen des Sickerwassers verantwortlich (vgl.: BOHNER et al., 2007, 97).

Der in Abbildung 26 dargestellte Verlauf der Ca-Konzentration zeigt keine gravierenden Unterschiede im Verlauf der Lysimetersysteme und Düngungsvarianten, obwohl auch bei diesem Nährstoff die Saugkerze bis auf das Anlagejahr deutlich mehr Calcium entzogen hat.

Abbildung 26: Verlauf der Calciumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum



Immer wieder kam es zu deutlichen Anstiegen (Schwerkraftlysimeter: 11.7.2007, 2.6.2009, 21.7.2010; Saugkerze: 9.11.2007, 2.6.2009, 21.7.2010) und anschließend rasanten Abstiegen der Ca-Konzentration (Schwerkraftlysimeter: 10.9.2007, 5.8.2009, 15.11.2010; Saugkerze: 14.8.2009, 29.11.2010).

Diese Zunahmen der Konzentration waren auf den Schwerkraftlysimeterparzellen mit einer Abnahme der Sickerwassermenge (= Konzentrationseffekt) und die Abnahmen der Konzentration mit einer Zunahme der Sickerwassermenge verbunden (= Verdünnungseffekt).

4.3.2.7 Magnesium-Konzentration

Magnesium ist ebenfalls ein Erdalkalimetall, dass nach Calcium das zweithäufigste Kation im Grundwasser darstellt und vor allem in Karbonatgesteinen (Dolomit, Magnesit) und Silikat Gestein (z. B. Olivin, Pyroxene) gebunden ist. Aufgrund der geringen Verbreitung und schlechten Löslichkeit magnesiumhaltiger Karbonate sind die Magnesiumgehalte des Grundwassers im Allgemeinen geringer als die des Calcium (vgl.: KUNKEL et al., 2009, 9).

Laut österreichischem Lebensmittelbuch Codex B1 Trinkwasser Anhang 3 liegt der Indikatorparameter für Magnesium bei 150 mg/l (vgl.: BMG, 2011, 44).

Tabelle 61: Magnesiumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft-lysimeter	Ø niedriges Düngungs-niveau	Saugkerze	Schwerkraft-lysimeter	Ø hohes Düngungs-niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft-lysimeter	Ø Jahr
Mg-Konz. [mg/l]									
2007									
$\bar{x}$	18,73	19,60	19,35 ^a	18,68	18,83	18,79 ^a	18,70 ^e	19,22 ^e	19,07
Med	18,57	17,86	18,11	17,97	17,92	17,95	18,21	17,92	18,02
s	3,11	5,21	4,72	3,85	4,36	4,21	3,47	4,81	4,47
min	14,24	12,48	12,48	13,24	11,62	11,62	13,24	11,62	11,62
max	24,05	32,71	32,71	27,24	28,93	28,93	27,24	32,71	32,71
2008									
$\bar{x}$	16,77	14,40	15,32 ^a	17,31	13,65	15,09 ^a	17,04 ^f	14,03 ^e	15,21
Med	17,64	14,17	15,43	18,32	13,40	14,47	18,06	13,87	14,97
s	3,40	3,54	3,65	3,72	3,51	4,00	3,54	3,53	3,82
min	8,41	8,01	8,01	8,44	7,14	7,14	8,41	7,14	7,14
max	21,78	20,83	21,78	22,07	21,22	22,07	22,07	21,22	22,07
2009									
$\bar{x}$	17,46	16,25	16,61 ^a	17,52	15,80	16,33 ^a	17,49 ^f	16,03 ^e	16,47 ^k
Med	17,12	16,43	16,95	17,59	16,45	16,84	17,41	16,44	16,84
s	2,93	3,41	3,30	2,56	3,66	3,43	2,71	3,53	3,36
min	12,85	10,82	10,82	13,00	10,47	10,47	12,85	10,47	10,47
max	22,16	23,67	23,67	21,45	23,43	23,43	22,16	23,67	23,67
2010									
$\bar{x}$	25,85	23,76	24,49 ^a	25,44	24,74	24,99 ^a	25,65 ^e	24,25 ^e	24,74 ^l
Med	22,09	19,46	19,46	21,32	24,77	24,55	21,32	22,64	21,46
s	10,25	10,55	10,42	10,19	10,31	10,20	10,11	10,38	10,27
min	13,02	11,12	11,12	14,83	12,00	12,00	13,02	11,12	11,12
max	46,57	46,57	46,57	51,25	46,30	51,25	51,25	46,57	51,25

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 62: Varianzanalytische Auswertungen zur Magnesiumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Mg-Konz. [mg/l]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,000
Lysimetersystem	0,896	0,000	0,019	0,233	0,013
Düngung	0,562	0,650	0,575	0,780	0,986
Wiederholung	0,138	0,893	0,065	0,576	0,208

p-Werte bei Konfidenzniveau 95%

< 0,001 hoch signifikant

< 0,05 signifikant

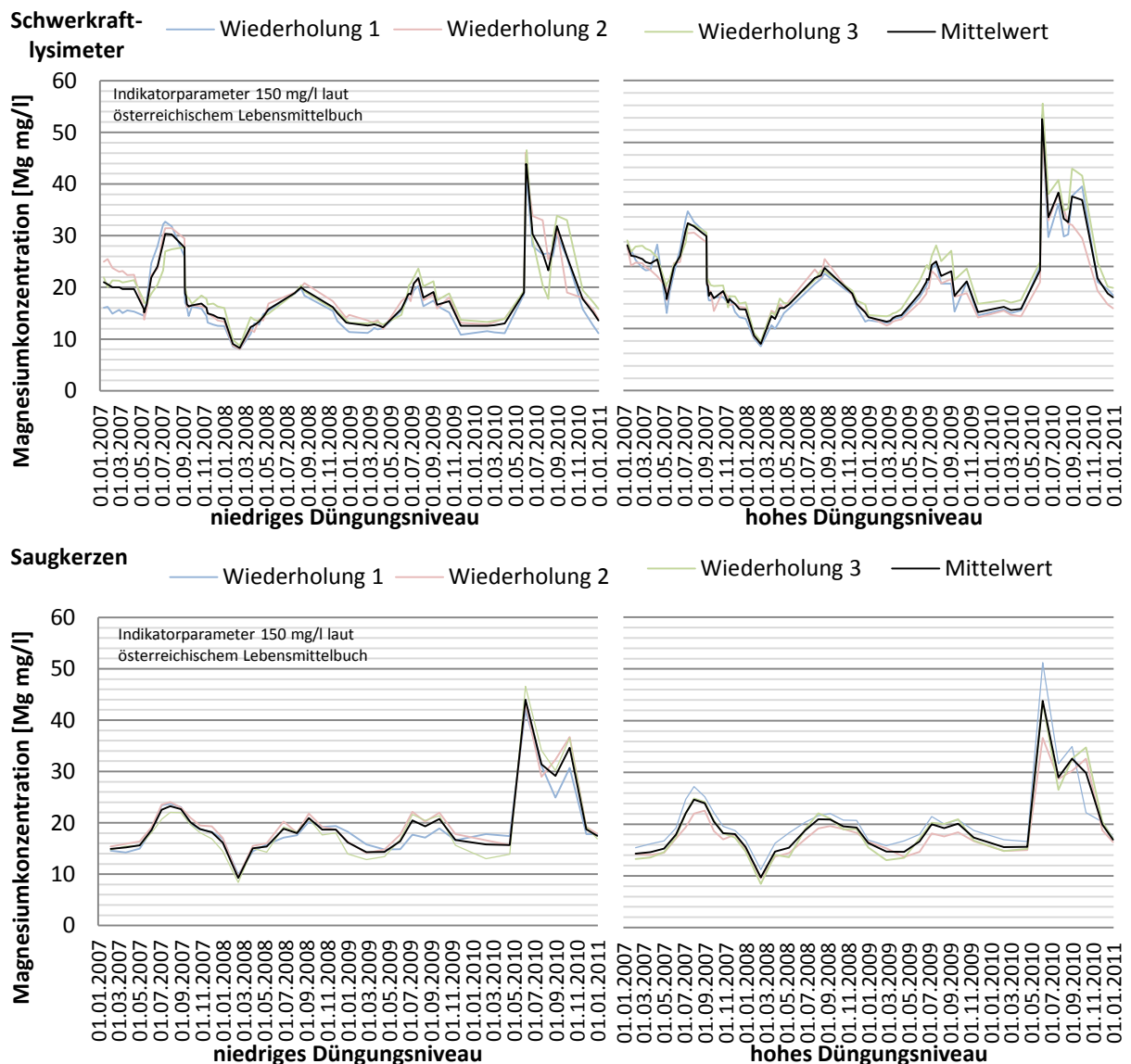
>= 0,05 nicht signifikant

Die Magnesiumkonzentration (Mg-Konz.) befindet sich 2007 zwischen 18,79^a mg/l beim hohen und 19,35^a mg/l beim niedrigen Düngungsniveau (siehe Tabelle 61). Im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr sanken die durchschnittlichen Mg-Konzentrationen auf 15,32^a und 16,61^a mg/l beim niedrigen und 15,09^a und 16,33^a mg/l beim hohen Düngungsniveau, während sie im dritten Hauptnutzungsjahr auf 24,49^a mg/l beim niedrigen und 24,99^a mg/l beim hohen Düngungsniveau anstiegen. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben in allen vier Versuchsjahren keinen signifikanten Einfluss auf die Magnesiumkonzentration des Sickerwassers (siehe Tabelle 62). Allerdings hat der Faktor Lysimetersystem 2008 einen hochsignifikanten, 2009 einen signifikanten und 2007 und 2010 keinen signifikanten Einfluss. Die Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt einen hochsignifikanten Einfluss des Faktors Jahr auf die Mg-Konzentration.

Auch die Magnesiumkonzentrationen überschritten den Indikatorparameter von 150 mg/l laut österreichischem Lebensmittelbuch Codex B1 Trinkwasser Anhang 3 während des gesamten Versuchszeitraumes nicht. Aufgrund der hohen Magnesiumaustauschkapazität des Bodens (siehe Tabelle 100), welche auf das Ausgangsgestein Kalkgestein zurückzuführen sind, wird im Vergleich zu BOHNER et al., 2007, 91ff mit 3,9-5,1 mg/l oder SEEBACHER, 2008, 60 mit 5,45 mg/l viel Magnesium ausgewaschen.

Abbildung 27 zeigt den Verlauf der Magnesiumkonzentration über den gesamten Versuchszeitraum.

Abbildung 27: Verlauf der Magnesiumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum



Die beiden Lysimetersysteme verlaufen sehr ähnlich, im Anlagejahr und 2010 unterscheiden sie sich nicht, 2008 und 2009 hingegen deutlich, denn die Saugkerzenvariante hat mehr Magnesium entzogen als die Schwerkraftlysimetervariante. Die Konzentration ist zu Beginn des Anlagejahres bis zum Umbruch Anfang April 2007 gesunken und dann bis Juli 2007 angestiegen. Anschließend sank die Mg-Konzentration wieder bis zum Tiefpunkt im Jänner 2008 und verläuft dann leicht auf und ab. Am 2.6.2010 steigt die Konzentration wie auch bei Natrium, Ammonium und Kalium aufgrund der Ende Mai getätigten Düngegabe und den hohen Niederschlägen rasant an.

4.3.2.8 Chlorid-Konzentration des Sickerwassers

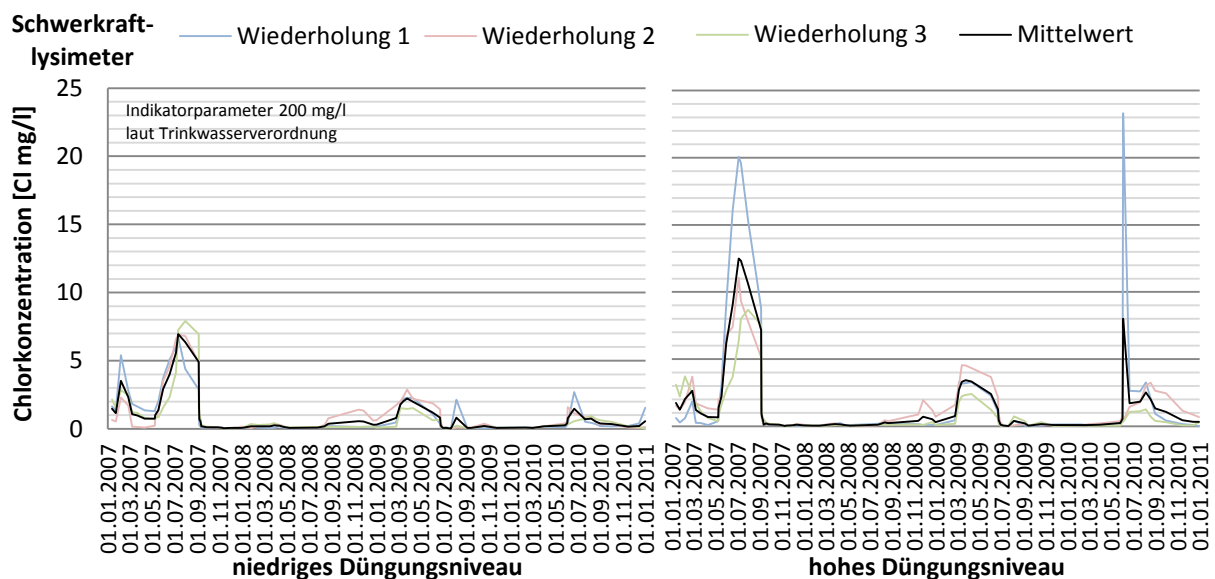
Chlorid ist in der Natur als Natriumchlorid, Kaliumchlorid und Calciumchlorid weit verbreitet und kommt ca. zu 0,05 % in der Erdkruste vor. In erster Linie sind die Abwasserentsorgung, die Landwirtschaft und der Einsatz von Auftaumittel im winterlichen Straßendienst Verursacher für mögliche erhöhte Chlorid-Konzentrationen im Grundwasser, eher gering ist der atmosphärische Eintrag. Weiters können chloridhaltige Grundgesteine für eine geogene Grundbelastung verantwortlich sein (vgl.: CEPUDER, 2008, 13ff).

Laut Trinkwasserverordnung BGBl. II Nr. 304/2001 Anhang I Teil C liegt der Indikatorparameter für Chlorid bei 200 mg/l. Bei Überschreitung dieses Wertes muss die Ursache geprüft und festgestellt werden. Der Schwellenwert für Chlorid liegt laut Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser BGBl. II Nr. 98/2010 Anlage 1 bei 180 mg/l.

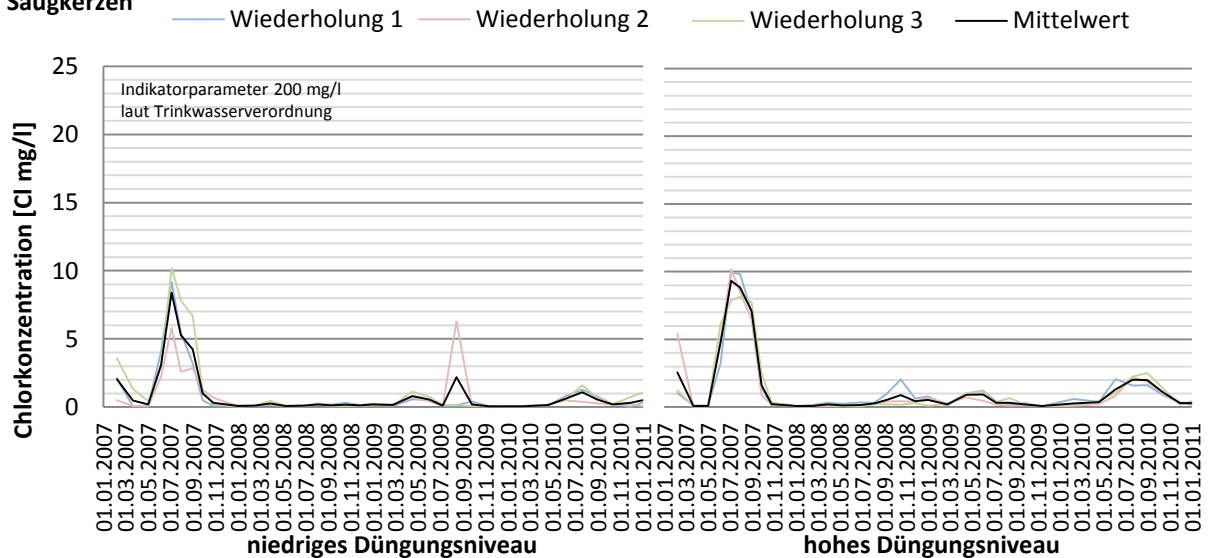
Grundwasser enthält normalerweise nur geringe Mengen an Chlorid (bis 50 mg/l). Besondere Indikatoren für erhöhte Chloridwerte können der Eintrag von Abwasser kommunaler und industrieller Herkunft und der Eintrag von Straßenabwasser infolge der Salzstreuung sein, aber auch die Verwendung von Enthärtungsanlagen (Ionentauscher) (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 28).

In Abbildung 28 ist der Verlauf der Chloridkonzentration über den gesamten Versuchszeitraum zu sehen. Die beiden Lysimetersysteme und Düngungsvarianten zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf der Cl-Konzentration. Im Anlagejahr kam es Anfang Juli zu einem deutlichen Anstieg der Konzentration, bevor sie bis Anfang September wieder absank und bis Versuchsende auf einem niedrigen Niveau mit kleinen Zu- und Abnahmen (März-Juli 2009, Juni 2010) blieb.

Abbildung 28: Verlauf der Chloridkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum



Saugkerzen



Die Chloridkonzentrationen (Cl-Konz.) liegen im Anlagejahr beim niedrigen Düngungsniveau bei 1,90^a mg/l und beim hohen Düngungsniveau bei 2,86^a mg/l (siehe Tabelle 63). Im ersten Hauptnutzungsjahr sinken die Konzentration auf 0,22a mg/l beim niedrigen und 0,29a mg/l beim hohen Düngungsniveau und im zweiten Hauptnutzungsjahr steigen sie auf 0,74a mg/l und 0,91a mg/l an. Sowohl 2007, wie auch 2008 und 2009 haben die Faktoren Lysimetersystem, Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf die Cl-Konzentration (siehe Tabelle 64).

Tabelle 63: Chloridkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
Cl-Konz. [mg/l]									
2007									
$\bar{x}$	2,30	1,74	1,90 ^a	3,16	2,74	2,86 ^a	2,73 ^e	2,24 ^e	2,38
Med	1,23	0,81	0,83	1,02	0,79	0,82	1,12	0,79	0,83
s	2,85	2,15	2,37	3,69	4,39	4,19	3,30	3,47	3,43
min	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
max	10,17	7,91	10,17	10,18	20,07	20,07	10,18	20,07	20,07
2008									
$\bar{x}$	0,15	0,26	0,22 ^a	0,36	0,24	0,29 ^a	0,26 ^e	0,25 ^e	0,25
Med	0,14	0,17	0,15	0,24	0,11	0,15	0,16	0,15	0,15
s	0,09	0,30	0,24	0,41	0,36	0,38	0,31	0,33	0,32
min	0,05	0,02	0,02	0,06	0,04	0,04	0,05	0,02	0,02
max	0,45	1,41	1,41	2,03	1,96	2,03	2,03	1,96	2,03
2009									
$\bar{x}$	0,58	0,81	0,74 ^a	0,43	1,13	0,91 ^a	0,50 ^e	0,97 ^e	0,83 ^k
Med	0,14	0,24	0,21	0,28	0,32	0,31	0,20	0,31	0,25
s	1,34	0,91	1,05	0,38	1,41	1,24	0,98	1,19	1,14
min	0,05	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
max	6,28	2,88	6,28	1,23	4,55	4,55	6,28	4,55	6,28
2010									
$\bar{x}$	0,44	0,46	0,45 ^a	0,96	1,39	1,24 ^b	0,70 ^e	0,92 ^e	0,85 ^k
Med	0,25	0,33	0,32	0,72	0,41	0,43	0,41	0,38	0,39
s	0,42	0,50	0,47	0,79	3,49	2,85	0,68	2,52	2,07
min	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	1,62	2,71	2,71	2,52	23,31	23,31	2,52	23,31	23,31

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Im dritten Hauptnutzungsjahr befindet sich die Chloridkonzentration bei 0,45a mg/l beim niedrigen und 1,24b mg/l beim hohen Düngungsniveau. Der Faktor Düngung hat einen signifikanten, die Faktoren Lysimetersystem und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf die Cl-Konzentration. Bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt der Faktor Jahr keinen signifikanten Einfluss.

Tabelle 64: Varianzanalytische Auswertungen zur Chloridkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Cl-Konz. [mg/l]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,164
Lysimetersystem	0,469	0,408	0,479	0,457	0,827
Düngung	0,477	0,856	0,454	0,006	0,025
Wiederholung	0,625	0,105	0,528	0,614	0,355
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

Nach deutschem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit liegen die natürlichen Chloridgehalte im Grundwasser bei 1 mg/l bei Kalkstein als Ausgangsgestein (vgl.: BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2008, 56ff).

Üblicherweise bewegen sich die Chloridgehalte im Grundwasser zwischen 10 und 100 mg/l (vgl.: UMWELTBUNDESAMT WIEN, 2004, 88ff).

Der Chloridgehalte liegt während des gesamten Versuchszeitraums auf einem durchschnittlich sehr niedrigen Niveau und befindet sich in etwa auf dem oben beschriebenen natürlichen Chloridgehalt von 1 mg/l bei Kalkstein.

4.3.2.9 Nitrit-Konzentration des Sickerwassers

Nitrat (NO_3^-) und Ammonium (NH_4^+) spielen in Gewässern und im Boden eine dominante Rolle unter den verschiedenen Stickstoffverbindungen. Nitrit (NO_2^-) als Zwischenprodukt von mikrobiologischen Transformationen kann ebenfalls zu ökologischen Problemen in Gewässern führen. Im Boden ist Nitrit eine instabile Verbindung, die sowohl bei der Nitrifikation als auch bei der Denitrifikation in der Regel nur ein Zwischenstadium darstellt (vgl.: SIEGL et al., 2000, 189f).

In Lebensmitteln und im Wasser, Boden und im menschlichen Körper (dort wo bakterielles Leben gegeben ist) wird Nitrat zu Nitrit reduziert. Im menschlichen Körper besitzt Nitrit die Fähigkeit den roten Blutfarbstoff Hämoglobin (für Sauerstofftransporte im Blut zuständig) zu dunkel gefärbten Methämoglobin zu reduzieren, welches in dieser Form nicht mehr in der Lage ist Sauerstoff zu transportieren. Bei erwachsenen Menschen sind die roten Blutkörperchen durch ein Reduktionssystem in der Lage, das Methämoglobin zu funktionstüchtigem Hämoglobin zurück zu verwandeln, weshalb es selten zu klinischen Symptomen kommt. Allerdings sind Säuglinge bis zum 3. Monat, selten bis zum 8. Monat, durch eine deutlich verringerte Nitrittoleranz nicht in der Lage diese Umwandlung zu vollziehen. Bei einer Blockade des Hämoglobins von mehr als 70 % kann dies bei Säuglingen zum Tod führen (vgl.: CEPUDER, 2008, 8ff).

Laut Trinkwasserverordnung BGBl. II Nr. 304/2001 Anhang I Teil B liegt der Parameterwert für Nitrit bei 0,1 mg/l und der Schwellenwert laut Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser BGBl II Nr. 98/2010 Anlage 1 bei 0,09 mg/l. Einerseits können geogen oder technisch bedingte erhöhte Nitritgehalte auftreten, andererseits können sie aber auch Indikatoren für eine Verunreinigung sein (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 34).

Die Nitritkonzentration (NO_2 -Konz.) befindet sich im Anlagejahr bei 0,06^a mg/l beim niedrigen und 0,07^a mg/l beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 65). Keiner der Faktoren (Lysimetersystem, Düngung, Wiederholung) hat einen signifikanten Einfluss auf die NO_2 -Konzentration (siehe Tabelle 66). Im ersten Hauptnutzungsjahr liegt die durchschnittliche Konzentration auf 0,09^a mg/l beim niedrigen bzw. 0,06^a mg/l beim hohen Düngungsniveau.

Die Faktoren Lysimetersystem und Düngung haben keinen signifikanten Einfluss, der Faktor Wiederholung hat hingegen einen signifikanten Einfluss. Im zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr ist die durchschnittliche NO_2 -Konzentration auf $0,03^a$ bzw. $0,02^a$ mg/l beim niedrigen und $0,03^a$ bzw. $0,02^a$ mg/l beim hohen Düngungsniveau gesunken. In beiden Jahren haben die Faktoren Lysimetersystem, Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss. Die Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 bringt einen hochsignifikanten Einfluss des Faktors Jahr, die weiteren Faktoren Lysimetersystem, Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss.

Tabelle 65: Nitritkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
NO_2-Konz. [mg/l]									
2007									
$\bar{x}$	0,14	0,03	0,06 ^a	0,17	0,04	0,07 ^a	0,16 ^e	0,03 ^e	0,07
Med	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
s	0,66	0,04	0,35	0,41	0,06	0,23	0,54	0,05	0,29
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	3,79	0,31	3,79	2,18	0,36	2,18	3,79	0,36	3,79
2008									
$\bar{x}$	0,18	0,04	0,09 ^a	0,09	0,05	0,06 ^a	0,13 ^e	0,05 ^e	0,08
Med	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
s	0,34	0,08	0,23	0,25	0,07	0,16	0,30	0,08	0,20
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	1,53	0,50	1,53	1,23	0,35	1,23	1,53	0,50	1,53
2009									
$\bar{x}$	0,02	0,03	0,03 ^a	0,04	0,02	0,03 ^a	0,03 ^e	0,03 ^e	0,03 ^l
Med	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
s	0,03	0,03	0,03	0,08	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	0,11	0,13	0,13	0,33	0,17	0,33	0,33	0,17	0,33
2010									
$\bar{x}$	0,03	0,02	0,02 ^a	0,02	0,02	0,02 ^a	0,03 ^e	0,02 ^e	0,02 ^k
Med	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	0,10	0,05	0,07	0,04	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	0,51	0,24	0,51	0,16	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 66: Varianzanalytische Auswertungen zur Nitritkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

NO_2 -Konz. [mg/l]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,000
Lysimetersystem	0,551	0,620	0,732	0,735	0,627
Düngung	0,856	0,895	0,436	0,663	0,742
Wiederholung	0,401	0,004	0,749	0,686	0,945

p-Werte bei Konfidenzniveau 95%

< 0,001 hoch signifikant

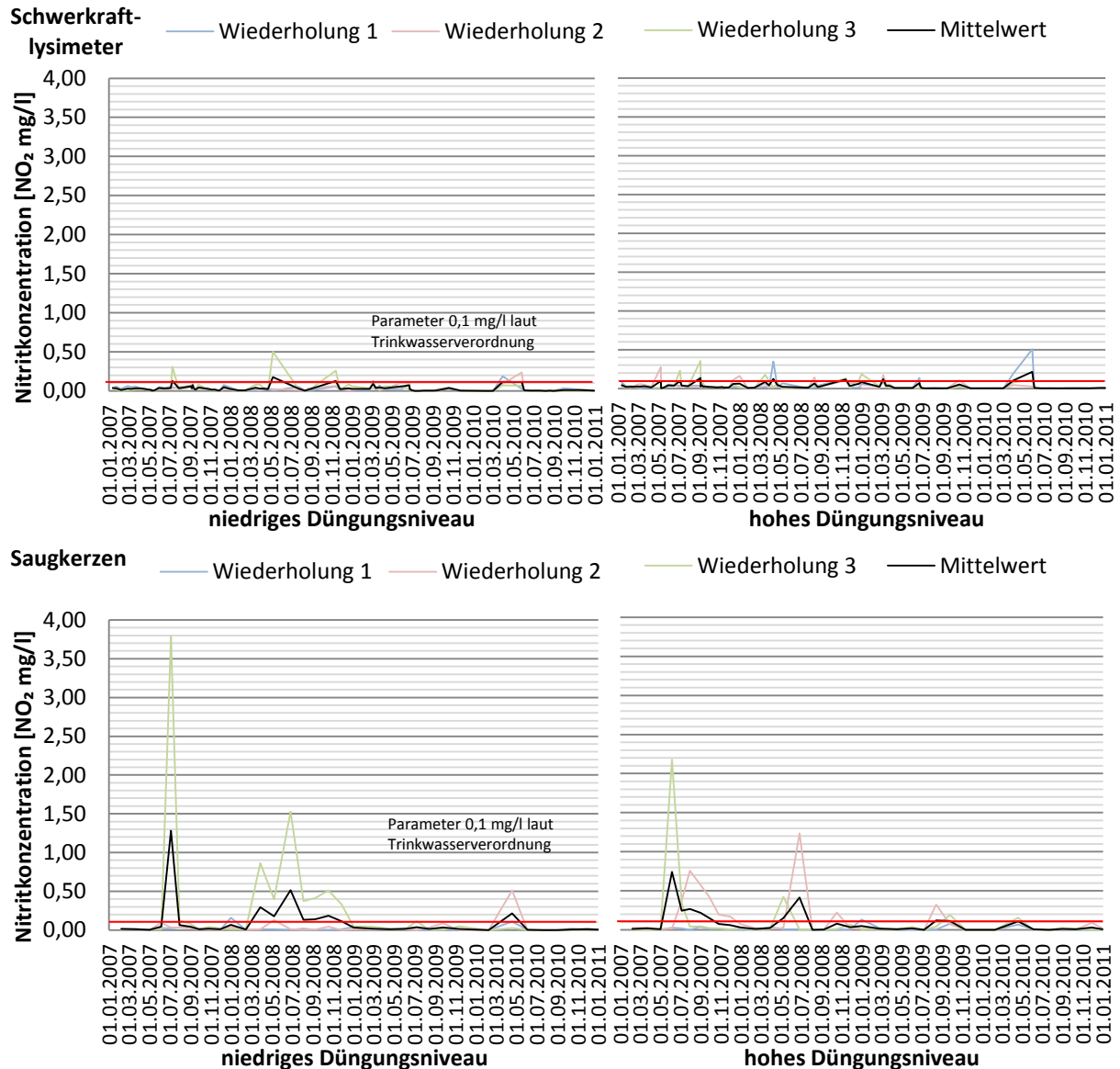
< 0,05 signifikant

>= 0,05 nicht signifikant

Die Nitritkonzentration hat mehrmals den Parameterwert der Trinkwasserverordnung von 0,1 mg/l überschritten (siehe Abbildung 29). Im Mittel kam es während des gesamten Versuchsverlaufs auf den Schwerkraftlysimetervarianten zu 5 Überschreitungen beim niedrigen und 6 beim hohen Düngungsniveau von insgesamt 73 Beprobungen. Auf den Saugkerzenvarianten wurde der Parameterwert fast doppelt so oft mit durchschnittlich 9 Überschreitungen beim niedrigen und 10 beim hohen Düngungsniveau von insgesamt 35 Beprobungsterminen.

Mögliche Ursachen für die teilweise überhöhten Nitritkonzentrationen könnten unter anderem das hohe Stickstoffmineralisierungspotenzial des Bodens sein. Durch die Mineralisation wird organischer Stickstoff über die Zwischenprodukte Ammonium zu Nitrat und unter reduktiven Bedingungen weiter zu Nitrit abgebaut, das wiederum mit dem Sickerwasser ausgewaschen werden kann.

Abbildung 29: Verlauf der Nitritkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum



4.3.2.10 Nitrat-Konzentration des Sickerwassers

Stickstoff ist für alle Organismen ein essenzieller Baustoff, der unter anderem in Aminosäuren für den Aufbau von Protein und in Nukleinsäuren (DNA) enthalten ist (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2009, 1ff). Da Stickstoff nur in sehr geringen Mengen in den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung und der mineralischen Bodensubstanz vorkommt, muss er bei landwirtschaftlicher Nutzung regelmäßig mit organischen und/oder mineralischen Düngern zugeführt werden (vgl.: BLUME et al., 2010, 401ff).

Für die Ernährung der Pflanzen sind vor allem Nitrat und Ammonium bedeutend. Durch mikrobielle Abbauprozesse im Boden und Wasser wird der in Organismen gebundene Stickstoff (Pflanzen, Tiere, ...) frei und meist in Form von Nitrat dem Biosystem als Nährstoff wieder zur Verfügung gestellt (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2009, 1ff).

Nitrat besteht aus dem Element Stickstoff und Sauerstoff. Es ist für die meisten Pflanzen die Hauptstickstoffquelle und wird über die Wurzeln aufgenommen.

Nitratüberschüsse, welche von den Pflanzen nicht aufgenommen werden, sammeln sich im Boden an und werden bei Schneeschmelze oder Regen in tiefere Bodenschichten und damit ins Grundwasser ausgewaschen. Weiters können Einträge über das Grundwasser oder oberflächliche Abschwemmungen in Fließgewässer oder Seen erfolgen. Durch Nahrung (einschließlich Trinkwasser) nimmt der Mensch Nitrat auf, die höchste Zufuhr erfolgt dabei über Nitrat (vgl.: http://www.lebensministerium.at/wasser/wasserqualitaet/grundwasser/nitrat_grundwasser.html, Stand: November 2011).

Laut Trinkwasserverordnung BGBl. II Nr. 304/2001 Anhang I Teil B liegt der Parameterwert für Nitrat bei 50 mg/l und der Schwellenwert laut Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser BGBl II Nr. 98/2010 Anlage 1 bei 45 mg/l. Bei einer Überschreitung der Nitratkonzentration von 25 mg/l, und wenn ein Anstieg zu befürchten ist, hat laut Trinkwasserverordnung BGBl. II Nr. 304/2001 Anhang I Teil B eine zumindest vierteljährliche Untersuchung des Wassers auf Nitrat zu erfolgen, wenn nicht eine häufigere Untersuchung vorgeschrieben ist.

Nitrat befindet sich in kleinen Mengen bis ca. 10 mg/l in jedem Wasser. Überdüngung oder falscher Düngezeitpunkt, ungünstige Brunnen- oder Quelfassungsstandorte, undichte Senkgruben oder Kanäle sind mögliche Ursachen für erhöhte Nitratwerte (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 20ff).

Tabelle 67: Nitratkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
NO₃-Konz. [mg/l]									
2007									
$\bar{x}$	43,51	76,89	67,48 ^a	68,72	75,95	73,89 ^a	56,11 ^e	76,42 ^e	70,67
Med	19,69	45,28	41,10	22,45	35,80	31,86	21,82	43,87	33,28
s	41,78	91,02	81,46	85,18	88,14	87,00	67,77	89,33	84,15
min	2,24	1,45	1,45	0,67	1,38	0,67	0,67	1,38	0,67
max	142,69	355,31	355,31	320,32	366,22	366,22	320,32	366,22	366,22
2008									
$\bar{x}$	9,32	9,94	9,70 ^a	12,89	7,09	9,36 ^a	11,11 ^f	8,52 ^e	9,53
Med	8,72	7,40	7,77	10,78	3,65	7,02	9,71	5,99	7,05
s	4,90	10,23	8,51	6,83	7,59	7,79	6,16	9,07	8,13
min	2,66	0,00	0,00	3,07	0,00	0,00	2,66	0,00	0,00
max	20,91	47,14	47,14	29,85	26,76	29,85	29,85	47,14	47,14
2009									
$\bar{x}$	7,42	13,08	11,38 ^a	11,86	8,09	9,25 ^a	9,64 ^e	10,64 ^e	10,33 ^k
Med	6,61	10,99	9,07	10,48	7,98	8,57	7,67	8,82	8,79
s	3,73	8,89	8,11	5,81	3,81	4,81	5,32	7,30	6,75
min	1,70	1,10	1,10	3,28	2,29	2,29	1,70	1,10	1,10
max	18,47	36,08	36,08	23,43	18,95	23,43	23,43	36,08	36,08
2010									
$\bar{x}$	11,99	10,26	10,86 ^a	17,60	8,78	11,85 ^a	14,79 ^f	9,52 ^e	11,35 ^k
Med	11,39	8,63	10,15	18,91	8,03	10,92	14,68	8,15	10,52
s	5,60	7,21	6,70	6,04	5,55	7,08	6,42	6,44	6,89
min	3,69	1,20	1,20	7,90	1,25	1,25	3,69	1,20	1,20
max	28,50	23,56	28,50	27,02	24,69	27,02	28,50	24,69	28,50

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Die Nitratkonzentration (NO_3 -Konz.) liegt im Anlagejahr 2007 im Mittel bei $67,48^a$ mg/l beim niedrigen und $73,89^a$ mg/l beim hohen Düngungsniveau, einzelne Beprobungstermine erreichten Maxima von bis zu $355,31$ und $366,22$ mg/l (siehe Tabelle 67). Der Parameterwert von 50 mg/l laut Trinkwasserverordnung wurde im Mittel eindeutig überschritten. Die Faktoren Lysimetersystem, Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf die Nitratkonzentration (siehe Tabelle 68).

Im ersten Hauptnutzungsjahr ist die mittlere NO_3 -Konzentration auf $9,70^a$ beim niedrigen und $9,36^a$ mg/l beim hohen Düngungsniveau gesunken. Alle Werte lagen innerhalb des Parameterwertes von 50 mg/l, der Schwellenwert von 45 mg/l laut Qualitätszielverordnung wurde allerdings am 26.11.2008 beim niedrigen Düngungsniveau mit $47,14$ mg/l überschritten. Der Faktor Lysimetersystem hat einen hochsignifikanten, die Faktoren Düngung und Wiederholung haben 2008 keinen signifikanten Einfluss auf die Nitratkonzentration.

Im zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr befinden sich die NO_3 -Konzentrationen bei $11,38^a$ und $10,86^a$ mg/l beim niedrigen und $9,25^a$ und $11,85^a$ mg/l beim hohen Düngungsniveau. Sowohl der Parameterwert laut Trinkwasserverordnung als auch der Schwellenwert laut Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser wurden zu keinem Zeitpunkt überschritten.

2009 haben die Faktoren Lysimetersystem, Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf die Nitratkonzentration. Auch im Jahr 2010 haben die Faktoren Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf die NO_3 -Konzentration, die beiden Lysimetersysteme Saugkerze und Schwerkraftlysimeter unterscheiden sich allerdings hochsignifikant voneinander.

Die Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt keinen signifikanten Einfluss des Faktors Jahr.

Tabelle 68: Varianzanalytische Auswertungen zur Nitratkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

NO_3 -Konz. [mg/l]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,163
Lysimetersystem	0,508	0,000	0,722	0,000	0,002
Düngung	0,991	0,599	0,368	0,476	0,850
Wiederholung	0,787	0,920	0,163	0,064	0,011
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

Tabelle 69 zeigt den Prozentanteil größer gleich dem Parameterwert für Nitrat von 50 mg/l auf der linken Seite und kleiner dem Parameterwert auf der rechten Seite.

Im Anlagejahr kam es beim niedrigen Düngungsniveau bei $39,3$ % der Beprobungstermine zu Überschreitungen des Parameterwertes, hingegen lagen $60,7$ % der Termine unterhalb des Wertes von 50 mg/l. Beim hohen Düngungsniveau wurde der Parameterwert an $41,4$ % der Beprobungstermine überschritten und $58,6$ % blieben unterhalb des Grenzwertes. In den drei Hauptnutzungsjahren wurde der Parameterwert nicht übertreten.

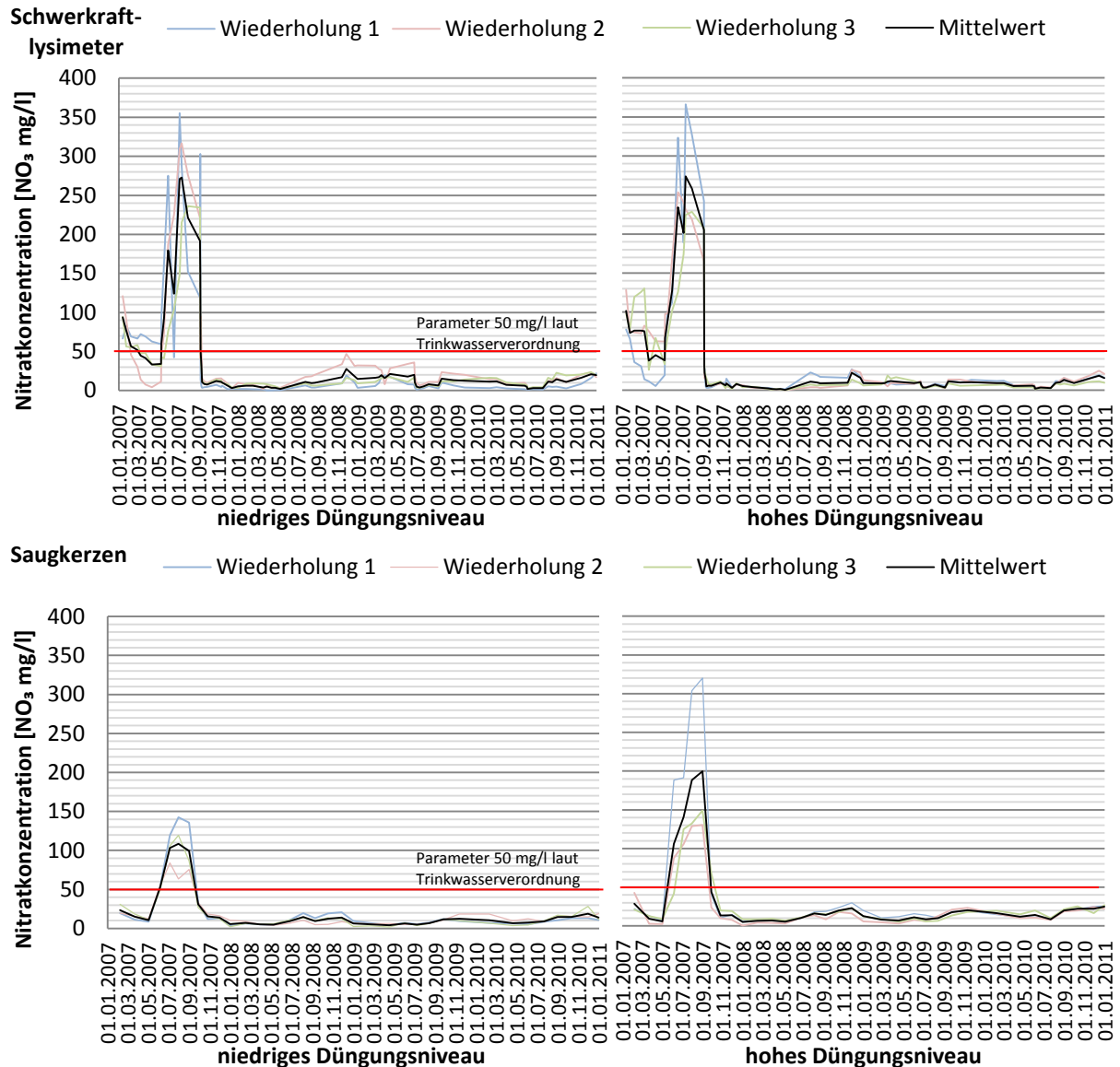
Tabelle 69: Verteilung der Nitratwerte hinsichtlich des Parameterwertes im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Prozentanteil größer gleich Parameterwert 50 mg/l			Prozentanteil kleiner Parameterwert 50 mg/l		
Jahr	niedriges Düngungsniveau	hohes Düngungsniveau	Jahr	niedriges Düngungsniveau	hohes Düngungsniveau
2007	39,3	41,4	2007	60,7	58,6
2008	0,0	0,0	2008	100,0	100,0
2009	0,0	0,0	2009	100,0	100,0
2010	0,0	0,0	2010	100,0	100,0

In Abbildung 30 ist der Verlauf der Nitratkonzentration zu sehen. Nur im Anlagejahr ist es zu Überschreitungen des Parameterwertes laut Trinkwasserverordnung gekommen. Zu Jahresbeginn 2007 wurde auf der Schwerkraftlysimetervariante der Parameterwert überschritten.

Bis zum Umbruch Anfang April sank die NO_3 -Konzentration bevor sie dann ab Anfang Mai auf beiden System- und Düngungsvarianten rasant anstieg und erst im September wieder unter den Grenzwert sank. Ab Mitte September 2007 wurde der Parameterwert bis Versuchsende Dezember 2010 nicht mehr überschritten.

Abbildung 30: Verlauf der Nitratkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum



Auf der Schwerkraftlysimetervariante, niedriges Düngungsniveau wurde am 26.11.2008 der Schwellenwert laut Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser von 45 mg/l überschritten. Zum einen war im Anlagejahr die Mineralisierung aufgrund des Umbruchs hoch, wodurch es zur Überschreitung des Parameterwerts bis Mitte September kam, zum anderen konnte der noch nicht voll entwickelte Pflanzenbestand den Stickstoff aus dem Dünger und der Mineralisierung nicht ausreichend verwerten. In den Hauptnutzungsjahren 2008 bis 2010 lag die durchschnittliche Nitratkonzentration mit ca. 10 mg/l auf einem im Grünland üblichen Niveau (vergleiche MURER, 2002, 127 und AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 20ff).

Durch ein Gleichgewicht im Auf- und Abbau von organischem Material entwickelt sich langjähriges Grünland zu einem weitgehend stabilen System. Durch zu hoch bemessene N-Düngegaben, die den Bedarf der Pflanzen übersteigen, kann es zu erhöhten Nitratausträgen mit dem Sickerwasser kommen (vgl.: SEIDEL, 2005, 1).

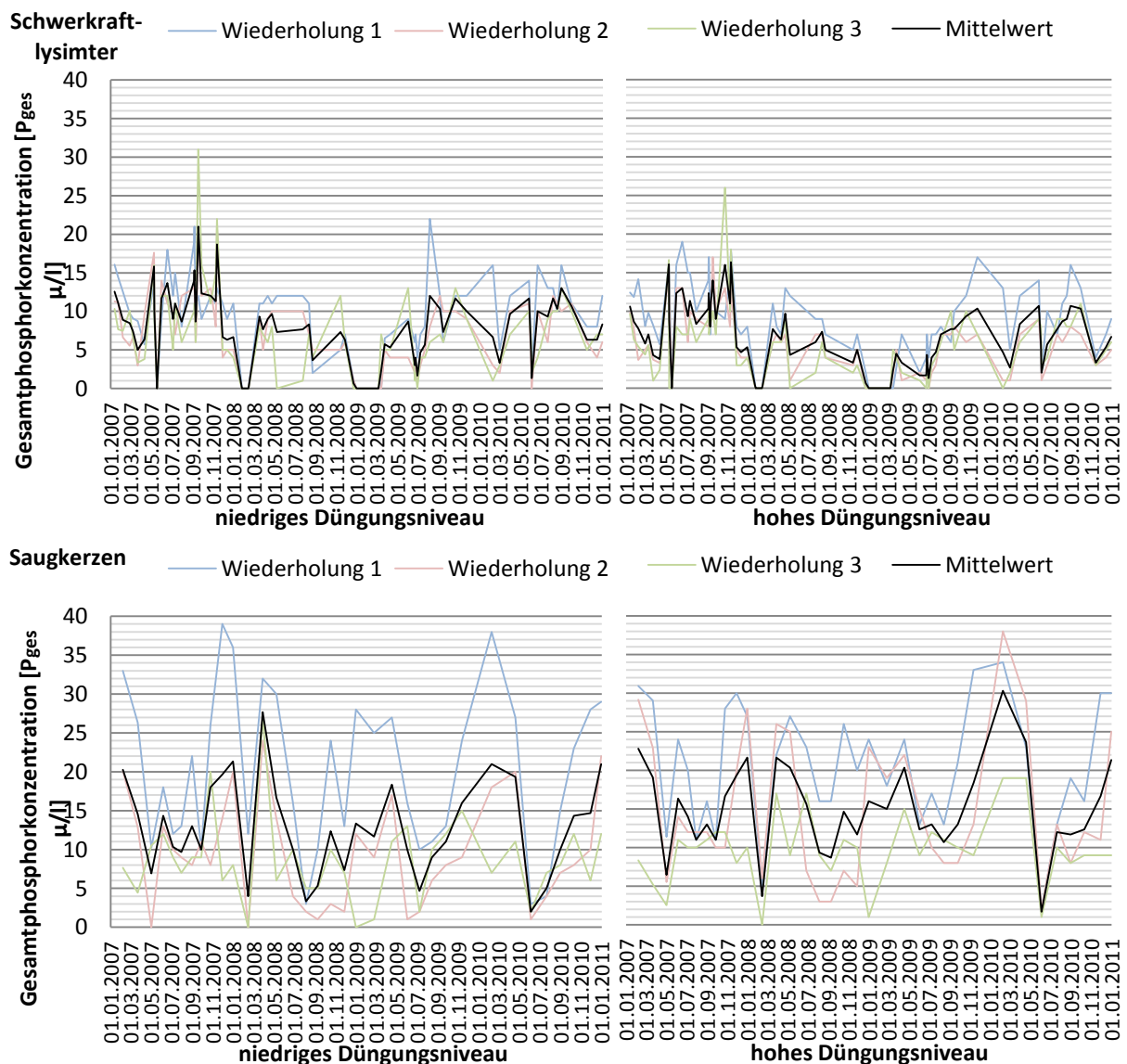
4.3.2.11 Gesamtposphorkonzentration des Sickerwassers

Stickstoff- und Phosphorverbindungen sind aus ökologischer und gesundheitlicher Sicht die bedeutsamsten Stoffgruppen beim Gewässerschutz. Beide führen unter anderem zu Eutrophierung, Abnahme der Artenvielfalt und Gefährdung der Trinkwassergewinnung und Badenutzung in Gewässern. Wie auch bei Stickstoff gibt es bei Phosphor diffuse und punktuelle Einträge. Bei diffusen Einträgen gelangen die Nährstoffe flächenhaft über nicht genau lokalisierbare Wege ins Gewässer. Dazu zählen Erosion, Drainagen, direkte Deposition, Oberflächenabfluss, Grundwasserabfluss, Landwirtschaft und Abfluss von versiegelten Flächen. Die Hauptquellen in Österreich stellen landwirtschaftlich genutzte Flächen und Abfluss von versiegelten Flächen dar. Punktuelle Einträge, welche sich gut lokalisieren lassen, geschehen an relativ wenigen Stellen und werden durch Kläranlagen und industrielle Direkteinleitung verursacht (vgl.: FREDE et al., 1998, 5ff und http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/industrie/daten_industrie/prtr/prtr_diff_emissionen/prtr_diff_emissionen/, Stand: November 2011).

Phosphor tritt im Sickerwasser als Minimumfaktor in Konzentrationen von Mikrogramm pro Liter auf, daher bewegen sich die jährlichen Frachten im Bereich von Gramm pro Hektar (vgl.: EDER, 2001, 66).

In Abbildung 31 ist der Verlauf der Gesamtposphorkonzentration zu sehen.

Abbildung 31: Verlauf der Gesamtposphorkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum



Gut zu erkennen sind die deutlichen Schwankungen der Konzentration über den gesamten Versuchszeitraum. Weiters ist der hochsignifikante Unterschied der beiden Lysimetersysteme Saugkerze und Schwerkraftlysimeter zu sehen. Die Saugkerzenvariante weist höhere Konzentration als die Schwerkraftlysimetervariante auf. Die Konzentrationen des niedrigen und hohen Düngungsniveaus auf der Schwerkraftlysimetervariante zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf.

Tabelle 70: Gesamtposphorkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
P-Konz. [µg/l]									
2007									
$\bar{x}$	14,37	10,57	11,64 ^a	15,58	9,33	11,11 ^a	14,97 ^f	9,95 ^e	11,37
Med	11,00	11,00	11,00	12,00	9,00	10,00	12,00	10,00	10,00
s	9,15	5,23	6,75	8,34	5,06	6,76	8,71	5,17	6,74
min	0,00	0,00	0,00	2,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	39,00	31,00	39,00	30,93	26,00	30,93	39,00	31,00	39,00
2008									
$\bar{x}$	11,11	5,50	7,70 ^a	13,52	4,45	8,00 ^a	12,31 ^f	4,98 ^e	7,85
Med	10,00	6,00	6,00	11,00	5,00	6,00	10,00	5,50	6,00
s	10,08	4,44	7,64	8,80	3,76	7,62	9,45	4,12	7,60
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	32,00	12,00	32,00	27,00	13,00	27,00	32,00	13,00	32,00
2009									
$\bar{x}$	11,52	5,78	7,50 ^a	14,67	4,36	7,54 ^a	13,10 ^f	5,08 ^e	7,52 ^k
Med	11,00	6,00	7,00	13,00	4,00	7,00	12,00	5,00	7,00
s	7,44	4,60	6,15	6,41	3,80	6,72	7,04	4,27	6,42
min	1,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
max	27,00	22,00	27,00	33,00	17,00	33,00	33,00	22,00	33,00
2010									
$\bar{x}$	13,42	8,22	10,03 ^a	16,21	6,76	10,04 ^a	14,81 ^f	7,49 ^e	10,04 ^l
Med	10,50	9,00	10,00	13,00	7,00	8,00	12,00	7,00	8,50
s	10,01	4,24	7,19	10,45	3,81	8,18	10,22	4,08	7,68
min	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
max	38,00	16,00	38,00	38,00	16,00	38,00	38,00	16,00	38,00

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Im Anlagejahr liegt die Gesamtposphorkonzentration (P-Konz.) in µg/l bei 11,64^a beim niedrigen und 11,11^a beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 70). Die Faktoren Lysimetersystem und Wiederholung haben einen hochsignifikanten, der Faktor Düngung keinen signifikanten Einfluss auf P-Konzentration (siehe Tabelle 71). Im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr sinken die Konzentrationen auf 7,70^a und 7,50^a µg/l beim niedrigen bzw. 8,00^a und 7,54^a µg/l beim hohen Düngungsniveau. Der Faktor Düngung hat sowohl 2008 als auch 2009 einen hochsignifikanten Einfluss auf die Gesamtposphorkonzentration, der Faktor Düngung hat jeweils keinen signifikanten Einfluss. Der Faktor Wiederholung hat 2008 einen hochsignifikanten und 2009 einen signifikanten Einfluss.

Im dritten Hauptnutzungsjahr 2010 steigen die Phosphorkonzentration auf 10,03^a µg/l beim niedrigen und 10,04^a µg/l beim hohen Düngungsniveau an. Auch in diesem Jahr haben die Faktoren Lysimetersystem und Wiederholung einen hochsignifikanten und der Faktor Düngung keinen signifikanten Einfluss auf die P-Konzentration. Die Betrachtung der Jahre 2009-2010 ergibt einen signifikanten Einfluss des Faktors Jahr, einen hochsignifikanten Einfluss der Faktoren Lysimetersystem und Wiederholung und keinen signifikanten Einfluss des Faktors Düngung auf die Gesamtposphorkonzentration.

Tabelle 71: Varianzanalytische Auswertungen zur Gesamtposphorkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

P [$\mu\text{g/l}$]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,003
Lysimetersystem	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Düngung	0,390	0,976	0,849	0,631	0,668
Wiederholung	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000
p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant $\geq$ 0,05 nicht signifikant					

Im Vergleich zu BOHNER et al., 2007, 95 mit 11 bis 32 $\mu\text{g/l}$ liegt die Phosphorkonzentration auf einem ähnlichen sehr niedrigen Niveau.

4.3.2.12 Sulfat-Konzentration des Sickerwassers

Sulfat ist zumeist an Calcium gebunden und ist in nahezu allen Grundwässern nachweisbar. Mögliche Quellen für Sulfat im Grundwasser sind unter anderem das Ausgangsgestein, wo es in mineralischer Form als Gips und Anhydrit vorkommt, der Schwefelkreislauf der Organismen, in dem es ein Abbauprodukt von tierischem und pflanzlichem Eiweiß ist, oder reduzierte Aquiferen (Grundwasserleiter), in denen es durch die Wechselwirkung von Eisensulfiden (Pyrit) mit Nitrat erhöht wird. Durch die Zufuhr anthropogen verunreinigter Niederschläge (saurer Regen) und lokal durch industrielle bzw. kommunale Abwässer, Bergbauhalden und Deponien, wird der flächenhafte, durch den Menschen verursachte Eintrag von Sulfat ins Grundwasser bestimmt. In Form von organischem Wirtschaftsdünger oder Mineraldünger kann die Sulfatzufuhr in unbesiedelten Gebieten erfolgen (vgl.: KUNKEL et al., 2008, 8). Sulfatkonzentration in unbeeinflussten Grundwässern treten im Bereich von wenigen Milligramm pro Liter bis zu 50 mg/l auf. Zu erhöhten Sulfatgehalten können geologisch bedingt sein (Gipswässer), aber auch durch Verunreinigung mit Jauche, Stallmist, Fäkalien oder Mülldeponien entstehen (vgl.: AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011, 36).

Laut Trinkwasserverordnung BGBI. II Nr. 304/2001 Anhang I Teil C liegt der Indikatorparameter für Sulfat bei 250 mg/l. Bei Überschreitung dieses Wertes muss die Ursache geprüft und festgestellt werden. Der Schwellenwert für Sulfat liegt laut Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser BGBI. II Nr. 98/2010 Anlage 1 bei 225 mg/l.

Tabelle 72: Sulfatkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
SO₄-Konz. [mg/l]									
2007									
$\bar{x}$	9,69	7,12	7,84 ^a	7,96	13,81	12,14 ^b	8,82 ^e	10,44 ^e	9,98
Med	9,14	8,09	8,35	7,88	10,07	8,45	7,96	8,61	8,36
s	6,14	3,49	4,53	4,88	13,76	12,19	5,57	10,53	9,41
min	1,45	1,08	1,08	0,70	0,96	0,70	0,70	0,96	0,70
max	25,19	15,56	25,19	16,79	83,49	83,49	25,19	83,49	83,49
2008									
$\bar{x}$	5,34	1,88	3,23 ^a	5,87	1,81	3,40 ^a	5,60 ^f	1,84 ^e	3,32
Med	3,54	1,58	2,05	4,72	1,71	2,06	4,31	1,62	2,05
s	3,63	1,03	2,92	4,25	0,71	3,35	3,92	0,88	3,13
min	1,14	0,55	0,55	0,91	0,52	0,52	0,91	0,52	0,52
max	12,71	4,84	12,71	13,83	4,25	13,83	13,83	4,84	13,83
2009									
$\bar{x}$	5,05	1,68	2,69 ^a	5,79	1,50	2,82 ^a	5,42 ^f	1,59 ^e	2,76 ^l
Med	5,15	1,34	1,61	5,27	1,53	1,69	5,21	1,44	1,66
s	3,20	1,11	2,50	3,91	0,39	2,94	3,55	0,84	2,72
min	1,06	0,54	0,54	1,05	0,80	0,80	1,05	0,54	0,54
max	12,23	5,85	12,23	16,12	2,27	16,12	16,12	5,85	16,12

	niedriges Düngungsniveau			hohes Düngungsniveau					
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	Ø hohes Düngungs- niveau	Ø Saugkerze	Ø Schwer- kraft- lysimeter	Ø Jahr
2010									
$\bar{x}$	4,03	1,12	2,13 ^a	4,70	0,93	2,24 ^a	4,37 ^f	1,03 ^e	2,19 ^k
Med	3,43	1,14	1,42	3,39	0,92	1,23	3,39	0,98	1,34
s	2,38	0,44	2,00	3,09	0,34	2,57	2,75	0,40	2,29
min	0,99	0,27	0,27	1,72	0,34	0,34	0,99	0,27	0,27
max	8,26	2,16	8,26	12,19	1,52	12,19	12,19	2,16	12,19

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Die Sulfatkonzentration (SO_4 -Konz.) im Sickerwasser liegt im Anlagejahr bei 7,84^a mg/l beim niedrigen und 12,14^b mg/l beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 72). Der Faktor Lysimetersystem hat keinen signifikanten, der Faktor Düngung einen signifikanten und der Faktor Wiederholung einen hoch signifikanten Einfluss auf die SO_4 -Konzentration (siehe Tabelle 73). Im ersten Hauptnutzungsjahr 2008 sinkt die Konzentration auf 3,23^a mg/l beim niedrigen und 3,40^a mg/l beim hohen Düngungsniveau. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten, der Faktor Lysimetersystem einen hochsignifikanten Einfluss.

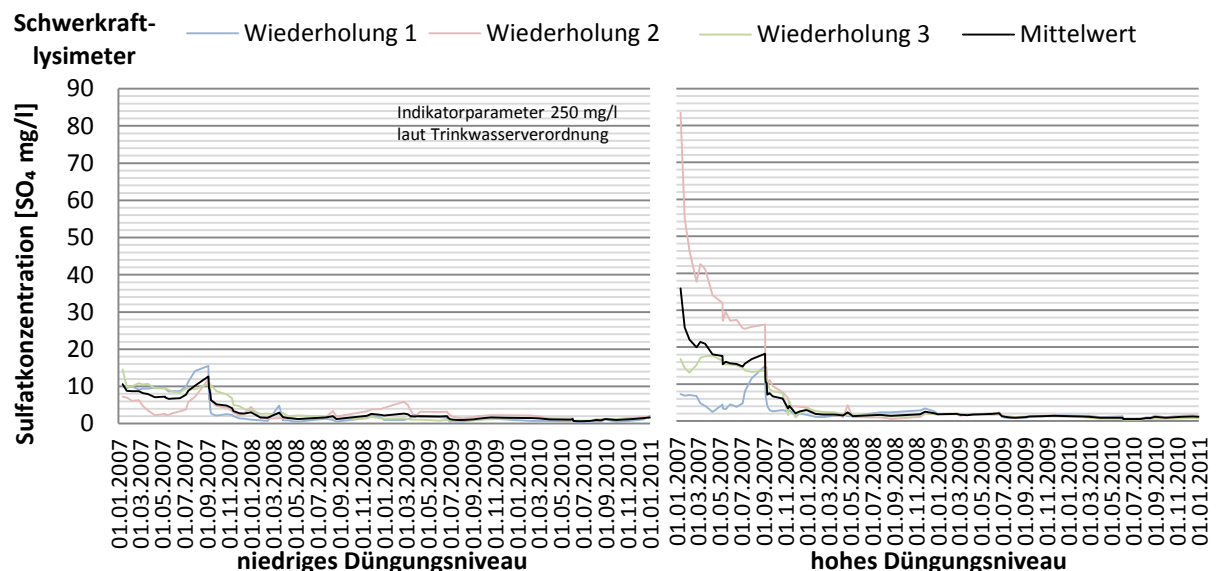
Im Jahr 2009 und 2010 sind die mittleren SO_4 -Konzentrationen nochmals leicht abgesunken auf 2,69^a bzw. 2,13^a mg/l beim niedrigen und 2,82^a bzw. 2,24^a mg/l beim hohen Düngungsniveau, der Faktor Düngung hat in beiden Jahren keinen signifikanten Einfluss. Auch der Faktor Wiederholung hat 2010 keinen signifikanten Einfluss auf die SO_4 -Konzentration, allerdings hat er im Jahr 2009 einen signifikanten Einfluss. Sowohl 2009 als auch 2010 unterscheiden sich die zwei Lysimetersysteme hochsignifikant voneinander. Bei Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt sich ein hochsignifikanter Einfluss des Faktors Jahr auf die SO_4 -Konzentration. Während der gesamten Versuchsdauer kam es zu keiner Überschreitung des Indikatorparameters von 250 mg/l laut TKV.

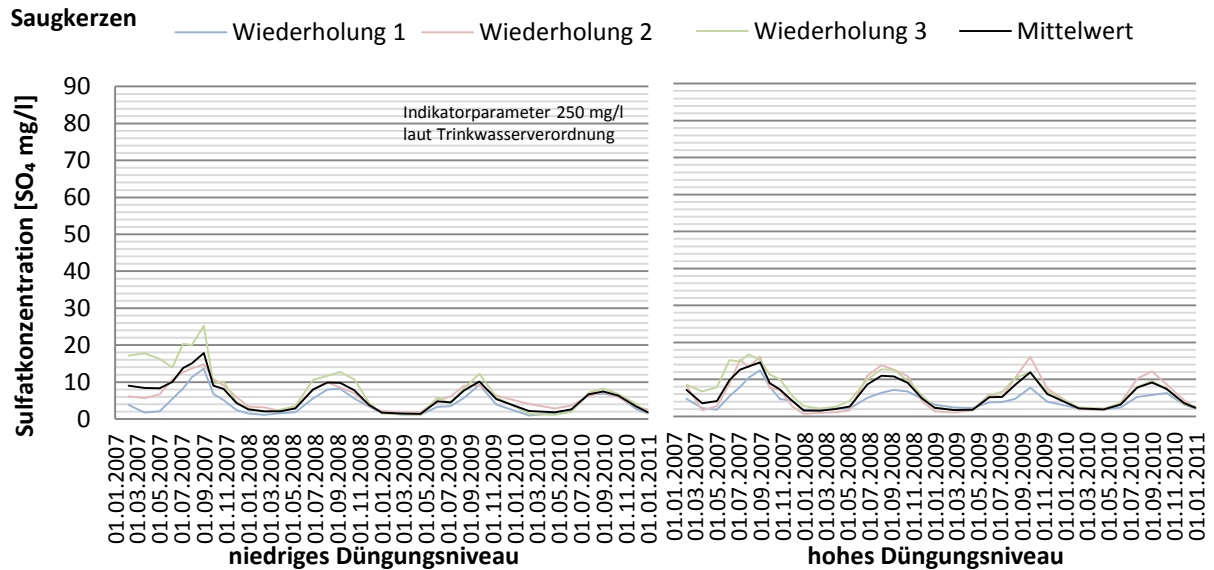
Tabelle 73: Varianzanalytische Auswertungen zur Sulfatkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

SO_4 -Konz. [mg/l]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,001
Lysimetersystem	0,871	0,000	0,000	0,000	0,000
Düngung	0,028	0,885	0,373	0,411	0,863
Wiederholung	0,000	0,093	0,005	0,106	0,002
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

Im Durchschnitt lag die Konzentration auf einem sehr niedrigen Niveau (siehe Abbildung 32).

Abbildung 32: Verlauf der Sulfatkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum





Die Versuchsergebnisse in Winklhof haben gezeigt, dass das verwendete Lysimetersystem offensichtlich eine bedeutendere Rolle auf die Nährstoffkonzentration hatte als die Düngung. Auch in der Literatur (siehe nachfolgende Literaturverweise) werden Unterschiede der Nährstoffkonzentration in Abhängigkeit vom Lysimetersystem beschrieben.

Die Beprobung von Bodenlösung kann indirekt durch Bodenbeprobung oder direkt über Saugkerzen, Saugplatten und Lysimeter erfolgen. Die unterschiedlichen Messinstrumente erfassen verschiedene Porenbereiche, wodurch die Ergebnisse der Beprobungsverfahren voneinander abweichen. Während Saugkerzen vorwiegend die Inhalte der beim angelegten Saugdruck jeweils größten wassergefüllten Poren erfassen, werden bei der Lysimeterbeprobung nur Grob- und Makroporen erfasst. Weiters wirkt sich die Heterogenität der Bodeneigenschaften auf das Sorptions- und Transportverhalten, die Filterwirkung der ungesättigten Bodenzonen, aus. Deshalb gilt für die Beprobungsmethoden, dass sie Punktmessungen darstellen (vgl. DURNER, 2001, 5ff).

Im Teilprojekt „Erfassung und Bewertung der Sickerwasserquantität und –qualität im Pilotprojekt zur Grundwassersanierung in Oberösterreich“ wurden auf zwei Ackerstandorten und einem Grünlandstandort im Projektgebiet Obere Pettenbachrinne und einem Ackerstandort in Weißkirchen-Pucking jeweils monolithische Feldlysimeter mit Saugkerzen errichtet (vgl.: BÖHM et al., 2002, 129ff).

Jede Lysimeteranlage bestand aus dem Feldlysimeter und jeweils zwei Kontrollmessstellen, welche in der Oberen Pettenbachrinne als Saugkerzenanlage und in Weißkirchen-Pucking als Sickerwassersammler eingerichtet wurden. Der Versuch fand von 1995 bis 2000 statt (vgl.: BÖHM et al., 2002, 129ff).

In Petzenkirchen erfolgt mit einem rechteckigen, monolithischen Lysimeter über einen Freiauslauf und mit Saugkerzen die Sickerwassergewinnung. Hier wurden im Zeitraum von 1.9.1989 bis 4.3.1990 die Proben einer getrennten Nitratanalytik unterzogen (vgl.: BÖHM et al., 2002, 129ff).

Beide Messausstattungen zeigten deutliche Unterschiede in der Nitratkonzentration des Sickerwassers infolge der unterschiedlichen Betriebsformen auf. Jedoch kam es zu Unterschieden in der Nitratkonzentration der Bodenlösung abhängig vom Lysimetersystem, welche durch räumliche Heterogenität aber auch durch das Erschließen unterschiedlicher Porenbereiche mitbegründet scheinen.

Außerdem können Saugkerzen nur ein relativ kleines und nicht genau bekanntes Gebiet erfassen, im Gegensatz zu den Lysimetern (vgl. GIMMI, 2004, 18).

4.3.3 NÄHRSTOFFAUSWASCHUNGEN IM LYSIMETERVERGLEICHVERSUCH WINKLHOF

In diesem Unterkapitel werden nun die Jahressummen der Nährstoffauswaschung dargestellt und erläutert. Dazu wurden die Nährstoffkonzentrationen mit der jeweils korrespondierenden Sickerwassermenge jedes Beprobungstermines multipliziert und anschließend für den Zeitraum vom 1.1 bis 31.12 aufsummiert. Die Nährstoffauswaschung wird auch noch Nährstoffaustrag oder Nährstofffracht genannt. Der Verlauf der Nährstoffauswaschung über die gesamte Versuchsdauer ist in Abbildung 39 bis Abbildung 45 im Anhang zu sehen. Dabei wurde jeweils auf der linken Seite des Diagramms das niedrige, auf der rechten Seite das hohe Düngungsniveau dargestellt.

Die mit dem Sickerwasser ausgetragenen Stoffmengen pro Jahr werden hauptsächlich von der Höhe der jährlichen Sickerwassermenge, der darin enthaltenen Nährstoffkonzentration, vom jährlichen Stoffentzug durch die Grünlandvegetation sowie von der selektiven Stoffspeicher- und -nachlieferungskapazität des Grünlandbodens bestimmt (BOHNER et al., 2007, 97).

Die Nährstoffauswaschung in kg/ha wurde folgendermaßen berechnet:

$$\text{Nährstofffracht [kg/ha]} = \frac{\text{Nährstoffkonzentration [mg/l]} * \text{Sickerwassermenge [l/m}^2\text{]}}{100}$$

Die Höhe des Nährstoffaustrags ist von der Nährstoffkonzentration und der Sickerwassermenge abhängig. Somit können sich hohe Nährstofffrachten aus geringen Nährstoffkonzentrationen in Kombination mit hohen Sickerwassermengen, aber auch aus hohen Nährstoffkonzentrationen in Verbindung mit niedrigen Sickerwassermengen oder hohen Nährstoffkonzentrationen und hohen Sickerwassermengen ergeben.

4.3.3.1 Natrium-Auswaschung

Natrium wird bevorzugt mit dem Sickerwasser ausgetragen, da es von den Grünlandpflanzen bei der Ionenaufnahme stark diskriminiert und als einwertiges Kation mit relativ großem effektiven Ionenradius im Grünlandboden nur sehr schlecht absorbiert wird (vgl.: BOHNER et al., 2007, 97).

Der Verlauf der Natriumauswaschung ist im Anhang Abbildung 39 zu sehen.

Im Anlagejahr beträgt die Menge an ausgewaschenem Natrium 9,35^a kg/ha beim niedrigen und 11,26^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau, im ersten Hauptnutzungsjahr sinkt sie auf 5,16^a bzw. 5,74^a kg/ha (siehe Tabelle 74). Während die Natriumauswaschung 2009 und 2010 beim niedrigen Düngungsniveau nur mehr leicht auf 6,83^a und 6,80^a kg/ha ansteigt, nimmt sie beim hohen Düngungsniveau stärker zu auf 8,22^a und 9,74^b kg/ha. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben 2007, 2008 und 2009 keinen signifikanten Einfluss auf die Natriumauswaschung, allerdings hat der Faktor Düngung 2010 einen signifikanten Einfluss (siehe Tabelle 75). Die Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt keinen signifikanten Einfluss des Faktors Jahr.

Im Vergleich zu den Versuchen von BOHNER et al. (2007) und SEEBACHER (2008) liegt die jährliche Natriumfracht auf einem ähnlichen Niveau von im Mittel 5 bis 11 kg/ha und Jahr.

Tabelle 74: Jährliche Natriumauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
Na [kg/ha]												
$\bar{x}$	9,35 ^a	5,16 ^a	6,83 ^a	6,80 ^a	11,26 ^a	5,74 ^a	8,22 ^a	9,74 ^b	10,30	5,45	7,53 ^k	8,27 ^k
Med	8,80	4,92	6,85	6,83	11,18	5,53	8,74	9,42	9,81	5,23	6,96	7,88
s	0,97	0,45	0,24	0,31	2,15	0,99	1,86	1,26	1,82	0,76	1,41	1,81
min	8,78	4,88	6,59	6,47	9,15	4,88	6,16	8,68	8,78	4,88	6,16	6,47
max	10,47	5,67	7,07	7,09	13,45	6,82	9,78	11,12	13,45	6,82	9,78	11,12

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 75: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Natriumauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Na [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010
Jahr					0,302
Düngung	0,127	0,513	0,513	0,050	0,056
Wiederholung	0,368	0,102	0,180	0,651	0,249
Düngung*Wiederholung					0,407
Jahr*Wiederholung					0,641
Jahr*Düngung					0,285
R ²					0,938
korrigiertes R ²					0,661
p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant					

4.3.3.2 Kalium-Auswaschung

Die Verfügbarkeit von Kalium für die Pflanzen ist unter anderem von der Kationenaustauschkapazität und dem Grad der Kaliumsättigung, der Bodenstruktur und Bodenart, dem Wasserhaushalt des Bodens, dem Kaliumgehalt in der Bodenlösung, dem Anteil an kalifizierenden Tonmineralen, der Gründigkeit des Bodens und Durchwurzelung durch die Pflanzen und der Verdrängung durch Kationen wie z. B. Calcium, Magnesium und Ammonium abhängig (vgl.: SCHNEIDER, 2007, 17).

Laut Richtlinie für die sachgerechte Düngung liegt die Empfehlung für die Kaliumdüngung bei gräserbetontem Feldfutter bei einer Nährstoffversorgung der Gehaltsklasse C bei 205 kg/ha und Jahr K₂O. Gemäß der Einstufung des Gehaltes an pflanzenverfügbarem Kalium (siehe Tabelle 25) sind für die Gehaltsklasse A Zuschläge von 40 % und für die Gehaltsklasse B Zuschläge von 20 % zur K₂O-Düngemenge zu machen. Die Empfehlungen für die Düngung mit Kalium sind im Mittel von 5 Jahren einzuhalten. Um von K₂O zu elementarem Kalium zu gelangen, müssen die Werte mit dem Faktor 0,4364 multipliziert werden (vgl.: BMLFUW, 2006, 38ff).

Aus der oberhalb beschriebenen Vorgehensweise ergibt sich eine Kaliumdüngempfehlung von 238 kg/ha für das Jahr 2007 und jeweils 204 kg/ha für die Jahre 2008 und 2010. Durch Multiplikation der K₂O-Nährstoffzufuhr in kg/ha über die Rindergülle (Tabelle 15) mit 0,830 erhält man die K-Zufuhr in kg/ha. Im Anlagejahr wurden 58 kg/ha beim niedrigen bzw. 149 kg/ha Kalium beim hohen Düngungsniveau über Rindergülle zugeführt, im ersten Hauptnutzungsjahr 67 bzw. 168 kg/ha, im Zweiten 76 bzw. 135 kg/ha und dritten 76 bzw. 144 kg/ha.

Die Kaliumdüngempfehlung kann sowohl 2007 als auch 2008 und 2010 mit dem Wirtschaftsdünger nicht abgedeckt werden, weshalb eine mineralische Ergänzungsdüngung erfolgen sollte.

Die jährliche Kaliumauswaschung liegt im Anlagejahr bei 2,37^a kg/ha beim niedrigen und 1,80^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 76). Sowohl der Faktor Düngung als auch der Faktor Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf die Kaliumauswaschung 2007 (siehe Tabelle 77). In den Hauptnutzungsjahren 2008, 2009 und 2010 befindet sich die Menge an ausgewaschenem Kalium bei 1,15^a, 2,14^a und 3,60^a kg/ha und Jahr beim niedrigen und 1,03^a, 2,04^a und 1,60^a kg/ha und Jahr beim hohen Düngungsniveau. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben in den drei Hauptnutzungsjahren keinen signifikanten Einfluss auf die Kaliumauswaschung. In Abbildung 40 im Anhang ist der Verlauf der Kaliumauswaschung abgebildet.

Insgesamt ist die Kaliumauswaschung auf einem sehr niedrigen Niveau, da die Kaliumaustauschkapazität (siehe Kapitel 4.1.7) und der Kalium-Gehalt (siehe Kapitel 4.1.5) im Boden sehr niedrig sind. Weiters ist Kalium ein Makronährstoff, welcher von den Pflanzen in größeren Mengen gebraucht wird. Die Düngung mit Wirtschaftsdüngung deckt den pflanzlichen Bedarf nicht ausreichend ab. In Vergleich zu BOHNER et al. (2007, 96) ist die Kaliumauswaschung auf einem ähnlichen, sehr niedrigen Niveau.

Tabelle 76: Jährliche Kaliumauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
K [kg/ha]												
MW	2,37 ^a	1,15 ^a	2,14 ^a	3,60 ^a	1,80 ^a	1,03 ^a	2,04 ^a	1,60 ^a	2,08	1,09	2,09 ^k	2,60 ^k
Med	1,97	1,36	2,05	4,00	1,62	1,13	1,96	1,55	1,79	1,14	2,00	1,84
s	1,50	0,37	0,71	2,16	0,36	0,20	0,20	0,53	1,02	0,28	0,47	1,79
min	1,11	0,72	1,48	1,27	1,56	0,80	1,90	1,06	1,11	0,72	1,48	1,06
max	4,03	1,37	2,89	5,53	2,20	1,16	2,28	2,12	4,03	1,37	2,89	5,53

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 77: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Kaliumauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

K [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010
Jahr					0,471
Düngung	0,827	0,513	0,827	0,275	0,210
Wiederholung	0,156	0,156	0,180	0,180	0,282
Düngung*Wiederholung					0,486
Jahr*Wiederholung					0,519
Jahr*Düngung					0,240
R ²					0,888
korrigiertes R ²					0,385

p-Werte bei Konfidenzniveau 95%

< 0,001 hoch signifikant

< 0,05 signifikant

≥ 0,05 nicht signifikant

4.3.3.3 Calcium-Auswaschung

Unter den Kationen wurde Calcium mit dem Sickerwasser am stärksten ausgewaschen. Eine hohe Calciumauswaschung verursacht allmählich eine Versauerung des Bodens. Für die hohe Calciumauswaschung sind neben der hohen Sickerwassermenge, die relativ große Ca-Austauschkapazität des Bodens und die ständige Calcium-Aktivierung im Grünlandboden durch Säurepufferreaktionen verantwortlich (vgl.: BOHNER et al., 2007, 97).

Eine wesentliche Rolle für die Bodenfruchtbarkeit und die Pflanzenernährung hat Kalk. Kalk reguliert und steuert unter anderem den pH-Wert des Bodens durch Abpufferung von Säuren, die von außen in den Boden gelangen oder im Boden selbst produziert werden. Er ist auch maßgeblich an der Bildung stabiler Ton-/Humuskomplexe beteiligt, fördert die Aktivität des Bodenlebens, verbessert die Humusqualität und beeinflusst die Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Pflanzen. Calcium liegt im Kalkdünger in unterschiedlichen Bindungsformen vor (vgl.: BOHNER et al., 2002, 1).

Auf natürliche Weise werden im Boden laufend Säuren produziert unter anderem durch die Kationenaufnahme der Pflanzenwurzeln. Durch Niederschlag und sauer wirkenden Dünger werden von außen Säuren in den Boden eingetragen. Auch der Nährstoffentzug durch die Ernte führt zu einer natürlichen Bodenversauerung (vgl.: BOHNER et al., 2002, 2).

Die jährliche Calciumfracht beträgt im Anlagejahr 926,2^a kg/ha beim niedrigen und 998,1^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 78). Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf den Ca-Austrag 2007 (siehe Tabelle 79). Im ersten Hauptnutzungsjahr ist die jährliche Calciumauswaschung um nicht ganz die Hälfte auf 500,0^a bzw. 511,4^a kg/ha gesunken, bevor sie 2009 und 2010 wieder leicht angestiegen ist, auf 642,5^a und 605,2^a kg/ha beim niedrigen bzw. 651,0^a und 706,7^b kg/ha beim hohen Düngungsniveau. Der Faktor Wiederholung hat 2008, 2009 und 2010 und der Faktor Düngung 2008 und 2009 keinen signifikanten Einfluss auf die jährliche Calciumauswaschung, hingegen hat er 2010 einen signifikanten Einfluss. Abbildung 41 zeigt im Anhang den Verlauf der Calciumauswaschung.

Zum Ausgleich der natürlichen Versauerung dient eine Erhaltungskalkung. Im Ackerland liegt die dazu erforderliche Kalkmenge je nach Bodenschwere zwischen 0,5 t CaO (leichte Böden) und 2,0 t CaO (schwere Böden) je ha und 4-6 Jahren.

Mengen über 1,5 t/ha CaO auf leichten Böden und über 2 t/ha CaO auf mittelschweren und schweren Böden sind auf mehrere Gaben jeweils im Abstand von zwei Jahren aufzuteilen (vgl.: BMLFUW, 2006, 45).

Aufgrund der hohen Calciumauswaschung sollte in jedem Fall eine Erhaltungsdüngung von 0,5 bis 2,0 t CaO je ha und 4-6 Jahren aufgeteilt in mehrere Gaben erfolgen.

Die jährliche Calciumfracht ist auf einem sehr hohen Niveau, zum einen durch die hohen Jahressickerwassermengen, zum anderen aufgrund des calciumhaltigen Ausgangsgesteins und der relativ hohen Calciumaustauschkapazität. Außerdem ist die Calcium-Aufnahme der Grünlandvegetation relativ gering (vgl.: BOHNER et al., 2007, 97).

Tabelle 78: Jährliche Calciumauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
Ca [kg/ha]												
$\bar{x}$	926,2 ^a	500,0 ^a	642,5 ^a	605,2 ^a	998,1 ^a	511,4 ^a	651,0 ^a	706,7 ^b	962,13	505,72	646,8 ^k	655,9 ^k
Med	923,81	485,38	640,80	594,35	1013,46	501,54	638,26	696,03	962,67	493,46	639,53	654,08
s	43,79	40,09	13,58	19,04	38,54	32,89	30,20	32,36	53,94	33,38	21,46	60,42
min	883,67	469,35	629,88	594,10	954,20	484,57	629,32	680,96	883,67	469,35	629,32	594,10
max	971,15	545,40	656,88	627,21	1026,52	548,09	685,53	743,00	1026,52	548,09	685,53	743,00

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 79: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Calciumauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Ca [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010
Jahr					0,458
Düngung	0,127	0,513	0,827	0,050	0,032
Wiederholung	0,867	0,180	0,867	0,651	0,197
Düngung*Wiederholung					0,298
Jahr*Wiederholung					0,545
Jahr*Düngung					0,044
R ²					0,971
korrigiertes R ²					0,840

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

4.3.3.4 Magnesium-Auswaschung

Magnesium ist von allen untersuchten Nährstoffen am zweitstärksten mit dem Sickerwasser am Versuchsstandort ausgewaschen worden (in Abbildung 42 im Anhang ist der Verlauf der Magnesiumauswaschung zu sehen).

Der jährliche Magnesiumaustrag beträgt im Anlagejahr 202,0^a kg/ha beim niedrigen und 207,4^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 80). Die jährliche Mg-Fracht ist im ersten Hauptnutzungsjahr auf 96,2^a und 99,7^a kg/ha gesunken und 2009 und 2010 wieder leicht auf 138,8^a bzw. 142,2^a beim niedrigen und 165,4^a bzw. 185,3^b beim hohen Düngungsniveau angestiegen. Der Faktor Düngung hat im Jahr 2010 einen signifikanten, in den Jahren 2007, 2008 und 2009 hingegen keinen signifikanten Einfluss auf die jährliche Magnesiumauswaschung (siehe Tabelle 81). Der Faktor Wiederholung hat in keinem der Versuchsjahre einen signifikanten Einfluss. Aufgrund der sehr hohen Magnesiumgehalte (Gehaltsklasse E) und Magnesiumaustauschkapazität im Boden und der hohen Jahressickerwassermenge wurde Magnesium in großen Mengen mit dem Sickerwasser ausgewaschen.

Tabelle 80: Jährliche Magnesiumauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
Mg [kg/ha]												
$\bar{x}$	202,0 ^a	96,2 ^a	138,8 ^a	165,4 ^a	207,4 ^a	99,7 ^a	142,2 ^a	185,3 ^b	204,70	97,96	140,5 ^k	175,3 ^l
Med	203,43	95,37	140,92	168,40	203,90	98,61	136,12	186,08	203,78	97,66	138,52	173,22
s	13,97	8,63	4,07	8,45	6,32	3,72	14,45	10,32	10,15	6,25	9,67	13,79
min	187,32	87,99	134,13	155,81	203,67	96,70	131,73	174,59	187,32	87,99	131,73	155,81
max	215,15	105,19	141,41	171,85	214,73	103,87	158,66	195,18	215,15	105,19	158,66	195,18

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 81: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Magnesiumauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Mg [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010
Jahr					0,013
Düngung	0,513	0,513	0,827	0,050	0,104
Wiederholung	0,565	0,156	0,102	0,651	0,169
Düngung*Wiederholung					0,334
Jahr*Wiederholung					0,867
Jahr*Düngung					0,180
R ²					0,980
korrigiertes R ²					0,891

p-Werte bei Konfidenzniveau 95%

< 0,001 hoch signifikant

< 0,05 signifikant

≥ 0,05 nicht signifikant

4.3.3.5 Chlor-Auswaschung

Die jährliche Chlorauswaschung liegt im Anlagejahr bei 16,39^a kg/ha beim niedrigen und 28,52^b kg/ha beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 82). Der Faktor Düngung hat einen signifikanten, der Faktor Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf die Cl-Fracht 2007 (siehe Tabelle 83). Im ersten Hauptnutzungsjahr ist der jährliche Chloraustrag über das Sickerwasser auf 1,83^a bzw. 1,96^a kg/ha stark zurückgegangen. Im zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr stieg die Chlorfracht auf 7,05^a bzw. 10,70^a kg/ha und Jahr beim niedrigen und 2,91^a und 12,53^a kg/ha und Jahr beim hohen Düngungsniveau an. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben in den drei Hauptnutzungsjahren keinen signifikanten Einfluss auf die jährliche Chlorauswaschung. Abbildung 43 zeigt den Verlauf der Chlorauswaschung im Anhang.

Im Anlagejahr wird beim hohen Düngungsniveau wesentlich mehr Chlor mit dem Sickerwasser ausgewaschen als beim niedrigen. Das lässt den Schluss zu, dass 2007 das Chlorid am Versuchsstandort mit dem Wirtschaftsdünger eingetragen wurde und es durch das höhere Düngungsniveau zu größeren Auswaschungen gekommen ist. Im Vergleich zu BOHNER et al., 2007 ist sowohl die Chloridkonzentration als auch die Chlorauswaschung höher. Dennoch liegt die Cl-Konzentration auf einem sehr niedrigen Niveau, somit haben die hohen Jahressickerwassermengen ebenfalls zur hohen Chlorauswaschung im Vergleich zu BOHNER et al., 2007 mit 0,1 bis 0,2 kg/ha beigetragen.

Tabelle 82: Jährliche Chlorauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
Cl [kg/ha]												
$\bar{x}$	16,39 ^a	1,83 ^a	7,05 ^a	2,91 ^a	28,52 ^b	1,96 ^a	10,70 ^a	12,53 ^a	22,46	1,89	8,88 ^k	7,72 ^k
Med	15,68	1,36	7,72	3,00	26,75	1,13	9,05	7,95	20,65	1,25	8,26	3,25
s	2,41	1,32	2,16	0,63	7,35	1,67	4,42	12,91	8,25	1,35	3,70	9,72
min	14,43	0,81	4,63	2,24	22,22	0,86	7,35	2,54	14,43	0,81	4,63	2,24
max	19,08	3,31	8,80	3,50	36,59	3,88	15,71	27,10	36,59	3,88	15,71	27,10

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 83: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Chloridauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

Cl [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,150
Düngung	0,050	0,827	0,275	0,275	0,109
Wiederholung	0,867	0,156	0,156	0,180	0,125

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

4.3.3.6 Sulfat-Schwefel-Auswaschung

Sulfat zeichnet sich durch eine hohe Löslichkeit im Transportmedium Wasser aus, weshalb das nicht von den Pflanzen aufgenommene Sulfat entweder in die Dränzone (unterhalb der Wurzelzone) ausgewaschen oder im Boden angereichert wird (vgl.: WILLMS, 2005, 16f).

Vor allem die mobilen, pflanzenverfügbaren Sulfate verursachen die Schwefelauswaschung, die auf Ackerböden mit pH-Werten >5,5 und deshalb sehr geringer SO_4 -Sorption vor allem während des Winterhalbjahres auftreten (vgl.: BLUME et al., 2010, 423).

Die jährliche Sulfat-Schwefelfracht ($\text{SO}_4\text{-S}$) befindet sich im Anlagejahr bei 24,97^a kg/ha beim niedrigen und 49,75^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 84). In den Hauptnutzungsjahren 2008, 2009 und 2010 ist die $\text{SO}_4\text{-S}$ -Auswaschung auf 4,62^a, 4,78^a bzw. 2,44^a kg/ha und Jahr beim niedrigen und 4,49^a, 4,53^a bzw. 2,26^a kg/ha und Jahr beim hohen Düngungsniveau gesunken. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben sowohl im Anlagejahr als auch in den drei Hauptnutzungsjahren 2008 bis 2010 keinen signifikanten Einfluss auf die $\text{SO}_4\text{-S}$ -Fracht (siehe Tabelle 85). Die Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt einen signifikanten Einfluss des Faktors Jahr auf die Sulfat-Schwefelauswaschung. In Abbildung 44 im Anhang ist der Verlauf der Sulfat-Schwefelauswaschung zu sehen.

Die $\text{SO}_4\text{-S}$ -Fracht liegt im Anlagejahr um das fünf- bis elffache höher als 2008 bzw. 2009 und um das zehn- bis einundzwanzigfache höher als 2010. Gründe hierfür sind unter anderem die hohe Löslichkeit von Sulfat und die damit verbundene leichte Auswaschbarkeit, aber auch die durch den Umbruch geförderte Mineralisation (Umwandlung von organischer Substanz in Sulfat) erhöht die SO_4 -Konzentration im Boden und somit die Auswaschung.

In den drei Hauptnutzungsjahren liegen die jährlichen Sulfat-Schwefelausträge auf einem mit Rindergülle gedüngten üblichen Niveau von deutlich unter 10 kg S/ha und Jahr (vgl.: DIEPOLDER et al., 2007, <http://www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/24432/>, Stand: November 2011 und DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2007, 145ff).

Tabelle 84: Jährliche Sulfat-Schwefelauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
$\text{SO}_4\text{-S}$ [kg/ha]												
$\bar{x}$	24,97 ^a	4,62 ^a	4,78 ^a	2,44 ^a	49,75 ^a	4,49 ^a	4,53 ^a	2,26 ^a	37,36	4,56	4,65 ^l	2,35 ^k
Med	24,76	4,44	3,65	2,58	39,37	4,54	4,54	2,58	28,24	4,49	4,39	2,58
s	6,65	1,09	2,72	0,51	36,08	0,65	0,29	0,67	26,88	0,81	1,74	0,54
min	18,43	3,64	2,80	1,88	20,00	3,82	4,24	1,49	18,43	3,64	2,80	1,49
max	31,72	5,80	7,88	2,86	89,87	5,12	4,82	2,70	89,87	5,80	7,88	2,86

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 85: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Sulfat-Schwefelauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

$\text{SO}_4\text{-S}$ [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,006
Düngung	0,275	0,827	0,513	0,827	0,873
Wiederholung	0,565	0,867	0,180	0,276	0,368

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

4.3.3.7 Phosphor-Auswaschung

Vor allem durch Phosphor- und Stickstoffverbindungen erfolgen die Gewässerbelastungen mit Nährstoffen. Beide Stoffgruppen führen zur Eutrophierung bzw. zur Überdüngung der Gewässer und dadurch zu übermäßigem Wachstum der Algen oder Wasserpflanzen. Dadurch entziehen sie vielen anderen Pflanzenarten, Kleinlebewesen und Tieren die Lebensgrundlage, weil durch den biologischen Abbau der Pflanzenmasse der Sauerstoffgehalt im Wasser erheblich sinkt und weil die Algen das Sonnenlicht für Wasserpflanzen abschirmen (vgl.: MOHAUPT et al., 2010, 11).

Wenn der Pflanzenbestand regelmäßig gemäht und das Mähgut von der Fläche abtransportiert wird, sind die jährlichen P-Austräge gering. Eine dichte, geschlossene Grasnarbe minimiert ebenfalls Auswaschungsverluste durch Phosphor (vgl.: BOHNER et al., 2007, 95).

Für Grünlandböden ist die Düngung die wichtigste Phosphor-Quelle (vgl.: BOHNER und EDER, 2006, 56).

Laut Richtlinie für die Sachgerechte Düngung liegt die Empfehlung für die Phosphordüngung bei einer Nährstoffversorgung der Gehaltsklasse C bei 70 kg/ha und Jahr P_2O_5 für gräserbetontes Feldfutter. Gemäß der Einstufung des Gehaltes an pflanzenverfügbaren Phosphor (siehe Tabelle 24) sind für die Gehaltsklasse A Zuschläge von 40 % zur P_2O_5 -Düngemenge zu machen. Um von P_2O_5 zu elementarem Phosphor zu gelangen, müssen die Werte mit dem Faktor 0,4364 multipliziert werden. Im Mittel von 5 Jahren sind die Empfehlungen für die Düngung mit Phosphor einzuhalten (vgl.: BMLFUW, 2006, 38ff).

Daraus ergibt sich eine Phosphordüngeempfehlung von 42,77 kg/ha und Jahr. Durch Multiplikation der P_2O_5 Nährstoffzufuhr insgesamt in kg/ha über die Rindergülle (Tabelle 15) mit 0,4364 erhält man die P-Zufuhr in kg/ha. Im Anlagejahr wurden 10 kg/ha beim niedrigen bzw. 26 kg/ha Phosphor beim hohen Düngungsniveau über Rindergülle (Wirtschaftsdünger) zugeführt, im ersten Hauptnutzungsjahr 15 bzw. 37 kg/ha, im Zweiten 17 bzw. 31 kg/ha und dritten 16 bzw. 30 kg/ha.

Mit dem zugeführten Wirtschaftsdünger konnte die Phosphordüngeempfehlung nicht zur Gänze abgedeckt werden, daher hätte eigentlich eine mineralische Ergänzungsdüngung erfolgen müssen.

Die Gesamtposphorfracht (P kg/ha) liegt im Anlagejahr bei 113,04^a g/ha beim niedrigen und 105,13^a g/ha beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 86). Sowohl der Faktor Düngung als auch der Faktor Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf die P-Auswaschung (siehe Tabelle 87). Im ersten Hauptnutzungsjahr sinken die P-Austräge auf 36,60^a kg/ha beim niedrigen bzw. 32,91^a g/ha beim hohen Düngungsniveau. 2009 und 2010 bleibt die Gesamtposphorfracht auf einem ähnlichen Niveau wie 2008 mit 43,68^a und 47,76^a g/ha beim niedrigen und 36,55^a und 45,36^a g/ha beim hohen Düngungsniveau. In allen drei Hauptnutzungsjahren 2008, 2009 und 2010 haben die Faktoren Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss. Die Betrachtung der Jahre 2009 und 2010 ergibt einen signifikanten Einfluss der Faktoren Jahr, Düngung und Wiederholung, die Wechselwirkungen haben keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtposphorauswaschung. In Abbildung 45 ist der Verlauf der Phosphorauswaschung zu sehen.

Der P-Austrag ist während der gesamten Versuchsdauer auf einem sehr niedrigen Niveau (vergleiche Bohner et al., 2007, 91ff), obwohl im Anlagejahr die Gesamtposphorfracht um das Zwei- bis Dreifache höher ist als in den Hauptnutzungsjahren. 2007 war der Pflanzenbestand noch nicht voll entwickelt, wodurch weniger Ertrag gebildet und Phosphor über die Pflanzen entzogen wurde als 2008 bis 2010. Weiters war die Grasnarbe noch nicht vollständig dicht und geschlossen, weshalb im Anlagejahr der Phosphoraustrag höher ist.

Sowohl die Phosphorversorgung im Boden (siehe Kapitel 4.1.5), als auch der Gesamtposphoraustrag mit dem Sickerwasser sind auf einem sehr niedrigen Niveau. Die sinkenden Bodenphosphorgehalte deuten auf den hohen pflanzlichen Entzug hin, den die Düngung mit Wirtschaftsdünger nicht ausreichend abdeckte.

Tabelle 86: Jährliche Gesamtphosphorauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
P [g/ha]												
$\bar{x}$	113,04 ^a	36,60 ^a	43,68 ^a	47,76 ^a	105,13 ^a	32,91 ^a	36,55 ^a	45,36 ^a	109,08	34,76	40,12 ^k	46,56 ^l
Med	106,00	39,64	37,16	42,55	98,93	28,30	32,35	39,62	104,84	33,97	36,24	41,09
s	14,25	10,23	12,92	12,46	25,99	14,64	12,38	15,45	19,24	11,48	11,97	12,62
min	103,67	25,20	35,32	38,74	82,80	21,12	26,81	33,61	82,80	21,12	26,81	33,61
max	129,44	44,96	58,57	61,97	133,66	49,30	50,48	62,87	133,66	49,30	58,57	62,87

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 87: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Gesamtphosphorauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

P [g/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010
Jahr					0,027
Düngung					0,048
Wiederholung					0,005
Düngung*Wiederholung					0,522
Jahr*Wiederholung					0,642
Jahr*Düngung					0,160
R ²					0,996
korrigiertes R ²					0,976

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

4.3.3.8 Stickstoffauswaschung

4.3.3.8.1 Ammonium-Stickstoff-Auswaschung

Die Ammonium-Stickstofffracht (NH₄-N kg/ha) befindet sich im Anlagejahr bei 0,36^a kg/ha beim niedrigen und 0,34^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 88). Im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr sinken die NH₄-N-Auswaschungen auf 0,22^a und 0,11^a kg/ha beim niedrigen bzw. 0,26^a und 0,14^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau.

Tabelle 88: Jährliche Ammoniumstickstoffauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
NH₄-N [kg/ha]												
$\bar{x}$	0,36 ^a	0,22 ^a	0,11 ^a	0,94 ^a	0,34 ^a	0,26 ^a	0,14 ^a	1,01 ^a	0,35	0,24	0,13 ^k	0,97 ^l
Med	0,28	0,17	0,10	0,84	0,34	0,23	0,11	0,95	0,31	0,21	0,11	0,93
s	0,16	0,16	0,04	0,40	0,09	0,08	0,06	0,14	0,12	0,12	0,05	0,27
min	0,26	0,09	0,08	0,59	0,26	0,20	0,10	0,90	0,26	0,09	0,08	0,59
max	0,55	0,40	0,16	1,38	0,43	0,35	0,21	1,17	0,55	0,40	0,21	1,38

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 89: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Ammoniumstickstoffauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

NH₄-N [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010
Jahr					0,010
Düngung					0,627
Wiederholung					0,187
Düngung*Wiederholung					0,550
Jahr*Wiederholung					0,319
Jahr*Düngung					0,815
R ²					0,982
korrigiertes R ²					0,901

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

Im dritten Hauptnutzungsjahr sind die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Austräge auf $0,94^a$ kg/ha beim niedrigen und $1,01^a$ kg/ha beim hohen Düngungsniveau angestiegen. Sowohl der Faktor Düngung als auch der Faktor Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Auswaschung in den Jahren 2007 bis 2010 (siehe Tabelle 89). Der Faktor Jahr hat bei der Betrachtung der Jahre 2009-2010 einen signifikanten, die Faktoren Düngung, Wiederholung und die Wechselwirkungen haben keinen signifikanten Einfluss auf die Ammonium-Stickstofffracht.

4.3.3.8.2 Nitrit-Stickstoff-Auswaschung

Die $\text{NO}_2\text{-N}$ -Fracht in kg/ha beträgt im Anlagejahr $0,11^a$ beim niedrigen bzw. $0,13^a$ beim hohen Düngungsniveau und 2008 sinkt sie auf $0,07^a$ kg/ha bzw. $0,11^a$ kg/ha (siehe Tabelle 90). Im zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr liegen die $\text{NO}_2\text{-N}$ -Auswaschungen bei $0,07^a$ und $0,04^a$ kg/ha beim niedrigen bzw. $0,08^a$ und $0,06^a$ kg/ha beim hohen Düngungsniveau. In den vier Versuchsjahren 2007, 2008, 2009 und 2010 haben die Faktoren Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf den Nitrit-Stickstoffaustrag (siehe Tabelle 91). Die Betrachtung der Jahre 2009-2010 ergibt keinen signifikanten Einfluss der Faktoren Jahr, Düngung und Wiederholung.

Tabelle 90: Jährliche Nitritstickstoffauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau				Ø 2007 Ø 2008 Ø 2009 Ø 2010			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
$\text{NO}_2\text{-N}$ [kg/ha]												
$\bar{x}$	0,11 ^a	0,07 ^a	0,07 ^a	0,04 ^a	0,13 ^a	0,11 ^a	0,08 ^a	0,06 ^a	0,12	0,09	0,08 ^k	0,05 ^k
Med	0,12	0,04	0,08	0,04	0,14	0,10	0,08	0,04	0,13	0,10	0,08	0,04
s	0,02	0,07	0,01	0,02	0,06	0,02	0,02	0,07	0,04	0,05	0,02	0,05
min	0,09	0,03	0,06	0,02	0,07	0,10	0,06	0,02	0,07	0,03	0,06	0,02
max	0,13	0,15	0,08	0,06	0,19	0,14	0,11	0,14	0,19	0,15	0,11	0,14

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 91: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Nitritstickstoffauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

$\text{NO}_2\text{-N}$ [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,078
Düngung	0,513	0,513	0,827	0,827	0,749
Wiederholung	0,276	0,180	0,180	0,368	0,211

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

4.3.3.8.3 Nitrat-Stickstoff-Auswaschung

Die Nitrat-Stickstoffauswaschung befindet sich im Anlagejahr bei $167,37^a$ kg/ha beim niedrigen und $183,40^a$ kg/ha beim hohen Düngungsniveau (siehe Tabelle 92). Im ersten Hauptnutzungsjahr sinkt sie auf $16,93^a$ kg/ha beim niedrigen bzw. $13,70^a$ kg/ha beim hohen Düngungsniveau. 2009 und 2010 bleiben die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Frachten mit $25,34^a$ und $14,22^a$ kg/ha beim niedrigen und $16,48^a$ und $14,00^a$ kg/ha beim hohen Düngungsniveau. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf den $\text{NO}_3\text{-N}$ -Austrag (siehe Tabelle 93). Die Betrachtung der Jahre 2009-2010 ergibt ebenfalls keinen signifikanten Einfluss der Faktoren Jahr, Düngung und Wiederholung.

Tabelle 92: Jährliche Nitratstickstoffauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau				Ø 2007 Ø 2008 Ø 2009 Ø 2010			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
$\text{NO}_3\text{-N}$ [kg/ha]												
$\bar{x}$	167,37 ^a	16,93 ^a	25,34 ^a	14,22 ^a	183,40 ^a	13,70 ^a	16,48 ^a	14,00 ^a	175,39	15,31	20,91 ^k	14,11 ^k
Med	173,26	13,90	20,11	15,93	182,27	12,87	16,59	15,49	174,17	13,38	17,03	15,71
s	11,81	10,81	11,86	6,10	12,43	5,71	0,66	4,28	13,95	7,93	8,94	4,72
min	153,78	7,96	16,99	7,45	171,58	8,46	15,77	9,18	153,78	7,96	15,77	7,45
max	175,07	28,93	38,91	19,29	196,35	19,78	17,07	17,34	196,35	28,93	38,91	19,29

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 93: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Nitratstickstoffauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

NO ₃ -N [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,150
Düngung	0,275	0,827	0,127	0,827	0,262
Wiederholung	0,180	0,651	0,276	0,368	0,155
p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant					

4.3.3.8.4 Anorganische Stickstoffauswaschung

Die anorganische Stickstoffauswaschung setzt sich aus der NH₄-N-, NO₂-N- und NO₃-N-Fracht zusammen. Unter der anorganischen Stickstofffracht nimmt der Nitrat-Stickstoffaustrag den mengenmäßig größten Teil ein. Die N_{anorg}-Fracht wird folgendermaßen berechnet:

$$N_{\text{anorg}}\text{-Fracht [kg/ha]} = \frac{(\text{NH}_4\text{-N-Konz.} + \text{NO}_2\text{-N-Konz.} + \text{NO}_3\text{-N-Konz. [mg/l]}) * \text{Sickerwassermenge [l/m}^2\text{]}}{100}$$

Im Anlagejahr liegt die anorganische Stickstofffracht bei 167,85^a kg/ha beim niedrigen bzw. 183,88^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau und sinkt auf 17,22^a bzw. 14,07^a kg/ha im ersten Hauptnutzungsjahr (siehe Tabelle 94). Im zweiten und dritten Hauptnutzungsjahr befinden sich die N_{anorg}-Auswaschungen bei 25,53^a und 15,20^a kg/ha beim niedrigen bzw. 16,70^a und 15,08^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau. In den Jahren 2007, 2008, 2009 und 2010 haben die Faktoren Düngung und Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf den N_{anorg}-Austrag (siehe Tabelle 95).

Auch die Betrachtung der Jahre 2009-2010 bringt keinen signifikanten Einfluss der Faktoren Jahr, Düngung und Wiederholung.

Tabelle 94: Jährliche anorganische Stickstoffauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010
N _{anorg} [kg/ha]												
$\bar{x}$	167,85 ^a	17,22 ^a	25,53 ^a	15,20 ^a	183,88 ^a	14,07 ^a	16,70 ^a	15,08 ^a	175,86	15,65	21,11 ^k	15,14 ^k
Med	173,60	14,13	20,27	17,37	182,78	13,17	16,76	16,53	174,54	13,65	17,27	16,95
s	11,63	10,72	11,90	6,09	12,36	5,76	0,72	4,37	13,87	7,89	8,96	4,74
min	154,46	8,38	17,16	8,32	172,11	8,82	15,95	10,17	154,46	8,38	15,95	8,32
max	175,47	29,14	39,15	19,90	196,75	20,23	17,39	18,53	196,75	29,14	39,15	19,90

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Tabelle 95: Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen anorganischen Stickstoffauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

N _{anorg} [kg/ha]	2007*	2008*	2009*	2010*	2009-2010*
Jahr					0,337
Düngung	0,275	0,827	0,127	0,827	0,200
Wiederholung	0,565	0,651	0,276	0,368	0,092
p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant					

Der Verlauf der anorganischen Stickstoffauswaschung ist in Abbildung 46 im Anhang zu sehen.

Im Anlagejahr ist die anorganische Stickstofffracht auf einem sehr hohen Niveau. Durch die hohe Mineralisierung nach dem Umbruch und den geringen pflanzlichen Stickstoffentzug aufgrund niedriger Erträge wurde viel Stickstoff mit dem Sickerwasser ausgewaschen. 2007 wurden 70 kg N/ha beim niedrigen bzw. 180 kg N/ha beim hohen Düngungsniveau über Rindergülle zugeführt. Dem gegenüber steht ein N-Austrag mit ca. 167 bzw. 183 kg N/ha über das Sickerwasser. Der Versuch wäre aufgrund der hohen Mineralisierung eigentlich ohne Düngung ausgekommen, denn es wurden sogar höhere Stickstoffmengen ausgewaschen als über die Düngung zugeführt.

In Vergleich zu den Ergebnissen von BOHNER et al., 2007, 96 mit anorganischen Stickstoffausträgen zwischen 1,4 bis 3,4 kg N/ha und Jahr am Standort Gumpenstein (Steiermark) sind die N_{anorg}-Frachten am Versuchsstandort Winklhof in den drei Hauptnutzungsjahren 2008 bis 2010 hoch.

Aufgrund der hohen Sickerwassermenge in Kombination mit der N_{anorg} -Konzentration und des hohen Stickstoffnachlieferungspotenzials des Bodens wird mehr Stickstoff ausgetragen. Solange der Stickstoff sinnvoll in Form des pflanzlichen Entzugs verwertet wird, hat das Düngungsniveau keinen signifikanten Einfluss auf die jährliche Stickstoffauswaschung.

MURER, 2002, hat in einem sechsjährigen Versuch in der oberen Pettenbachrinne in Oberösterreich Nitratstickstoffausträge von 7 bis 37 kg N/ha unter Grünland mit hoher Bewirtschaftungsintensität festgestellt. Die NO_3 -N-Fracht in Winklhof liegt in den drei Hauptnutzungsjahren mit ca. 13 bis 25 kg N/ha innerhalb der Werte von Murer.

Aus den Untersuchungen geht deutlich hervor, dass die Neuanlage mit Umbruch die kritische Phase ist. Bedingt durch den Umbruch, aber auch aufgrund des hohen Stickstoffmineralisierungspotenzials am Versuchsstandort Winklhof, wird viel Stickstoff mineralisiert. Daher sollte man im Anlagejahr nach Umbruch mit der Düngung sehr vorsichtig und zurückhaltend sein, um übermäßige Nährstoffauswaschungen zu verhindern.

4.4 STICKSTOFFFLÄCHENBILANZ

Die Stickstoffflächenbilanz betrachtet die Stickstoffflüsse eines Schläges innerhalb eines Erntejahres. Sie stellt den Input und Output gegenüber und der Saldo lässt Aussagen über Austragspotenziale zu. Deutlich negative Bilanzsalden weisen normalerweise auf eine hohe Ausnutzung der Nährstoffnachlieferung aus dem Boden hin, steigern aber das Risiko langfristig verringernder Bodenfruchtbarkeit. Bei ausgeglichenen Salden stimmen die Nährstoffzufuhren und Nährstoffabfuhr gut überein und deutlich positive Salden steigern das Risiko des N-Austrages (vgl.: PETER et al., 2005, 25ff).

Die nachfolgenden Stickstoffbilanzen wurden nur für die Variante Schwerkraftlysimeter erstellt, da nur für diese Varianten auch entsprechende Auswaschungsraten für Stickstoff berechnet werden konnten.

Der Input besteht aus Stickstoffdüngung (auf Basis $N_{\text{ex Lager}}$ gerechnet, da die im Versuch eingesetzte Rindergülle unmittelbar vor der Ausbringung analysiert wurde), Stickstoffdeposition und Stickstoffbindung jeweils in kg N/ha und Jahr. Der Output setzt sich aus Stickstoffauswaschung, Stickstoffentzug und unvermeidbare Stickstoffverluste bei der Ausbringung jeweils in kg N/ha und Jahr (siehe Abbildung 33) zusammen. Für die Bilanzierung wird der Stickstoffertrag innerhalb des Lysimeterrings als N-Entzugsgröße verwendet. Den Bilanzsaldo erhält man durch die Gegenüberstellung von Input zu Output.

Abbildung 33: Bilanzglieder der Stickstoffflächenbilanz

Input	Output
N-Düngung	N-Entzug
N-Deposition	N-Auswaschung
N_2 -Bindung	unvermeidbare N-Verluste
Stickstoffsaldo	
Input minus Output	

Bevor nun die Ergebnisse der Stickstoffflächenbilanz erläutert werden, folgt die Beschreibung der Stickstoffertragswerte. Tabelle 96 zeigt die deskriptive Statistik des Stickstoffertrags in kg/ha und Tabelle 97 die varianzanalytischen Auswertungen. Die N-Ertragswerte für die Schwerkraftlysimetervariante sind gewichtet (innerhalb/außerhalb des Lysimeterrings).

Tabelle 96: Stickstofferträge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau				Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft- lysimeter	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- niveau				
Stickstoff- ertrag [kg/ha]												
2008												
$\bar{x}$	178,5	232,5	219,2	210,1 ^a	210,8	254,8	216,4	227,3 ^a	194,6 ^e	243,7 ^e	217,8 ^e	218,7
Med	188,1	231,7	250,5	228,5	212,8	249,7	189,5	216,2	208,1	242,3	220,0	223,8
s	46,2	4,5	74,5	50,2	6,7	11,1	48,5	32,6	34,4	14,3	56,3	42,0
min	128,2	228,5	134,2	128,2	203,3	247,1	187,2	187,2	128,2	228,5	134,2	128,2
max	219,1	237,4	273,0	273,0	216,2	267,5	272,4	272,4	219,1	267,5	273,0	273,0
2009												
$\bar{x}$	167,0	170,8	190,5	176,1 ^a	203,8	203,2	201,6	202,9 ^b	185,4 ^e	187,0 ^e	196,1 ^e	189,5 ^f
Med	165,7	177,8	191,9	177,8	198,5	203,7	202,5	202,5	182,3	189,9	195,5	191,5
s	6,0	12,9	9,3	13,9	16,1	1,9	36,4	20,0	22,9	19,6	24,5	21,6
min	161,8	155,8	180,6	155,8	191,1	201,1	164,7	164,7	161,8	155,8	164,7	155,8
max	173,5	178,7	199,1	199,1	221,9	204,9	237,5	237,5	221,9	204,9	237,5	237,5
2010												
$\bar{x}$	141,5	126,8	154,6	141,0 ^a	169,7	174,8	171,6	172,0 ^b	155,6 ^e	150,8 ^e	163,1 ^e	156,5 ^k
Med	144,0	132,3	152,5	144,0	171,0	177,5	170,0	171,0	152,8	150,8	163,0	157,5
s	9,5	11,1	3,7	14,2	13,1	6,5	5,6	8,1	18,5	27,5	10,2	19,5
min	131,0	114,0	152,5	114,0	156,0	167,4	167,0	156,0	131,0	114,0	152,5	114,0
max	149,6	134,2	159,0	159,0	182,1	179,4	177,8	182,1	182,1	179,4	177,8	182,1

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

Der N-Ertrag befindet sich im ersten Hauptnutzungsjahr 2008 bei 210,1^a kg/ha beim niedrigen bzw. 227,3^a kg/ha beim hohen Düngungsniveau und sinkt 2009 auf 176,1^a bzw. 202,9^b kg/ha und 2010 auf 141,0^a bzw. 172,0^b kg/ha. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben in allen drei Hauptnutzungsjahren keinen signifikanten Einfluss auf den N-Ertrag.

Der Faktor Düngung hat hingegen 2009 und 2010 einen signifikanten und 2008 keinen signifikanten Einfluss. Die Betrachtung der Jahre 2009-2010 ergibt einen hochsignifikanten Einfluss der Faktoren Jahr bzw. Düngung und keinen signifikanten Einfluss der Faktoren Lysimetersystem bzw. Wiederholung.

Tabelle 97: Varianzanalytische Auswertungen zum Stickstoffertrag im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

abhängige Variable Stickstoffertrag [kg/ha]	2007	2008	2009	2010	2009-2010
Jahr					0,001
Lysimetersystem		0,143	0,576	0,288	0,101
Düngung		0,331	0,032	0,005	0,001
Wiederholung		0,128	0,742	0,494	0,990
Jahr*Lysimetersystem					0,737
Jahr*Düngung					0,546
Jahr*Wiederholung					0,217
Lysimetersystem*Düngung		0,668	0,470	0,177	0,065
Lysimetersystem*Wiederholung		0,466	0,302	0,854	0,093
Düngung*Wiederholung		0,316	0,806	0,948	0,667
Jahr*Lysimetersystem*Düngung					0,391
Jahr*Lysimetersystem*Wiederholung					0,260
Jahr*Düngung*Wiederholung					0,698
Lysimetersystem*Düngung*Wiederholung					0,112
R ²		0,854	0,843	0,917	0,985
korrigiertes R ²		0,379	0,334	0,648	0,866

p-Werte bei Konfidenzniveau 95%

< 0,001 hoch signifikant

< 0,05 signifikant

≥ 0,05 nicht signifikant

In Tabelle 98 ist die deskriptive Statistik des Stickstoffsaldos in kg N/ha und Jahr zu sehen. Tabelle 99 zeigt die Signifikanzwerte der multiplen Varianzanalyse für den Stickstoffsaldo. Die Faktoren sind für die Versuchsjahre 2007 bis 2010 jeweils die Düngung und die Wiederholung und für die Betrachtung der Jahre 2009-2010 zusätzlich der Faktor Jahr und die Wechselwirkungen.

Tabelle 98: Stickstoffsalden im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau					hohes Düngungsniveau									
	2007	2008	2009	2010	Ø über Jahre	2007	2008	2009	2010	Ø über Jahre	Ø 2007	Ø 2008	Ø 2009	Ø 2010	Ø über Jahre
Stickstoff-saldo [kg N/ha*a]															
$\bar{x}$	-144,6 ^a	-114,8 ^a	-47,8 ^a	-33,0 ^a	-85,0	-67,7 ^b	-11,2 ^b	-28,7 ^a	-48,6 ^a	-39,06	-106,1	-63,0	-38,2 ^k	-40,8 ^k	-62,0
Med	-145,7	-119,2	-52,7	-38,1	-82,3	-71,5	-16,2	-33,4	-48,3	-36,6	-109,1	-59,4	-36,6	-41,3	-50,5
s	3,6	10,8	17,4	14,8	49,4	12,2	8,6	14,1	16,9	24,9	42,9	57,4	17,6	16,6	44,9
min	-147,5	-122,7	-62,1	-44,5	-147,5	-77,6	-16,3	-39,8	-65,7	-77,6	-147,5	-122,7	-62,1	-65,7	-147,5
max	-140,5	-102,5	-28,5	-16,3	-16,3	-54,0	-1,3	-12,8	-31,9	-1,3	-54,0	-1,3	-12,8	-16,3	-1,3

a, b - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

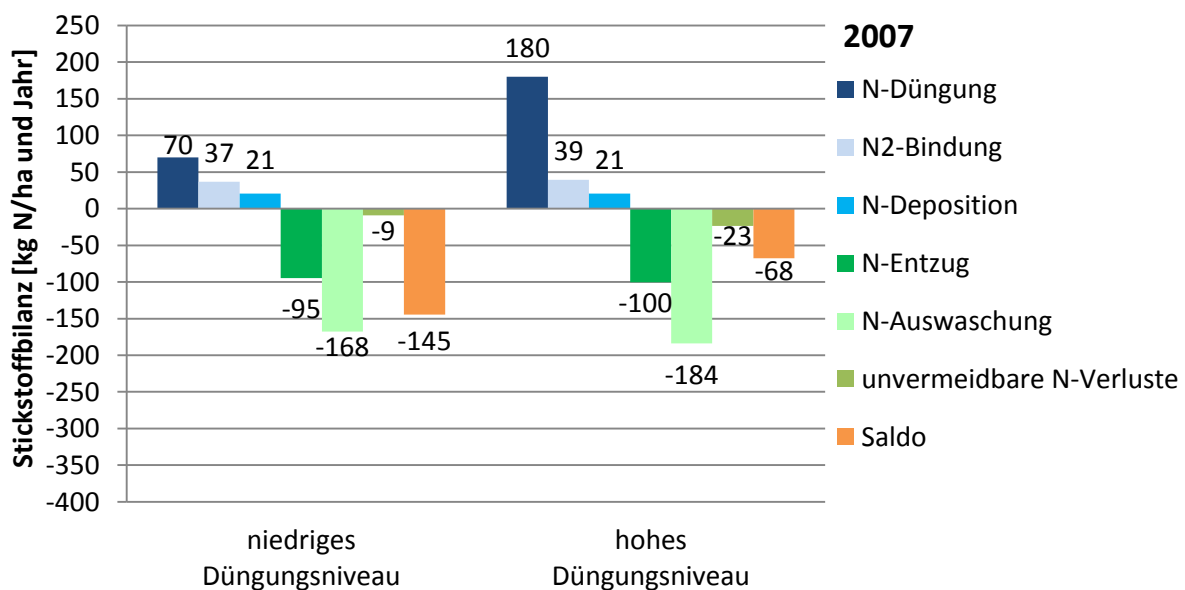
Tabelle 99: Varianzanalytische Auswertungen zum Stickstoffsaldo im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

abhängige Variable: Stickstoffsaldo	2007	2008*	2009	2010	2009-2010
Jahr					0,361
Düngung	0,004	0,050	0,060	0,151	0,514
Wiederholung	0,228	0,867	0,072	0,140	0,077
Düngung*Wiederholung					0,136
Jahr*Wiederholung					0,020
Jahr*Düngung					0,016
R ²	0,992		0,954	0,897	0,990
korrigiertes R ²	0,980		0,884	0,743	0,946

p-Werte bei Konfidenzniveau 95% < 0,001 hoch signifikant < 0,05 signifikant >= 0,05 nicht signifikant

In Abbildung 34 bis Abbildung 37 ist jeweils die Stickstoffbilanz der einzelnen Versuchsjahre in niedriges und hohes Düngungsniveau unterteilt zu sehen. Abbildung 38 zeigt zum einen den Mittelwert für die beiden Düngungsniveaus, zum anderen den Durchschnitt der Düngungsvariante über die gesamte Versuchsdauer.

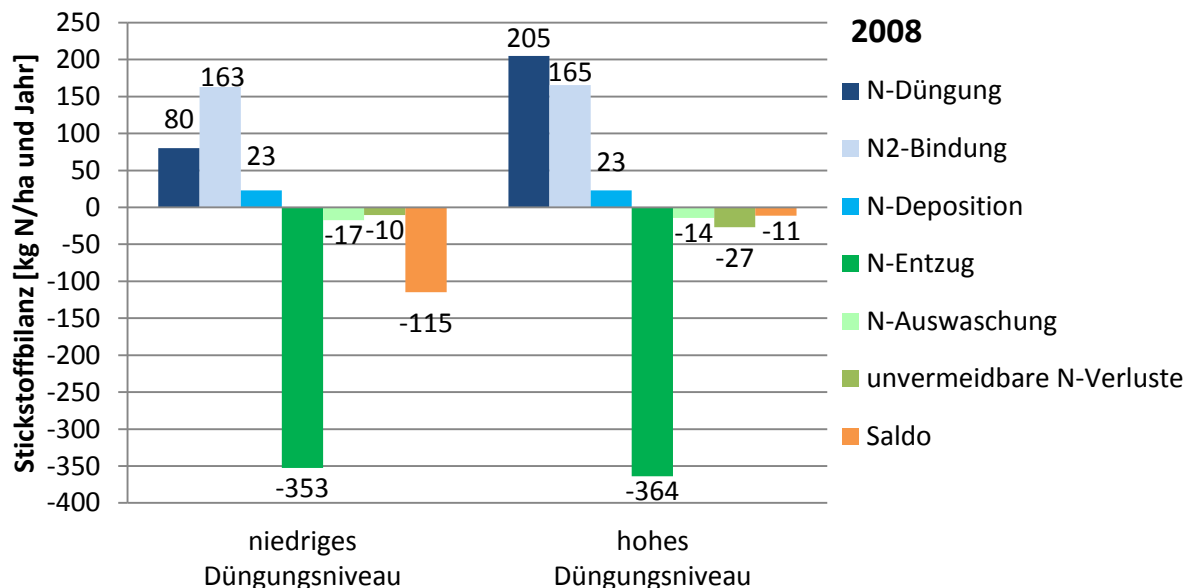
Abbildung 34: Stickstoffbilanz für das Anlagejahr 2007



Im Anlagejahr liegt der Stickstoffsaldo (N-Saldo) in kg N/ha bei $-144,6^a$ beim niedrigen und $-67,7^b$ beim hohen Düngungsniveau. Der Faktor Düngungsvariante hat einen signifikanten, der Faktor Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf den N-Saldo.

Entscheidend für die Betrachtung einer Stickstoffbilanz ist es, sich die einzelnen Bilanzglieder anzusehen, denn der Saldo kann auf unterschiedliche Art und Weise zustande kommen. In Abbildung 34 sieht man deutlich, dass der Stickstoffentzug (N-Entzug) über die Pflanzen mit 95 kg N/ha beim niedrigen bzw. 100 kg N/ha beim hohen Düngungsniveau auf der Outputseite und die Stickstoffbindung über die Leguminosen (N_2 -Bindung) mit 37 bzw. 39 kg N/ha auf der Inputseite aufgrund der niedrigen Trockenmasseerträge sehr gering ist. Allerdings ist die Stickstoffauswaschung (N-Auswaschung) mit 168 bzw. 184 kg N/ha auf der Outputseite sehr hoch. Die Stickstoffdeposition (N-Deposition) beträgt 2007 21 kg N/ha und die unvermeidbaren Stickstoffverluste bei der Ausbringung (unvermeidbare gasförmige N-Verluste) befinden sich bei 9 kg N/ha beim niedrigen bzw. 23 kg N/ha beim hohen Düngungsniveau. Der Stickstoffeintrag über die Düngung beträgt 70 bzw. 180 kg N/ha. Der Stickstoffsaldo ist auf beiden Düngungsvarianten negativ, beim niedrigen Düngungsniveau stärker als am hohen.

Abbildung 35: Stickstoffbilanz für das erste Hauptnutzungsjahr 2008



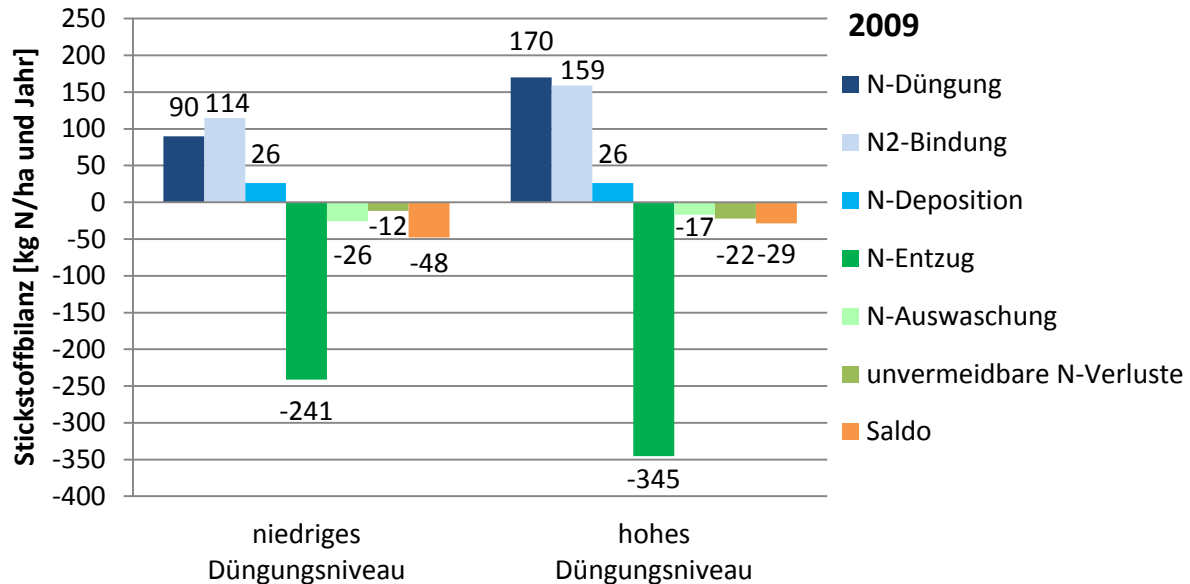
Im ersten Hauptnutzungsjahr 2008 befinden sich die Stickstoffsalden bei $-114,8^a$ kg N/ha beim niedrigen bzw. $-11,2^b$ kg N/ha beim hohen Düngungsniveau. Der Faktor Düngung hat einen signifikanten und der Faktor Wiederholung keinen signifikanten Einfluss auf den N-Saldo.

Der N-Entzug über die Pflanzen steigt im Vergleich zum Anlagejahr auf 353 bzw. 364 kg N/ha und die N_2 -Bindung auf 163 bzw. 165 kg N/ha (siehe Abbildung 35). Die N-Deposition beträgt jeweils 23 kg N/ha und die unvermeidbaren N-Verluste bei der Ausbringung liegen bei 10 kg N/ha beim niedrigen bzw. 27 kg N/ha beim hohen Düngungsniveau. Die Pflanzen können 2008 die N-Düngung von 80 kg N/ha bzw. 205 kg N/ha wesentlich effizienter nutzen, weil sie deutlich mehr Stickstoff entziehen. Daher ist die N-Auswaschung mit 17 bzw. 14 kg N/ha gering. Auch 2008 ist auf beiden Düngungsvarianten der Saldo negativ, beim niedrigen Düngungsniveau allerdings wieder stärker.

Der Stickstoffsaldo liegt im zweiten Hauptnutzungsjahr 2009 bei $-47,8^a$ kg N/ha beim niedrigen bzw. $-28,7^a$ kg N/ha beim hohen Düngungsniveau. Sowohl der Faktor Düngung als auch der Faktor Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf den N-Saldo.

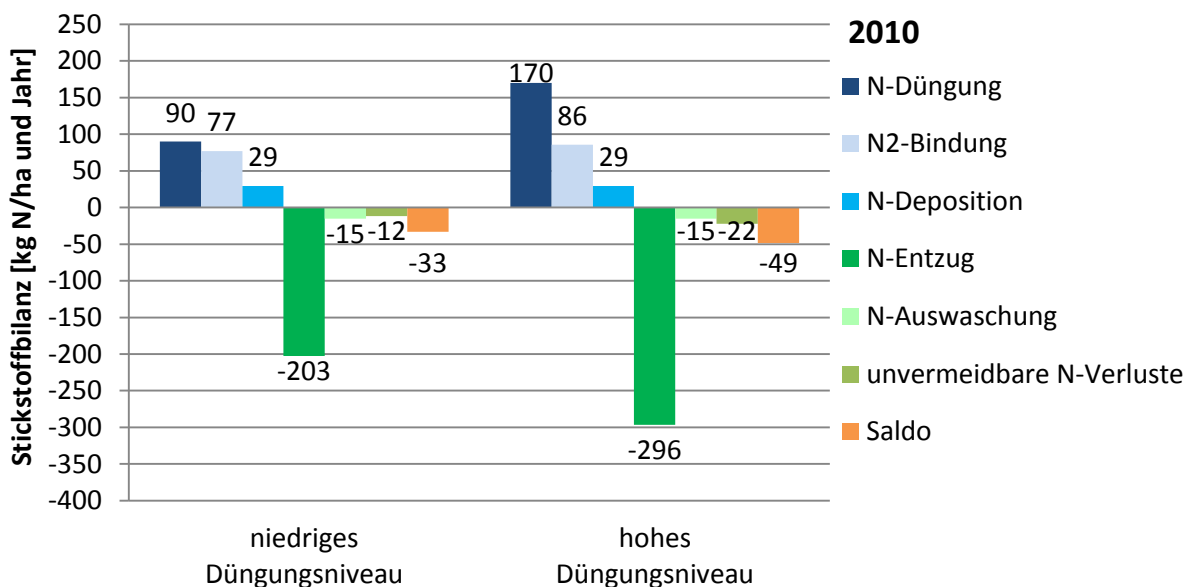
2009 liegt die N-Deposition bei 26 kg N/ha und die N₂-Bindung beträgt 114 kg N/ha beim niedrigen und 159 kg N/ha beim hohen Düngungsniveau (siehe Abbildung 36). Die unvermeidbaren N-Verluste bei der Ausbringung befinden sich bei 12 bzw. 22 kg N/ha. Die N-Düngung mit 90 bzw. 170 kg N/ha wurde von den Pflanzen gut verwertet (N-Entzug 241 bzw. 345 kg N/ha), weshalb die N-Auswaschung mit 26 bzw. 17 kg N/ha gering ist. Auf der niedrigen Düngungsvariante ist der Stickstoffsaldo negativer als auf der hohen.

Abbildung 36: Stickstoffbilanz für das zweite Hauptnutzungsjahr 2009



Im dritten Hauptnutzungsjahr 2010 befindet sich der Stickstoffsaldo bei -33,0^a kg N/ha beim niedrigen bzw. -48,6^a kg N/ha beim hohen Düngungsniveau. Die Faktoren Düngung und Wiederholung haben keinen signifikanten Einfluss auf den N-Saldo.

Abbildung 37: Stickstoffbilanz für das dritte Hauptnutzungsjahr 2010

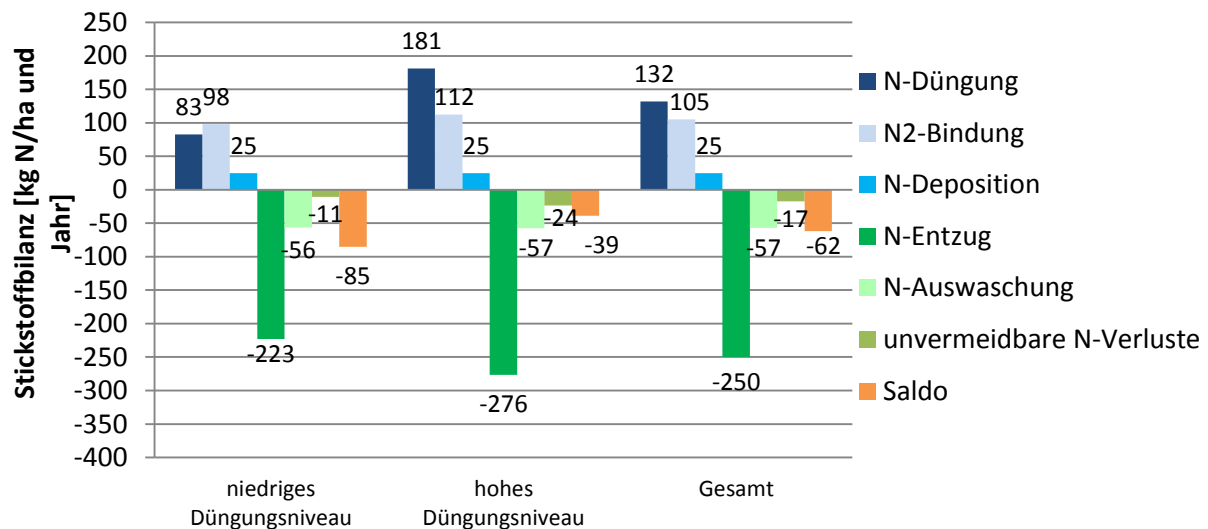


Sowohl der Eintrag über die N₂-Bindung mit 77 bzw. 86 kg N/ha, als auch der Austrag über den N-Entzug mit 203 bzw. 296 kg N/ha ist im Vergleich zu 2009 deutlich zurückgegangen (siehe Abbildung 37). Die N-Deposition beträgt 29 kg N/ha und die unvermeidbaren N-Verluste befinden sich bei 12 kg N/ha beim niedrigen bzw. 22 kg N/ha beim hohen Düngungsniveau. Die Stickstoffauswaschung ist wie 2008 und 2009 mit jeweils 15 kg N/ha gering.

Der über Düngung ausgebrachte Stickstoff von 90 kg N/ha beim niedrigen und 170 kg N/ha beim hohen Düngungsniveau wird von den Pflanzen im hohen Ausmaß entzogen. Der N-Saldo ist auf beiden Düngungsvarianten negativ, allerdings ist er erstmals beim hohen Düngungsniveau negativer als beim niedrigen.

Im Mittel über die vier Versuchsjahre beträgt die N-Düngung beim niedrigen Düngungsniveau 83 kg N/ha, beim hohen 181 kg N/ha bzw. im Durchschnitt über die beiden Varianten 132 kg N/ha (siehe Abbildung 38). Durch die Leguminosen wurden 98, 112 bzw. 105 kg N/ha eingetragen. Der Stickstoffeintrag über die Deposition liegt im Mittel bei 25 kg N/ha. Beim niedrigen Düngungsniveau wurden 223 kg N/ha, beim hohen 276 kg N/ha und im Mittel über die beiden Varianten 250 kg N/ha durch die Pflanzen entzogen. Die mittlere N-Auswaschung befindet sich bei 56, 57 bzw. 57 kg N/ha und die unvermeidbaren N-Verluste bei der Ausbringung bei 11, 24 bzw. 17 kg N/ha. Der N-Saldo beträgt im Mittel -85 kg N/ha beim niedrigen, -39 kg N/ha beim hohen und -62 kg N/ha im Durchschnitt über beide Varianten.

Abbildung 38: Stickstoffbilanz im Durchschnitt der vier Versuchsjahre



Die Betrachtung der Jahre 2009-2010 ergibt keinen signifikanten Einfluss der Faktoren Jahr, Düngung und Wiederholung, die Wechselwirkungen Düngung*Wiederholung und Jahr*Düngung haben hingegen einen signifikanten Einfluss auf den Stickstoffsaldo.

Aus den Untersuchungen geht deutlich hervor, dass die Neuanlage mit Umbruch die kritische Phase ist. Bedingt durch den Umbruch wird im Anlagejahr viel Stickstoff mineralisiert. Die Pflanzen entziehen jedoch nur wenig Stickstoff, weshalb der überschüssige Stickstoff im Boden mit dem Sickerwasser ausgetragen wird. Obwohl der N-Saldo negativ ist, wurde viel Stickstoff ausgewaschen. Im Anlagejahr nach Umbruch sollte daher vorsichtig mit der Düngung umgegangen werden, um Nährstoffauswaschungen zu verhindern. Auch eine schnelle und gute Bestandsentwicklung vor allem im Anlagejahr ist von großer Bedeutung, damit der zugeführte Stickstoff ausreichend durch die Pflanzen entzogen wird.

In den Hauptnutzungsjahren wird der eingetragene Stickstoff über die Pflanzen entzogen, weshalb nur mehr geringe Mengen an Stickstoff ausgewaschen werden. Ein Pflanzenbestand mit einer geschlossenen Narbe und ein Artengruppenverhältnis von ca. 50-60 % Gräser, 10-30 % Leguminosen und 10-30 % Kräuter sind von großer Bedeutung, um die zugeführten Nährstoffe optimal auszunützen. Es ist wichtig die Pflanzen bedarfsgerecht, unter Einhaltung der Gesetze und Richtlinien, zu ernähren, um Nährstoffauswaschungen zu vermeiden. Ziel sind ausgeglichene Nährstoffbilanzen.

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

In der vorliegenden Masterarbeit „Einfluss unterschiedlicher Düngungsintensitäten auf standortbedingte Nährstoffauswaschungen im Feldfutterbau“ wurde eine vierjährige Feldversuchsreihe am Standort Winklhof (Salzburg) ausgewertet. Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen galt dem Stickstoff, der sowohl als wichtiger Pflanzennährstoff als auch aus umweltökologischer Sicht große Bedeutung besitzt.

Im April 2007 erfolgte der Umbruch der Fläche und der Anbau der Feldfuttermischung IM. 2007 wurden die Parzellen zweimal und 2008 bis 2010 viermal pro Jahr geerntet. Der Versuch war in drei Lysimetersysteme (Saugkerze, Schwerkraftlysimeter, ohne Lysimetersystem), zwei Düngungsvarianten (niedrig, hoch) und drei Wiederholungen angelegt. Unter anderem erfolgte die Untersuchung des Bodens, der Futterqualität, die Entwicklung der Pflanzenbestände und der Sickerwässer. Des Weiteren wurden auch Stickstoffflächenbilanzen für ausgewählte Versuchsvarianten berechnet.

Sowohl die Schwerkraftlysimeter als auch die Saugkerzen dienten der Gewinnung von Sickerwasser. Die Variante ohne Lysimetersystem stellte die Kontrollvariante für die pflanzenbaulichen Erhebungen wie Ertrag und Entwicklung des Pflanzenbestandes dar.

Die Düngungsniveaus lagen 2007 und 2008 bei 90 bzw. 230 kg N/ha und Jahr, ab 2009 wurden die Varianten mit 90 kg N/ha und Jahr bzw. 170 kg N/ha und Jahr aus Rindergülle versorgt. Hintergrund für das Herabsetzen des Düngungsniveaus war das Auslaufen einer Ausnahmeregelung, von der Österreich 2006 bis 2007 im Rahmen des nationalen Aktionsprogramms zur Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie Gebrauch gemacht hat. In diesem Zeitraum war für rinderhaltende Betriebe die Ausbringung von max. 230 kg N/ha und Jahr aus Wirtschaftsdüngern möglich.

Im Anlagejahr 2007 und in den Hauptnutzungsjahren 2008 und 2010 erfolgte jeweils eine Bodenuntersuchung. Demnach konnte die Bodenart als lehmiger Schluff, die Bodenschwere als mittel, der Humusgehalt als stark humos und das Stickstoffmineralisierungspotenzial als hoch eingestuft werden. Aufgrund des Ausgangsgesteins waren die Anteile von Magnesium und Calcium an der Gesamtaustauschkapazität sehr hoch. Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor- und Kalium war hingegen als sehr niedrig bis niedrig einzustufen.

Die Frage „Wie verändern die verschiedenen Düngungsniveaus den Ertrag, Rohproteingehalt/-ertrag und Stickstoffentzug von Feldfutter?“ kann folgendermaßen beantwortet werden:

Das hohe Düngungsniveau bewirkte 2007, 2009 und 2010 höhere Trockenmasseerträge. Die TM-Erträge blieben jedoch während der gesamten Versuchsdauer unter den Erwartungen von ca. 100 dt/ha. Im Anlagejahr waren die Trockenmasseerträge um die Hälfte bis ein Drittel geringer als in den Hauptnutzungsjahren. Zum einen erfolgten zwei Schröpfungsschnitte, welche bei der Ertragsbestimmung nicht berücksichtigt wurden, bevor der Versuch im Anlagejahr noch zweimal geerntet wurde. Zum anderen erreichen neu angelegte Bestände aufgrund der unterschiedlichen Keim- und Entwicklungsdauer der einzelnen Pflanzenarten im Anlagejahr oft nicht die volle Ertragsfähigkeit.

Die Rohproteinerträge, die Verknüpfung der Trockenmasseerträge und Rohproteingehalte, blieben während der gesamten Versuchsdauer ebenfalls unter den Erwartungen. Beim niedrigen Düngungsniveau wurde deutlich mehr Trockenmasse pro eingesetzten Wirtschaftsdüngerstickstoff_{ex} Lager produziert als beim hohen und damit eine deutlich höhere N-Effizienz erreicht.

In allen vier Versuchsjahren unterschieden sich diesbezüglich die beiden Düngungsniveaus hochsignifikant. Das Düngungsniveau beeinflusste die Leguminosen- und Kräuteranteile in Gewichtsprozent während der gesamten Versuchsdauer nicht, allerdings bewirkte die hohe Düngungsstufe höhere Gräseranteile im Jahr 2010. Insgesamt lagen die Leguminosenanteile auf einem für eine gräserbetonte Feldfuttermischung hohen Niveau. Auch die Kräuteranteile waren relativ hoch, die Gräseranteile jedoch insgesamt zu niedrig, weshalb das unter den vorliegenden Standortbedingungen zu erwartende Ertragsniveau nicht erreicht werden konnte.

Timothe und Rotklee sind gegenüber der Ausgangsmischung bis zum Ende des Versuchs 2010 gänzlich verschwunden, die Anteile an Wiesenschwingel und Englischem Raygras stark gesunken. Das Knaulgras hat sich hingegen in Winklhof gut etabliert. Bei den Leguminosen hat sich der Weißklee stark ausgebreitet, da er intensiv genutzt werden will und durchaus auch höhere Düngermengen verträgt.

Einen wesentlichen Teil in dieser Arbeit nahmen die Ergebnisse der Sickerwasseranalyse ein. Mit den Saugkerzen und Schwerkraftlysimeter wurden Sickerwässer gesammelt und anschließend auf pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Nährstoffkonzentrationen untersucht.

Der Versuchsstandort Winklhof ist durch hohe Jahresniederschlagssummen von 1301 bis 1720 mm gekennzeichnet. Dadurch war auch die jährliche Sickerwasserbildung mit 705 bis 1083 mm sehr hoch. Das Sickerwasser ist das Transportmedium für den Nährstoffaustrag. Daher steigern hohe Sickerwassermengen in Kombination mit der Nährstoffkonzentration das Risiko des Nährstoffaustrags. In etwa die Hälfte der Niederschläge wurde durch die Pflanzen entzogen oder verdunstete, die andere Hälfte diente zur Sickerwasserbildung.

Die Konzentration von Natrium, Kalium, Phosphor und Schwefel im Sickerwasser waren sehr niedrig. Allerdings kam es aufgrund des Ausgangsgesteins zu hohen Calcium- und Magnesiumkonzentrationen. Die Ammonium- und Nitritkonzentration überschritten mehrmals den Indikatorparameter- bzw. Parameterwert laut Trinkwasserverordnung.

Im Anlagejahr kam es zur Überschreitung des Nitrat-Parameterwerts von 50 mg/l. Gründe hierfür sind zum einen die hohe Mineralisierung nach dem Umbruch und zum anderen der geringe pflanzliche Stickstoffentzug. In den Hauptnutzungsjahren 2008 bis 2010 lag die durchschnittliche Nitratkonzentration mit ca. 10 mg/l auf einem für Grünland üblichen, niedrigen Niveau.

Durch die Multiplikation der Nährstoffkonzentrationen mit den Sickerwassermengen erhält man die Nährstoffauswaschungsmengen. Ähnlich wie bei den Nährstoffkonzentrationen waren die Kalium- und Phosphorauswaschung sehr niedrig. Die Sulfatauswaschung lag auf einem für Grünland üblichen Niveau. Mit dem Sickerwasser wurden sehr hohe Mengen an Calcium und Magnesium ausgetragen.

Die anorganische Stickstoffauswaschung war im Anlagejahr sehr hoch. Aufgrund der hohen Mineralisierung nach dem Umbruch wäre der Versuch auch ohne Düngung ausgekommen, denn es wurden insgesamt höhere Stickstoffmengen ausgewaschen als über die Düngung zugeführt.

In den Hauptnutzungsjahren sanken die N_{anorg} -Austräge, waren allerdings aufgrund der hohen Sickerwassermengen in Vergleich zu anderen Versuchen höher. Solange der Stickstoff sinnvoll in Form des pflanzlichen Entzugs verwertet wird, hat das Düngungsniveau keinen signifikanten Einfluss auf die jährliche Stickstoffauswaschung.

Die Stickstoffbilanzierung ergab für alle vier Versuchsjahre auf beiden Düngungsvarianten negative Stickstoffsalden. 2007 und 2008 bewirkte das niedrige Düngungsniveau einen negativeren N-Saldo als das hohe. 2009 und 2010 hatte die Düngungsstufe keinen Einfluss.

Die Untersuchungen ergaben, dass die Neuanlage von Feldfutterbeständen mittels Umbruch hinsichtlich des Stickstoffaustrags eine kritische Phase durchläuft. Im Anlagejahr war aufgrund des Umbruchs die Stickstoffmineralisierung sehr hoch, zugleich allerdings der pflanzliche Stickstoffentzug sehr niedrig, weshalb der überschüssige Stickstoff im Boden mit dem Sickerwasser ausgetragen wurde. Bei Neuanlagen mittels Umbruch sollte daher das Düngungsniveau in der Anfangsphase niedrig gehalten werden, um Nährstoffauswaschungen zu verhindern. Für eine umweltverträgliche Landwirtschaft ist eine standortangepasste Bewirtschaftungsintensität wichtig, um Nährstoffausträge in das Grundwasser und in die Atmosphäre zu minimieren.

6 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Verteilung der Grünfutterflächen 2010	3
Abbildung 2:	Mindestabstand zur Böschungsoberkante	10
Abbildung 3:	Gebietsabgrenzung innerhalb des Regionalprojektes Grundwasserschutz und Grünlanderhaltung	15
Abbildung 4:	Der landwirtschaftliche Stickstoffkreislauf	18
Abbildung 5:	Zone, Mehrphasensystem unterhalb der Geländeoberkante	23
Abbildung 6:	Lage der Außenstelle Winklhof	24
Abbildung 7:	Klimadiagramm 2007	26
Abbildung 8:	Klimadiagramm 2008	26
Abbildung 9:	Klimadiagramm 2009	27
Abbildung 10:	Klimadiagramm 2010	27
Abbildung 11:	Bodenprofil der Versuchsanlage Winklhof	29
Abbildung 12:	Versuchsplan	31
Abbildung 13:	Schematischer Schnitt durch die Lysimeteranlage	32
Abbildung 14:	Schematische Darstellung einer Saugkerzenanlage	33
Abbildung 15:	Erträge und mögliche Verluste am Grünland	36
Abbildung 16:	Chemische Zusammensetzung von Tier und Nahrung	37
Abbildung 17:	Entwicklung des Pflanzenbestandes auf den mit Saugkerzen ausgestatteten Parzellen des Lysimetervergleichsversuches Winklhof	70
Abbildung 18:	Entwicklung des Pflanzenbestandes auf den mit Schwerkraftlysimeter ausgestatteten Parzellen des Lysimetervergleichsversuches Winklhof	71
Abbildung 19:	Entwicklung des Pflanzenbestandes auf den ohne Lysimetersystem ausgestatteten Parzellen des Lysimetervergleichsversuches Winklhof	72
Abbildung 20:	Sickerwasserverlauf der Schwerkraftlysimetervariante über den gesamten Versuchszeitraum	78
Abbildung 21:	Verlauf des pH-Wertes im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	79
Abbildung 22:	Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	82
Abbildung 23:	Verlauf der Natriumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	85
Abbildung 24:	Verlauf der Ammoniumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	87
Abbildung 25:	Verlauf der Kaliumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	90
Abbildung 26:	Verlauf der Calciumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	92
Abbildung 27:	Verlauf der Magnesiumkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	94
Abbildung 28:	Verlauf der Chloridkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	95
Abbildung 29:	Verlauf der Nitritkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	99
Abbildung 30:	Verlauf der Nitratkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	102
Abbildung 31:	Verlauf der Gesamtphosphorkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	103
Abbildung 32:	Verlauf der Sulfatkonzentration im Sickerwasser über den gesamten Versuchszeitraum	106
Abbildung 33:	Bilanzglieder der Stickstoffflächenbilanz	118
Abbildung 34:	Stickstoffbilanz für das Anlagejahr 2007	120
Abbildung 35:	Stickstoffbilanz für das erste Hauptnutzungsjahr 2008	121
Abbildung 36:	Stickstoffbilanz für das zweite Hauptnutzungsjahr 2009	122
Abbildung 37:	Stickstoffbilanz für das dritte Hauptnutzungsjahr 2010	122
Abbildung 38:	Stickstoffbilanz im Durchschnitt der vier Versuchsjahre	123
Abbildung 39:	Verlauf der Natriumauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum	157
Abbildung 40:	Verlauf der Kaliumauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum	157
Abbildung 41:	Verlauf der Calciumauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum	157
Abbildung 42:	Verlauf der Magnesiumauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum	158
Abbildung 43:	Verlauf der Chlorauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum	158
Abbildung 44:	Verlauf der Sulfatschwefel auswaschung über den gesamten Versuchszeitraum	158
Abbildung 45:	Verlauf der Gesamtphosphorauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum	159
Abbildung 46:	Verlauf der anorganischen Stickstoffauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum	159

7 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Ideale botanische Zusammensetzung von Grünlandbeständen (Ertragsanteile in %)	5
Tabelle 2:	Einteilung der ÖAG-Saatgutmischungen für den Feldfutterbau	6
Tabelle 3:	Mengenmäßige Beschränkung der Stickstoff-Düngeausbringung	8
Tabelle 4:	Mindestabstand zu stehenden und fließenden Gewässern	10
Tabelle 5:	Maximale Stickstoff-Bedarfswerte im Grünland und Feldfutterbau bei mittlerer Ertragslage	12
Tabelle 6:	Grenzwerte	13
Tabelle 7:	Beispiel für die Berechnung des jahreswirksamen Stickstoffanfalls einer Milchkuh (Milchleistung 6000 kg/Jahr; Gülle)	16
Tabelle 8:	Ursachen für Nitratbelastungen des Grundwassers	17
Tabelle 9:	Relativer Anteil von $\text{NH}_4\text{-N}$ und organisch gebundenem N in unterschiedlichen Wirtschaftsdüngern	19
Tabelle 10:	Komponenten zur Ermittlung der Hoftorbilanz, Stall-Feld-Bilanz und Flächenbilanz für Stickstoff	21
Tabelle 11:	Übersicht über den Niederschlag in mm der einzelnen Versuchsjahre	28
Tabelle 12:	Übersicht der Fruchtfolge 2001-2010	30
Tabelle 13:	Stickstoffzufuhr in kg/ha (2001 bis 2010)	30
Tabelle 14:	Mischungsrahmen Saatgutmischung IM	33
Tabelle 15:	Güllegaben und Nährstoffzufuhren im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	34
Tabelle 16:	Auflistung der Erntetermine am Versuchsstandort Winklhof	35
Tabelle 17:	Verwendete Bodenuntersuchungsverfahren	35
Tabelle 18:	Sickerwasserbeprobungstermine	40
Tabelle 19:	Werte für den Stickstoffeintrag über nasse Deposition (Haunsberg, Werfenwengen) und Schätzung der Gesamtdeposition für den Versuchsstandort Winklhof	42
Tabelle 20:	Einstufung der Bodenschwere nach dem Tongehalt oder der Bodenart	45
Tabelle 21:	Einstufung des Humusgehaltes in Gehaltsklassen	46
Tabelle 22:	Einstufung der Bodenreaktion	47
Tabelle 23:	Einstufung des Stickstoffmineralisierungspotenzials	48
Tabelle 24:	Einstufung der Phosphorgehalte	49
Tabelle 25:	Einstufung der Kaliumgehalte unter Berücksichtigung der Bodenschwere	49
Tabelle 26:	Einstufung der Magnesiumgehalte unter Berücksichtigung der Bodenschwere	51
Tabelle 27:	Ausgewählte Bodenkennwerte im Lysimetervergleichsversuch Winklhof (Mittelwerte)	52
Tabelle 28:	Trockenmasseerträge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	54
Tabelle 29:	Varianzanalytische Auswertungen zum TM-Ertrag im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	55
Tabelle 30:	Einschätzung der Ertragslage auf Basis des durchschnittlichen Ertrages	55
Tabelle 31:	Österreichische Futtererträge für Klee gras der Jahre 2007-2010	56
Tabelle 32:	Zusammensetzung des Proteins mit den prozentuell am häufigsten vorkommenden Elementen	56
Tabelle 33:	XP-Gehalte im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	57
Tabelle 34:	Varianzanalytische Auswertungen zum XP-Gehalt im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	57
Tabelle 35:	Österreichische Rohproteingehalte und -erträge für Klee gras der Jahre 2007-2010	58
Tabelle 36:	Rohproteinerträge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	58
Tabelle 37:	Varianzanalytische Auswertungen zum XP-Ertrag im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	59
Tabelle 38:	Stickstoffeffizienzen ex Lager im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	60
Tabelle 39:	Varianzanalytische Auswertungen zur Stickstoffeffizienz ex Lager im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	60
Tabelle 40:	Artengruppenverhältnis im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	62
Tabelle 41:	Varianzanalytische Auswertungen zum Artengruppenverhältnis im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	63
Tabelle 42:	Gräser-, Leguminosen- und Kräutererträge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	65
Tabelle 43:	Varianzanalytische Auswertungen zum Gräser-, Leguminosen- und Kräuterertrag im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	67
Tabelle 44:	Zusammenfassende Pflanzenbestandsaufnahme im Lysimetervergleichsversuch Winklhof (2010)	75

Tabelle 45:	Niederschlag und Sickerwassermenge der einzelnen Versuchsjahre und Quartale unter Schwerkraftlysimeter im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	76
Tabelle 46:	Jahressickerwassermenge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	77
Tabelle 47:	Varianzanalytische Auswertungen der Jahressickerwassermenge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	77
Tabelle 48:	pH-Werte des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	80
Tabelle 49:	Varianzanalytische Auswertungen zum pH-Wert im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	80
Tabelle 50:	pH-Wert Einteilung für Wasser _____	81
Tabelle 51:	Elektrische Leitfähigkeit des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	81
Tabelle 52:	Varianzanalytische Auswertungen zur elektrischen Leitfähigkeit im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	82
Tabelle 53:	Natriumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	84
Tabelle 54:	Varianzanalytische Auswertungen zur Natriumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	84
Tabelle 55:	Ammoniumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	86
Tabelle 56:	Varianzanalytische Auswertungen zur Ammoniumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	86
Tabelle 57:	Kaliumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	89
Tabelle 58:	Varianzanalytische Auswertungen zur Kaliumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	89
Tabelle 59:	Calciumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	91
Tabelle 60:	Varianzanalytische Auswertungen zur Calciumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	91
Tabelle 61:	Magnesiumkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	93
Tabelle 62:	Varianzanalytische Auswertungen zur Magnesiumkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	93
Tabelle 63:	Chloridkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	96
Tabelle 64:	Varianzanalytische Auswertungen zur Chloridkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	97
Tabelle 65:	Nitritkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	98
Tabelle 66:	Varianzanalytische Auswertungen zur Nitritkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	98
Tabelle 67:	Nitratkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	100
Tabelle 68:	Varianzanalytische Auswertungen zur Nitratkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	101
Tabelle 69:	Verteilung der Nitratwerte hinsichtlich des Parameterwertes im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	101
Tabelle 70:	Gesamtphosphorkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	104
Tabelle 71:	Varianzanalytische Auswertungen zur Gesamtphosphorkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	105
Tabelle 72:	Sulfatkonzentrationen des Sickerwassers im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	105
Tabelle 73:	Varianzanalytische Auswertungen zur Sulfatkonzentration im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	106
Tabelle 74:	Jährliche Natriumauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	108
Tabelle 75:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Natriumauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	109
Tabelle 76:	Jährliche Kaliumauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	110
Tabelle 77:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Kaliumauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	110
Tabelle 78:	Jährliche Calciumauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch _____	111
Tabelle 79:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Calciumauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	111
Tabelle 80:	Jährliche Magnesiumauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof _____	112

Tabelle 81:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Magnesiumauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	112
Tabelle 82:	Jährliche Chloridauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	112
Tabelle 83:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Chloridauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	113
Tabelle 84:	Jährliche Sulfat-Schwefelauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	113
Tabelle 85:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Sulfat-Schwefelauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	113
Tabelle 86:	Jährliche Gesamtphosphorauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	115
Tabelle 87:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Gesamtphosphorauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	115
Tabelle 88:	Jährliche Ammoniumstickstoffauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	115
Tabelle 89:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Ammoniumstickstoffauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	115
Tabelle 90:	Jährliche Nitritstickstoffauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	116
Tabelle 91:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Nitritstickstoffauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	116
Tabelle 92:	Jährliche Nitratstickstoffauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	116
Tabelle 93:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen Nitratstickstoffauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	117
Tabelle 94:	Jährliche anorganische Stickstoffauswaschungen im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	117
Tabelle 95:	Varianzanalytische Auswertungen zur jährlichen anorganischen Stickstoffauswaschung im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	117
Tabelle 96:	Stickstofferträge im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	119
Tabelle 97:	Varianzanalytische Auswertungen zum Stickstoffertrag im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	119
Tabelle 98:	Stickstoffsalden im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	120
Tabelle 99:	Varianzanalytische Auswertungen zum Stickstoffsaldo im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	120
Tabelle 100:	Detaillierte Ergebnisse der Bodenkennwerte im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	138
Tabelle 101:	Varianzanalytische Auswertungen der Bodenkennwerte im Lysimetervergleichsversuch Winklhof	146
Tabelle 102:	Pflanzenbestandsaufnahme Parzellen 11 a-c	149
Tabelle 103:	Pflanzenbestandsaufnahme Parzellen 12 a-c	150
Tabelle 104:	Pflanzenbestandsaufnahme 21 a-c innerhalb vom Ring	151
Tabelle 105:	Pflanzenbestandsaufnahme 21 a-c außerhalb vom Ring	152
Tabelle 106:	Pflanzenbestandsaufnahme 22 a-c innerhalb vom Ring	153
Tabelle 107:	Pflanzenbestandsaufnahme 22 a-c außerhalb vom Ring	154
Tabelle 108:	Pflanzenbestandsaufnahme 31 a-c	155
Tabelle 109:	Pflanzenbestandsaufnahme 32 a-c	156

8 LITERATURVERZEICHNIS

AGRARMARKT AUSTRIA (2010): Merkblatt der Marktordnungsstelle Agrarmarkt Austria (AMA) zur Cross Compliance – Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen. Gröbming: Walling Ennstaler Druckerei und Verlag GmbH.

AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (2009): Infoblatt – Nitrat im Grundwasser. Stand 05/09.

AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (2011): Wir sind Wasser – Ratgeber Hausbrunnen Informationsbroschüre.

BACHL-STAUDINGER, M. und HARTMANN, S. (2011): Entwicklung und Bedeutung des Feldfutterbaues. Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, <http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/41818/>, Stand: Jänner 2012.

BAHADIR, M.; PARLAR, H. und SPITELLER, M. (2000): Springer Umweltlexikon. 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.

BAUMGÄRTEL, G.; BREITSCHUH, G.; EBERTSEDER, T.; ECKERT, H.; GUTSER, R.; HEGE, U.; HEROLD, L.; WIESLER, F. und ZORN, W. (2007): Standpunkt - Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA).

BERGSCHMIDT, A. (2004): Indikatoren für die internationale und nationale Umweltberichterstattung im Agrarbereich. FAL Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 269.

BFW (2012): Digitale Bodenkarte Österreichs. siehe http://gis.lebensministerium.at/eBOD/frames/index.php?&145=true&gui_id=eBOD, Stand: Jänner 2012.

BLUME, H.-P.; BRÜMMER, G.W.; HORN, R.; KANDELER, E.; KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R.; STAHR, K. und WILKE, B.-M. (2010): Scheffer/Schachtschnabel – Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

BMG (2011): Österreichisches Lebensmittelbuch - Codexkapitel / B 1 / Trinkwasser. 4. Auflage.

BMLFUW (2006): Richtlinien für die Sachgerechte Düngung – Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Auflage.

BMLFUW (2007): EU Nitratrichtlinie 91/676/EWG – Bericht der Republik Österreich über die Inanspruchnahme einer Ausnahmeregelung zur EU Nitratrichtlinie.

BMLFUW (2008a): EU Nitratrichtlinie 91/676/EWG Österreichischer Bericht 2008 – Gemäß Artikel 10 der Richtlinie 91/676/EWG zum Schutz von Gewässern vor der Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen über den Zeitraum 2003-2007.

BMLFUW (2008b): Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau. 3. Auflage mit Kulturdatenblätter.

BMLFUW (2011a): Grüner Bericht 2011 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. 52. Auflage.

BMLFUW (2011b): Österreichisches Programm für die Entwicklung des Ländlichen Raums 2007-2013 – Fassung nach 4. Programmänderung.

- BÖHM, K. E.; CEPUDER, P.; EDER, G.; FANK, J.; FEICHTINGER, F.; FÜHR, F.; GAUDLITZ, H.; GERZABEK, M. H.; HINREINER, G.; HOLZMANN, H.; KLOTZ, D.; KNAPPE, S.; KRENN, A.; LEIS, A.; MEISSNER, R.; MITTELSTAEDT, W.; NACHTNEBEL, H. P.; PÜTZ, Th.; RIESING, J.; RUPP, H.; SEEGER, J.; VON UNOLD, G. und VEREECKEN, H. (2002): Lysimeter – Anforderungen, Erfahrungen, technische Konzepte. Beiträge zur Hydrogeologie 53, Graz, 115-232.
- BOHNER, A. (2005): Der Boden – Die Basis im Grünland. Landwirtschaftliche Blätter, 17. März 2005.
- BOHNER, A. und EDER, G. (2006): Boden- und Grundwasserschutz im Wirtschaftsgrünland. Umweltprogramme für die Landwirtschaft, 7.- 8. März 2006, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein.
- BOHNER, A.; ADAM, M.; BAUMGARTEN, A. und EDER, G. (2005): Nährstoffkreislauf in einem Silomais-Ökosystem mit besonderer Berücksichtigung des Stickstoffs. 11. Gumpensteiner Lysimetertagung, 5. und 6. April 2005, 99-108.
- BOHNER, A.; BUCHGRABER, K.; FROSCHAUER, J.; GALLER, J.; HOLZNER, H.; HUMER, J.; PÖLLINGER, A. und PÖTSCH, E. M. (2002): Kalk – Wichtig für Acker und Grünland. ÖAG-Sonderbeilage, Info 5/2002, der fortschrittliche Landwirt.
- BOHNER, A.; EDER, G. und SCHINK, M. (2007): Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 17. und 18. April 2007, 91-100.
- BREITENBACH, B. (2007): pH-Wert im Boden und Bodenacidität – Studienarbeit. 1. Auflage, Norderstedt: GRIN-Verlag.
- BUCHGRABER, K. (2010): Skriptum spezielle Grünlandbewirtschaftung – SS 2010.
- BUCHGRABER, K. und GERL, S.M. (2000): Grünlandmischungen mit den richtigen Sorten. ÖAG-Sonderbeilage, der fortschrittliche Landwirt Saatgutmischungen für Grünland, Heft 11/2000.
- BUCHGRABER, K. und GINDL, G. (2004): Zeitgemässe Grünlandbewirtschaftung. 2., völlig neu bearbeitete Auflage, Graz, Stuttgart: Leopold Stocker Verlag.
- BUCHGRABER, K. und SCHAUMBERGER, A. (2006): Grünlandbewirtschaftung in Österreich. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Jahrgang 2006, 1-7.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT und ARBEITSGEMEINSCHAFT LANDWIRTSCHAFTLICHER VERSUCHSANSTALTEN FÜR ÖSTERREICH (1983): Österreichisches Methodenbuch für die Untersuchung von Futtermitteln, Futterzusatzstoffen und Schadstoffen. Wien: Bundesanstalt für Bodenwirtschaft.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSCHUTZ (2008): Grundwasser in Deutschland – Reihe Umweltpolitik.
- CEPUDER, P. (2008): Skriptum zur Vorlesung Bodenwasserschutz WS 2008/2009. Universität für Bodenkultur Wien.
- DERSCHE, G. (2009.): Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen als Hilfsmittel für die sachgerechte Düngung. AGES Institut für Bodengesundheit und Pflanzenernährung, Heffterhofer Umweltgespräche am 10.11.2009, http://www.heffterhof.at/sites/fileadmin/pdf/umweltg/10112009/Dersch_.pdf, Stand: Oktober 2011.
- DIEPOLDER, M. und RASCHBACHER, S. (2007): Untersuchungen zur Stickstoff-, Phosphor- und Schwefelbelastung des Sickerwassers unter Dauergrünland. Irdning: 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 17. und 18. April 2007, 145-146.
- DIEPOLDER, M.; JAKOB, B.; RASCHBACHER, S. und HEIGL, L. (2007): Schwefelausträge bei Dauergrünland. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/24432/>.

- DURNER, W. (2001): Sickerwasserprognose aus naturwissenschaftlicher Sicht. S.81-811, Proceedings des GAB Altlastensymposiums 2001, 21. und 22. Mai 2001, Nürnberg GAB mbH, Innere Wiener Straße 11a, München.
- DYCKMANS, A. (1986): Die Bedeutung des Weissklee (*Trifolium Repens* L.) im Dauergrünland – Sein Beitrag zur Ertragsleistung und Stickstoffversorgung bei abgestuft intensiver Nutzung. Xanten: Diss. Universität Hohenheim.
- EDER, G. (2001): Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumauswaschung bei Wirtschaftsdüngeranwendung im Grün- und Ackerland. Irdning: 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, 24. und 25. April 2001, 61-66.
- FESSMANN, I und ORTH, H. (2002): Angewandte Chemie und Umwelttechnik für Ingenieure – Handbuch für Studium und betriebliche Praxis. Landsberg/Lech: ecomed Sicherheit in der ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co.KG.
- FREDE, G. und DABBERT, S. (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Landberg: ecomed Verlagsgesellschaft.
- FRIEDL, H. (s.a.): Bodenverhältnisse der Versuchsfläche an der LFS Winklhof. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Institut für Bodenwirtschaft, Außenstelle Graz.
- GERL, S.M. (2001): Entwicklung des Pflanzenbestandes, Ertrag und Futterwert von Qualitätssaatgutmischungen für Feldfutterbau und Dauergrünland. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, Irdning: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein.
- GIMMI, T. (2004): Gewässerschutz – Verlagerung gelöster Stoffe durch den Boden ins Grundwasser. Schriftreihe Umwelt Nr. 349, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- GIRRBACH, M. (2009): Die Stickstoffbestimmung nach Dumas – die Umsetzung einer alten Methode mit moderner Technik. 121. VDLUFA-Kongress Kurzfassung der Referate Karlsruhe, Darmstadt: VDLUFA-Verlag.
- HEIN, W. (2004): Erste Trends aus dem lysimeterbegleitenden Umweltversuch Winklhof bei Hallein. Tagung Landwirtschaft und Gewässerschutz 2. und 3. März 2004. Gumpenstein: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, 35-40.
- HEIN, W. und MURER, E. (2002): Lysimeteranlage Winklhof – Aufbau und erste Ergebnisse. Bericht Alva-Jahrestagung 2002 zum Thema Lebensmittelsicherheit pflanzlicher Produkte Obst, Wein, Gemüse, 27.-29.05.2002 an der Höheren Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein und Obstbau, Klosterneuburg, 263-264.
- JANSSEN, J. und LAATZ, W. (2010): Statistische Datenanalyse mit SPSS. 7., neu bearbeitet und erweiterte Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- KIRCHGEßNER, M.; ROTH, F.; SCHWARZ, F. und STANGL, G. (2008): Tierernährung – Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 12., neu überarbeitete Auflage, Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH.
- KLAGHOFFER, E. (1991): Bodenphysikalische Aspekte bei der Erfassung von gelösten Stoffen mit Hilfe von Lysimetern. Bericht über die Gumpensteiner Lysimetertagung Art der Sickerwassergewinnung und Ergebnisinterpretation. Gumpenstein: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, 19-23.
- KLATT, S. (2008): Der Beitrag heimischer Leguminosen zur Stickstoffversorgung artenreicher Wiesen im westlichen Hunsrück (Rheinland-Pfalz). Göttingen: Cuvillier Verlag.
- KLETZAN, D.; SINABELL, F. und SCHMID, E. (2004): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie für den Sektor Landwirtschaft – Ökonomische Analyse der Wassernutzung – Entwicklung von methodischen Ansätzen. Studie des Österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung I/4 Wasserlogistik und –ökonomie.

- KRAUTZER, B.; BUCHGRABER K.; EGGER, H.; FRANK, P.; FRÜHWIRTH, P.; HIETZ, M.; HUMER, J.; LEONHARDT, C.; LUFTENSTEINER, H.W.; MECHTLER, K.; MEUSBURGER, C; PERATONER, G.; PÖTSCH, E. M. UND STARZ, W. (2010): Handbuch für ÖAG-Empfehlungen von ÖAG-kontrollierten Qualitätssaatgutmischungen für das Dauergrünland und den Feldfutterbau (Mischungssaisonen 2011/12/13). Irdning: ÖAG-Fachgruppe Saatgutproduktion und Züchtung von Futterpflanzen.
- KUNKEL, R.; HANNAPPEL, S.; VOIGT, H.-J. und WENDLAND, F. (2002): Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ausgewählter hydrostratigrafischer Einheiten in Deutschland – Endbericht eines FuE-Vorhabens im Rahmen der Länderfinanzierungsprogramms „Wasser und Boden“ der Ländergemeinschaft Wasser.
- LASER, H. (2005): Vergleichbarkeit der Rohproteinbestimmung nach Dumas und nach Kjeldahl bei unterschiedlichen Weideaufwüchsen. Band 7 - Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 2005, 146-149.
- LATSCHA, H.P. und KAZMAIER, U. (2008): Chemie für Biologen. 3. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- LEDER, K.; BAUER, H.; PUXBAUM, H.; KRANABETTER, A. und HOLZTRATTNER, H. (2011): Nasse Deposition im Land Salzburg Oktober 09-September 10. Wien, Salzburg: Im Auftrag der Salzburger Landesregierung.
- LIEBHARD, P. (2007): Bedeutung der N₂-Fixierung in Leguminosen. Stickstoff und Umwelt, Landwirtschaftskammer Salzburg, 21. November 2007, <http://www.heffterhof.at/img/Umweltgespraeche/liebhard.pdf>, Stand: Oktober 2011.
- MALBERG, H. (2007): Meteorologie und Klimatologie – Eine Einführung. 5. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer.
- MOHAUPT, V.; RECHENBERG, J.; RICHTER, S.; SCHULZ, D. und WOLTER, R. (2010): Gewässerschutz mit der Landwirtschaft. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- MÜLLER, T. (1999). Wörterbuch und Lexikon der Hydrogeologie. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- MURER, E. (2001): Bericht über die Errichtung von Lysimeter- und Saugkerzenanlagen am Versuchsfeld der LFS-Winklhof - Sbg. Petzenkirchen: Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt am Bundesamt für Wasserwirtschaft, 1-16.
- MURER, E. (2002.): Erfassung und Bewertung der Sickerwasserquantität und –qualität im Pilotprojekt zur Grundwassersanierung in Oberösterreich. Monolytische Feldlysimeter, Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 16, 112-139.
- NENTWIG, W.; BACHER, S. und BRANDL, R. (2009): Ökologie kompakt. 2. Auflage, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- NEUMANN, C. und BASSLER, R. (1976): Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln 1976, Ergänzung 1983, 1988, 1993 und 1997. Darmstadt: VDLUFA-Verlag.
- OEHMICHEN, J. (1983): Pflanzenproduktion – Band 1: Grundlagen. Berlin, Hamburg: Verlag Paul Parey.
- OPITZ VON BOBERFELD, W. (1994): Grünlandlehre – Biologische und ökologische Grundlagen. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- PETER, M.; FELDWISCH, N.; SCHULTHEIB, U.; RESCHKE, M.; DÖHLER, H und JÄGER, P. (2005) Landbewirtschaftung und Gewässerschutz. Bonn und Darmstadt: aid Infodienst und Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- PIETSCH, G. (2004): N₂-Fixierungsleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im Ökologischen Landbau unter den klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. Wien: Diss. Universität für Bodenkultur.

- PÖTSCH, E. M. (1998): Über den Einfluß der Düngungsintensität auf den N-Kreislauf im alpenländischen Grünland. *Die Bodenkultur*, 49, 19-27.
- PÖTSCH, E. M. (2008): Zur Wirksamkeit von Wirtschaftsdüngern im Grünland. *Umweltökologisches Symposium*, 4. und 5. März 2008, 73-80.
- PÖTSCH, E. M. (2009): Skriptum zur Vorlesung Düngung und Stoffflüsse im Alpenländischen Grünland. Wintersemester 2009/2010.
- PÖTSCH, E. M. und RESCH, R. (2005): Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Nährstoffgehalt von Grünlandfutter. 32. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 13.-14. April 2005, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 1-14.
- PÖTSCH, E. M.; PFUNDNER, E.; RESCH, R. und MUCH, P. (2004): Stoffliche Zusammensetzung und Ausbringungseigenschaften von Gärrückständen aus Biogasanlagen. 10. Alpenländisches Expertenforum, 18.-19. März 2004, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 1-11.
- PÖTSCH, E. M.; SCHWAB, E. und SCHWAIGER, E. (2008): Beurteilung von Grünlandbeständen. Großtierpraktiker-Tagung, LFZ Raumberg-Gumpenstein.
- POTT, R. und HÜPPE, J. (2007): Spezielle Geobotanik – Pflanze- Klima – Boden. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- ROHRER, V. (2011): Das Wasserlabor – Informationsbroschüre. LFZ Raumberg-Gumpenstein.
- SCHECHTNER, G. (1958): Grünlandsoziologische Bestandsaufnahme mittels „Flächenprozentschätzung“. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* Band 105, 33-43.
- SCHNEIDER, M. (2007): Kaliumdüngung auf leichten Böden – Bachelor Thesis. Norderstedt: GRIN-Verlag.
- SCHUBERT, S. (2006): Pflanzenernährung – Grundwissen Bachelor. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- SCHÜNEMANN, U. (2010): Bodenwasserhaushalt, Wasserleitfähigkeit, Saugspannung, Bodenluft – Geographische Arbeitsweisen. 1. Auflage, Norderstedt: GRIN-Verlag.
- SEDY, K. (2010): Eignung von Asche für Herstellung von Erden. Report Rep-0292, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- SEEBACHER, M. (2008): Vergleich der Wasser- und Stoffflüsse eines Gebirgs- und eines Talstandortes anhand von Lysimeterversuchsergebnissen im Grünland. Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur.
- SEIDEL, K. (2005): Stickstoffausträge und Stickstoffhaushalt nach Grünlanderneuerung und Grünlandumbruch. Göttingen: Sierke Verlag.
- SIEGL, A.; KUBINIOK, J.; BRUCH, G.-I. und NEUMANN, G.-B. (2000): Wasser- und Nährstoffhaushalt im Einzugsgebiet kleiner Fließgewässer auf repräsentativen Flächen im ländlichen Raum des Saarlandes als Grundlage für angepasste kommunale Abwasser- und Regenwasserbehandlungskonzepte – WUNEF. Saarbrücken: Abschlussbericht.
- TREYSE, K. und TAUBE, F. (2005): Ein Bewertungsindex zur Bestandescharakterisierung in intensiv genutzten Grünlandvegetationen - Vorstellung eines DBU-Projektes zur Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren für spezialisierte Milchvieh-Futterbaubetriebe -Erste Ergebnisse-. 49. Jahrestagung, 25. bis 27. August 2005 in Bad Elster, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 2005, Band 7, 267-270.
- UMWELTBUNDESAMT WIEN (2004): Qualität und Quantität von Grundwasser in Europa – Deutsche Übersetzung.

WESSOLEK, G.; KAUPENJOHANN, M.; BOMINIK, P., ILG, K.; SCHMITT, A.; ZEITZ, J.; GAHRE, F.; SCHULZ, E.; ELLERBROCK, R.; UTERMANN, J.; DÜWEL, O. und SIEBNER, C. (2008): Ermittlung von Optimalgehalten an organischer Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden nach § 17 (2) Nr. 7 BBodSchG. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

WILLIMANN, I. und EGLI-BROZ, H. (2003): Ökologie: Einführung in die Wechselwirkung zwischen Mensch und Natur – Lerntexte, Aufgaben mit Lösungen und Kurztheorie. Zürich: Compendio Bildungsmedien.

WILLMS, M. (2005): Landwirtschaftliche Ursachen hoher Sulfatgehalte in gefördertem Trinkwasser - Bilanzierung und Modellierung des Schwefelhaushaltes am Beispiel von zwei überwiegend landwirtschaftlich genutzten Wassereinzugsgebieten. Göttingen: Diss. Georg-August-Universität Göttingen.

RICHTLINIEN, VERORDNUNGEN UND GESETZE

EU-Grundwasserrichtlinie: Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. Amtsblatt der Europäischen Union, L 372/19, 27.12.2006, DE.

EU-Wasserrahmenrichtlinie: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Union, L 372/19, 22.12.2000, DE.

EU-Nitratrichtlinie: Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (91/676/EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, NR. L 375/1, 31.12.1991.

Verordnung (EG) Nr. 1137/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2008 zur Anpassung einiger Rechtsakte, für die das Verfahren des Artikels 251 des Vertrages gilt, an den Beschluss 1999/468/EG des Rates in Bezug auf das Regelungsverfahren mit Kontrolle – Anpassung an das Regelungsverfahren mit Kontrolle – Erster Teil. Amtsblatt der Europäischen Union, L 311/1, 21.11.2008, DE.

Verordnung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers (Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser – QZV Chemie GW) BGBl. II Nr. 9/2010, Gesamte Rechtsvorschrift für Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser, Fassung vom 03.11.2011.

Verordnung des Bundesministeriums für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TKV) BGBl. II Nr. 304/2011, Fassung vom 03.11.2011.

Wasserrechtsgesetz 1959 – WRG 1959, BGBl. Nr. 215/1959 (WV), Gesamte Rechtsvorschrift für Wasserrechtsgesetz 1959, Fassung vom 03.11.2011.

INTERNETQUELLEN

www.lebensministerium.at

www.ama.at

www.umweltbundesamt.at

www.agraroekonomik.at

maps.google.at/

www.agrarnet.info/

www.lfl.bayern.de/

www.lfu.bayern.de/index.htm

www.raumberg-gumpenstein.at/c/

www.lysimeter.at/

www.baw.at/

www.umweltbundesamt.de/

www.bmg.gv.at/

9 ANHANG

Tabelle 100: Detaillierte Ergebnisse der Bodenkennwerte im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau				Ø			
	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft- lysometer	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
Ton [%]												
2007												
$\bar{x}$	18,67	21,33	24,67	21,56 ^a	16,67	24,00	25,33	22,00 ^a	17,67 ^e	22,67 ^{ef}	25,00 ^f	21,78
Med	22,00	20,00	26,00	22,00	18,00	24,00	26,00	24,00	20,00	23,00	26,00	23,00
s	7,57	2,31	2,31	4,88	6,11	2,00	1,15	5,20	6,25	2,42	1,67	4,89
min	10,00	20,00	22,00	10,00	10,00	22,00	24,00	10,00	10,00	20,00	22,00	10,00
max	24,00	24,00	26,00	26,00	22,00	26,00	26,00	26,00	24,00	26,00	26,00	26,00
2008												
$\bar{x}$	21,93	24,77	22,07	23,38 ^a	22,93	24,30	22,80	23,58 ^a	22,43 ^e	24,53 ^f	22,43 ^e	23,48
Med	22,80	24,50	21,80	23,65	23,80	24,45	22,80	23,45	22,80	24,50	22,45	23,45
s	1,50	0,86	1,22	1,76	2,42	1,89	0,70	1,83	1,88	1,42	0,98	1,76
min	20,20	23,90	21,00	20,20	20,20	21,80	22,10	20,20	20,20	21,80	21,00	20,20
max	22,80	26,10	23,40	26,10	24,80	26,50	23,50	26,50	24,80	26,50	23,50	26,50
2010												
$\bar{x}$	16,40	18,60	16,40	17,13 ^a	15,83	15,83	18,33	16,67 ^a	16,12 ^e	17,22 ^e	17,37 ^e	16,90
Med	15,90	18,90	16,00	17,80	15,60	15,80	18,80	17,00	15,75	17,60	17,50	17,20
s	1,51	0,70	1,44	1,56	1,56	1,55	1,17	1,77	1,41	1,86	1,58	1,63
min	15,20	17,80	15,20	15,20	14,40	14,30	17,00	14,30	14,40	14,30	15,20	14,30
max	18,10	19,10	18,00	19,10	17,50	17,40	19,20	19,20	18,10	19,10	19,20	19,20
Schluff [%]												
2007												
$\bar{x}$												
Med												
s												
min												
max												
2008												
$\bar{x}$	60,53	58,33	60,80	59,50 ^b	57,70	57,95	57,90	57,88 ^a	59,12 ^e	58,14 ^e	59,35 ^e	58,69
Med	60,40	58,35	61,00	59,60	58,00	58,50	57,80	58,20	59,50	58,50	59,80	58,70
s	0,32	1,40	1,81	1,73	1,18	1,37	2,75	1,58	1,73	1,33	2,62	1,82
min	60,30	56,90	58,90	56,90	56,40	55,30	55,20	55,20	56,40	55,30	55,20	55,20
max	60,90	60,60	62,50	62,50	58,70	58,90	60,70	60,70	60,90	60,60	62,50	62,50
2010												
$\bar{x}$	62,20	60,20	62,37	61,59 ^e	57,90	56,63	61,10	58,54 ^a	60,05 ^e	58,42 ^e	61,73 ^e	60,07
Med	62,90	61,40	63,30	62,90	56,90	57,60	60,50	59,40	59,90	58,50	61,60	60,30
s	2,82	3,65	2,44	2,81	2,46	3,36	1,40	2,96	3,34	3,70	1,91	3,21
min	59,10	56,10	59,60	56,10	56,10	52,90	60,10	52,90	56,10	52,90	59,60	52,90
max	64,60	63,10	64,20	64,60	60,70	59,40	62,70	62,70	64,60	63,10	64,20	64,60
Sand [%]												
2007												
$\bar{x}$												
Med												
s												
min												
max												
2008												
$\bar{x}$	17,53	16,88	17,13	17,11 ^a	19,37	17,70	19,33	18,53 ^a	18,45 ^e	17,29 ^e	18,23 ^e	17,82
Med	16,80	17,10	15,70	16,90	18,80	17,15	18,70	18,45	18,50	17,10	17,65	17,25
s	1,27	1,25	2,57	1,51	1,53	2,71	3,10	2,50	1,61	2,05	2,82	2,14
min	16,80	15,50	15,60	15,50	18,20	14,80	16,60	14,80	16,80	14,80	15,60	14,80
max	19,00	18,80	20,10	20,10	21,10	21,20	22,70	22,70	21,10	21,20	22,70	22,70
2010												
$\bar{x}$	21,43	21,20	21,23	21,29 ^a	26,27	27,53	20,57	24,79 ^a	23,85 ^e	24,37 ^e	20,90 ^e	23,04
Med	19,60	20,80	21,50	20,80	28,30	26,60	21,10	23,20	23,75	24,10	21,30	22,15
s	3,71	3,62	3,31	3,07	3,87	4,87	2,25	4,61	4,30	5,17	2,56	4,21
min	19,00	17,80	17,80	17,80	21,80	23,20	18,10	18,10	19,00	17,80	17,80	17,80
max	25,70	25,00	24,40	25,70	28,70	32,80	22,50	32,80	28,70	32,80	24,40	32,80

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau				Ø			
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft- lysimeter	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
Humusgehalt												
2007												
$\bar{x}$	6,13	5,92	5,85	5,97	6,80	5,69	6,01	6,17	6,47 ^e	5,81 ^e	5,93 ^e	6,07
Med	6,27	6,09	6,04	6,09	6,85	5,73	5,77	6,17	6,44	5,91	5,90	6,13
s	0,55	0,46	0,50	0,46	0,61	0,97	0,57	0,81	0,63	0,69	0,49	0,64
min	5,53	5,40	5,29	5,29	6,17	4,70	5,61	4,70	5,53	4,70	5,29	4,70
max	6,60	6,28	6,23	6,60	7,38	6,63	6,66	7,38	7,38	6,63	6,66	7,38
2008												
$\bar{x}$	6,33	6,18	5,93	6,16 ^a	6,67	5,97	6,07	6,17 ^a	6,50 ^e	6,08 ^e	6,00 ^e	6,16
Med	6,40	6,45	6,10	6,30	6,70	5,90	6,00	6,10	6,55	6,15	6,05	6,20
s	0,50	0,62	0,38	0,52	0,45	0,68	0,40	0,61	0,46	0,63	0,36	0,55
min	5,80	5,10	5,50	5,10	6,20	5,20	5,70	5,20	5,80	5,10	5,50	5,10
max	6,80	6,70	6,20	6,80	7,10	6,90	6,50	7,10	7,10	6,90	6,50	7,10
2010												
$\bar{x}$	7,00	7,03	6,30	6,78 ^a	7,43	6,33	6,53	6,77 ^a	7,22 ^e	6,68 ^e	6,42 ^e	6,77
Med	6,90	7,20	6,60	6,70	7,70	6,10	6,30	6,80	7,25	6,85	6,45	6,75
s	0,56	0,47	0,61	0,60	0,55	0,78	0,40	0,72	0,55	0,69	0,48	0,64
min	6,50	6,50	5,60	5,60	6,80	5,70	6,30	5,70	6,50	5,70	5,60	5,60
max	7,60	7,40	6,70	7,60	7,80	7,20	7,00	7,80	7,80	7,40	7,00	7,80
Kohlenstoff organisch [%]												
2007												
$\bar{x}$	3,57	3,44	3,40	3,47	3,95	3,31	3,50	3,58	3,76 ^e	3,38 ^e	3,45 ^e	3,53
Med	3,64	3,54	3,51	3,54	3,98	3,33	3,35	3,59	3,74	3,44	3,43	3,56
s	0,32	0,27	0,29	0,26	0,35	0,56	0,33	0,47	0,37	0,40	0,28	0,37
min	3,22	3,14	3,07	3,07	3,59	2,73	3,26	2,73	3,22	2,73	3,07	2,73
max	3,84	3,65	3,62	3,84	4,29	3,85	3,87	4,29	4,29	3,85	3,87	4,29
2008												
$\bar{x}$	3,68	3,59	3,45	3,58 ^a	3,88	3,47	3,53	3,59 ^a	3,78 ^e	3,53 ^e	3,49 ^e	3,58
Med	3,72	3,75	3,55	3,66	3,90	3,43	3,49	3,55	3,81	3,58	3,52	3,60
s	0,29	0,36	0,22	0,30	0,26	0,40	0,23	0,35	0,27	0,37	0,21	0,32
min	3,37	2,97	3,20	2,97	3,60	3,02	3,31	3,02	3,37	2,97	3,20	2,97
max	3,95	3,90	3,60	3,95	4,13	4,01	3,78	4,13	4,13	4,01	3,78	4,13
2010												
$\bar{x}$	4,07	4,09	3,66	3,94 ^a	4,32	3,68	3,80	3,93 ^a	4,12 ^e	3,89 ^e	3,73 ^e	3,94
Med	4,01	4,19	3,84	3,90	4,48	3,55	3,66	3,95	4,22	3,98	3,75	3,92
s	0,32	0,27	0,35	0,35	0,32	0,45	0,23	0,42	0,32	0,40	0,28	0,37
min	3,78	3,78	3,26	3,26	3,95	3,31	3,66	3,31	3,78	3,31	3,26	3,26
max	4,42	4,30	3,90	4,42	4,53	4,19	4,07	4,53	4,53	4,30	4,07	4,53
pH-Wert												
2007												
$\bar{x}$	6,8	6,6	6,1	6,5	6,9	6,7	6,2	6,6	6,9 ^f	6,6 ^f	6,2 ^e	6,6
Med	6,9	6,5	6,1	6,5	6,9	6,7	6,2	6,6	6,9	6,6	6,2	6,6
s	0,3	0,3	0,1	0,4	0,2	0,1	0,0	0,3	0,2	0,2	0,1	0,4
min	6,5	6,4	6,1	6,1	6,6	6,6	6,1	6,1	6,5	6,4	6,1	6,1
max	7,1	7,0	6,2	7,1	7,1	6,7	6,2	7,1	7,1	7,0	6,2	7,1
2008												
$\bar{x}$	6,8	6,7	6,0	6,6 ^a	6,9	6,8	6,0	6,6 ^a	6,9 ^f	6,7 ^f	6,0 ^e	6,6
Med	6,9	6,7	6,0	6,6	7,0	6,8	6,0	6,7	7,0	6,7	6,0	6,7
s	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,1	0,0	0,4	0,3	0,2	0,1	0,4
min	6,5	6,3	5,8	5,8	6,6	6,7	6,0	6,0	6,5	6,3	5,8	5,8
max	7,1	7,1	6,1	7,1	7,1	7,0	6,1	7,1	7,1	7,1	6,1	7,1
2010												
$\bar{x}$	6,8	6,7	6,1	6,5 ^a	6,9	6,7	6,2	6,6 ^a	6,9 ^f	6,7 ^f	6,1 ^e	6,6
Med	6,8	6,6	6,1	6,6	7,0	6,7	6,2	6,7	6,9	6,7	6,1	6,6
s	0,3	0,3	0,1	0,4	0,2	0,0	0,0	0,4	0,2	0,2	0,1	0,4
min	6,6	6,5	6,0	6,0	6,7	6,6	6,1	6,1	6,6	6,5	6,0	6,0
max	7,1	7,0	6,1	7,1	7,2	6,7	6,2	7,2	7,2	7,0	6,2	7,2

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungs-niveau				hohes Düngungs-niveau				Ø			
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft- lysimeter	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
Gesamt-N [%]												
2007												
$\bar{x}$	0,35	0,35	0,33	0,34	0,36	0,32	0,34	0,34	0,35 ^e	0,33 ^e	0,34 ^e	0,34
Med	0,34	0,36	0,34	0,34	0,37	0,32	0,33	0,33	0,36	0,34	0,33	0,34
s	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03
min	0,31	0,31	0,31	0,31	0,33	0,27	0,32	0,27	0,31	0,27	0,31	0,27
max	0,38	0,38	0,36	0,38	0,38	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
2008												
$\bar{x}$	0,35	0,36	0,34	0,35 ^e	0,38	0,35	0,35	0,36 ^a	0,37 ^e	0,35 ^e	0,35 ^e	0,35
Med	0,36	0,37	0,35	0,36	0,40	0,34	0,35	0,35	0,37	0,36	0,35	0,36
s	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
min	0,33	0,29	0,31	0,29	0,35	0,30	0,33	0,30	0,33	0,29	0,31	0,29
max	0,37	0,39	0,36	0,39	0,40	0,39	0,37	0,40	0,40	0,39	0,37	0,40
2010												
$\bar{x}$	0,38	0,38	0,36	0,37 ^a	0,42	0,35	0,37	0,38 ^a	0,40 ^e	0,37 ^e	0,36 ^e	0,37
Med	0,37	0,40	0,36	0,37	0,44	0,34	0,36	0,37	0,39	0,37	0,36	0,37
s	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03
min	0,36	0,34	0,32	0,32	0,37	0,32	0,35	0,32	0,36	0,32	0,32	0,32
max	0,41	0,40	0,39	0,41	0,44	0,40	0,39	0,44	0,44	0,40	0,39	0,44
Nachliefer- barer N [mg/1000g]												
2007												
$\bar{x}$	154,40	139,98	169,34	154,57	161,95	129,33	165,37	152,22	158,18 ^e	134,65 ^e	167,36 ^e	153,40
Med	156,49	128,63	170,53	161,33	153,69	136,35	150,50	150,50	155,09	132,49	165,93	152,46
s	17,42	20,30	7,49	18,83	16,48	18,65	38,74	28,76	15,72	18,38	25,05	23,61
min	136,04	127,89	161,33	127,89	151,24	108,19	136,27	108,19	136,04	108,19	136,27	108,19
max	170,68	163,42	176,16	176,16	180,93	143,45	209,35	209,35	180,93	163,42	209,35	209,35
2008												
$\bar{x}$	134,33	150,67	178,00	153,42 ^a	167,00	144,50	190,67	161,67 ^a	150,67 ^e	147,58 ^e	184,33 ^e	157,54
Med	128,00	151,50	197,00	151,00	181,00	131,50	189,00	183,50	142,50	149,50	192,50	151,50
s	14,57	7,26	38,22	24,42	28,69	38,39	4,73	34,95	27,10	26,54	25,33	29,79
min	124,00	138,00	134,00	124,00	134,00	96,00	187,00	96,00	124,00	96,00	134,00	96,00
max	151,00	158,00	203,00	203,00	186,00	191,00	196,00	196,00	186,00	191,00	203,00	203,00
2010												
$\bar{x}$	235,67	201,67	193,33	210,22 ^a	244,67	194,00	213,33	217,33 ^a	240,17 ^e	197,83 ^e	203,33 ^e	213,78
Med	232,00	214,00	201,00	214,00	244,00	190,00	225,00	225,00	241,00	200,00	213,00	219,00
s	25,70	30,44	54,90	39,08	7,02	14,42	21,08	25,80	17,55	21,71	38,77	32,33
min	212,00	167,00	135,00	135,00	238,00	182,00	189,00	182,00	212,00	167,00	135,00	135,00
max	263,00	224,00	244,00	263,00	252,00	210,00	226,00	252,00	263,00	224,00	244,00	263,00
C:N-Verhältnis												
2007												
$\bar{x}$	10,31	9,90	10,22	10,14	10,95	10,37	10,23	10,52	10,63 ^e	10,13 ^e	10,22 ^e	10,33
Med	10,22	10,06	10,17	10,17	10,90	10,47	10,27	10,47	10,70	10,20	10,22	10,26
s	0,32	0,44	0,19	0,34	0,25	0,19	0,09	0,37	0,43	0,40	0,13	0,39
min	10,04	9,40	10,06	9,40	10,74	10,15	10,13	10,13	10,04	9,40	10,06	9,40
max	10,66	10,25	10,43	10,66	11,22	10,48	10,29	11,22	11,22	10,48	10,43	11,22
2008												
$\bar{x}$	10,40	10,07	10,07	10,15 ^a	10,15	10,05	10,05	10,07 ^a	10,28 ^e	10,06 ^e	10,06 ^e	10,11
Med	10,36	10,08	10,02	10,16	10,21	10,03	10,07	10,06	10,31	10,04	10,05	10,09
s	0,18	0,40	0,19	0,33	0,26	0,12	0,07	0,15	0,24	0,28	0,13	0,25
min	10,25	9,55	9,90	9,55	9,86	9,89	9,97	9,86	9,86	9,55	9,90	9,55
max	10,60	10,73	10,28	10,73	10,37	10,21	10,10	10,37	10,60	10,73	10,28	10,73
2010												
$\bar{x}$	10,81	10,81	10,32	10,65 ^e	10,42	10,41	10,39	10,40 ^a	10,62 ^e	10,61 ^e	10,35 ^e	10,53
Med	10,80	10,89	10,08	10,80	10,33	10,39	10,44	10,39	10,67	10,53	10,35	10,49
s	0,17	0,23	0,52	0,38	0,23	0,11	0,11	0,14	0,28	0,27	0,34	0,31
min	10,65	10,54	9,97	9,97	10,24	10,31	10,26	10,24	10,24	10,31	9,97	9,97
max	10,99	10,99	10,91	10,99	10,69	10,52	10,46	10,69	10,99	10,99	10,91	10,99

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungs-niveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungs-niveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungs-niveau				hohes Düngungs-niveau				Ø			
	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
P [mg/1000g]												
2007												
$\bar{x}$	19,70	19,76	16,03	18,50	24,02	14,77	15,04	17,94	21,86 ^e	17,27 ^e	15,53 ^e	18,22
Med	17,72	18,64	16,05	16,67	23,76	15,58	14,89	15,91	20,74	16,46	15,71	16,17
s	6,07	6,05	0,65	4,68	8,25	3,05	1,18	6,36	6,89	5,08	1,01	5,42
min	14,87	14,35	15,36	14,35	15,91	11,40	13,94	11,40	14,87	11,40	13,94	11,40
max	26,51	26,29	16,67	26,51	32,39	17,34	16,29	32,39	32,39	26,29	16,67	32,39
2008												
$\bar{x}$	9,33	9,33	11,00	9,75 ^a	16,33	8,00	12,67	11,25 ^a	12,83 ^e	8,67 ^e	11,83 ^e	10,50
Med	8,00	9,50	10,00	9,50	16,00	6,50	9,00	9,50	12,00	8,00	9,50	9,50
s	4,16	5,28	4,58	4,49	6,51	3,58	7,23	6,03	6,21	4,36	5,49	5,26
min	6,00	2,00	7,00	2,00	10,00	5,00	8,00	5,00	6,00	2,00	7,00	2,00
max	14,00	16,00	16,00	16,00	23,00	13,00	21,00	23,00	23,00	16,00	21,00	23,00
2010												
$\bar{x}$	8,67	6,33	4,33	6,44 ^a	17,33	5,00	8,67	10,33 ^a	13,00 ^e	5,67 ^e	6,50 ^e	8,39
Med	5,00	6,00	3,00	5,00	15,00	3,00	9,00	9,00	12,00	4,50	7,50	7,50
s	7,23	4,51	2,31	4,80	9,71	3,46	0,58	7,53	9,01	3,67	2,81	6,45
min	4,00	2,00	3,00	2,00	9,00	3,00	8,00	3,00	4,00	2,00	3,00	2,00
max	17,00	11,00	7,00	17,00	28,00	9,00	9,00	28,00	28,00	11,00	9,00	28,00
K [mg/1000g]												
2007												
$\bar{x}$	39,87	44,48	42,49	42,28	45,51	44,34	40,19	43,35	42,69 ^e	44,41 ^e	41,34 ^e	42,81
Med	37,66	40,52	39,99	39,99	45,77	44,48	39,58	43,13	42,67	42,84	39,78	40,86
s	6,18	8,41	6,37	6,43	5,82	3,07	2,69	4,30	6,20	5,66	4,55	5,34
min	35,09	38,77	37,75	35,09	39,57	41,21	37,86	37,86	35,09	38,77	37,75	35,09
max	46,85	54,13	49,73	54,13	51,20	47,34	43,13	51,20	51,20	54,13	49,73	54,13
2008												
$\bar{x}$	64,67	69,50	60,00	65,92 ^a	84,33	76,67	76,00	78,42 ^b	74,50 ^e	73,08 ^e	68,00 ^e	72,17
Med	64,00	69,50	58,00	65,00	73,00	73,50	78,00	75,50	70,00	71,00	69,00	70,00
s	5,03	12,82	9,17	10,56	22,28	12,80	7,21	13,67	18,02	12,77	11,45	13,55
min	60,00	51,00	52,00	51,00	70,00	65,00	68,00	65,00	60,00	51,00	52,00	51,00
max	70,00	86,00	70,00	86,00	110,00	98,00	82,00	110,00	110,00	98,00	82,00	110,00
2010												
$\bar{x}$	75,67	73,33	64,67	71,22 ^a	80,00	59,33	77,33	72,22 ^a	77,83 ^e	66,33 ^e	71,00 ^e	71,72
Med	72,00	73,00	62,00	72,00	78,00	56,00	79,00	73,00	75,00	66,50	72,50	72,00
s	7,23	6,51	6,43	7,69	9,17	5,77	3,79	11,30	7,76	9,44	8,39	9,39
min	71,00	67,00	60,00	60,00	72,00	56,00	73,00	56,00	71,00	56,00	60,00	56,00
max	84,00	80,00	72,00	84,00	90,00	66,00	80,00	90,00	90,00	80,00	80,00	90,00
K-Fixierung [kg/ha]												
2007												
$\bar{x}$												
Med												
s												
min												
max												
2008												
$\bar{x}$	164,39	154,64	159,33	158,25 ^b	154,29	151,96	131,98	147,55 ^a	159,34 ^e	153,30 ^e	145,66 ^e	152,90
Med	169,69	156,03	155,66	157,07	148,84	150,05	121,89	149,25	160,95	152,14	155,32	153,60
s	10,59	11,66	6,59	10,38	18,26	4,26	20,22	15,24	14,45	8,49	20,13	13,87
min	152,20	139,24	155,38	139,24	139,38	149,06	118,80	118,80	139,38	139,24	118,80	118,80
max	171,28	171,57	166,94	171,57	174,66	159,90	155,26	174,66	174,66	171,57	166,94	174,66
2010												
$\bar{x}$	147,56	155,81	142,10	148,49 ^a	167,23	153,46	127,45	149,38 ^a	157,40 ^e	154,63 ^e	134,78 ^e	148,94
Med	151,45	148,60	134,87	148,60	163,03	153,91	120,25	146,94	156,09	151,26	133,22	147,77
s	15,48	16,12	15,47	14,85	26,10	6,31	14,62	23,23	22,01	11,02	15,68	18,92
min	130,51	144,55	131,57	130,51	143,49	146,94	117,82	117,82	130,51	144,55	117,82	117,82
max	160,72	174,27	159,87	174,27	195,18	159,53	144,27	195,18	195,18	174,27	159,87	195,18

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungs-niveau				hohes Düngungs-niveau				Ø			
	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft- lysometer	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
K KAK [%]												
2007												
$\bar{x}$	0,59	0,69	0,77	0,68	0,62	0,68	0,75	0,68	0,61 ^e	0,69 ^{e,f}	0,76 ^f	0,68
Med	0,59	0,71	0,78	0,71	0,62	0,68	0,73	0,68	0,61	0,69	0,75	0,69
s	0,07	0,07	0,04	0,09	0,01	0,02	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,08
min	0,52	0,62	0,73	0,52	0,61	0,66	0,69	0,61	0,52	0,62	0,69	0,52
max	0,67	0,75	0,80	0,80	0,63	0,71	0,83	0,83	0,67	0,75	0,83	0,83
2008												
$\bar{x}$	0,66	0,74	0,79	0,73 ^a	0,80	0,81	0,98	0,85 ^b	0,73 ^e	0,78 ^{e,f}	0,88 ^f	0,79
Med	0,64	0,73	0,79	0,73	0,79	0,81	1,04	0,82	0,67	0,75	0,82	0,77
s	0,03	0,06	0,04	0,07	0,17	0,08	0,15	0,14	0,14	0,08	0,14	0,12
min	0,64	0,69	0,74	0,64	0,63	0,73	0,81	0,63	0,63	0,69	0,74	0,63
max	0,69	0,85	0,83	0,85	0,98	0,95	1,08	1,08	0,98	0,95	1,08	1,08
2010												
$\bar{x}$	0,85	0,81	0,95	0,87 ^a	0,85	0,76	1,05	0,89 ^a	0,85 ^{e,f}	0,78 ^e	1,00 ^f	0,88
Med	0,80	0,76	0,96	0,91	0,84	0,77	1,02	0,84	0,82	0,77	0,98	0,88
s	0,10	0,09	0,03	0,09	0,07	0,03	0,07	0,14	0,07	0,07	0,07	0,12
min	0,79	0,74	0,92	0,74	0,80	0,72	1,00	0,72	0,79	0,72	0,92	0,72
max	0,96	0,91	0,97	0,97	0,92	0,78	1,13	1,13	0,96	0,91	1,13	1,13
Ca KAK [%]												
2007												
$\bar{x}$	80,85	79,24	78,42	79,51	82,20	78,57	78,22	79,66	81,52 ^e	78,91 ^e	78,32 ^e	79,58
Med	79,41	78,94	78,34	78,80	82,48	78,43	78,19	78,43	80,94	78,69	78,27	78,51
s	3,90	1,62	0,34	2,37	3,64	0,75	0,36	2,67	3,45	1,19	0,33	2,45
min	77,87	77,80	78,13	77,80	78,43	77,90	77,88	77,88	77,87	77,80	77,88	77,80
max	85,27	81,00	78,80	85,27	85,69	79,37	78,59	85,69	85,69	81,00	78,80	85,69
2008												
$\bar{x}$	78,27	77,30	77,31	77,55 ^a	79,01	75,88	76,41	76,80 ^a	78,64 ^e	76,59 ^e	76,86 ^e	77,17
Med	76,90	77,21	77,53	77,21	78,93	75,47	76,36	76,25	77,92	76,65	76,72	76,80
s	2,93	1,36	0,52	1,62	3,27	0,89	0,28	2,04	2,81	1,32	0,62	1,84
min	76,27	75,36	76,72	75,36	75,79	75,13	76,15	75,13	75,79	75,13	76,15	75,13
max	81,64	79,09	77,68	81,64	82,32	77,15	76,71	82,32	82,32	79,09	77,68	82,32
2010												
$\bar{x}$	77,48	77,20	77,15	77,27 ^a	78,56	75,84	76,06	76,82 ^a	78,02 ^e	76,52 ^e	76,61 ^e	77,05
Med	76,02	77,07	77,05	77,05	77,53	75,64	75,76	76,02	76,78	76,55	76,75	76,75
s	3,14	1,20	0,44	1,70	3,17	1,11	0,57	2,15	2,89	1,27	0,75	1,89
min	75,32	76,07	76,77	75,32	76,02	74,85	75,70	74,85	75,32	74,85	75,70	74,85
max	81,08	78,45	77,63	81,08	82,11	77,04	76,73	82,11	82,11	78,45	77,63	82,11
Mg KAK [%]												
2007												
$\bar{x}$	18,22	19,65	19,83	19,23	16,92	20,40	20,11	19,14	17,57 ^e	20,02 ^e	19,97 ^e	19,19
Med	19,75	20,07	19,89	19,89	16,66	20,45	20,28	20,28	18,20	20,26	19,95	19,95
s	3,78	1,43	0,22	2,16	3,56	0,72	0,37	2,48	3,36	1,09	0,31	2,26
min	13,91	18,06	19,59	13,91	13,50	19,65	19,69	13,50	13,50	18,06	19,59	13,50
max	20,99	20,82	20,01	20,99	20,60	21,09	20,37	21,09	20,99	21,09	20,37	21,09
2008												
$\bar{x}$	20,42	21,15	20,18	20,72 ^a	19,40	22,37	20,51	21,16 ^a	19,91 ^e	21,76 ^e	20,35 ^e	20,94
Med	21,75	21,29	20,09	21,02	19,78	22,72	20,81	21,18	20,76	21,59	20,45	21,12
s	2,72	1,16	0,63	1,49	3,10	0,95	0,52	1,99	2,67	1,20	0,55	1,74
min	17,28	19,56	19,61	17,28	16,13	21,07	19,91	16,13	16,13	19,56	19,61	16,13
max	22,22	22,80	20,85	22,80	22,29	23,26	20,82	23,26	22,29	23,26	20,85	23,26
2010												
$\bar{x}$	21,11	21,36	20,53	21,00 ^a	19,96	22,71	21,42	21,36 ^a	20,54 ^e	22,04 ^e	20,97 ^e	21,18
Med	22,64	21,49	20,49	21,00	21,10	22,91	21,55	21,55	21,66	21,88	20,89	21,52
s	2,94	0,92	0,45	1,60	3,00	1,08	0,58	2,01	2,73	1,16	0,67	1,77
min	17,72	20,39	20,10	17,72	16,56	21,55	20,78	16,56	16,56	20,39	20,10	16,56
max	22,97	22,21	21,00	22,97	22,22	23,67	21,92	23,67	22,97	23,67	21,92	23,67

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungs-niveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungs-niveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Ø Schwerkraft- lysimeter	Ø ohne- Lysimeter- system	Ø Jahr
Na KAK [%]												
2007												
$\bar{x}$	0,15	0,14	0,20	0,17	0,12	0,16	0,19	0,15	0,14 ^e	0,15 ^e	0,19 ^f	0,16
Med	0,14	0,14	0,20	0,19	0,12	0,16	0,19	0,16	0,13	0,15	0,20	0,16
s	0,04	0,05	0,01	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04
min	0,12	0,09	0,19	0,09	0,09	0,13	0,17	0,09	0,09	0,09	0,17	0,09
max	0,20	0,20	0,22	0,22	0,14	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,22	0,22
2008												
$\bar{x}$	0,34	0,41	0,48	0,41 ^a	0,50	0,62	0,85	0,65 ^b	0,42 ^e	0,52 ^e	0,66 ^e	0,53
Med	0,39	0,37	0,48	0,40	0,48	0,60	0,83	0,62	0,39	0,55	0,64	0,50
s	0,09	0,11	0,04	0,10	0,13	0,08	0,09	0,16	0,13	0,14	0,21	0,18
min	0,25	0,31	0,44	0,25	0,38	0,55	0,77	0,38	0,25	0,31	0,44	0,25
max	0,40	0,62	0,51	0,62	0,64	0,77	0,95	0,95	0,64	0,77	0,95	0,95
2010												
$\bar{x}$	0,41	0,44	0,53	0,46 ^a	0,50	0,53	0,72	0,59 ^b	0,46 ^e	0,49 ^e	0,62 ^f	0,52
Med	0,40	0,47	0,51	0,48	0,48	0,54	0,75	0,55	0,47	0,50	0,60	0,50
s	0,07	0,07	0,04	0,08	0,07	0,03	0,07	0,11	0,08	0,07	0,12	0,11
min	0,34	0,36	0,50	0,34	0,45	0,50	0,64	0,45	0,34	0,36	0,50	0,34
max	0,48	0,49	0,57	0,57	0,58	0,55	0,77	0,77	0,58	0,55	0,77	0,77
Fe KAK [%]												
2007												
$\bar{x}$	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03 ^e	0,04 ^{ef}	0,04 ^f	0,04
Med	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04
s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
min	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
max	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
2008												
$\bar{x}$	0,07	0,07	0,09	0,07 ^a	0,06	0,07	0,08	0,07 ^a	0,07 ^e	0,07 ^e	0,08 ^f	0,07
Med	0,07	0,07	0,09	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07
s	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
min	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	0,06	0,08	0,06
max	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09
2010												
$\bar{x}$												
Med												
s												
min												
max												
Mn KAK [%]												
2007												
$\bar{x}$	0,11	0,20	0,70	0,34	0,08	0,12	0,65	0,28	0,09 ^e	0,16 ^e	0,68 ^f	0,31
Med	0,10	0,17	0,69	0,20	0,06	0,12	0,67	0,14	0,08	0,13	0,68	0,16
s	0,08	0,18	0,10	0,30	0,06	0,03	0,12	0,28	0,07	0,12	0,10	0,28
min	0,03	0,03	0,61	0,03	0,03	0,10	0,53	0,03	0,03	0,03	0,53	0,03
max	0,20	0,40	0,80	0,80	0,14	0,15	0,76	0,76	0,20	0,40	0,80	0,80
2008												
$\bar{x}$	0,18	0,28	1,07	0,45 ^a	0,17	0,18	1,10	0,41 ^a	0,18 ^e	0,23 ^e	1,08 ^f	0,43
Med	0,17	0,30	1,01	0,34	0,09	0,18	1,08	0,20	0,13	0,20	1,04	0,25
s	0,12	0,16	0,12	0,40	0,17	0,05	0,11	0,42	0,14	0,13	0,10	0,40
min	0,06	0,09	0,99	0,06	0,06	0,11	1,00	0,06	0,06	0,09	0,99	0,06
max	0,31	0,49	1,21	1,21	0,37	0,26	1,21	1,21	0,37	0,49	1,21	1,21
2010												
$\bar{x}$	0,15	0,19	0,82	0,39 ^a	0,12	0,15	0,74	0,34 ^a	0,13 ^e	0,17 ^e	0,78 ^f	0,36
Med	0,13	0,20	0,84	0,26	0,09	0,15	0,75	0,18	0,11	0,16	0,76	0,22
s	0,10	0,12	0,07	0,34	0,11	0,03	0,03	0,31	0,10	0,08	0,06	0,32
min	0,06	0,06	0,74	0,06	0,03	0,13	0,72	0,03	0,03	0,06	0,72	0,03
max	0,26	0,30	0,88	0,88	0,24	0,18	0,77	0,77	0,26	0,30	0,88	0,88

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysimeter	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Ø ohne Schwerkraft- lysimeter	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
AI KAK [%]												
2007												
$\bar{x}$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04 ^e	0,04 ^e	0,04 ^e	0,04
Med	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
s	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
min	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
max	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06
2008												
$\bar{x}$	0,06	0,04	0,07	0,05 ^b	0,04	0,05	0,07	0,05 ^a	0,04 ^{ef}	0,05 ^e	0,07 ^f	0,05
Med	0,06	0,04	0,08	0,04	0,04	0,05	0,08	0,05	0,05	0,04	0,08	0,04
s	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
min	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
max	0,07	0,06	0,09	0,09	0,06	0,07	0,09	0,09	0,07	0,07	0,09	0,09
2010												
$\bar{x}$	0,00	0,00	0,01	0,00 ^a	0,00	0,00	0,00	0,00 ^a	0,00 ^e	0,00 ^e	0,01 ^e	0,00
Med	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04
H KAK [%]												
2007												
$\bar{x}$												
Med												
s												
min												
max												
2008												
$\bar{x}$	0,007	0,007	0,009	0,007 ^a	0,006	0,007	0,008	0,007 ^a	0,006 ^e	0,007 ^e	0,008 ^f	0,007
Med	0,007	0,007	0,009	0,007	0,006	0,007	0,008	0,007	0,006	0,007	0,008	0,007
s	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
min	0,006	0,006	0,008	0,006	0,006	0,007	0,008	0,006	0,006	0,006	0,008	0,006
max	0,008	0,008	0,009	0,009	0,007	0,008	0,009	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009
2010												
$\bar{x}$	0,007	0,007	0,008	0,007 ^a	0,006	0,007	0,008	0,007 ^a	0,006 ^e	0,007 ^e	0,008 ^f	0,007
Med	0,007	0,007	0,008	0,007	0,006	0,007	0,008	0,007	0,006	0,007	0,008	0,007
s	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
min	0,006	0,006	0,008	0,006	0,006	0,006	0,008	0,006	0,006	0,006	0,008	0,006
max	0,007	0,008	0,009	0,009	0,007	0,007	0,008	0,008	0,007	0,008	0,009	0,009
KAK [cmol+/1000g]												
2007												
$\bar{x}$	29,41	28,82	24,73	27,65	30,71	27,81	24,97	27,83	30,06 ^f	28,31 ^f	24,85 ^e	27,74
Med	28,61	29,15	24,76	26,24	31,86	26,94	24,71	26,94	30,24	28,05	24,74	26,59
s	4,38	3,36	1,53	3,62	2,53	2,56	1,08	3,12	3,28	2,73	1,19	3,28
min	25,49	25,31	23,18	23,18	27,81	25,79	24,05	24,05	25,49	25,31	23,18	23,18
max	34,14	32,00	26,24	34,14	32,47	30,69	26,16	32,47	34,14	32,00	26,24	34,14
2008												
$\bar{x}$	29,45	28,78	23,15	27,54 ^a	31,30	28,21	24,39	28,03 ^a	30,38 ^f	28,50 ^f	23,77 ^e	27,78
Med	29,75	29,43	22,84	27,64	33,42	27,34	24,07	27,30	31,19	28,13	23,61	27,30
s	3,34	3,06	1,90	3,75	3,99	1,65	1,42	3,32	3,44	2,36	1,65	3,47
min	25,97	24,03	21,42	21,42	26,69	26,66	23,15	23,15	25,97	24,03	21,42	21,42
max	32,63	31,90	25,18	32,63	33,78	30,38	25,94	33,78	33,78	31,90	25,94	33,78
2010												
$\bar{x}$	30,78	30,02	24,11	28,30 ^a	33,37	28,90	25,12	29,13 ^a	32,07 ^f	29,46 ^f	24,61 ^e	28,71
Med	30,12	30,10	23,83	26,95	35,21	27,63	24,68	27,63	32,67	28,87	24,40	27,38
s	4,20	3,68	1,43	4,28	3,61	2,64	1,28	4,27	3,78	2,93	1,33	4,17
min	26,95	26,29	22,84	22,84	29,20	27,12	24,11	24,11	26,95	26,29	22,84	22,84
max	35,27	33,65	25,66	35,27	35,68	31,93	26,55	35,68	35,68	33,65	26,55	35,68

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

	niedriges Düngungsniveau				hohes Düngungsniveau							
	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø niedriges Düngungs- niveau	Saugkerze	Schwerkraft- lysometer	ohne Lysimeter- system	Ø hohes Düngungs- system	Ø Saugkerze	Ø ohne Schwerkraft- lysometer	Ø ohne Lysimeter- system	Ø Jahr
Mg [mg/1000g]												
2007												
$\bar{x}$	272,02	336,41	372,80	327,08	256,42	299,26	387,23	314,30	264,22 ^e	317,84 ^{ef}	380,02 ^f	320,69
Med	288,66	313,49	364,71	313,49	262,84	297,54	385,00	297,54	271,62	300,38	378,87	300,38
s	35,81	56,60	15,56	56,00	27,75	3,44	15,73	59,94	29,90	41,24	16,07	56,65
min	230,91	294,87	362,96	230,91	226,02	297,01	372,74	226,02	226,02	294,87	362,96	226,02
max	296,48	400,88	390,74	400,88	280,40	303,22	403,96	403,96	296,48	400,88	403,96	403,96
2008												
$\bar{x}$	411,00	424,83	365,67	406,58 ^a	407,00	437,00	379,33	415,08 ^a	409,00 ^{ef}	430,92 ^f	372,50 ^e	410,83
Med	404,00	424,00	372,00	411,00	429,00	440,50	376,00	428,00	416,50	432,50	374,00	416,50
s	33,06	13,35	26,08	32,36	47,95	14,31	17,24	34,55	36,90	14,64	21,14	33,02
min	382,00	410,00	337,00	337,00	352,00	414,00	364,00	352,00	352,00	410,00	337,00	337,00
max	447,00	443,00	388,00	447,00	440,00	452,00	398,00	452,00	447,00	452,00	398,00	452,00
2010												
$\bar{x}$	460,33	470,33	397,00	442,56 ^a	452,67	474,00	426,33	451,00 ^a	456,50 ^{ef}	472,17 ^f	411,67 ^e	446,78
Med	471,00	473,00	387,00	457,00	468,00	482,00	423,00	456,00	469,50	477,00	412,50	456,50
s	33,31	12,22	24,58	40,64	45,00	15,62	26,16	34,15	35,66	12,70	27,81	36,67
min	423,00	457,00	379,00	379,00	402,00	456,00	402,00	402,00	402,00	456,00	379,00	379,00
max	487,00	481,00	425,00	487,00	488,00	484,00	454,00	488,00	488,00	484,00	454,00	488,00
EL [µS/cm]												
2007												
$\bar{x}$	91,67	65,07	45,53	67,42	99,60	64,70	47,70	70,67	95,63 ^f	64,88 ^e	46,62 ^e	69,04
Med	91,40	57,80	48,50	56,90	99,70	65,50	46,90	65,50	95,55	63,45	47,70	59,60
s	34,90	22,11	5,31	28,91	27,45	2,98	3,86	26,82	28,42	14,11	4,32	27,11
min	56,90	47,50	39,40	39,40	72,10	61,40	44,30	44,30	56,90	47,50	39,40	39,40
max	126,70	89,90	48,70	126,70	127,00	67,20	51,90	127,00	127,00	89,90	51,90	127,00
2008												
$\bar{x}$	98,33	83,67	55,67	80,33 ^a	118,33	96,50	61,67	93,25 ^b	108,33 ^e	90,08 ^f	58,67 ^e	86,79
Med	100,00	81,50	55,00	75,00	129,00	93,50	61,00	86,00	114,50	86,00	60,50	83,50
s	32,53	19,66	14,01	25,77	30,44	16,33	2,08	27,20	30,23	18,49	9,54	26,74
min	65,00	60,00	42,00	42,00	84,00	78,00	60,00	60,00	65,00	60,00	42,00	42,00
max	130,00	108,00	70,00	130,00	142,00	121,00	64,00	142,00	142,00	121,00	70,00	142,00
2010												
$\bar{x}$	103,33	77,33	43,00	74,56 ^a	111,00	63,67	48,33	74,33 ^a	107,17 ^f	70,50 ^{ef}	45,67 ^e	74,44
Med	85,00	67,00	41,00	67,00	104,00	64,00	49,00	64,00	94,50	65,50	45,50	65,50
s	38,89	20,55	9,17	34,52	34,04	4,51	6,03	33,23	32,96	15,27	7,53	32,87
min	77,00	64,00	35,00	35,00	81,00	59,00	42,00	42,00	77,00	59,00	35,00	35,00
max	148,00	101,00	53,00	148,00	148,00	68,00	54,00	148,00	148,00	101,00	54,00	148,00

a, b, c - signifikante Unterschiede zwischen den beiden Düngungsniveaus

e, f, g - signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten (unabhängig vom Düngungsniveau)

k, l - signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2009 und 2010

In Tabelle 101 sind die Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertungen der Bodenkennwerte zu sehen. Bei normal verteilten Daten wurde eine multiple Varianzanalyse mit den Faktoren Lysimetersystem, Düngung, Wiederholung und deren Wechselwirkungen durchgeführt. Bei nicht normal verteilten Daten erfolgte die Prüfung auf signifikanten Einfluss der Faktoren Lysimetersystem, Düngung und Wiederholung mit dem Kruskal-Wallis-Test (mit * gekennzeichnet). Unterscheiden sich die Hochbuchstaben voneinander, liegt ein signifikanter Einfluss des jeweiligen Faktors vor, ansonsten nicht. Für jeden Faktor wurden unterschiedliche Hochbuchstaben verwendet, da in diesem Fall der Einfluss innerhalb eines Faktors getestet wurde.

Tabelle 101: Varianzanalytische Auswertungen der Bodenkennwerte im Lysimetervergleichsversuch Winklhof

2007					
abhängige Variable	Ton [%]*	Schluff [%]	Sand [%]	Humusgehalt [%]	pH-Wert*
Lysimetersystem	0,020			0,059	0,000
Wiederholung	0,450			0,009	0,041
R ²				0,615	0,849
korrigiertes R ²				0,497	0,802
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

abhängige Variable	Kohlenstoff organisch [%]	Gesamt-N [%]	Nachlieferbarer N [mg/1000g]*	C:N-Verhältnis	EL [µ/cm]*
Lysimetersystem	0,059	0,373	0,060	0,073	0,000
Wiederholung	0,009	0,014	0,135	0,642	0,040
R ²	0,615	0,521		0,362	0,750
korrigiertes R ²	0,497	0,374		0,165	0,673
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

abhängige Variable	P [mg/1000g]	K [mg/1000g]*	K-Fixierung [kg/ha]	K KAK [%]	Ca KAK [%]*
Lysimetersystem	0,089	0,519		0,001	0,196
Wiederholung	0,175	0,082		0,807	0,108
R ²	0,431			0,672	
korrigiertes R ²	0,256			0,572	
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

abhängige Variable	Mg KAK [%]*	Na KAK [%]	Fe KAK [%]*	Mn KAK [%]*	Al KAK [%]*
Lysimetersystem	0,459	0,002	0,014	0,003	0,078
Wiederholung	0,038	0,011	0,054	0,557	0,399
R ²		0,717			
korrigiertes R ²		0,630			
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

abhängige Variable	H KAK [%]	KAK [cmol+/1000g]	Mg [mg/1000g]*
Lysimetersystem		0,000	0,002
Wiederholung		0,001	0,932
R ²		0,808	
korrigiertes R ²		0,748	
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

2008					
abhängige Variable	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]*	Humusgehalt [%]*	pH-Wert*
Lysimetersystem	0,005	0,362	0,414	0,214	0,001
Düngung	0,433	0,025	0,236	0,908	0,729
Wiederholung	0,836	0,751	0,718	0,005	0,125
Lysimetersystem*Düngung	0,422	0,285			
Düngung*Wiederholung	0,012	0,581			
Lysimetersystem*Wiederholung	0,403	0,787			
R ²	0,797	0,575			
korrigiertes R ²	0,534	0,022			
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant	< 0,05 signifikant	>= 0,05 nicht signifikant		

	Kohlenstoff organisch [%]*	Gesamt-N [%]*	Nachlieferbarer N [mg/1000g]*	C:N-Verhältnis	EL [µ/cm]
abhängige Variable					
Lysimetersystem	0,214	0,451	0,038	0,262	0,000
Düngung	0,908	0,908	0,729	0,401	0,036
Wiederholung	0,005	0,012	0,110	0,387	0,004
Lysimetersystem*Düngung				0,655	0,634
Düngung*Wiederholung				0,699	0,073
Lysimetersystem*Wiederholung				0,628	0,084
R ²				0,525	0,906
korrigiertes R ²				-0,093	0,785
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant	< 0,05 signifikant	>= 0,05 nicht signifikant		

	K-Fixierung				
abhängige Variable	P [mg/1000g]*	K [mg/1000g]*	[kg/ha]*	K KAK [%]*	Ca KAK [%]*
Lysimetersystem	0,236	0,803	0,675	0,044	0,320
Düngung	0,772	0,028	0,050	0,033	0,073
Wiederholung	0,035	0,084	0,724	0,852	0,043
Lysimetersystem*Düngung					
Düngung*Wiederholung					
Lysimetersystem*Wiederholung					
R ²					
korrigiertes R ²					
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant	< 0,05 signifikant	>= 0,05 nicht signifikant		

	K-Fixierung				
abhängige Variable	Mg KAK [%]*	Na KAK [%]	Fe KAK [%]*	Mn KAK [%]*	Al KAK [%]*
Lysimetersystem	0,045	0,000	0,002	0,001	0,033
Düngung	0,419	0,000	0,603	0,564	1,000
Wiederholung	0,068	0,006	0,039	0,223	0,968
Lysimetersystem*Düngung		0,042			
Düngung*Wiederholung		0,342			
Lysimetersystem*Wiederholung		0,782			
R ²		0,936			
korrigiertes R ²		0,854			
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant	< 0,05 signifikant	>= 0,05 nicht signifikant		

	K-Fixierung		
abhängige Variable	H KAK [%]	KAK [cmol+/1000g]	Mg [mg/1000g]
Lysimetersystem	0,002	0,002	0,004
Düngung	0,603	0,603	0,535
Wiederholung	0,037	0,037	0,683
Lysimetersystem*Düngung			0,800
Düngung*Wiederholung			0,411
Lysimetersystem*Wiederholung			0,574
R ²			0,724
korrigiertes R ²			0,366
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant	< 0,05 signifikant	>= 0,05 nicht signifikant

2010					
abhängige Variable	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Humusgehalt [%]	pH-Wert
Lysimetersystem	0,354	0,321	0,448	0,128	0,001
Düngung	0,528	0,121	0,182	0,966	0,309
Wiederholung	0,268	0,702	0,715	0,131	0,042
Lysimetersystem*Düngung	0,110	0,726	0,457	0,253	0,610
Düngung*Wiederholung	0,413	0,314	0,374	0,831	0,124
Lysimetersystem*Wiederholung	0,921	0,941	0,976	0,631	0,253
R ²	0,819	0,753	0,718	0,842	0,979
korrigiertes R ²	0,229	-0,048	-0,199	0,330	0,910
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

abhängige Variable	Kohlenstoff organisch [%]	Gesamt-N [%]	Nachlieferbarer N [mg/1000g]	C:N-Verhältnis	EL [µ/cm]*
Lysimetersystem	0,128	0,168	0,166	0,435	0,001
Düngung	0,966	0,560	0,672	0,226	0,965
Wiederholung	0,131	0,079	0,294	0,664	0,476
Lysimetersystem*Düngung	0,253	0,245	0,779	0,500	
Düngung*Wiederholung	0,831	0,978	0,641	0,613	
Lysimetersystem*Wiederholung	0,631	0,694	0,843	0,958	
R ²	0,842	0,851	0,754	0,676	
korrigiertes R ²	0,330	0,368	-0,045	-0,377	
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

abhängige Variable	P [mg/1000g]*	K [mg/1000g]	K-Fixierung [kg/ha]*	K KAK [%]*	Ca KAK [%]*
Lysimetersystem	0,167	0,061	0,080	0,002	0,796
Düngung	0,167	0,731	0,895	0,757	0,200
Wiederholung	0,045	0,247	0,169	0,796	0,291
Lysimetersystem*Düngung		0,037			
Düngung*Wiederholung		0,221			
Lysimetersystem*Wiederholung		0,537			
R ²		0,912			
korrigiertes R ²		0,625			
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

abhängige Variable	Mg KAK [%]*	Na KAK [%]	Fe KAK [%]	Mn KAK [%]*	Al KAK [%]*
Lysimetersystem	0,372	0,005		0,003	0,368
Düngung	0,354	0,003		0,566	0,317
Wiederholung	0,366	0,049		0,224	0,368
Lysimetersystem*Düngung		0,180			
Düngung*Wiederholung		0,853			
Lysimetersystem*Wiederholung		0,296			
R ²		0,969			
korrigiertes R ²		0,867			
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		< 0,05 signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

abhängige Variable	H KAK [%]	KAK [cmol+/1000g]	Mg [mg/1000g]*
Lysimetersystem	0,002	0,003	0,017
Düngung	0,283	0,346	0,724
Wiederholung	0,014	0,015	0,589
Lysimetersystem*Düngung	0,286	0,258	
Düngung*Wiederholung	0,654	0,624	
Lysimetersystem*Wiederholung	0,398	0,292	
R ²	0,968	0,964	
korrigiertes R ²	0,864	0,846	
p-Werte bei Konfidenzniveau 95%	< 0,001 hoch signifikant		>= 0,05 nicht signifikant

Tabelle 102: Pflanzenbestandsaufnahme Parzellen 11 a-c

Lysimetervergleichsversuch Winklhof**Vers.-Nr: GL-839**Feldfutter - Intensivmischung **IM**, Anlage Frühjahr 2007

Pflanzenbestandsaufnahme in Fl. %

bonitiert am: 02.07.2010

Schwab

4- Schnittflächen

Prüf.-Nr.	11a	11b	11c	Ø	
Projektive Deckung [%]	97	98	95	97	
offener Boden [%]	3	2	6	4	
WHV [cm]	56	55	54	55	
Gräser [Gewichtsprozent]	60	70	67	66	
Leguminosen [Gewichtsprozent]	28	25	25	26	
Kräuter [Gewichtsprozent]	12	5	8	8	
Dactylis glomerata	10	28	20	19	Knaulgras
Elymus repens	3	0,3	0,7	1	Acker-Quecke
Festuca pratensis	4	3	4	4	Wiesen-Schwingel
Festuca rubra	1	2	1	1	Rot-Schwingel
Lolium perenne	15	20	18	18	Englisches Raygras
Lolium x boucheanum	25	22	20	22	Bastardraygras
Poa pratensis	5	3	4	4	Wiesen-Rispe
Poa trivialis	2	0,3	2	1	Gemeine-Rispe
Σ Gräser	65	79	70	71	
Lotus corniculatus	1	1	0,3	1	Gew. Hornklee
Trifolium repens	30	25	28	28	Weißklee
Vicia cracca		0,3		0,1	Vogel-Wicke
Σ Leguminosen	31	26	28	29	
Achillea millefolium	1	1		1	Echte Schafgarbe
Bellis perennis	0,7	0,3	0,3	0,4	Gänseblümchen
Cerastium holosteoides	1	0,3	1	1	Gew. Hornkraut
Crepis biennis	1	0,3		0,4	Wiesen-Pippau
Glechoma hederacea	0,7	0,3	0,7	1	Echte Gundelrebe
Leontodon hispidus		0,7		0,2	Wiesen-Löwenzahn
Ranunculus acris			0,3	0,1	Scharfer Hahnenfuß
Ranunculus repens	2	2	1	2	Kriech-Hahnenfuß
Silene dioica	1	0,3	1	1	Rote Lichtnelke
Taraxacum officinale agg.	8	3	6	6	Gew. Löwenzahn
Σ Kräuter	15	8	10	11	
Gesamtdeckung	111	113	108	111	
Artenanzahl	18	20	17	21	

Vegetationsaufnahme zum 2. Aufwuchs

Bestände sehr grasreich, Dactylis glomerata und Lolium x boucheanum in Blüte,
 Trifolium repens im Abblühen,
 Taraxacum officinale vegetativ

Tabelle 103: Pflanzenbestandsaufnahme Parzellen 12 a-c

Lysimetervergleichsversuch Winklhof**Vers.-Nr: GL-839**Feldfutter - Intensivmischung **IM**, Anlage Frühjahr 2007

Pflanzenbestandsaufnahme in Fl. %

bonitiert am: 02.07.2010

Schwab

4- Schnittflächen

Prüf.-Nr.	12a	12b	12c	Ø	
Projektive Deckung [%]	96	96	97	96	
offener Boden [%]	4	5	4	4	
WHV [cm]	41	44	39	41	
Gräser [Gewichtsprozent]	60	56	50	55	
Leguminosen [Gewichtsprozent]	30	32	35	32	
Kräuter [Gewichtsprozent]	10	12	15	12	
<i>Agrostis capillaris</i>		1	1	1	Rot-Straußgras
<i>Dactylis glomerata</i>	32	20	18	23	Knautgras
<i>Elymus repens</i>	1	1	1	1	Acker-Quecke
<i>Festuca pratensis</i>	5	3	2	3	Wiesen-Schwingel
<i>Festuca rubra</i>	2	1	2	2	Rot-Schwingel
<i>Lolium perenne</i>	12	18	15	15	Englisches Raygras
<i>Lolium x boucheanum</i>	8	12	10	10	Bastardraygras
<i>Phleum pratense</i>		0,7		0,2	Wiesen-Lieschgras
<i>Poa pratensis</i>	3	2	4	3	Wiesen-Rispe
<i>Poa trivialis</i>	1	0,3	2	1	Gemeine-Rispe
Σ Gräser	64	59	55	59	
<i>Lotus corniculatus</i>	2	2		1	Gew. Hornklee
<i>Trifolium repens</i>	32	32	36	33	Weißklee
Σ Leguminosen	34	34	36	35	
<i>Achillea millefolium</i>	0,3			0,1	Echte Schafgarbe
<i>Bellis perennis</i>		0,3	0,3	0,2	Gänseblümchen
<i>Campanula patula</i>	0,3	0,7	0,3	0,4	Wiesen-Glockenblume
<i>Cerastium holosteoides</i>	0,7	0,3	0,7	0,6	Gew. Hornkraut
<i>Crepis biennis</i>			1	0,3	Wiesen-Pippau
<i>Glechoma hederacea</i>	0,3	1	1	1	Echte Gundelrebe
<i>Leontodon hispidus</i>		0,3		0,1	Wiesen-Löwenzahn
<i>Ranunculus acris</i>		1		0,3	Scharfer Hahnenfuß
<i>Ranunculus repens</i>	2	2	1	2	Kriech-Hahnenfuß
<i>Silene dioica</i>	0,7	0,3	0,7	0,6	Rote Lichtnelke
<i>Stellaria media</i>	0,3			0,1	Vogelmiere
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	6	8	12	9	Gew. Löwenzahn
<i>Veronica chamaedrys</i>		0,7		0,2	Gamander-Ehrenpreis
Σ Kräuter	11	15	17	14	
Gesamtdeckung	109	108	108	108	
Artenanzahl	18	22	18	25	

Vegetationsaufnahme zum 2. Aufwuchs

Bestände sehr grasreich, *Dactylis glomerata* und *Lolium x boucheanum* in Blüte,
Trifolium repens im Abblühen,
Taraxacum officinale, *Ranunculus repens* vegetativ

Tabelle 104: Pflanzenbestandsaufnahme 21 a-c innerhalb vom Ring

Lysimetervergleichsversuch Winklhof**Vers.-Nr: GL-839**Feldfutter - Intensivmischung **IM**, Anlage Frühjahr 2007

Pflanzenbestandsaufnahme in Fl. %

bonitiert am: 02.07.2010

Schwab

4- Schnittflächen

Prüf.-Nr.	21a	21b	21c	Ø	innerhalb vom Ring
Projektive Deckung [%]	96	97	89	94	
offener Boden [%]	5	5	5	5	
WHV [cm]	53	57	53	54	
Gräser [Gewichtsprozent]	80	89	93	87	
Leguminosen [Gewichtsprozent]	8	5	5	6	
Kräuter [Gewichtsprozent]	12	6	2	7	
Dactylis glomerata	53	69	56	59	Knautgras
Festuca pratensis		2		1	Wiesen-Schwingel
Lolium perenne	8	12	10	10	Englisches Raygras
Lolium x boucheanum	15	5	8	9	Bastardraygras
Poa pratensis	0,3	2	3	2	Wiesen-Rispe
Poa trivialis			1	0,3	Gemeine-Rispe
Σ Gräser	76	90	78	81	
Trifolium repens	8	5	5	6	Weißklee
Σ Leguminosen	8	5	5	6	
Cerastium holosteoides	2			1	Gew. Hornkraut
Glechoma hederacea			1	0,3	Echte Gundelrebe
Taraxacum officinale agg.	10	2	5	6	Gew. Löwenzahn
Σ Kräuter	12	2	6	7	
Gesamtdeckung	96	97	89	94	
Artenanzahl	7	7	8	10	

Vegetationsaufnahme zum 2. Aufwuchs

Bestände sehr grasreich, Dactylis glomerata und Lolium x boucheanum in Blüte,
 Lolium perenne Beginn Blüte
 Trifolium repens im Abblühen,
 Taraxacum officinale vegetativ

Tabelle 105: Pflanzenbestandsaufnahme 21 a-c außerhalb vom Ring

Lysimetervergleichsversuch Winklhof**Vers.-Nr: GL-839**Feldfutter - Intensivmischung **IM**, Anlage Frühjahr 2007

Pflanzenbestandsaufnahme in Fl. %

bonitiert am: 02.07.2010

Schwab

4- Schnittflächen

Prüf.-Nr.	21a	21b	21c	Ø	außerhalb vom Ring
Projektive Deckung [%]	98	98	97	98	
offener Boden [%]	2	3	3	3	
WHV [cm]	56	58	61	58	
Gräser [Gewichtsprozent]	70	67	65	67	
Leguminosen [Gewichtsprozent]	25	25	25	25	
Kräuter [Gewichtsprozent]	5	8	10	8	
<i>Agrostis capillaris</i>			0,1	0,03	Rot-Straußgras
<i>Dactylis glomerata</i>	18	25	18	20	Knautgras
<i>Elymus repens</i>		2	1	1	Acker-Quecke
<i>Festuca pratensis</i>	4	3	3	3	Wiesen-Schwingel
<i>Festuca rubra</i>	1	1	2	1	Rot-Schwingel
<i>Lolium perenne</i>	20	22	20	21	Englisches Raygras
<i>Lolium x boucheanum</i>	28	18	25	24	Bastardraygras
<i>Phleum pratense</i>	1			0,3	Wiesen-Lieschgras
<i>Poa pratensis</i>	3	4	3	3	Wiesen-Rispe
<i>Poa trivialis</i>	1	0,3	2	1	Gemeine-Rispe
Σ Gräser	76	75	74	75	
<i>Trifolium repens</i>	28	28	26	27	Weißklee
<i>Vicia cracca</i>		0,7	1	0,6	Vogel-Wicke
Σ Leguminosen	28	29	27	28	
<i>Bellis perennis</i>	0,3	0,3	0,3	0,3	Gänseblümchen
<i>Cerastium holosteoides</i>	0,3	0,3	0,3	0,3	Gew. Hornkraut
<i>Crepis biennis</i>	1	0,7		0,6	Wiesen-Pippau
<i>Fragaria viridis</i>			0,1	0,03	Knack-Erdbeere
<i>Glechoma hederacea</i>	0,3	0,7	0,7	0,6	Echte Gundelrebe
<i>Lysimachia nummularia</i>	0,3		0,1	0,1	Pfennigkraut
<i>Plantago lanceolata</i>	1	1	1	1	Spitz-Wegerich
<i>Ranunculus repens</i>	1	1	2	1	Kriech-Hahnenfuß
<i>Silene dioica</i>			0,7	0,2	Rote Lichtnelke
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	4	6	6	5	Gew. Löwenzahn
Σ Kräuter	8	10	11	10	
Gesamtdeckung	112	114	112	113	
Artenanzahl	17	17	20	22	

Vegetationsaufnahme zum 2. Aufwuchs

Bestände sehr grasreich, *Dactylis glomerata* und *Lolium x boucheanum* in Blüte,
Trifolium repens im Abblühen,
Taraxacum officinale, *Ranunculus repens* und *Plantago lanceolata* vegetativ

Tabelle 106: Pflanzenbestandsaufnahme 22 a-c innerhalb vom Ring

Lysimetervergleichsversuch Winklhof**Vers.-Nr: GL-839**Feldfutter - Intensivmischung **IM**, Anlage Frühjahr 2007

Pflanzenbestandsaufnahme in Fl. %

bonitiert am: 02.07.2010

Schwab

4- Schnittflächen

Prüf.-Nr.	22a	22b	22c	Ø	innerhalb vom Ring
Projektive Deckung [%]	98	92	96	95	
offener Boden [%]	3	10	6	6	
WHV [cm]	48	48	49	48	
Gräser [Gewichtsprozent]	58	73	84	72	
Leguminosen [Gewichtsprozent]	30	12	10	17	
Kräuter [Gewichtsprozent]	12	15	6	11	
Dactylis glomerata	25	48	62	45	Knaulgras
Festuca pratensis	2	1		1	Wiesen-Schwingel
Festuca rubra			2	1	Rot-Schwingel
Lolium perenne	10	10	5	8	Englisches Raygras
Lolium x boucheanum	16	5	6	9	Bastardraygras
Poa pratensis	2	1	1	1	Wiesen-Rispe
Σ Gräser	55	65	76	65	
Trifolium repens	30	12	14	19	Weißklee
Σ Leguminosen	30	12	14	19	
Cerastium holosteoides	0,3			0,1	Gew. Hornkraut
Glechoma hederacea	0,3	0,3		0,2	Echte Gundelrebe
Ranunculus acris			1	0,3	Scharfer Hahnenfuß
Ranunculus repens		3		1	Kriech-Hahnenfuß
Taraxacum officinale agg.	12	12	5	10	Gew. Löwenzahn
Σ Kräuter	13	15	6	11	
Gesamtdeckung	98	92	96	95	
Artenanzahl	9	9	8	12	

Vegetationsaufnahme zum 2. Aufwuchs

Bestände sehr grasreich, Dactylis glomerata und Lolium x boucheanum in Blüte,
 Trifolium repens im Abblühen,
 Taraxacum officinale, Ranunculus repens vegetativ

Tabelle 107: Pflanzenbestandsaufnahme 22 a-c außerhalb vom Ring

Lysimetervergleichsversuch Winklhof**Vers.-Nr: GL-839**Feldfutter - Intensivmischung **IM**, Anlage Frühjahr 2007

Pflanzenbestandsaufnahme in Fl. %

bonitiert am: 02.07.2010

Schwab

4- Schnittflächen

Prüf.-Nr.	22a	22b	22c	Ø	außerhalb vom Ring
Projektive Deckung [%]	98	97	96	97	
offener Boden [%]	3	3	4	3	
WHV [cm]	54	52	52	53	
Gräser [Gewichtsprozent]	59	57	55	57	
Leguminosen [Gewichtsprozent]	35	28	30	31	
Kräuter [Gewichtsprozent]	6	15	15	12	
Dactylis glomerata	28	25	18	24	Knaulgras
Elymus repens		0,7	1	0,6	Acker-Quecke
Festuca pratensis	4	5	3	4	Wiesen-Schwingel
Festuca rubra	1	3	1	2	Rot-Schwingel
Lolium perenne	18	15	20	18	Englisches Raygras
Lolium x boucheanum	15	15	12	14	Bastardraygras
Poa pratensis	5	3	6	5	Wiesen-Rispe
Poa trivialis		0,3		0,1	Gemeine-Rispe
Σ Gräser	71	67	61	66	
Trifolium pratense	1			0,3	Rot-Klee
Trifolium repens	35	30	30	32	Weißklee
Vicia cracca			0,7	0,2	Vogel-Wicke
Σ Leguminosen	36	30	31	32	
Bellis perennis	0,7	0,3	0,3	0,4	Gänseblümchen
Campanula patula	0,1	0,7	0,3	0,4	Wiesen-Glockenblume
Cerastium holosteoides	0,3	0,3	0,7	0,4	Gew. Hornkraut
Crepis biennis	0,3	1	0,7	0,7	Wiesen-Pippau
Crepis capillaris		0,7		0,2	Grün-Pippau
Glechoma hederacea	0,7	1	1	1	Echte Gudelrebe
Leontodon hispidus	1			0,3	Wiesen-Löwenzahn
Lysimachia nummularia			0,3	0,1	Pfennigkraut
Myosotis arvensis	0,1	0,3		0,1	Acker-Vergißmeinnicht
Plantago lanceolata		0,7	1	0,6	Spitz-Wegerich
Ranunculus acris			0,3	0,1	Scharfer Hahnenfuß
Ranunculus repens		3	2	2	Kriech-Hahnenfuß
Silene dioica	0,3			0,1	Rote Lichtnelke
Taraxacum officinale agg.	5	8	10	8	Gew. Löwenzahn
Σ Kräuter	9	16	17	14	
Gesamtdeckung	116	113	108	112	
Artenanzahl	17	19	19	25	

Vegetationsaufnahme zum 2. Aufwuchs

Bestände sehr grasreich, Dactylis glomerata und Lolium x boucheanum in Blüte,
 Trifolium repens im Abblühen,
 Taraxacum officinale und Ranunculus repens vegetativ

Tabelle 108: Pflanzenbestandsaufnahme 31 a-c

Lysimetervergleichsversuch Winklhof**Vers.-Nr: GL-839**Feldfutter - Intensivmischung **IM**, Anlage Frühjahr 2007

Pflanzenbestandsaufnahme in Fl. %

bonitiert am: 02.07.2010

Schwab

4- Schnittflächen

Prüf.-Nr.	31a	31b	31c	Ø	
Projektive Deckung [%]	97	97	97	97	
offener Boden [%]	4	4	3	4	
WHV [cm]	62	67	61	63	
Gräser [Gewichtsprozent]	68	65	70	68	
Leguminosen [Gewichtsprozent]	20	20	12	17	
Kräuter [Gewichtsprozent]	12	15	18	15	
<i>Dactylis glomerata</i>	15	20	16	17	Knautgras
<i>Elymus repens</i>	2	0,3	1	1	Acker-Quecke
<i>Festuca pratensis</i>	4	3	4	4	Wiesen-Schwingel
<i>Festuca rubra</i>	2	2	2	2	Rot-Schwingel
<i>Lolium perenne</i>	20	18	20	19	Englisches Raygras
<i>Lolium x boucheanum</i>	25	22	25	24	Bastardraygras
<i>Phleum pratense</i>	1			0,3	Wiesen-Lieschgras
<i>Poa pratensis</i>	3	4	3	3	Wiesen-Rispe
<i>Poa trivialis</i>	1	0,3	2	1	Gemeine-Rispe
Σ Gräser	73	70	73	72	
<i>Trifolium pratense</i>	1	1	0,7	1	Rot-Klee
<i>Trifolium repens</i>	20	20	15	18	Weißklee
Σ Leguminosen	21	21	16	19	
<i>Bellis perennis</i>	0,3	0,3	0,3	0,3	Gänseblümchen
<i>Campanula patula</i>		0,3	0,3	0,2	Wiesen-Glockenblume
<i>Cerastium holosteoides</i>	0,3	0,7	0,3	0,4	Gew. Hornkraut
<i>Crepis biennis</i>			0,3	0,1	Wiesen-Pippau
<i>Crepis capillaris</i>		1		0,3	Grün-Pippau
<i>Glechoma hederacea</i>	1	0,7	1	1	Echte Gundelrebe
<i>Plantago lanceolata</i>		0,7		0,2	Spitz-Wegerich
<i>Ranunculus acris</i>	1	1		0,7	Scharfer Hahnenfuß
<i>Ranunculus repens</i>	3	2	2	2	Kriech-Hahnenfuß
<i>Rumex crispus</i>		0,3		0,1	Krause-Ampfer
<i>Silene dioica</i>	0,3	0,1	0,3	0,2	Rote Lichtnelke
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	8	10	15	11	Gew. Löwenzahn
<i>Veronica arvensis</i>			0,3	0,1	Feld-Ehrenpreis
Σ Kräuter	14	17	20	17	
Gesamtdeckung	108	108	109	108	
Artenanzahl	18	21	19	24	

Vegetationsaufnahme zum 2. Aufwuchs

Bestände sehr grasreich, *Dactylis glomerata* und *Lolium x boucheanum* in Blüte,
Trifolium repens im Abblühen,
Taraxacum officinale und *Ranunculus repens* vegetativ

Tabelle 109: Pflanzenbestandsaufnahme 32 a-c

Lysimetervergleichsversuch Winklhof**Vers.-Nr: GL-839**Feldfutter - Intensivmischung **IM**, Anlage Frühjahr 2007

Pflanzenbestandsaufnahme in Fl. %

bonitiert am: 02.07.2010

Schwab

4- Schnittflächen

Prüf.-Nr.	32a	32b	32c	Ø	
Projektive Deckung [%]	97	98	98	98	
offener Boden [%]	4	3	3	3	
WHV [cm]	60	52	51	54	
Gräser [Gewichtsprozent]	63	67	64	65	
Leguminosen [Gewichtsprozent]	25	18	18	20	
Kräuter [Gewichtsprozent]	12	15	18	15	
<i>Dactylis glomerata</i>	12	18	15	15	Knaulgras
<i>Elymus repens</i>	0,3	0,3		0,2	Acker-Quecke
<i>Festuca pratensis</i>	5	4	3	4	Wiesen-Schwingel
<i>Festuca rubra</i>	2	1	3	2	Rot-Schwingel
<i>Lolium perenne</i>	20	24	22	22	Englisches Raygras
<i>Lolium x boucheanum</i>	22	20	20	21	Bastardraygras
<i>Phleum pratense</i>			1	0,3	Wiesen-Lieschgras
<i>Poa pratensis</i>	2	4	5	4	Wiesen-Rispe
<i>Poa trivialis</i>	1	2	1	1	Gemeine-Rispe
Σ Gräser	64	73	70	69	
<i>Trifolium pratense</i>	0,7	1	0,3	1	Rot-Klee
<i>Trifolium repens</i>	28	20	20	23	Weißklee
Σ Leguminosen	29	21	20	23	
<i>Bellis perennis</i>	0,3	0,3	0,3	0,3	Gänseblümchen
<i>Campanula patula</i>	0,3	0,7	0,3	0,4	Wiesen-Glockenblume
<i>Cerastium holosteoides</i>	0,3	0,3	0,3	0,3	Gew. Hornkraut
<i>Crepis biennis</i>	0,7	0,7	0,7	0,7	Wiesen-Pippau
<i>Glechoma hederacea</i>	0,7	1	1	1	Echte Gundelrebe
<i>Plantago lanceolata</i>		2		0,7	Spitz-Wegerich
<i>Ranunculus acris</i>	1	2	0,3	1	Scharfer Hahnenfuß
<i>Ranunculus repens</i>	2	2	2	2	Kriech-Hahnenfuß
<i>Rumex crispus</i>	0,7			0,2	Krause-Ampfer
<i>Silene dioica</i>		0,3	0,7	0,3	Rote Lichtnelke
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	8	10	12	10	Gew. Löwenzahn
<i>Veronica arvensis</i>	0,1	0,3	0,3	0,2	Feld-Ehrenpreis
Σ Kräuter	14	20	18	17	
Gesamtdeckung	107	114	108	110	
Artenanzahl	20	21	20	23	

Vegetationsaufnahme zum 2. Aufwuchs

Bestände sehr grasreich, *Dactylis glomerata* und *Lolium x boucheanum* in Blüte,
Trifolium repens im Abblühen,
Taraxacum officinale, *Ranunculus repens* und *Ranunculus acris* vegetativ

Abbildung 39: Verlauf der Natriumauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum

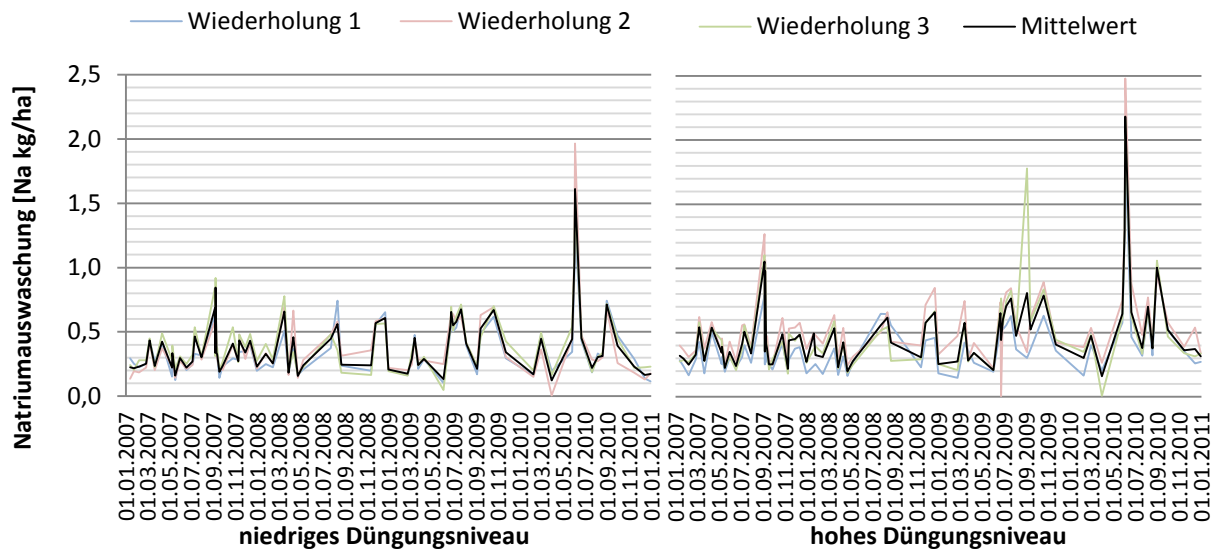


Abbildung 40: Verlauf der Kaliumauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum

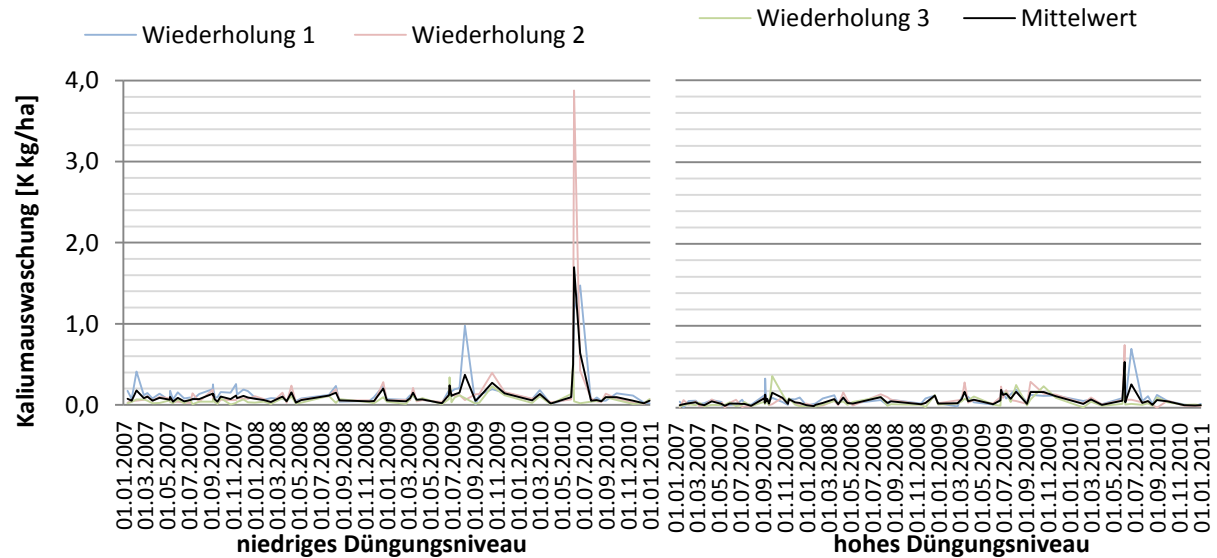


Abbildung 41: Verlauf der Calciumauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum

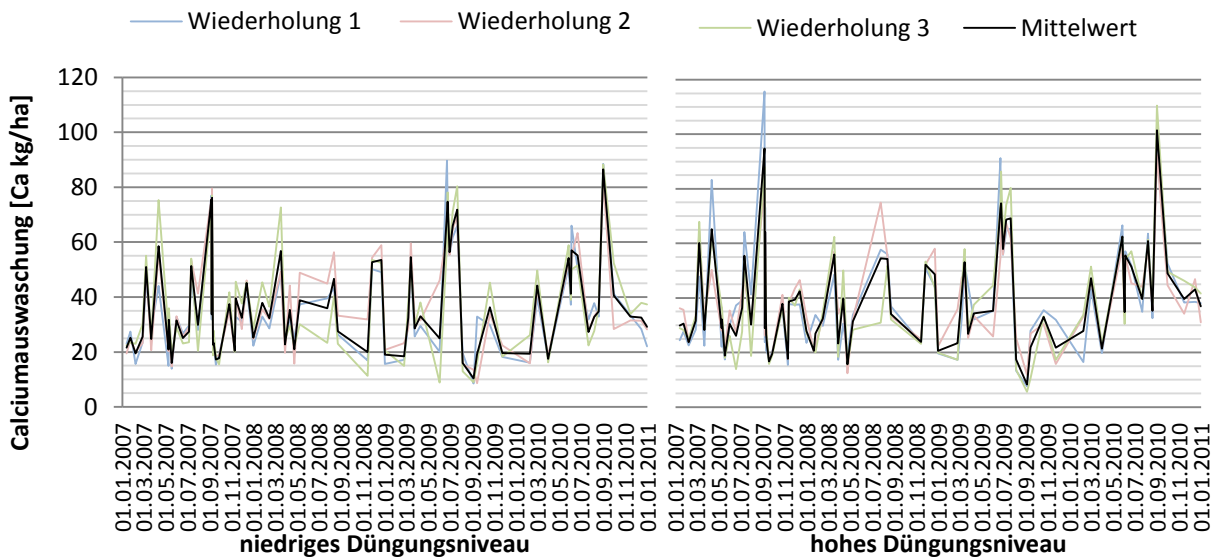


Abbildung 42: Verlauf der Magnesiumauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum

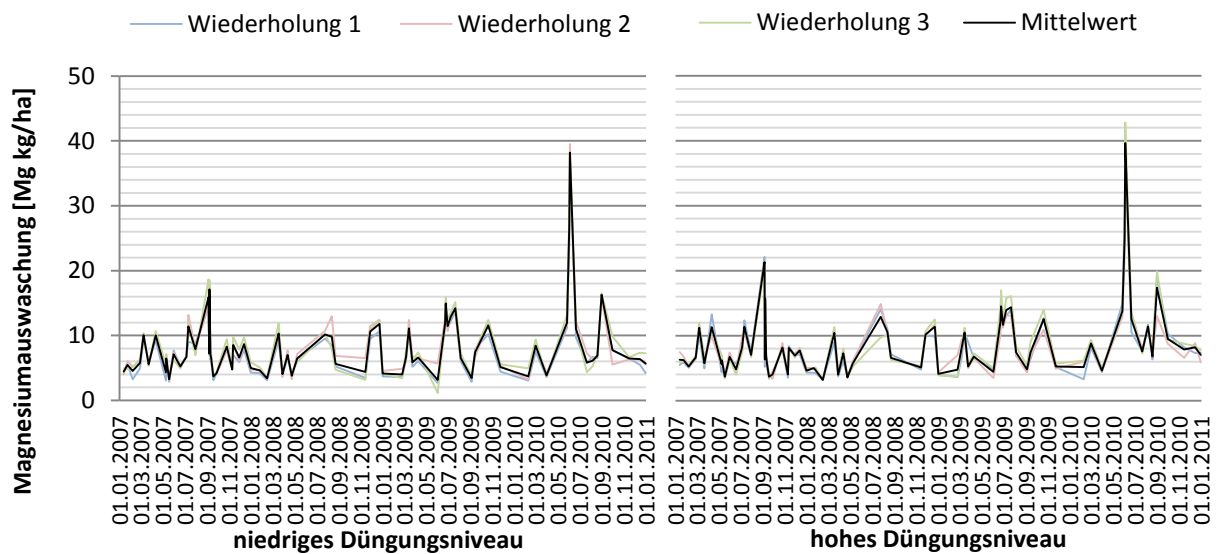


Abbildung 43: Verlauf der Chlorauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum

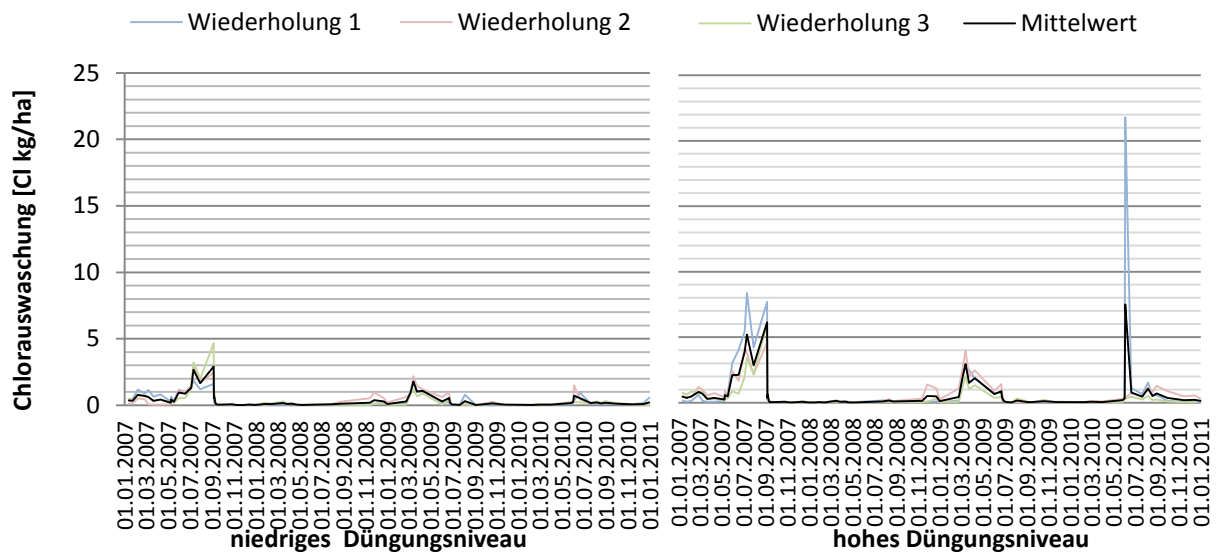


Abbildung 44: Verlauf der Sulfatschwefelauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum

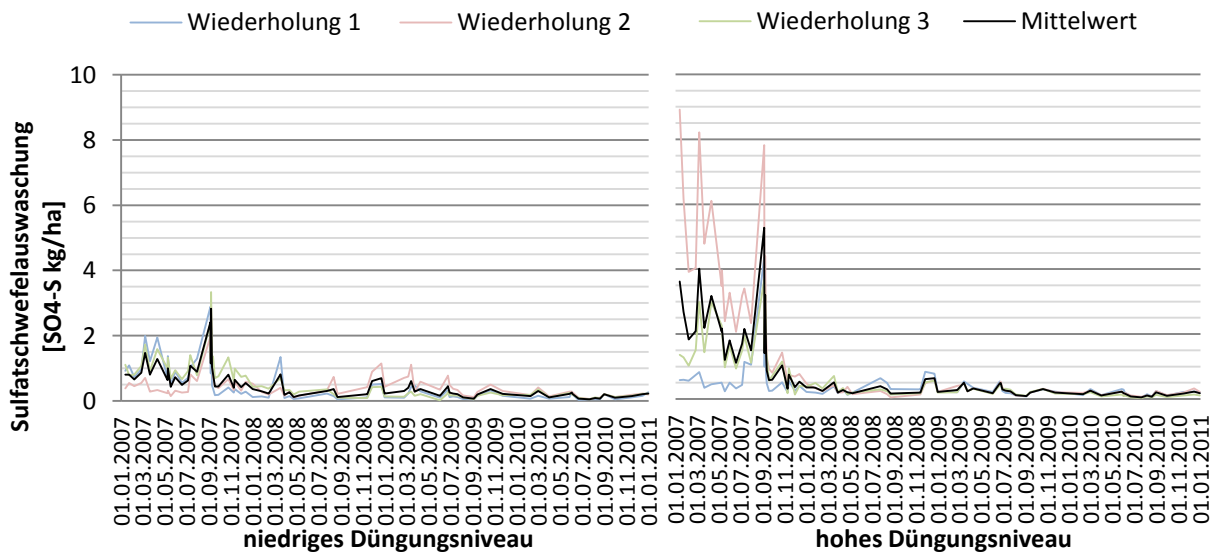


Abbildung 45: Verlauf der Gesamtposphorauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum

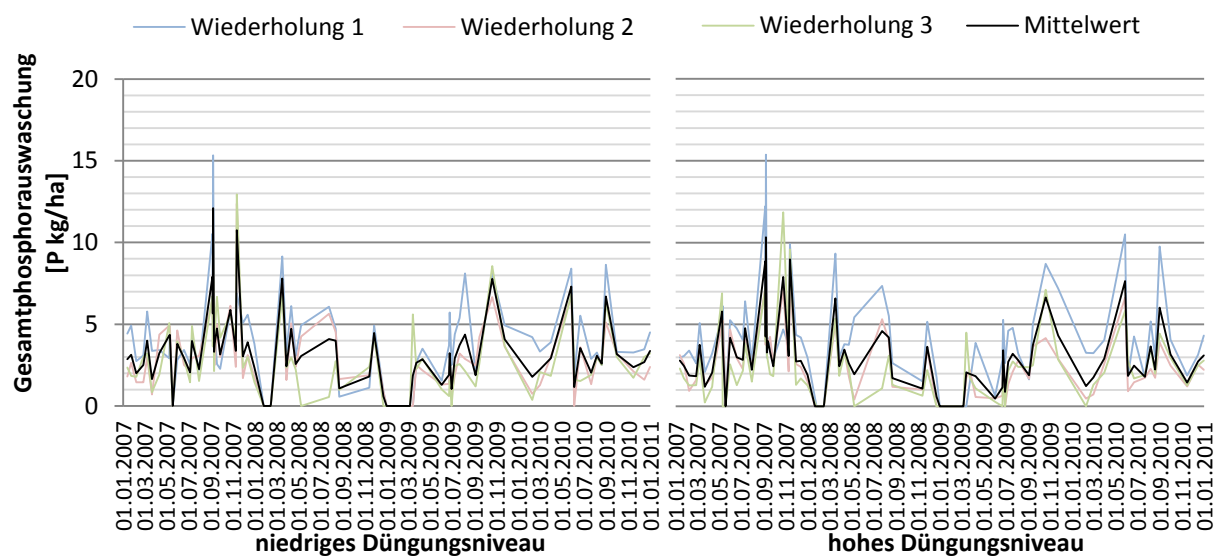


Abbildung 46: Verlauf der anorganischen Stickstoffauswaschung über den gesamten Versuchszeitraum

