

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II
- Grünlandwirtschaft und Futterbau -
der Justus-Liebig-Universität Gießen

**Validierung von Winterweidesystemen mit Fleischrindern und
tierartübergreifende Effekte auf bodenphysikalische Merkmale**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)
beim Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und
Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
Dipl. -Ing. agr. **Gerhard Schlimbach**
aus Köln

Gießen 2006

Dekan: Prof. Dr. R. Herrmann

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h.c. W. Opitz von Boberfeld
2. Gutachter: Prof. Dr. T. Harrach

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Februar 2006

Inhalt

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATURÜBERSICHT	2
2.1	Winterweiden	2
2.2	Ertrags- und Futterqualität	4
2.2.1	TS-Ertrag	4
2.2.2	Energiedichte	5
2.2.3	Rohprotein und P/E-Quotient	6
2.2.4	Ergosterol und Mykotoxine	7
2.3	Bodenverdichtung	8
2.3.1	Bodenphysikalische Merkmale	10
2.3.2	Scherwiderstand	12
2.3.3	Infiltration und Oberflächenabfluss	13
2.4	Narbenschäden	14
2.5	N _{min} -Mengen	15
2.6	Arbeitshypothese	17
3	MATERIAL UND METHODEN	19
3.1	Material	19
3.1.1	Standort und Witterung	19
3.1.2	Varianten	21
3.2	Methoden	22
3.2.1	Ertragsermittlung	22
3.2.2	Futterqualität	23
3.2.3	Bodeneigenschaften	23
3.2.4	Statistische Auswertung	25
4	ERGEBNISSE	26
4.1	TS-Ertrag	26
4.2	Futterqualität	27
4.2.1	Energiedichte	27
4.2.2	Rohprotein und P/E-Quotient	27

4.2.3 Ergosterol und Mykotoxine	31
4.3 Primäraufwuchs	33
4.3.1 TS-Ertrag	33
4.3.2 N-Entzüge.....	34
4.4 N _{min} -Mengen	36
4.5 Narbenlückigkeit	37
4.6 Bodenphysikalische Merkmale	39
4.6.1 Rinderweide.....	39
4.6.2 Schafweide	43
4.6.3 Direkter Vergleich Rind/ Schaf.....	47
5 DISKUSSION	49
5.1 TS-Erträge	49
5.2 Futterqualität.....	51
5.3 N _{min} -Mengen	54
5.4 Bodenphysikalische Merkmale	56
6 ZUSAMMENFASSUNG	66
7 SUMMARY	68
8 LITERATURVERZEICHNIS	70
9 ANHANG.....	82

1 Einleitung

Regionen, wie das Lahn-Dill-Bergland und der Westerwald, zählen zu den Grenzertragslagen in Deutschland; sie sind durch einen hohen Anteil an Weidefläche geprägt. Durch eine abnehmende Zahl von Milchkühen, Aufgabe von landwirtschaftlichen Betrieben und Sukzession wird vermehrt Grünland freigesetzt (v. BORSTEL et al. 1994). Die Flächen können durch extensive Haltungsformen, wie die Ganzjahresaußenhaltung, sinnvoll genutzt werden. Diese Bewirtschaftung des Grünlandes zeichnet sich durch eine Minimierung der Kosten für Boden, Kapital und Arbeitskraft aus. Bei der Winteraußenhaltung entfallen Gebäudekosten; Futter- und Arbeitskosten werden verringert (DEBLITZ & RUMPF 1993). Die Nutzung von Winterfutter "auf dem Halm" von ab Juli geschonten Weideflächen bietet bis zum Ende des Jahres eine kostengünstige und dem Weidetier auf Quantität und Qualität angepasste Alternative im Vergleich zu kostenträchtigen Futterkonserven (OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002, OPITZ v. BOBERFELD et al. 2002, WÖHLER 2003, WOLF & OPITZ v. BOBERFELD 2003). Die Weideperiode sollte über die Wintermonate hin so lang wie möglich ausgedehnt werden. Positiv wirkt sich eine Winterbeweidung auf die Tiergesundheit aus; sie wird aufgrund einer natürlichen Abhärtung verbessert (SCHNEIDER 1917, FISCHER 1996).

Bisher wurden Untersuchungen über die Futterqualität einzelner Gräser und von Aufwüchsen wichtiger Weidegesellschaften in Abhängigkeit von Ernte- und Vornutzungstermin durchgeführt. Dabei wurde jedoch das Weidetier nicht mit einbezogen. Um eine realitätsnahe Aussage über die Winteraußenhaltung treffen zu können, beinhaltet diese Arbeit neben der Ermittlung von Futtermasse und Futterqualität verschiedener Narben, unterschiedliche Tierarten und Besatzdichten auf mögliche oberflächennahe Bodenverdichtungen und Narbenschäden.

2 Literaturübersicht

2.1 Winterweiden

Grünland zählt zu den artenreichsten Biotopen Mitteleuropas und hat somit vielfältige Bedeutungen. Es ist nicht nur Futterlieferant, sondern bietet durch seine verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten und Ausprägungsformen der Pflanzen- und Tierwelt Lebensbedingungen (= biotischer Ressourcenschutz). Weiterhin hat es eine besondere Funktion für Boden-, Erosions- und Gewässerschutz (= abiotischer Ressourcenschutz) und stellt für den Menschen eine reizvolle Landschaft (= ästhetischer Ressourcenschutz) dar (v. BORSTEL et al. 1994).

Die Grünlandflächen werden von Milchkühen und Nachzucht nicht voll genutzt, so dass sich in den letzten Jahren die Ganzjahresaußenhaltung als wichtige landwirtschaftliche Produktionsform etabliert hat. Dadurch wird ein Offenhalten der Flächen erreicht und das Aufkommen von Brachflächen vermieden (DEBLITZ 1994). Herbst- und Winterweiden sind in Großbritannien und Australien schon lange bekannt (BOEKER 1957, ARCHER & DECKER 1977). Obwohl schon SCHNEIDER (1917) auf die Vorteile hingewiesen hat, wird die Winterweide in Deutschland nur wenig praktiziert; gewinnt jedoch immer mehr an Bedeutung (OPITZ v. BOBERFELD 2001). Rindermast in Stallhaltung hat in Deutschland aufgrund hoher Produktionskosten einen schwierigen Stand (DEBLITZ et al. 2004). 70 % der Kosten bei Stallhaltung in der Rinderhaltung sind Futterkosten, wobei zwei Drittel der Aufwendungen im Winter anfallen (VAN KEUREN 1970). Bei einem Vergleich der Produktionskosten von Rindfleisch in der EU gegenüber südamerikanischen und pakistanischen Betrieben belaufen sich die Kosten in der EU auf 300-500 US \$ je 100 kg Schlachtgewicht und in den Vergleichsländern auf nur 100-130 US \$ je 100 kg Schlachtgewicht (DEBLITZ et al. 2004). Die Vorteile der Winterweide gegenüber der Stallhaltung sind Kosteneinsparungen bei der Silage- und Heuwerbung, Transport und Lagerung, bei den Stallgebäuden und bei der Dungaubringung. Bisher aufgetretene Fehler beziehen sich auf Nichtbeachtung des Bodenreliefs und der Bodenfeuchte, zu hohe Besatzdichten und eine falsche Auswahl von Futter- und Tränkestellen (FISCHER 1996). Ein räumlicher Wechsel der Futterstellen sollte jedoch gegeben sein, da es sonst zu einer hohen Akkumulation von Nährstoffen kommt (OPITZ v. BOBERFELD & STERZENBACH 1999). Eine weitere Voraussetzung für die Nutzung von Winterweiden ist das Vorhandensein von isolierten Liegebereichen mit einem Windschutz

(WALLBAUM 1996, ZUBE 1996, HEIKENS 1999). BARTHOLOMEW et al. (1997) stellen bei ihrem Versuch fest, dass Winterbeweidungssysteme den Arbeitszeitbedarf im Winter um 25 % reduzieren können. BAUER (1996) beziffert die Kostensenkung auf 75-100 Euro Rind⁻¹, TITZE (1997) ermittelt sogar eine Einsparung von 100-200 Euro Rind⁻¹. Die Winterweide hat keinen nachhaltig negativen Einfluss auf die Tiergesundheit im Winter. Frost, erhöhte Niederschläge, höhere Windstärken und Schneefall hindern die Tiere nicht am Grasens (FISCHER 1996). Nachteilig wirkt sich die Konzentration von Weidetieren an hoch frequentierten Stellen, wie z.B. Tränkeplätzen, aus. Diese müssen im Frühjahr mit *Lolium perenne* nachgesät werden (OPITZ v. BOBERFELD 1997). Eine weitere Auswirkung der Winterbeweidung sind Narbenschäden und Bodenverdichtungen durch den Tritt der Tiere (CASLER et al. 1998), das negative Folgen für die Dräneigenschaften, Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit des Bodens hat. Abhängig von der Bodenart wird der Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser durch verstärkten Oberflächenabfluss vermindert (ROSENBERG 1964). Der Einfluss der Tiere auf die Weide ist nicht homogen und kann in intensiv genutzten Bereichen zu einer stärkeren Bestockung der Pflanzen (HUME & BROCK 1997) bis hin zu einer Selektion von besonderen weideverträglichen Pflanzen führen (LIU et al. 1999, VAYLAY & VAN SANTEN 1999).

Als Grasart für die Winterweide bietet sich *Festuca arundinacea* an (ARCHER & DECKER 1977, BAKER et al. 1988, BAUER 1996, BARTHOLOMEW et al. 1997, PRIGGE et al. 1999). *Festuca arundinacea* zählt zu den ausdauernden Arten (RIESTERER et al. 2000) und zeichnet sich durch einen hohen Futterwert aus (BAUER 1996). Es ist ein wertvolles Gras mit aufrechtem Wuchs und ausgeprägter Winterhärte (RAYBURN et al. 1979). Eine Schonung des *Festuca arundinacea*-Bestandes erfolgt am günstigsten ab Juli, um optimale Werte bei TS-Erträgen und Energiedichten zu erreichen (OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002, KRÄLING 2005). Der Einsatz als Frischfutter ist nur im jungen Zustand wegen der Härte der Blattspreiten empfehlenswert (ALERT & BAUER 1985). *Festuca arundinacea* kann aufgrund hoher Konzentration an wasserlöslichen Kohlenhydraten und schnellen Anwelkens siliert werden (WACKER 1983, OPITZ v. BOBERFELD et al. 2004). Die Standortansprüche von *Festuca arundinacea* sind gering.

Die Böden für die Winterweide müssen trittfest sein. Moore und Tonböden scheiden aus (BAUER 1996). Flachgründige oder sandreiche Böden, die weder stau- noch

grundwasserbeeinflusst sind, wie Rendzinen, Ranker oder Braunerden, bieten sich als Standort für die Winterweide an (OPITZ V. BOBERFELD 2001).

2.2 Futterqualität und Futterproduktivität

2.2.1 TS-Ertrag

Die Herbst- bzw. Wintererträge von Grünlandaufwüchsen sind abhängig von den Witterungsbedingungen, der Narbenzusammensetzung sowie der Anzahl der Nutzungen (KLAPP 1971). ***Lolio-Cynosureten*** können Bruttoerträge von über 100 dt ha⁻¹ TS a⁻¹ erreichen (OPITZ V. BOBERFELD 1994a). *Lolium perenne* ist ein Untergras, dass mit einer hohen Nutzungsfrequenz eine gute Ganzjahresleistung hat (HALL et al. 1998) und im Spätsommer noch hohe Zuwachsraten erzielt (KLAPP & OPITZ V. BOBERFELD 1990). BAKER et al. (1961) weisen auf große Verluste im Winter hin, die aufgrund von Abbau und zunehmender Seneszenz auftreten können. Die Gefahr der Auswinterung ist weiterhin durch eine geringe Winterruhe hoch (PETERSEN 1988, KLAPP & OPITZ V. BOBERFELD 1990, WILMAN et al. 1999). Nach Schneefall und hohem Niederschlag trocknen die dichten Narben nur langsam ab, sodass die Gefahr der Fäulnis nach Frost steigt (CORBETT 1957). Bei Versuchen in Südengland stellen LAWS & NEWTON (1987) unter milden und niederschlagsreichen Bedingungen bei *Lolium perenne* von November bis Januar ein Ertragsrückgang von fast 30 % fest.

Festuca arundinacea hat mit 80-146 dt ha⁻¹ TS a⁻¹ eine größere Ertragsleistung als *Lolio-Cynosureten* (BAKER et al. 1965). BAKER et al. (1988) erzielen einen Jahresertrag von 91 dt ha⁻¹ bei einer einmaligen Heunutzung im Sommer und einer Winterbeweidung. *Festuca arundinacea* hat ein gutes Nachwuchsvermögen bis in den Spätherbst (ALERT & BAUER 1985). Der Ertragsverlust von *Festuca arundinacea* ist im Winter wesentlich geringer als bei *Lolium perenne* (WOLF 2002), da die Pflanze selbst bei einer mittleren Temperatur von 4,4 °C noch Wachstum aufweist (LEASURE 1952). NELSON (1996) stellt sogar noch einen Sprosszuwachs bei 1 °C fest. Beim Vergleich von *Lolio-Cynosureten* und *Festuca arundinacea*-Reinbeständen ist die Leistung von *Festuca arundinacea* für den Einsatzbereich Winterfutter "auf dem Halm" offenbar vorzuziehen (OPITZ V. BOBERFELD et al. 2002).

Die **Witterung** hat einen großen Einfluss auf die Erträge von Grünlandaufwüchsen im Winter, sodass diese von Jahr zu Jahr variieren (BALASKO 1977). Bei gleicher Bewirtschaftung können große Unterschiede auftreten, wobei die Witterung in der Entwicklungs- und Wachstumsphase vor der Winternutzung eine große Bedeutung

hat (BAKER et al. 1965, BALASKO 1977, PRIGGE et al. 1999). THOMAS & NORRIS (1981) stellen fest, dass milde Temperaturen bei geringer Sonneneinstrahlung während und nach der Abhärtungsphase in der kalten Jahreszeit und strengem Frost (JAINDL et al. 1991) sich negativ auf den Ertrag auswirken. FRIBOURG & BELL (1984) und GERRISH et al. (1994) verzeichnen abnehmende Erträge von *Festuca arundinacea*, wenn der Zeitpunkt der letzten Vornutzung verzögert wird. Der Winterweideaufwuchs sollte vor Mitte Dezember genutzt werden, weil sich danach der Futterwert verschlechtert (BAKER et al. 1965). Ein Maximum an Ertrag wird Mitte November erreicht (GERRISH et al. 1994). Während des Winters nehmen die Erträge ab (GARDNER & HUNT 1955, BALASKO 1977, OCUMPAUGH & MATCHES 1977, FRIBOURG & BELL 1984, BARTHOLOMEW et al. 1997). Ein Ertragsrückgang von Dezember bis Februar wird von WOLF (2002), WÖHLER (2003) und ELSEBACH (2005) bestätigt.

Eine Winterbeweidung hat unterschiedliche Auswirkungen auf den **Frühjahrsenertrag**. Positiv ist eine Erhöhung der Sprossdichte zu sehen (DAVIES & SIMONS 1979), während sich Trittschäden (LOCKHART et al. 1969) und somit eine Verringerung der photosynthetisch aktiven Fläche (WILMAN & GRIFFITHS 1978) negativ auf den Ertrag im Folgejahr auswirken können. LOCKHART et al. (1969) und FRAME (1970) stellen fest, dass die Erträge im zeitigen Frühjahr von im Herbst ungenutzten Beständen größer sind als die von im Spätherbst und Winter beweideten Flächen. Bei Betrachtung des Masseanteils der grünen Pflanzenteile ist nach DAVIES & SIMONS (1979) kein Einfluss der Winterbeweidung bis Ende Dezember vorhanden. Ein Minderertrag im zeitigen Frühjahr, hervorgerufen durch eine Winternutzung, wird im Laufe des Frühjahrs im Vergleich zu ungenutzten Beständen offenbar wieder kompensiert (LOCKHART et al. 1969, FRAME 1970, WILMAN & GRIFFITHS 1978, RIESTERER et al. 2000).

2.2.2 Energiedichte

Ein Maß für die Leistungsfähigkeit des Bestandes ist die Energiedichte (OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Eine späte Vornutzung der Winterweide bewirkt eine Erhöhung der Energiedichte, die mit fortschreitendem Winter jedoch wieder abnimmt (OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002). Aus den USA sind ähnliche Resultate von OCUMPAUGH & MATCHES (1977), COLLINS & BALASKO (1981) und HITZ & RUSSEL (1998) bekannt. Der Grund hierfür liegt im vergleichsweise hohen Anteil an Gerüstsubstanzen, der mit zunehmendem Alter ansteigt (LINDGREN & LINDBERG 1988, DAHMEN 1989, HAND 1991,

OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002, KRÄLING 2005). Im Gegensatz zu lebendem Material zeichnet sich totes Gewebe durch geringe Energiedichten aus (ARCHER & DECKER 1977, BANZHAF 2004). Für die Vegetationsperiode stellen PRAGER (1983), WILMAN & REVANI MOGHADDAM (1998) fest, dass die Energiedichte von *Festuca arundinacea* geringer ist als die von *Lolium perenne*, wobei die größten Differenzen der Konzentrationen zwischen den beiden Grasarten offenbar im September und die kleinsten Unterschiede im Juni und Februar bestehen (WILMAN & GAO 1996). Im Gegensatz zu anderen Gräsern, wie z.B. *Dactylis glomerata* und *Phalaris arundinacea*, weist *Festuca arundinacea* im Herbst und Winter höhere Energiedichten auf (BAKER et al. 1965, WEDIN et al. 1966, BRYAN et al. 1970, ARCHER & DECKER 1977, PRIGGE et al. 1999).

2.2.3 Rohprotein und PE-Quotient

Die Rohprotein-Konzentrationen von Grünlandaufwüchsen verringern sich im Laufe des Herbstes und Winters (TAYLOR & TEMPLETON 1976, OPITZ v. BOBERFELD 1994b). BALASKO (1977) stellt einen Rückgang bei *Festuca arundinacea* von 10,1 % im Dezember auf 9,4 % im Januar fest. Die Proteinversorgung der Weidetiere ist jedoch im Oktober mit 13,6 % und im Dezember mit 10,6 % Rohprotein noch ausreichend (TAYLOR & TEMPLETON 1976). Eine lange Schonung der Bestände hat eine geringere Konzentration an Rohprotein zur Folge (GARDNER & HUNT 1955, FRIBOURG & BELL 1984, WOLF 2002), während eine gesteigerte N-Düngung den Rohproteingehalt erhöht (TAYLOR & TEMPLETON 1976, ARCHER & DECKER 1977, COLLINS & BALASKO 1981, ALERT & BAUER 1985, GERRISH et al. 1994). Bei Düngungsversuchen von BROWN et al. (1963) verringern sich die Rohprotein-Konzentrationen von *Festuca arundinacea*-Beständen ab Mitte August bis Ende Oktober, steigen aber dann bis zum letzten Erntetermin Mitte November wieder an. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch TITZE (1997), der im Januar und Februar höhere Konzentrationen an Rohprotein beschreibt als im Dezember. Generell ist die Rohprotein-Konzentration von *Festuca arundinacea* ausreichend für die Versorgung im Winter und deckt den Bedarf der Wiederkäuer (WOLF 2002, KALLENBACH et al. 2003, WÖHLER 2003). Zwischen den Arten *Festuca arundinacea* und *Lolium perenne* gibt es während der Vegetationsperiode nach STÄHLIN & TIRTAPRADJA (1974) und PRAGER (1983) keine Unterschiede in der Rohprotein-Konzentration. Dies trifft ebenfalls für die Weidengesellschaften *Lolio*- und *Festuco-Cynosureten* zu (WÖHLER 2003).

Der P/E-Quotient gibt das Verhältnis von Rohprotein zur Energiedichte an. Das Verhältnis zwischen den beiden Komponenten verändert sich im Laufe der Vegetationsperiode aufgrund einer Verschiebung der Masseanteile von Blatt und Halm. Mit fortschreitender Entwicklung bzw. Alter der Pflanzen verringert sich der Quotient (OPITZ v. BOBERFELD 1994b). Der P/E-Quotient sollte mindestens 10 und bei hoher Leistung 13-14 betragen (MENKE 1987). WOLF (2002) weist in seinen Versuchen bei *Festuca arundinacea* im Januar und Februar P/E-Quotienten von > 14 nach; dies liegt deutlich über den für Mutterkühe geforderten Bereich.

2.2.4 Ergosterol und Mykotoxine

Grünlandaufwüchse sind im Herbst und Winter besonders bei nasser Witterung einer Besiedlung durch Pilze ausgesetzt. Als Indikator für den Verpilzungsgrad kann die Ergosterol-Konzentration gewertet werden. Ergosterol ist ein Zellwandbestandteil von Pilzen (SEITZ et al. 1977). Im Laufe des Winters steigt die Ergosterol-Konzentration an (OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002). Je älter ein Grasbestand, desto höher ist die Besiedlung (BUSH & BURRUS 1988, OPITZ v. BOBERFELD 1996). Für das Wachstum der Pilze ist ein dichter Pflanzenbestand fördernd, da die hohe Luftfeuchtigkeit und die Feuchtigkeit auf den Blättern lange erhalten bleiben (GIESLER et al. 1996). Langanhaltende Schneedecken vermindern die Widerstandskraft von Gräsern gegenüber z.B. *Microdochium nivale* (= Schneeschimmel), weil sich ein ungünstiges Mikroklima bei gleichzeitigem Lichtmangel entwickelt (FRAUENSTEIN 1971, SCHLÖSSER 1997). Die Grasarten werden unterschiedlich stark von Pilzen befallen. Bei Untersuchungen von OPITZ v. BOBERFELD & WOLF (2002) weist *Lolium perenne* größere Ergosterol-Konzentrationen auf als *Festuca arundinacea*.

Einige Pilze produzieren unter günstigen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen und bei guter Versorgung mit Kohlenhydraten **Mykotoxine** (BAATH et al. 1990). Es sind etwa 300 verschiedene Mykotoxine bisher bekannt (THALMANN 1990). Häufige Mykotoxine sind das von u. a. *Microdochium nivale* produzierte *Zearalenon* sowie das von *Aspergillus ochraceus* und *Penicillium viridicatum* gebildete *Ochratoxin A* (OPITZ v. BOBERFELD 1996). Feuchtes, kaltes Wetter mit Temperaturschwankungen begünstigt das Wachstum und die Toxinbildung. Das Temperaturoptimum für die *Zearalenon*-bildung liegt bei den meisten Arten zwischen 12° und 18 °C (SHERWOOD & PEPPERDY 1974). Schneefall in der Bestockungsphase kann den Primärbesatz der Pflanzen mit *Fusarien* erheblich fördern. Bedeutsam ist jedoch der Einfluss hoher

Feuchtigkeit bei spätem Erntetermin (SUTTON & PATERSON 1980). *Zearalenon* hat eine östrogene und anabolische Wirkung (BAUMANN & ZIMMERLI 1988). Tolerierbare Grenzwerte von *Zearalenon* können nicht angegeben werden. Offenbar liegen sie $> 50 \mu\text{g kg}^{-1}\text{TS}$ Futter (HÖLTERSHINKEN et al. 1996). *Ochratoxin A* wirkt nierentoxisch, karzinogen, teratogen, immunosuppressiv und genotoxisch (HÖLTERSHINKEN et al. 1996). In Versuchen wird ab einer Konzentration von $200 \mu\text{g kg}^{-1}\text{TS}$ *Ochratoxin A* im Futter negative Effekte bei Schweinen und Geflügel festgestellt (VALENTA 1998). Rinder reagieren dagegen vergleichsweise unempfindlich gegen Mykotoxine. Allerdings können nach 48-stündiger Inkubation von *Ochratoxin A* im Pansensaft noch 70 % der ursprünglichen Menge wiedergefunden werden (ÖZPINAR et al. 1999); dies bestätigen BLANK et al. (2003) durch einen Fütterungsversuch. Neben direkten Auswirkungen auf den Wiederkäuer beeinträchtigt verschimmelttes Raufutter die Fermentation im Pansen (MAIWORM et al. 1995, HÖLTERSHINKEN et al. 1996, 2000). Die Mykotoxin-Konzentration ist nicht abhängig vom Ergosterolgehalt. Allerdings können Mykotoxin-Konzentrationen in überständigen Aufwüchsen jahreszeit- und jahrabhängig die Nachweisgrenze überschreiten (OPITZ v. BOBERFELD 1996, OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002, LASER et al. 2003, 2004, OPITZ v. BOBERFELD et al. 2005).

2.3 Bodenverdichtung

2.3.1 Bodenphysikalische Merkmale

Landwirtschaftlich genutzte Flächen können einen Lagerungszustand aufweisen, der ausgetrockneten und stark kontrahierten Böden unter ariden Klimabedingungen entspricht. Ackerböden werden oberhalb der Pflugsohle durch die Pflugbearbeitung wieder aufgebrochen, während unterhalb der Pflugsohle die Bodendeformation häufig als weitgehend irreversibel komprimiert einzustufen ist (HORN & HARTGE 2001, HORN et al. 2002). Auf das gesamte Bodenprofil bezogen haben die Böden bis zu einer Tiefe von 1 m nicht mehr die ursprüngliche Gefügeform (HARTGE & HORN 2002). Im Vergleich zum Grünland kann die Bodenoberfläche bei Ackerböden aufgrund der oberflächennahen Verdichtung 5 bis 20 cm tiefer liegen (HORN & HARTGE 2001). Auf dem Grünland hat der Tritt der Weidetiere auf feuchten, bindigen Böden vornehmlich eine bodenverdichtende Wirkung und kann in Verbindung mit hohen Besatzdichten narbenzerstörend sein (KUNTZE 1963, JACOB 1987). Die Druckbelastung von Weidetieren auf die Grasnarbe ist unterschiedlich. Die auf den Boden einwirkende Masse einer Kuh, die sich in Bewegung befindet und ca. 600 kg wiegt, beträgt $4\text{-}5 \text{ kg cm}^{-2}$.

(JACOB 1987). Färsen üben punktuell einen Bodendruck von etwa 4 kg cm^{-2} aus (HUTH 2004). Schafe belasten dagegen den Boden mit einem Druck von etwa 2 kg cm^{-2} . Dieser Wert ist aber noch größer als die Bodenbelastung von Schleppern, die Werte - je nach Bereifung und Reifendruck - zwischen $0,3\text{-}1,5 \text{ kg cm}^{-2}$ erreichen (PROFFITT et al. 1993). Tab. 1 zeigt die Drucklast von Schaf und Rind im Vergleich zum Schlepper, die im statischen Zustand auf den Boden ausgeübt wird.

Tab. 1: Drucklasten von Schaf, Rind und Schlepper nach verschiedenen Autoren

Masse (kg)	Klauengröße (cm ²)	Drucklast (kPa cm ⁻²)	Literatur
Schaf			
40-55	84	48-65	NOBLE & TONGWAY (1986)
54	84	64	LULL (1959)
43	63	69	SSEMAKULA (1983)
48	77	63	\bar{x}
Rind			
306	314	98	SSEMAKULA (1983)
500-600	460	110-130	NOBLE & TONGWAY (1986)
530	>400	>133	SCHOLEFIELD & HALL (1985)
380	264	144	MWENDERA & MOHAMED SALEEM (1997)
612	364	168	LULL (1959)
476	361	133	\bar{x}
Schlepper [140 PS]			
6180	Auflagefläche 14178-11066	43-55	BERNHARDT (2005)

Eine Tiefenverdichtung bei Schleppern ist abhängig von der Eigenstabilität der einzelnen Bodenhorizonte, dem Kontaktflächendruck und der Radlast (HORN 1999). Der von den Weidetieren ausgeübte Bodendruck macht sich hauptsächlich im Hauptwurzelraum der Grünlandbestände bis 10 cm Tiefe bemerkbar, ist aber auch noch in Schichten bis etwa 20 cm Tiefe nachweisbar (JACOB 1987). GREENWOOD & MCKENZIE (2001) geben ebenfalls Tiefen von 5-15 cm an, in denen eine Beweidung verdichtend wirken kann. XIE & WITTIG (2004) stellen dagegen noch in 15-25 cm Tiefe Verdichtungen fest und können erst in 40-45 cm Tiefe keine signifikanten Unterschiede mehr nachweisen. Verdichtungen und Veränderungen der physikalischen Bodeneigenschaften in tieferen Bereichen finden hauptsächlich in bearbeiteten und nassen Böden statt. Da von der Bodenbelastung hauptsächlich dränende und luftführende Poren erfasst werden, können auf Flächen mit bindigeren Böden Oberflächenwasserableitung und Gasaustausch eingeschränkt sein (HORN 1999).

Die verdichtende Wirkung des Tritts ist im Frühjahr am stärksten, nimmt im Sommer ab und steigt zum Herbst wieder an. Zwischen den Weidegängen wird der Boden aufgrund der biologischen Aktivität immer wieder gelockert (OPITZ v. BOBERFELD 1976, JACOB 1987). HORN (1999) stellt ebenfalls den positiven Effekt der Bodenflora und -fauna heraus, deren Aktivität über die ökologischen Eigenschaften des Standortes entscheidet und als Index für vorhandene Bodenverdichtung dient. Eine Verdichtung, hervorgerufen durch Beweidung, senkt die Infiltrationsrate und das Pflanzenwachstum und erhöht somit die Bodenerosion. Die Gefahr von Verdichtungen und Narbenverletzungen ist bei einem hohem Wassergehalt des Bodens deutlich größer als bei Trockenheit (OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Eine wichtige Aufgabe haben Wurzeln in den oberen Bodenschichten. Sie können limitierend auf Verdichtungen wirken und produzieren Grobporen, wodurch die Bodenstruktur stabilisiert wird (GREENWOOD & MCKENZIE 2001). GRADWELL (1960) stellt eine signifikant positive Korrelation zwischen Wurzelmasse und Porenvolumen fest. HORN (1999) weist ebenfalls auf einen positiven Effekt der Wurzelaktivität auf das Porenvolumen hin.

Das Porenvolumen und die Porengrößenverteilung haben einen hohen Einfluss auf die Wasser- und Luftdurchlässigkeit des Bodens und damit auch indirekt Auswirkungen auf die Trittverträglichkeit (FIEDLER & REISSIG 1964, SCHRÖDER 1975). Ein optimales Bodengefüge weist einen Anteil an Grobporen von 10 %, Mittelporen von 15 % und Feinporen von 20 % aus. Die Grobporen versorgen die Bodenorganismen und Pflanzenwurzeln mit Sauerstoff und die Mittelporen speichern das für Pflanzen verfügbare Wasser (MAIDL & FISCHBECK 1985). Das Wachstum der Wurzeln findet hauptsächlich in den Grobporen statt, während Wurzelhaare auch in weite Mittelporen einwachsen können (BLUME 2004). In den Feinporen befindet sich das Totwasser, d.h. das für Pflanzen nicht verfügbare Wasser (MAIDL & FISCHBECK 1985). Im Versuch von OPITZ v. BOBERFELD (1976) auf Dauergrünland wird der Einfluss von Witterung, unterschiedlicher Nutzungsweise und N-Düngung auf eine Veränderung des Porenvolumens untersucht. Von Herbst bis zum Frühjahr wird eine Zunahme des Porenvolumens festgestellt. Dies beruht offenbar auf einen größeren Auflockerungseffekt in milden Wintern. Die Aktivität des Bodenlebens hat jedoch offensichtlich eine größere Bedeutung als die physikalische Wirkung des Frostes. Ein hoher Einfluss auf das Porenvolumen geht in der Untersuchung von der Nutzungsart für die Schicht 5-9 cm aus; Beweidung bewirkt eine stärkere Reduzierung des

Porenvolumens als Mahd, d.h. die Klauen der Tiere verursachen eine stärkere Verdichtung als die Reifen der Maschinen (OPITZ v. BOBERFELD 1976). HORN (1985) weist ebenfalls auf die bodenverdichtende Wirkung bei Überweidung mit darauf folgender Abnahme der Wasserleitfähigkeit, Luft- und Wasserkapazität sowie des Grobporenanteils hin. Die Luftkapazität in der Krume von Ackerflächen soll > 8 Vol. % bzw. > 5 Vol. % im Unterboden und die Wasserdurchlässigkeit > 10 dm d⁻¹ betragen (HORN et al. 2002). Bei einem Winterweideversuch mit Schafen können DREWRY et al. (1999) in Neuseeland den Einfluss des Tritts auf das Porenvolumen bei Winterbeweidung mit hoher Besatzdichte nur im ersten Versuchsjahr nachweisen vgl. Tab. 2 und 3. Die Wirkung des Tritts wird größer, je plastischer der Boden ist, d.h. wie hoch Wassergehalt, abschlämmbare Teile und organische Substanz sind. Staunasse Böden, die einen großen Anteil an organischem Material aufweisen, haben hohe Porenvolumina (LIETH 1954, KUNTZE 1963, 1994). Silikatreiche Sande mit hohem Grobporenvolumen weisen aufgrund der groben und damit wenig bewegbaren Körner eine geringe Kompressibilität auf. Der Wasseranteil ist hierbei nur sekundär und hat einen geringen Einfluss auf die Trittempfindlichkeit (HORN 1981). PROFFITT et al. (1993) stellen nach einer Schafbeweidung in Meredin/Australien mit einer Besatzdichte von 0,7 Tieren ha⁻¹ bei der Lagerungsdichte keinen

Tab. 2: Anteil der Grobporen > 30 µm in Vol % nach Winterbeweidung mit Schafen (DREWRY et al. 1999)

	Kontrolle	Hohe Besatzdichte (= 1800 Schafe ha ⁻¹)	Signifikanz [GD 10%]	Kontrolle	Hohe Besatzdichte (= 1800 Schafe ha ⁻¹)	Signifikanz
Tiefe	Jahr 1994			Jahr 1995		
0-5	16,4	12,1	*	18,0	14,0	NS
5-10	10,3	9,4	*	14,6	13,6	NS
10-15	10,2	10,2	NS	12,0	11,2	NS

Tab. 3: Anteil der Grobporen > 300 µm und 30-300 µm in Vol % nach Winterbeweidung mit Schafen (DREWRY et al. 1999)

	Porenvolumen (µm)	Kontrolle	Hohe Besatzdichte (= 1800 Schafe ha ⁻¹)	Signifikanz [GD 10%]	Kontrolle	Hohe Besatzdichte (= 1800 Schafe ha ⁻¹)	Signifikanz
Tiefe		Jahr 1994			Jahr 1995		
0-5	>300	8,9	6,2	*	10,8	7,9	NS
5-10	>300	4,4	4,4	NS	8,9	7,8	*
0-5	30-300	7,5	5,9	*	7,2	6,1	NS
5-10	30-300	5,9	5,0	*	5,7	5,9	NS

signifikanten Unterschied zwischen beweideter und Kontrollfläche fest. Versuche, die mit deutlich höheren Besatzdichten durchgeführt werden, haben jedoch eine Zunahme der Dichte zur Folge (CARTER 1977, GREENWOOD et al. 1997). Bei Rindern ist ebenfalls eine Erhöhung der Lagerungsdichte in den oberen Bodenschichten bis 20 cm nach einer Beweidung festzustellen (OPITZ v BOBERFELD 1976, KELLY 1985). Den Einfluss von konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung auf die Anzahl der Grobporen von Ackerflächen weisen BUCZKO et al. (2003) nach. In der konservierenden Bearbeitungsvariante werden Grobporen bis 120 cm Bodentiefe festgestellt, während diese in der konventionellen Variante nur bis zu einer Tiefe von 50 cm vorhanden sind. HORN (1999) stellt ebenfalls fest, dass eine konservierende Bodenbearbeitung eine größere Eigenfestigkeit des Bodenprofils zur Folge hat und größere Belastungen nicht zu einer weiteren Verformung des Bodens und somit zu einer Abnahme von Grobporen führen. Auf Grünlandböden kann der Wert des Porenvolumens aufgrund der starken Durchwurzelung einen Ungenauigkeitsfaktor von bis zu 5 % aufweisen (LIETH 1954). Der Eindringwiderstand stellt ein Maß für den Wurzelzuwachs als Voraussetzung für eine ausreichende Nährstoffaufnahme dar. Der Wert sollte 3 MPa nicht überschreiten (HORN 1999, BLUME 2004).

2.3.2 Scherwiderstand

Der Scherwiderstand gilt als Maß für die Festigkeit der Bodenstruktur (SCHAFFER 1960) und ist diejenige Kraft, die an der Berührungsstelle zweier fester Körper mobilisiert wird, wenn diese gegeneinander bewegt werden. Der Scherwiderstand ist unter anderen abhängig von der Auflast, welche die beiden bewegten Teile aneinander drückt (HARTGE & HORN 1999). Eine Verdichtung ist mit der Erhöhung des Scherwiderstandes verbunden (HARTGE 2002a). Der Scherwiderstand kann im Feld mit einem Flügelbohrer gemessen werden. Hierbei wird das maximale Drehmoment der angewandten Kraft mittels Drehmomentschlüssel ermittelt. Das minimale Drehmoment nach dem Abscheren entspricht der inneren Reibung des Bodens in natürlicher Lagerung (SCHAFFER 1960). Der Scherwiderstand wird durch Bodensubstanzen beeinflusst. Organische Substanz (= OS) bewirkt eine Zunahme des Scherwiderstandes (BAEUMER 1992). Es reichen schon Mengen von < 1 % OS aus, um diesen Effekt hervorzurufen. Eine Zerstörung der organischen Substanz durch H₂O₂ vermindert die Scherspannung. Einen erheblichen Einfluss auf die Stabilität des Bodens hat die Wasserspannung. Durch eine Abnahme der Wasser-

spannung verringert sich die Stabilität und somit der Scherwiderstand (HARTGE & HORN 1999), d.h. bei zunehmendem Wassergehalt nimmt die Scherfestigkeit ab (LINDNER 1967). SCHAFFER (1960) stellt fest, dass der Scherwiderstand vom Wassergehalt des Bodens sowie von der jeweils vorliegenden Struktur und Lagerungsdichte abhängig ist. Bei einem Versuch von SCHAFFER (1963) auf sechs Standorten mit verschiedenen Bodentypen wird auf allen Standorten zwischen einer Frühjahrs- und einer Sommermessung eine Zunahme des Scherwiderstandes ermittelt. Drei Standorte weisen im Frühjahr vergleichbare Werte auf, während im Sommer sich die Standorte unterscheiden. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Lagerungsdichte der Böden und in der Abnahme der Bodenfeuchte zum Sommer hin. LINDNER (1967) stellt einen Zusammenhang zwischen Scherfestigkeit bei gleichem Wassergehalt des Bodens und Porenanteil fest. Je höher die Scherfestigkeit, umso geringer ist der Anteil an groben, schnell und langsam dränenden Poren. In aktuellen Forschungsarbeiten wird vermehrt anstelle des Scherwiderstandes der Eindringwiderstand mit Hilfe einer Penetrometersonde ermittelt. Beide Methoden sind in Ergebnis und Aussagekraft offenbar vergleichbar (BESTE 2002).

2.3.3 Infiltration und Oberflächenabfluss

Der Niederschlag, der auf einer Bodenfläche auftrifft, unterteilt sich in Interzeption, Muldenrückhalt, Oberflächenabfluss und Infiltration (SCHIFFLER 1992). Unter Infiltration wird die Wassermenge verstanden, die in einer Zeiteinheit pro Fläche senkrecht in den Boden eintritt (ANONYMUS 1972). Der Verlauf der Infiltration wird durch die Infiltrationsrate in mm h^{-1} gekennzeichnet (HARTGE 2002b), sie wird im ungestörten Profil mit dem Doppelring-Infiltrimeter gemessen. Der Nachteil bei diesem Verfahren ist, dass es zeit- sowie arbeitsaufwendig ist. Die für die Infiltration bestimmenden Merkmale weisen eine hohe räumliche Variabilität auf, die zu einer hohen Streuung der Infiltrationsraten führen (SCHNUG & HANEKLAUS 2002). Typische Werte für die Infiltration sind für Sandböden 20-30, Lehmböden 10-20 und für Tonböden 1-5 mm h^{-1} (HARTGE 2002b). Die Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens gibt Auskunft über Maßnahmen für Bewässerungen, Sickerverluste und Erosionsanfälligkeit (ANONYMUS 1972). In strukturierten Böden wird die Infiltration von der Permeabilität der Grobporen und Mittelporen bestimmt, in denen das Wasser nur schwach durch Kapillarkraft gehalten werden kann (BEVEN & GERMANN 1982). Ein höherer Anteil an Makroporen auf Grünland, hervorgerufen

durch intensiveres Bodenleben und stärkere Durchwurzelung, kann im Vergleich zum Acker die Infiltrationsrate erhöhen (ANONYMUS 2001b). Auf Grünland tritt Oberflächenabfluss auf, wenn in Hanglagen Narbenschäden oder Bodenverdichtungen, z.B. durch hohe Trittbelastung, entstehen. Unter diesen Bedingungen können Starkniederschläge die Infiltrationskapazität des Bodens überschreiten und Oberflächenabfluss verursachen (HORN 1985). Eine Schafbeweidung in Australien führt bei PROFFITT et al. (1993) zu einem Rückgang der Infiltrationsrate. DREWRY et al. (1999) stellen ebenfalls in Neuseeland eine Reduzierung der Infiltrationsrate von 154 mm h^{-1} (= Kontrollparzellen) auf 64 mm h^{-1} (= intensiv genutzten Parzellen) nach einer Schafbeweidung im Winter fest. Die Infiltration ist von der Lagerungsdichte abhängig. Bei einer Zunahme der Lagerungsdichte sinkt die Wasserdurchlässigkeit (KUNTZE 1994). In hängigem Gelände sollte die Infiltration nach einem Starkregenereignis möglichst groß sein. Bei Werten von $< 20 \text{ mm h}^{-1}$ in Hanglagen ist bei starken Niederschlägen mit erheblichen Bodenabtrag zu rechnen (DÜRR et al. 1995). Auch die Vegetation beeinflusst die Infiltrationsrate nachhaltig. Über die Blattoberfläche wird die Energie des fallenden Niederschlages abgemindert, Niederschlagswasser gespeichert oder verdunstet. Je größer der Bedeckungsgrad, desto kleiner ist die Versickerung (SCHIFFLER 1992). Dies wird von HEJDUK & KASPRZAK bestätigt, die eine Untersuchung in Tschechien durchgeführt und Infiltration und Oberflächenabfluss auf Weideparzellen und unbewachsenen Boden gemessen haben. Die Weideparzellen weisen jeweils höhere Infiltrationsraten und geringere Oberflächenabflusswerte auf als die Parzellen ohne Grasnarbe. SCHOBEL (2005) kann dagegen nachweisen, dass der Oberflächenabfluss auf Grünland deutlich höher liegt als auf Ackerstandorten; als Grund wird hier eine Verfilzung aus Moosen, abgestorbener Biomasse und einem dichten Geflecht von Feinwurzeln an der Bodenoberfläche genannt, die eine Infiltration einschränken.

2.4 Narbenschäden

Narbenschäden treten auf Winterweiden vor allem bei Nässe auf. Eine Beweidung bei hoher Bodenfeuchtigkeit sollte deshalb eingeschränkt werden (WHEELER 1968, JACOB 1987, FISCHER 1996). Bodenfrost verhindert Narbenschäden und macht die Flächen unabhängig vom Niederschlag trittfest (FISCHER 1996). Moorböden sind ungeeignet, weil sie durch hohe Bodenfeuchtigkeit stark verformbar sind und die Grasnarbe deshalb auf Trittwirkungen empfindlich reagiert (ANONYMUS 1993c).

FISCHER (1996) hat die Trittschäden während einer Winterbeweidung auf Niedermoor untersucht. Er unterscheidet zwischen langfristig bleibenden (= Schäden an Futter- und Tränkeplätzen) und kurzfristig reversiblen Narbenschäden. Narbenschäden auf Winterweiden entstehen durch Absterben von Pflanzen, durch Fäulnis und Belastung und durch Tritt (ROSENBERG 1964). Die Trittwirkung von Schafen ist aufgrund der geringeren Körpermasse schonender als die von Rindern (v. KORN 1992). Nach FISCHER & SCHALITZ (2000) ist die Bewertung der Narbenschäden durch Tritt aus ökologischer Sicht zu relativieren. CAMPINO et al. (1986) weisen auf die positive Wirkung des Weidetiertritts einer Schafweide auf die Lückigkeit hin. Bei Untersuchungen einer Glatthaferwiese mit unterschiedlicher Nutzung und Pflegeintensität weist die Fläche, die von Schafen beweidet wird, eine Lückigkeit von 35 % auf; im Vergleich dazu hat die Brachfläche eine Narbenlückigkeit von 70 % und die gemulchte Fläche 68 %. Die Lebensgemeinschaft der Grasnarbe wird einerseits durch intra- und interspezifische Konkurrenz positiv geprägt, andererseits kann sich dies auch negativ auf die Ausprägung der Vegetationsdecke auswirken (BEGON et al. 1991).

2.5 N_{min}-Mengen

Das austauschbare und in der Bodenlösung befindliche NH_4^+ sowie NO_3^- bilden den pflanzenverfügbaren Anteil des Stickstoffs. Zur Nährstoffanreicherung im Boden kommt es infolge Düngung, Mineralisation und Nährstoffrückführung durch Exkremente der Weidetiere (KÄDING & HÖLZEL 2000). Das durch Düngung zugeführte und durch Mineralisation gebildete NH_4^+ wird in Böden mit guter Durchlüftung und nicht zu niedrigen pH-Werten mikrobiell weiter zu NO_3^- umgebaut. WÖHLER (2003) konnte in Versuchen mit *Lolio*- und *Festuco-Cynosureten*, die ab Juli geschont und im November und Dezember geerntet sind, einen durchschnittlichen N-Entzug von 25 kg N ha⁻¹ nachweisen. Direkte negative Auswirkungen auf die Umwelt durch Winterbeweidung sind unter diesen Aspekt nicht zu erwarten (WÖHLER 2003). DECKER & DECKER (1984) haben zehn Grünlandböden auf ihre Nitrifikationsraten in Abhängigkeit von den Standortbedingungen untersucht. Feuchte bis nasse Böden und hochgelegene Standorte weisen die niedrigsten Mengen an NO_3^- -N im Vergleich zu wärmeren, von Grundwasser nicht beeinflussten Böden auf. An stark frequentierten Bereichen, wie Weideeingänge, Treibgänge, Tränke-, Futter- und Liegeplätze, kann es zu einer Anreicherung von NH_4^+ -N und NO_3^- -N im Boden

kommen (OPITZ V. BOBERFELD 1997, EBEL & MILIMONKA 1998). Eine N_{\min} -N-Belastung kann begrenzt werden, wenn Tränkeplätze gewechselt werden und die Zufütterung an verschiedenen Plätzen erfolgt (FISCHER 1996, TITZE 1997, OPITZ V. BOBERFELD & STERZENBACH 1999). Ein Teil des freigesetzten Stickstoffes wird als NO_3^- oder NH_4^+ im Boden pflanzenverfügbar, während ein anderer Teil gasförmig als NO_x (= Denitrifikation) entweicht (BEHRENDT et al. 2000, POGGEMANN 2001). Mit steigender N-Düngung nehmen die NO_x -Verluste zu. Für Grünland ist der N-Verlust über Denitrifikation offenbar jedoch so gering, dass man ihn vernachlässigen kann (POGGEMANN 2001). NO_3 -N-Werte nehmen von Frühjahr bis zum Herbst ab, was auf den pflanzlichen Entzug während der Vegetationsperiode zurückzuführen ist (TITZE 1997). Wird jedoch gedüngt, führt dies zu steigenden NO_3 -N-Mengen (HOMM 1994). Auf Winterweiden kann es in Abhängigkeit von der Entfernung zu den Futterplätzen durch Exkrementrückführung zu signifikanten NH_4 -N-Anreicherungen kommen (OPITZ V. BOBERFELD & STERZENBACH 1999, BEHRENDT et al. 2000, OPITZ V. BOBERFELD 2004). NH_4 -N wird im Winter aufgrund geringer Temperaturen bei ungünstigen Reaktionsverhältnissen in nur eingeschränktem Maße abgebaut und steht den Pflanzen im Frühjahr zur Verfügung (OPITZ V. BOBERFELD & STERZENBACH 1999).

2.6 Arbeitshypothese

Aus der Literatur lässt sich zusammenfassend herausstellen:

- Die Winteraußenhaltung von Mutterkühen ist ein Haltungsverfahren, das ökonomisch interessant sein kann und kostenlimitierend auf Gebäude, Futter und Arbeitsleistung wirkt. In Übersee und maritimen Regionen Europas wird die Winterweide schon lange praktiziert. Sie ist offenbar auch in Mitteleuropa in Gebieten mit zusammenhängenden Weideflächen möglich.
- Der Winterweide-Ertrag ist abhängig von dem Schonungsgrad in der Vegetationsperiode und von dem Erntezeitpunkt im Winter. Bei langer Schonung und später Nutzung verringert sich der Ertrag aufgrund Seneszenz und Abbauprozesse.
- Qualitätsmerkmale, wie Energiedichte, Rohprotein, Mineralstoffmuster und -konzentration sowie Verpilzungsgrad, kennzeichnen den Futterwert von Grünlandaufwüchsen. Eine späte Vornutzung im Sommer bewirkt bei Winterweiden eine Erhöhung der Energiedichte und der Rohprotein-Konzentration. *Lolium perenne* weist eine höhere Ergosterol-Konzentration auf als *Festuca arundinacea*. Die Mykotoxinbelastung von Grünlandaufwüchsen ist anscheinend gering.
- Zum Effekt der Winterbeweidung unter mitteleuropäischen Bedingungen auf bodenphysikalische Merkmale liegen bislang praktisch keine Ergebnisse vor.
- Die Druckbelastung von Weidetieren wirkt sich hauptsächlich auf die obere Bodenschicht aus. Eine bodenverdichtende Wirkung ist von Tierart, Besatzdichte, Witterung und Bodentyp abhängig.
- Der Scherwiderstand wird neben dem Grad der Verdichtung vom Anteil organischen Substanz und Wassergehalt mit beeinflusst.
- Der Oberflächenabfluss und die Infiltrationsrate ist abhängig vom Anteil der Grobporen, der Vegetation und der Belastung durch Beweidung.
- Porenvolumen, Luft- und Wasserdurchlässigkeit bestimmen die physikalischen Eigenschaften von Böden. Die Aktivität der Bodenorganismen wirkt sich positiv auf die bodenphysikalischen Eigenschaften aus.

- An stationären Futter- und Tränkeplätzen kommt es zu einer Anreicherung von namentlich Stickstoff und Kalium, was sich aber durch Wechseln der Einrichtungen verringern lässt.

Ausgehend von diesen Feststellungen soll die Arbeit zur Klärung folgender Fragen beitragen:

- Wie werden bodenphysikalische Merkmale, wie Porenvolumen, Luft- und Wasserleitfähigkeit und Eindringwiderstand, durch die Winterbeweidung beeinflusst und gibt es tierartsspezifische (= Rind/Schaf) Unterschiede?
- Gibt es Unterschiede beim Scherwiderstand infolge Rinder- oder Schafbeweidung mit unterschiedlichen Besatzdichten?
- Findet Druckbelastung hauptsächlich nur in den oberen Bodenschichten statt und ist die Beweidung auf trittempfindlichen Böden, wie Gley, mit Schafen noch möglich?
- Wie hoch ist der N-Eintrag durch Weidetiere und welche N_{\min} -Mengen sind nach einer Herbst- und Winterbeweidung im Boden verfügbar?
- Welche Ertragsleistung kann mit *Festuca arundinacea*-Ansaaten und *Lolium-Cynosureten* im Winter unter mitteleuropäischen Verhältnissen erzielt werden?
- Wie verändern sich die Qualitätsmerkmale von *Festuca arundinacea*-Ansaaten und *Lolium-Cynosureten* in Abhängigkeit von der Zeit?

3 Material und Methoden

3.1 Material

3.1.1 Standort und Witterung

Die Fläche des Versuches "Winterweide Rinder" befand sich im Westerwald an einem Hang in 470 m ü. NN. Um tierartübergreifende Effekte auf bodenphysikalische Merkmale ableiten zu können, wurde der Versuch mit dem gleichen Design auf der Versuchsstation des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II –Grünländwirtschaft und Futterbau- der Universität Gießen in Linden, 6 km südlich von Gießen in 160 m ü. NN, mit Schafen (= "Winterweide Schafe") durchgeführt, vgl. Abb. 1. Die Profilbeschreibung der Böden und die bodenchemischen Kennwerte der Ausgangssituation beider Standorte sind in Anhangtab. 1 und 2 dargestellt. Das Ergebnis der Korngrößenanalyse und der Proctordichte für die Bodenschichten 5-10 cm, 15-20 cm, 35-40 cm und 45-50 cm sind in Anhangabb. 1 und 2 bzw. 3 und 4 dargestellt. Den Witterungsverlauf des Ansaatjahres und der drei Untersuchungs-jahre für beide Standorte zeigen Abb. 2 und 3. Die Witterungsdaten wurden von der Wetterstation in Bad Marienberg (= 550 m. ü NN) in 10 km Entfernung von der Versuchsfläche (= 470 m ü NN) erhoben. Die Standorte wiesen gleiche Monatsmittel auf. Die Anzahl der Schneetage der Wintermonate sind in Anhangtab. 3 aufgeführt. Eine Beschreibung der Pflanzenbestandszusammensetzung anhand der durchschnittlichen Ertragsanteile und Artenzahlen nach Erhebungen von ELSEBACH 2005 sind in Anhangtab. 6 wiedergegeben.



Abb. 1: Untersuchungsstelle Westerwald und Linden

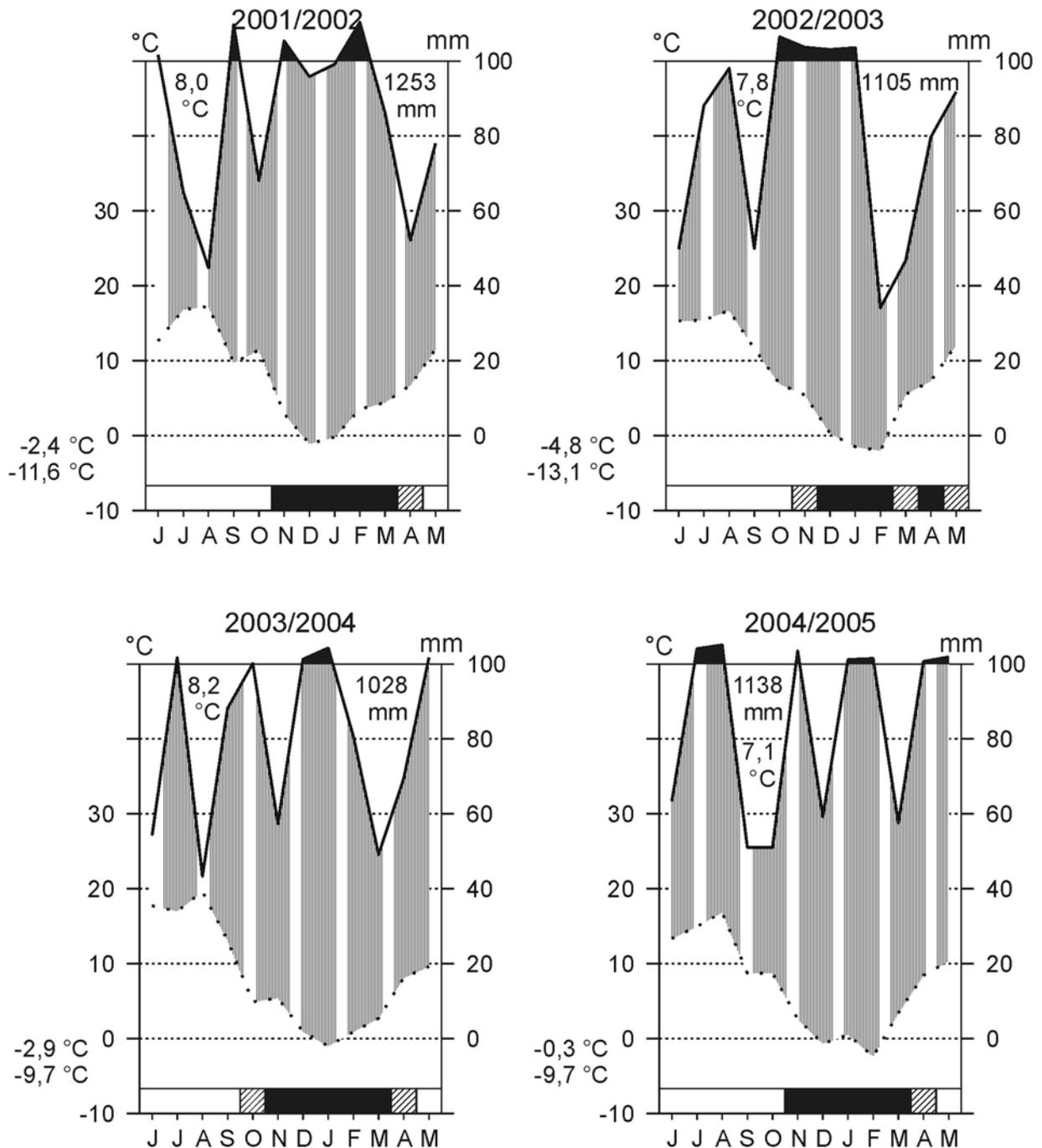


Abb. 2: Witterungsdiagramme der Wetterstation **Bad Marienberg** in 550 m ü. NN für die 10 km entfernte Versuchsfläche im Westerwald nach WALTER (1957)

3.1.2 Varianten

Die Versuchspartellen im Westerwald und in Linden wurden im Frühjahr 2001 als lateinisches Rechteck mit drei Wiederholungen und den in Tab. 4 aufgelisteten Varianten angelegt. Es erfolgte eine Neueinsaat ohne vorherige Bodenbearbeitung durch Einsatz eines systemisch wirkenden Totalherbizides (= 3 l Round-up, Wirkstoff Glyphosat + 10 kg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ ha}^{-1}$) mit 30 kg ha^{-1} *Festuca arundinacea*

einer Mischung der Sorten MUSTANG, SAINE und KORA. Eine Nachsaat von 20 kg ha⁻¹ mit *Lolium perenne* (= jeweils 2,5 kg WEIGRA, TALPA TRAPEZ und LIPRESSO sowie jeweils 5 kg der Sorte FEEDER und LIVREE) wurde jeweils im April durchgeführt. Die Beobachtungsdauer betrug vier Jahre.

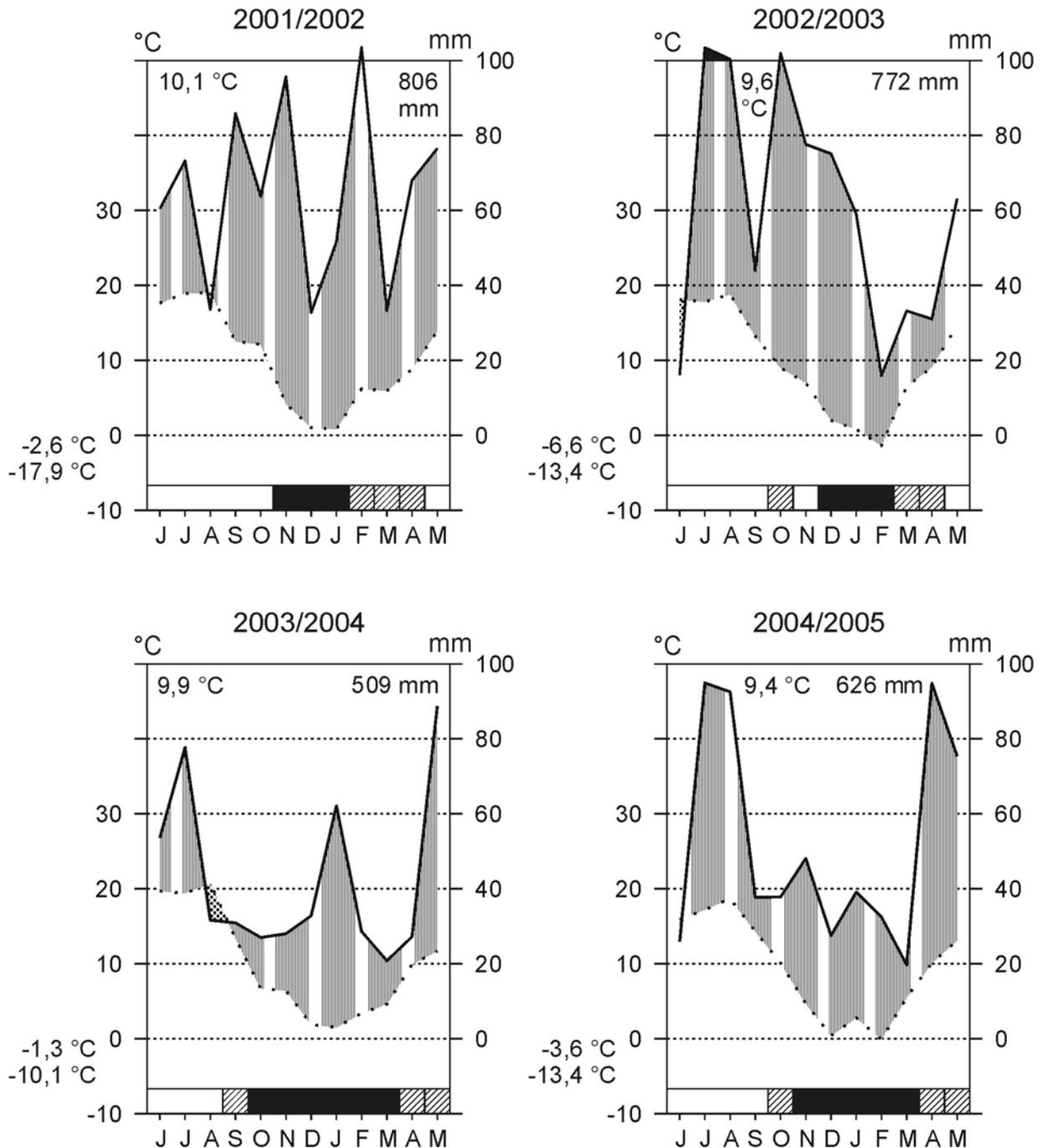


Abb. 3: Witterungsdiagramme der Wetterstation **Linden** in 160 m ü. NN nach WALTER (1957)

Tab. 4: Varianten

Faktoren	Stufen
1. Narbe	1.1 <i>Lolium-Cynosuretum</i> mit <i>Lolium perenne</i> -Fazies 1.2 <i>Festuca arundinacea</i> -Ansaat
2. Nachsaat	2.1 ohne (= Kontrolle) 2.2 mit (= 20 kg ha ⁻¹ <i>Lolium perenne</i>)
3. Weidetermin	3.1 Ende September/Anfang Oktober 3.2 Ende November/Anfang Dezember 3.3 Ende Dezember/Anfang Januar
4. Besatzdichte	4.1 mittel (= 770 kg metabol. KM ha ⁻¹ bzw. 14,1 GV ha ⁻¹) 4.2 hoch (= 1.510 kg metabol. KM ha ⁻¹ bzw. 34,6 GV ha ⁻¹)
5. Beobachtungsjahr	5.1 2001/02 (= Anlagejahr) 5.2 2002/03 (= 1. Hauptnutzungsjahr) 5.3 2003/04 (= 2. Hauptnutzungsjahr) 5.4 2004/05 (= 3. Hauptnutzungsjahr)
6. Tierart/Standort	6.1 Rind (= Westerwald, 470 m ü. NN), 1,5 ha Versuchsgröße 6.2 Schaf (= Linden, 160 m ü. NN), 0,3 ha Versuchsgröße

Die Beweidung der Parzellen, die ab Anfang Juli geschont wurden, fand im Herbst und Winter an drei verschiedenen Terminen statt, vgl. Anhangtab. 5. Im Juli 2001 erhielten die Bestände einheitlich 50 kg N ha⁻¹ als Kalkammonsalpeter, im Jahr 2002 und 2003 zusätzlich 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ als Superphosphat und 100 kg K₂O ha⁻¹ als 60-Kali sowie 2004 50 kg N ha⁻¹, 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ und 70 kg K₂O ha⁻¹ durch einen Mehrnährstoff-Dünger (= 12/12/17). Nach Beendigung der Beweidung fand jeweils ein Reinigungsschnitt statt. Im Dezember 2004 wurde zusätzlich in Linden auf dem trittempfindlichen Gley ein direkter Vergleich mit Rindern und Schafen durchgeführt, bei dem Parzellen mit der hohen Besatzdichte (= 34,6 GV ha⁻¹) beweidet wurden.

3.2 Methoden

3.2.1 Ertragsermittlung

Die Ertragsermittlung und die Untersuchung der Futterqualität fanden auf der Rinderweide statt, vgl. Anhangtab. 4. Vor jeder Beweidung wurden zwei Proben mit einem Einachsmäher im Kern der Parzelle gemäht und die Frischmasse gewogen. Die beerntete Fläche betrug jeweils 5,6 m². Von jeder Parzelle wurde eine Probe entnommen, diese bei 60 °C getrocknet und der TS-Gehalt ermittelt; an ihr wurden dann die Kriterien der Futterqualität bestimmt. Der absolute TS-Gehalt wurde nach Trocknung einer repräsentativen Stichprobe bei 103 °C errechnet. Sofern vorhanden, wurde im Anschluss an die Beweidung der Weiderest erfasst. Im Mai des folgenden

Jahres wurde vom Primäraufwuchs aus jeder Parzelle eine Probe entnommen und der Ertrag und die Rohprotein-Konzentration ermittelt.

3.2.2 Futterqualität

Die Schätzung der **Energiedichte** erfolgte über den Hohenheimer Futterwerttest (ANONYMUS 1997) nach der Formel 16e (MENKE & STEINGASS 1987) über die Variablen Gasbildung, Rohprotein und Rohfett als **umsetzbare Energie** [MJ ME kg⁻¹ TS] und als **Netto-Energie-Laktation** [MJ NEL kg⁻¹ TS]; die **Verdaulichkeit der organischen Substanz** wurde über die Variablen Gasbildung und Rohprotein nach der Formel 41f geschätzt (MENKE & STEINGASS 1987). Die Rohfett-Konzentration wurde durch Petroletherauszug (ANONYMUS 1997) und die **Rohprotein-Konzentration** nach KJELDAHL (ANONYMUS 1997) bestimmt; der **Rohprotein/Energie-Quotient** (=P/E-Quotient) aus der Rohprotein-Konzentration in g kg⁻¹ TS und der Energiedichte in MJ ME kg⁻¹ TS ermittelt.

Nach Verseifung und Extraktion in Petrolether wurde die **Ergosterol-Konzentration** über die HPLC am UV-Detektor bestimmt (SCHWADORF & MÜLLER 1989, ANONYMUS 1993b). Ausgewählte Proben der dritten Beweidung (= Dez./Jan.) wurden ebenfalls mit der HPLC auf die Mykotoxine **Zearalenon** und **Ochratoxin A** (OPITZ v. BOBERFELD 1996, WOLF 2002, WÖHLER 2003) unter Einsatz von Immunoaffinitäts-säulen am Fluoreszenzdetektor untersucht (ANONYMUS 1993b).

3.2.3 Bodeneigenschaften

Zur Ermittlung der **NO₃-N** und **NH₄-N**-Mengen wurden 21 Tage nach der Beweidung mittels PÜRKHAUER-Bohrstock Bodenproben von jeder Parzelle gezogen. Um einen repräsentativen Wert zu erhalten, wurden 16 Proben pro Parzelle jeweils in 0-30 cm und in 30-60 cm Tiefe entnommen und für beide Tiefen eine Mischprobe erstellt. Durch Trocknung von 50 g feldfeuchtem Boden bei 105 °C wurde der Trockenmassegehalt gravimetrisch bestimmt (ANONYMUS 1991). Die NO₃-N- und NH₄-N-Mengen wurden jeweils aus 50 g homogenisiertem und gereinigtem Boden ermittelt. Die Extraktion von NO₃ erfolgte unmittelbar nach der Probenahme mit 0,225 N CaCl₂ und die von NH₄ mit 0,1 N H₂SO₄. Die NO₃-N-Menge wurde mit Hilfe des Photometers nach Zugabe von 1 ml N H₂SO₄ in 10 ml Extraktionslösung bestimmt (ANONYMUS 1991); die Bestimmung der NH₄-N-Menge fand mittels direkter Messung mit einer gasspezifischen ammoniak-sensitiven Elektrode nach Zugabe von 1,5 ml 10 N NaOH in 50 ml Extraktionslösung statt (HONOLD & HONOLD 1991).

Die Untersuchungen zur Bodenverdichtung und zur Bodenphysik fanden jeweils nach der Beweidung auf beiden Versuchsstandorten statt. Um Auswirkungen der Besatzdichte auf die oberen Bodenschichten nachweisen zu können, wurden ab dem ersten Beweidungsjahr 2002 Messungen des **Scherwiderstandes** mit Hilfe eines Flügelbohrers (SCHAFFER 1960) durchgeführt. Der Mittelwert jeder Parzelle errechnete sich aus sechs Einzelmessungen.

Im dritten Untersuchungsjahr 2004 wurden in einer Kontrollvariante sowohl Proben in 100 cm³-Stechringen den Schichten 5-10 cm, 15-20 cm, 35-40 cm und 45-50 cm, als auch 10 kg Bodenmaterial je Schicht zur Ermittlung der **Proctordichte**, vgl. Anhangabb. 3 und 4, entnommen. Eine weitere Entnahme von Stechringen fand auf Varianten mit hoher Besatzdichte, *Lolio-Cynosuretum*-Narbe und ohne Nachsaat nach jedem Beweidungstermin für die Tiefen 5-10 cm und 15-20 cm statt. Je Bodenschicht wurden acht Stechringe im Feuchtezustand nahe Feldkapazität entnommen.

Die Bestimmung der **Korngrößenanalyse** vgl. Anhangabb. 1 und 2 erfolgte mittels Pipettanalyse nach KÖHN (1929), die der Anteile > 62 µm mit Hilfe der Siebanalyse. Das Bodenmaterial wurde hierfür auf < 2 mm abgesiebt. Da der Anteil an organischer Substanz in den Proben > 2 % betrug, wurden diese mit 10-30%igem Wasserstoffperoxid (= H₂O₂) vorbehandelt. Die **Bodendichte** (= dB) errechnete sich aus dem Verhältnis der Masse des Bodens zu seinem Volumen. Sie wurde aus den bei 105°C getrockneten Stechzylinderproben ermittelt. An den ungestörten Stechzylinderproben wurde außerdem nach dem Verfahren von RICHARDS & FIREMAN (1943) bei pF 1,8 und pF 2,5 das **Porenvolumen** durch Überdruck in Drucktöpfen bestimmt. Für pF 4,2 wurden gestörte Bodenproben im Drucktopf entwässert und der Todwasseranteil errechnet. Das **Gesamtporenvolumen** (= GVP), vgl. Anhangtab. 77, 78, 104, 105, 127, 128 errechnete sich aus: $GPV = 1 - (d_b/d_f)$, wobei d_b die Lagerungsdichte des Bodens und d_f die Dichte der Festsubstanz ist. Die **Luftleitfähigkeit** (= ka-Wert) und die **Wasserleitfähigkeit** (= kf-Wert) wurde mit Hilfe der Apparatur nach KMOCH & HANUS (1965) bestimmt; die Proben waren zu diesem Zeitpunkt bis pF 2,5 (= 300 hPa) entwässert. Mit einem Pocket-Penetrometer der Fa. Eijkelkamp®, wurden die bis pF 2,5 vorentwässerten Stechzylinderproben auf ihren **Eindringwiderstand** geprüft. Der Sondendurchmesser betrug 3,44 mm. Die **Proctordichte** wurde nach DIN 18127 ermittelt (ANONYMUS 1993a). Am Ende des Beweidungsversuches 2005

ist auf der Rinderweide aufgrund der dort vorliegenden Hangneigung von 10-12 % der **Oberflächenabfluss** ermittelt worden. Der Bodenwassergehalt betrug 39 %.

Nach jedem Weidetermin wurden die **Narbenschäden** mit Hilfe der Digitalfotografie ermittelt. Jede Parzelle wurde zweimal fotografiert, wobei der Ausschnitt 1,20 m x 0,80 m betrug. Die erstellten Bilder wurden mit dem Bildverarbeitungsprogramm Image Pro Plus am PC ausgewertet (ANONYMUS 2001a) und die Lückigkeit errechnet.

3.2.4 Statistische Auswertung

Die ermittelten Daten wurden mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS für Windows (ANONYMUS 2000) ausgewertet und die Ergebnisse als lateinisches Rechteck mit drei Wiederholungen mehrfaktoriell varianzanalytisch verrechnet. Die Untersuchungs-jahre wurden jeweils einzeln berücksichtigt. Der Versuch "direkter Vergleich Rind/Schaf" ist als Blockanlage verrechnet worden.

Der Test auf Signifikanz hatte für den Versuch „Winterweide Rinder“ und „Winterweide Schafe“ folgende Sicherungsniveaus:

F-Test der Varianztabellen

Signifikanzniveau 5 %, in den Tabellen durch „*“ gekennzeichnet

Signifikanzniveau 1 %, in den Tabellen durch „***“ gekennzeichnet

Multipler t-Test für die Einzelwerte der Tabellen

Signifikanzniveau 5 %

Für die bodenphysikalischen Merkmale wurden aufgrund der hohen Streuung der Bodenwerte folgende Sicherungsniveaus gewählt:

F-Test der Varianztabellen

Signifikanzniveau 10 %, in den Tabellen durch „*“ gekennzeichnet

Signifikanzniveau 5 %, in den Tabellen durch „***“ gekennzeichnet

Multipler t-Test für die Einzelwerte der Tabellen

10 % Signifikanzniveau

Die Werte der Wasser- und Luftleitfähigkeit sind nicht normalverteilt. Bei der Berechnung der Mittelwerte wurde das geometrische Mittel angewendet, um eine Annäherung der Normalverteilung zu erreichen. In den Abb.14-17, 19-23 und 25-27 ist die Grenzdifferenz durch Buchstaben gekennzeichnet.

4 Ergebnisse

4.1 TS-Ertrag

In Abb. 4 sowie in Anhangtab. 7-11 sind die TS-Erträge für die Untersuchungsjahre 2001-2004 dargestellt. In allen vier Jahren ist die Wechselwirkung Termin x Narbe gesichert, vgl. Anhangtab. 7; zum letzten Beweidungstermin Dez./Jan. erzielt die *Festuca arundinacea*-Ansaat meist höhere Erträge als das *Lolium-Cynosuroides*; Ende September ist die Ertragsleistung auf einem vergleichbaren Niveau.

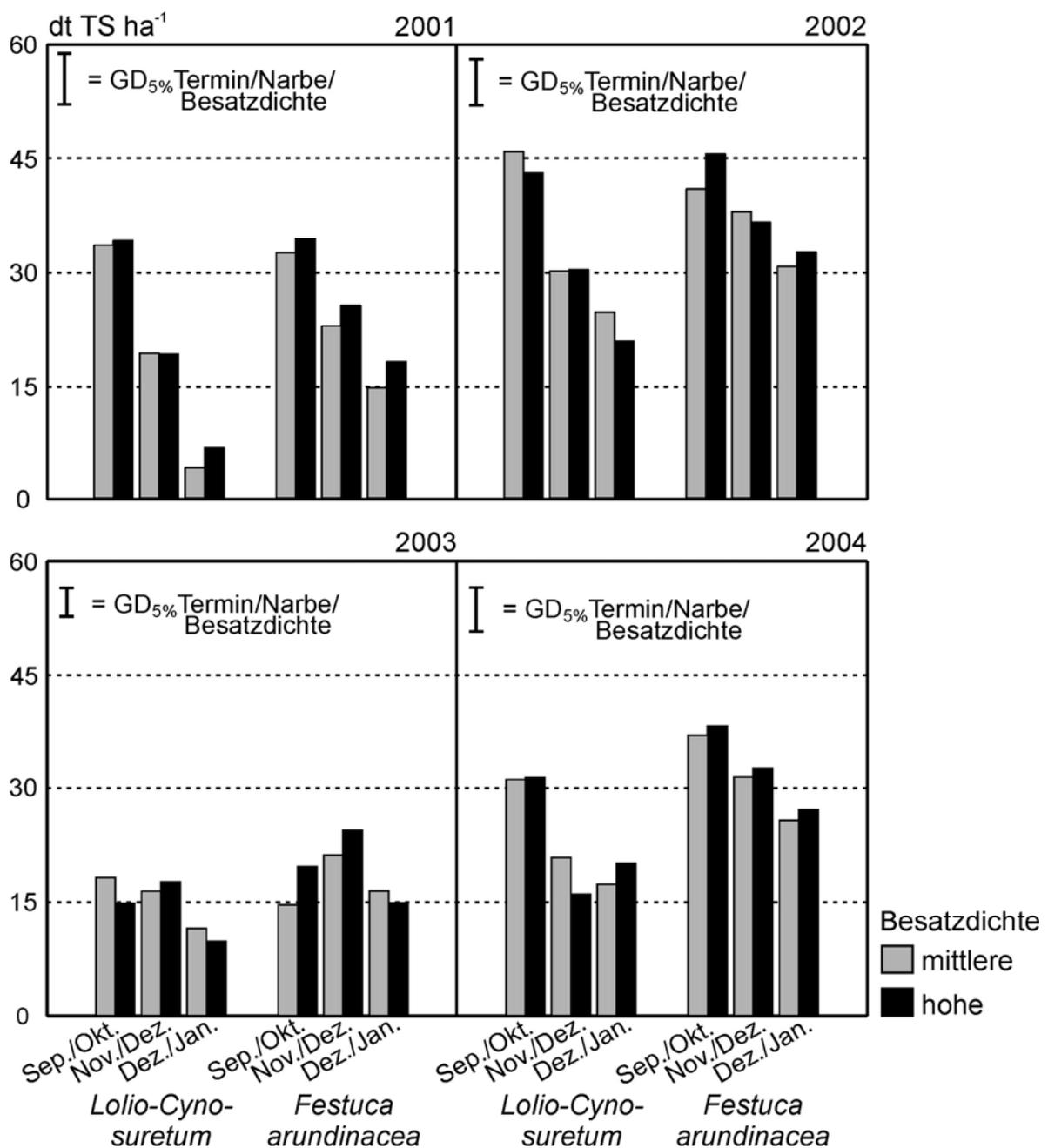


Abb. 4: TS-Erträge in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe und Besatzdichte

Im Laufe des Winters nimmt der Ertrag des *Lolio-Cynosuretum*s wesentlich stärker ab als der der *Festuca arundinacea*-Ansaat. Der Faktor Termin ist in 2001-2003, gefolgt von dem Faktor Narbe, die wichtigste Varianzursache. In 2004 hat der Faktor Narbe den größten und der Termin den zweitgrößten Einfluss. Im Jahr 2003 ist, aufgrund der lang anhaltenden Trockenheit das Ertragsniveau gering. Die für die letzten beiden Jahre als signifikant ausgewiesene Interaktion Termin x Nachsaat ist indifferent und futterwirtschaftlich ohne Relevanz.

In 2002 bis 2004 kann nur nach dem dritten Beweidungstermin Dez./Jan. bzw. in 2003 nur auf Parzellen niedriger Besatzdichte, der Weiderest geerntet werden, vgl. Anhangtab. 12. Nach den Beweidungsterminen Sep./ Okt. und Nov./Dez. beträgt der Weiderest $< 3 \text{ dt TS ha}^{-1}$. Die Höhe des Weiderestes ist stark von der Witterung während der Beweidung abhängig. Feuchte, nasse Witterung hat einen hohen, Dauerfrost einen recht geringen Weiderest zur Folge.

4.2 Futterqualität

4.2.1 Energiedichte

Abb. 5 zeigt die umsetzbare Energie (= ME) von 2001-2004, vgl. Anhangtab. 11-15. In den ersten drei Jahren gibt es eine signifikante Wechselwirkung Termin x Narbe, vgl. Anhangtab 12. Die Energiedichten beider Narben nehmen von Sep./Okt. bis Dez./Jan. ab, wobei dieser Rückgang jedoch beim *Lolio-Cynosuretum* deutlich stärker ausgeprägt ist als bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat. Der Faktor Termin ist in allen Untersuchungsjahren die wichtigste Varianzursache. Während die größten Unterschiede zwischen den Beweidungsterminen Sep./Okt. und Nov./Dez. bestehen, nehmen die Energiedichten außer 2001 von Nov./Dez. zu Dez./Jan. nur noch geringfügig ab. Nur in den ersten drei Jahren ist die Wirkung des Faktors Narbe gesichert; dabei weist die *Festuca arundinacea*-Ansaat 2001 im Nov./Dez. und in 2002 und 2003 zusätzlich im Dez./Jan. die höchsten Energiedichten auf, vgl. Anhangtab. 13-17. Gleiche Abstufungen liefern Berechnungen der Netto-Energie-Laktation und der Verdaulichkeit der organischen Substanz, vgl. Anhangtab.18-27.

4.2.2 Rohprotein und Rohprotein/Energie-Quotient

Abb. 6 stellt die Rohprotein-Konzentrationen (= XP) der vier untersuchten Jahre dar, vgl. Anhangtab. 28-32. Die Interaktion Termin x Narbe ist in 2001 und 2003

gesichert. Die Rohprotein-Konzentrationen der *Festuca arundinacea*-Ansaat nehmen in 2001 vom Beweidungstermin Sep./Okt. bis Dez./Jan. kontinuierlich ab, während die Werte von *Lolio-Cynosuretum*-Varianten sich kaum ändern. In 2003 wird die Wechselwirkung durch unterschiedlich abnehmende Rohprotein-Konzentration hervorgerufen, wobei das *Lolio-Cynosuretum*, wie auch in den Jahren 2002 und 2004 stets signifikant höhere Werte aufweist als die *Festuca arundinacea*-Ansaat.

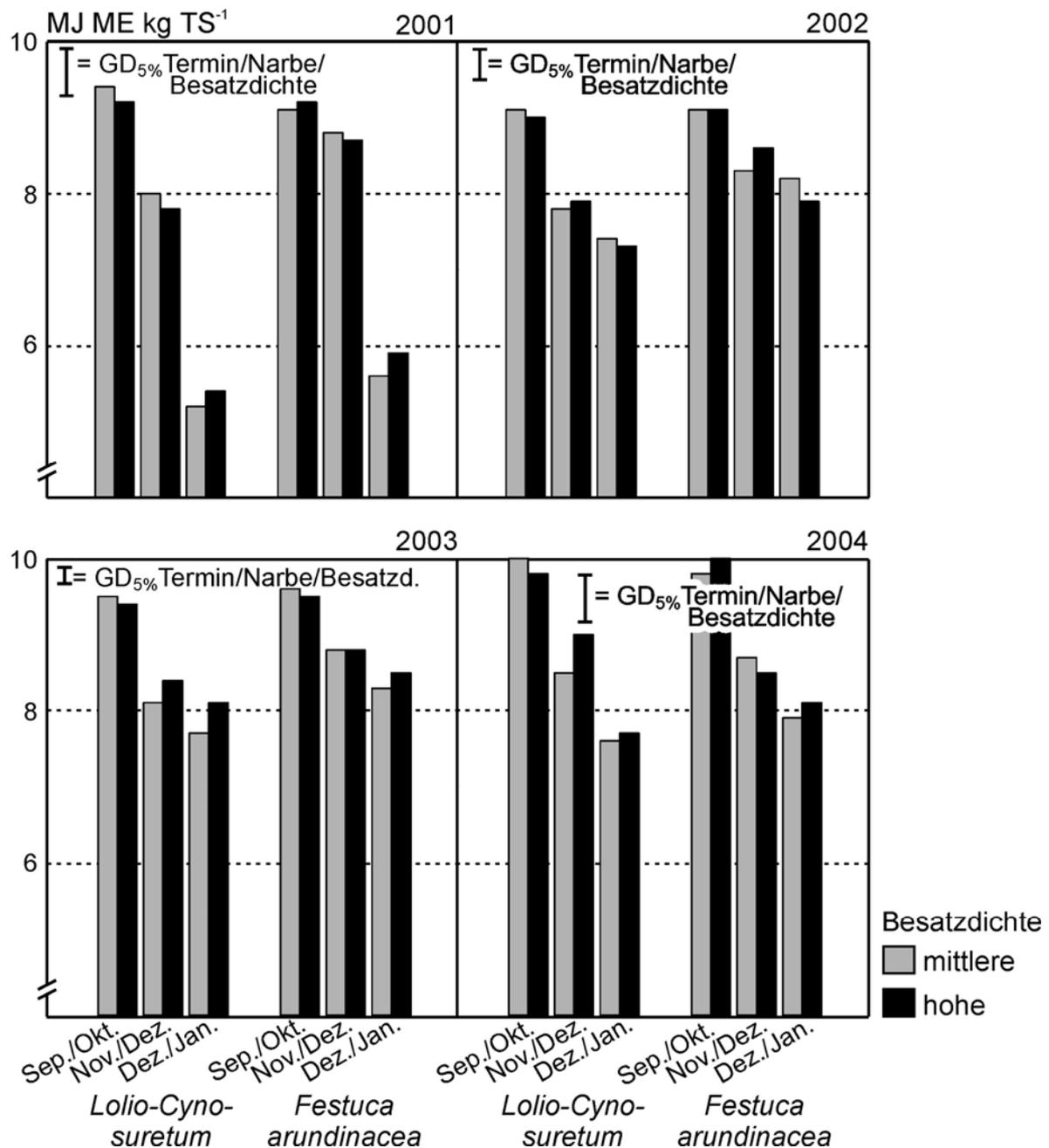


Abb. 5: Energiedichten (= Umsetzbare Energie) in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe und Besatzdichte

Die Interaktion Besatzdichte x Narbe ist in 2003 gesichert, wobei die Varianz auf der größeren Differenz der Variante *Lolio-Cynosuretum* zum Termin Sep./Okt. basiert.

Diese Wechselwirkung und weitere Wechselwirkungen in 2003 werden jedoch jeweils nur durch einen Wert hervorgerufen und sind futterwirtschaftlich nicht relevant. Der Faktor Termin ist von 2001-2004 als Hauptwirkung gesichert und stellt in 2001 und 2004 die wichtigste Varianzursache. Die Rohprotein-Konzentrationen verringern sich jahr- und bestandsabhängig vom Beweidungstermin Sep./Okt. bis Dez./Jan.

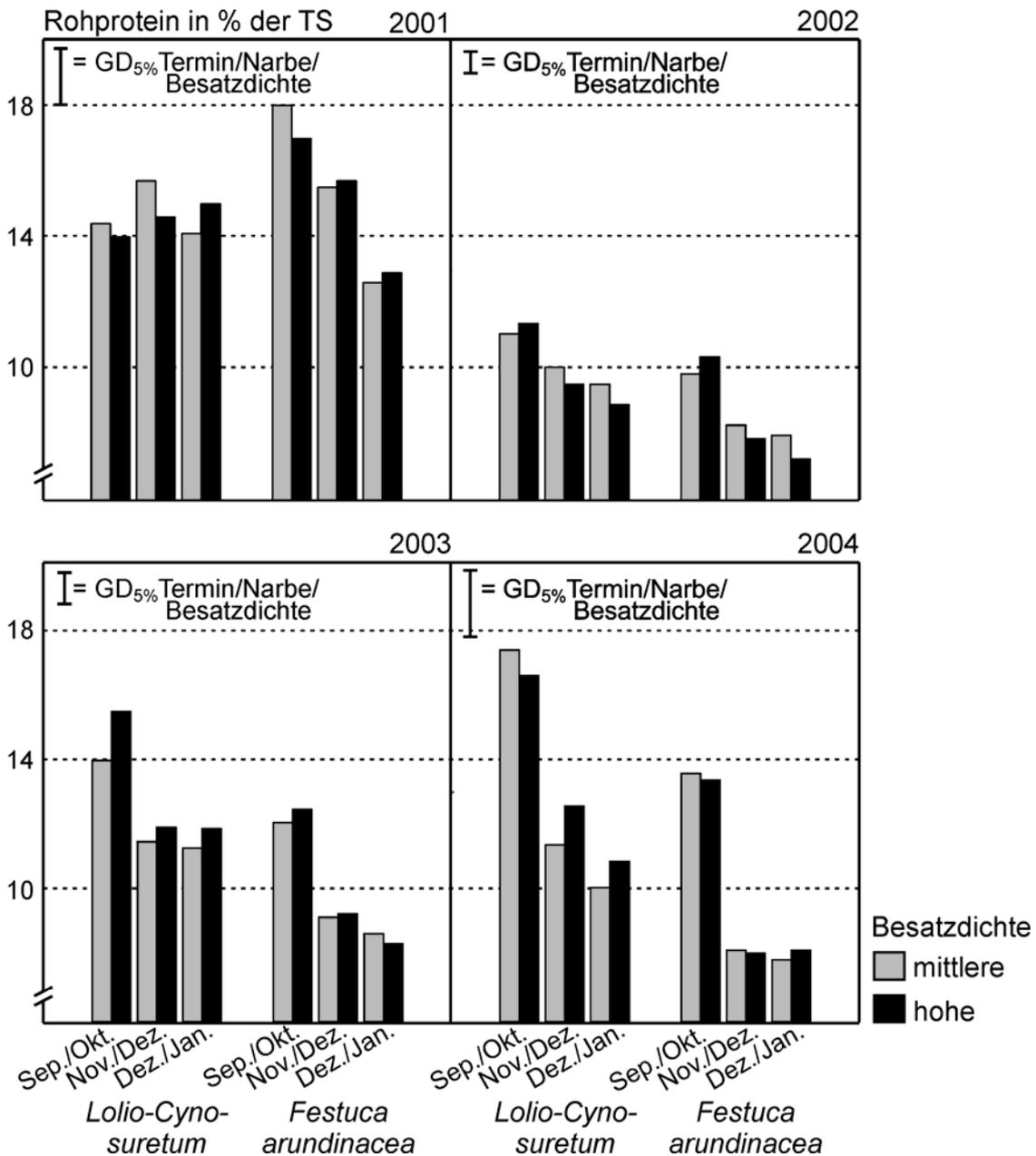


Abb. 6: Rohprotein-Konzentrationen in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe und Besatzdichte

Der Faktor Narbe ist in 2002 und 2003 als größte und in 2004 als zweitgrößte Varianzursache ausgewiesen. Das *Lolio-Cynosuretum* hat überwiegend signifikant

höhere Konzentrationen als die *Festuca arundinacea*-Ansaat. Eine Ausnahme ist das Jahr 2001, wo das *Lolio-Cynosuretum* im Sep./Okt. niedrigere Werte aufweist.

Aus Abb. 7 gehen die Rohprotein/Energie-Quotienten (= P/E-Quotient) der vier Untersuchungsjahre hervor, vgl. Anhangtab. 33-37. In 2001-2003 ist die Wechselwirkung Termin x Narbe gesichert; das *Lolio-Cynosuretum* weist im Gegensatz zur *Festuca arundinacea*-Ansaat einen Anstieg des P/E-Quotienten zum Winter hin auf, vgl. Anhangtab. 34-36. Das Niveau des P/E-Quotienten der *Festuca arundinacea*-Ansaat ist im Verlauf des Winters jedoch gleichbleibend. Die größte Hauptwirkung geht in 2002-2004 vom Faktor Narbe aus; das *Lolio-Cynosuretum* erreicht meist die höheren P/E-Quotienten.

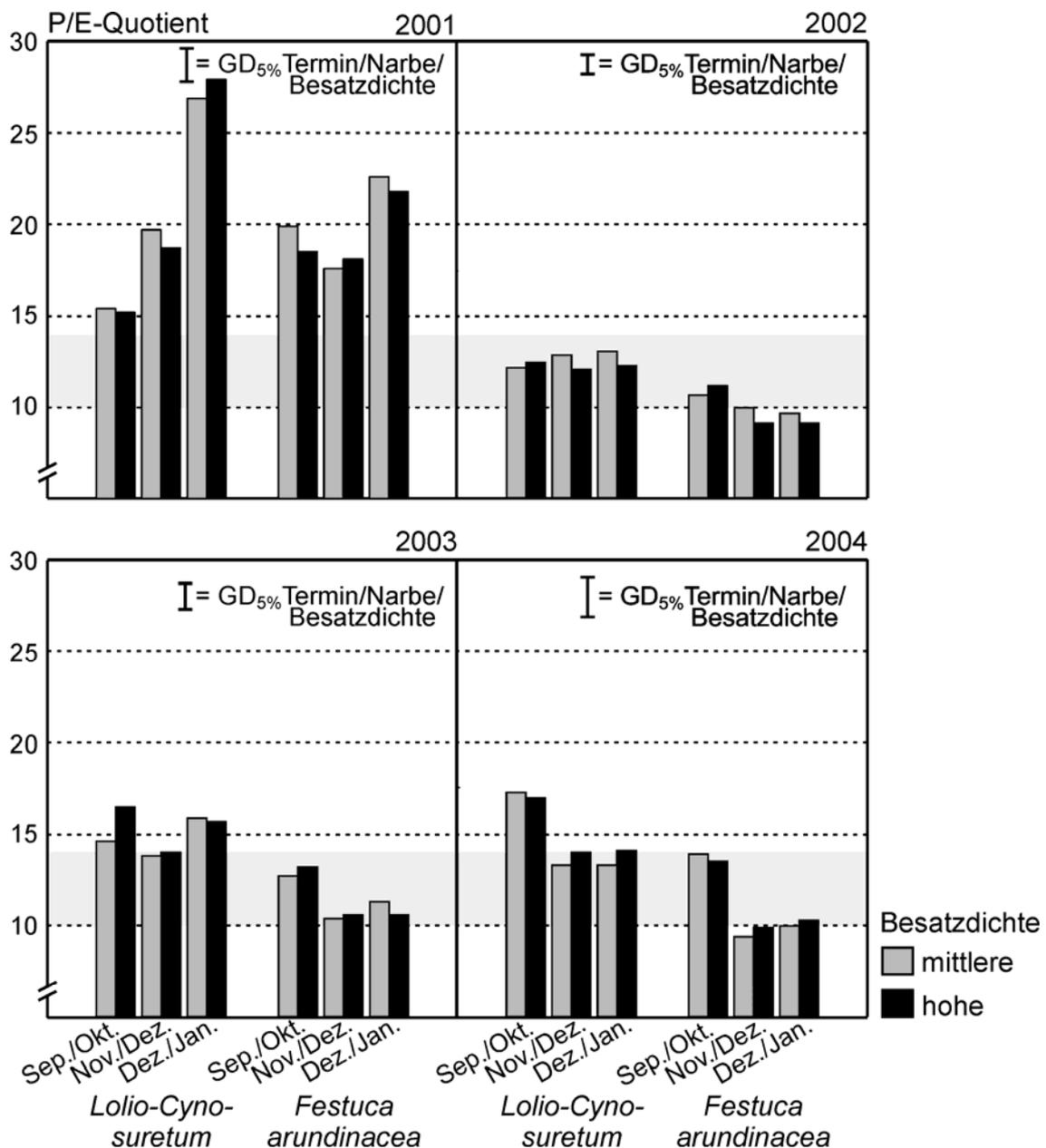


Abb. 7: Rohprotein/Energie-Quotienten in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe und Besatzdichte

Den zweitgrößten Einfluss hat von 2002-2004 der Faktor Termin; dieser Effekt ist 2001 die wichtigste Varianzursache. Der Termin hat in den vier untersuchten Jahren einen unterschiedlichen Einfluss; während in 2001 im Dez./Jan. bei beiden Narben die höchsten P/E-Quotienten ermittelt werden, haben in 2002 und 2003 die *Festuca arundinacea*-Ansaat und in 2004 beide Narben im Sep./Okt. signifikant höhere Werte als im Nov./Dez. bzw. Dez./Jan. Der P/E-Quotient der *Lolium-Cynosuretum*-Varianten liegt in allen vier Jahren im oder weit über dem Optimalbereich von 11-12, der für eine ausgeglichene Ernährung des Wiederkäuers angegeben wird (MENKE 1987). *Festuca arundinacea* erreicht im Winter 2003 nur Werte von 11, während 2002 und 2004 der Wert von 10 sogar unterschritten wird.

4.2.3 Ergosterol und Mykotoxine

Die Ergosterol-Konzentrationen der vier Untersuchungsjahre sind in Abb. 8 dargestellt, vgl. Anhangtab. 38-43. Von Sep./Okt. bis zum Jahresende steigen die Ergosterol-Konzentrationen in allen vier Jahren an. Der Anstieg ist bei den *Lolium-Cynosuretum*-Varianten markanter als bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat, so dass die Wechselwirkung Termin x Narbe in 2001-2003 gesichert ist. Den größten Einfluss auf die Varianz in 2001, 2002 und 2004 hat der Faktor Termin; 2003 ist der Termin die zweitgrößte Varianzursache. Der zweitwichtigste Einfluss geht, außer in 2003, von der Narbe aus. In den ersten drei Untersuchungsjahren ist der Verpilzungsgrad der *Lolium-Cynosuretum*-Variante größer als der der *Festuca arundinacea*-Ansaat. Im vierten Jahr wird jedoch nur zum Beweidungstermin Nov./Dez. ein signifikanter Unterschied zwischen den Narben festgestellt, vgl. Anhangtab. 41. Die Besatzdichte hat offenbar in keinem der Jahre einen Einfluss.

Abb. 9 zeigt die Häufigkeit des Auftretens der beiden weit verbreiteten Mykotoxine Ochratoxin A und Zearalenon. 2001, 2002 und 2003 wird der Aufwuchs beider Narben und Besatzdichten des letzten Beweidungstermines Ende Dezember und in 2004 zusätzlich noch die mit *Lolium perenne* nachgesäten Varianten untersucht. Zearalenon ist in 2002 lediglich in einer Wiederholung bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat nachgewiesen, vgl. Anhangtab. 44. In 2004 liegen dagegen Proben der *Lolium-Cynosuretum*-Varianten und der *Festuca arundinacea*-Ansaat über der Nachweisgrenze von Ochratoxin A ($\geq 0,0005 \text{ mg kg}^{-1} \text{ TS}$), vgl. Anhangtab. 46 und 47. In 2001 und 2003 können in den untersuchten Proben weder Zearalenon noch Ochratoxin A nachgewiesen werden, vgl. Anhangtab. 43 und 45.

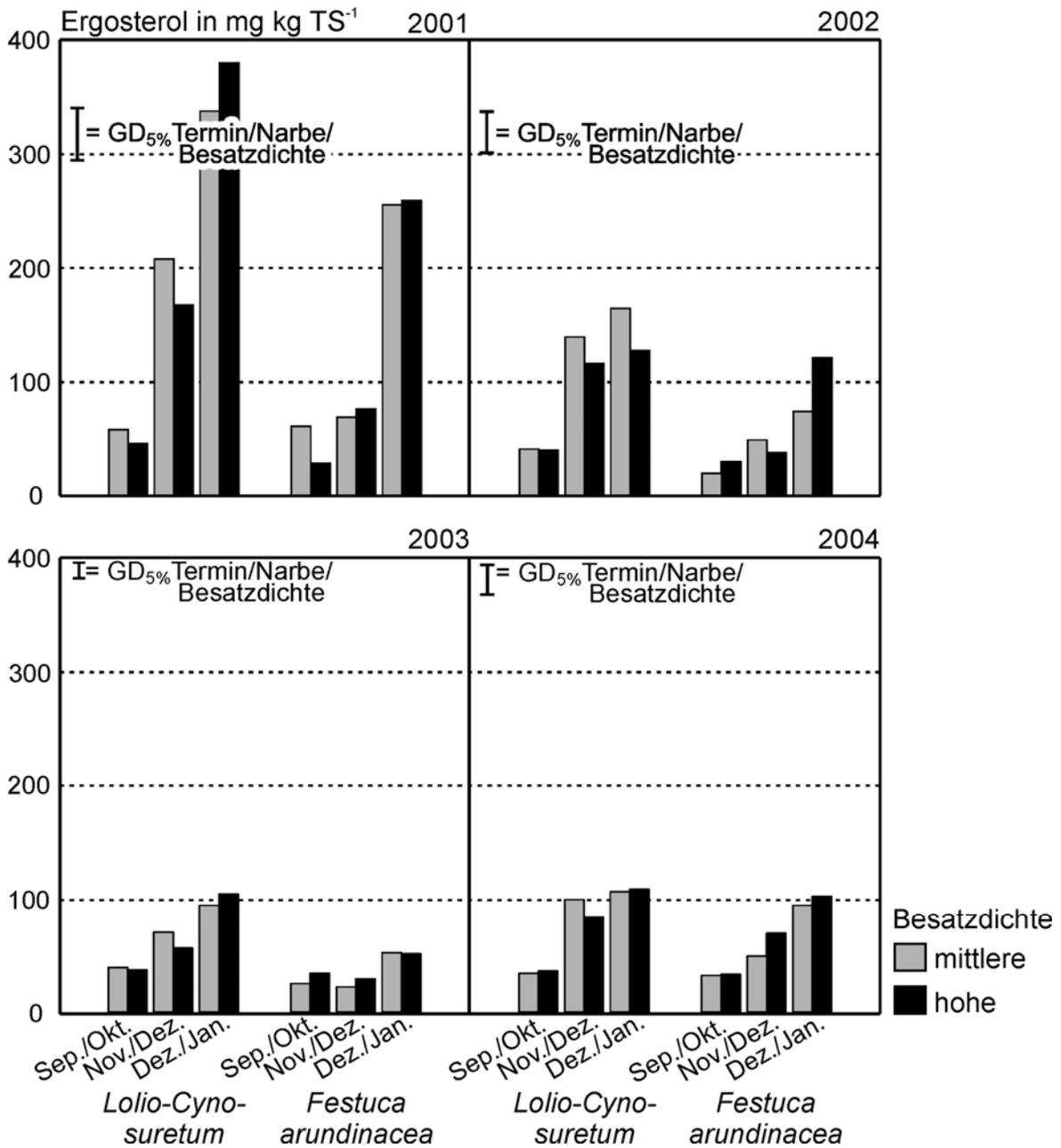


Abb. 8: Ergosterol-Konzentrationen in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe und Besatzdichte

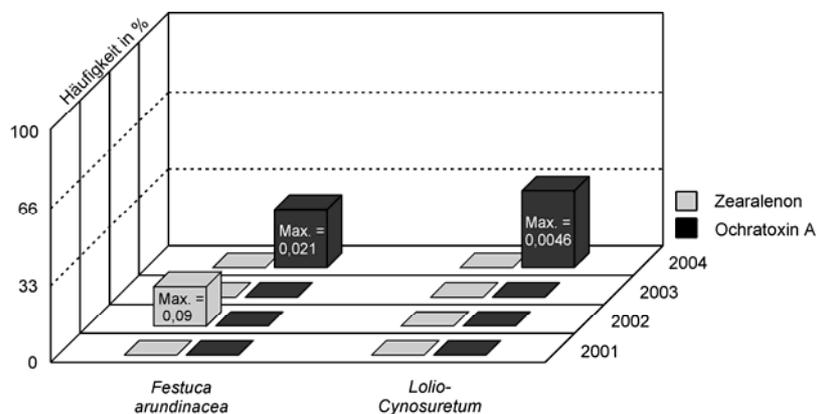


Abb. 9: Überschreiten der Nachweisgrenze von Zearalenon und Ochratoxin A in Abhängigkeit von Narbe und Erntejahr

4.3 Primäraufwuchs

4.3.1 TS-Ertrag

Abb. 10 stellt die TS-Erträge der einheitlich Anfang Mai geernteten Primäraufwüchse dar, vgl. Anhangabb. 5 und Anhangtab. 48-52. In 2002, 2003 und 2005 ist die Wechselwirkung Termin x Narbe gesichert.

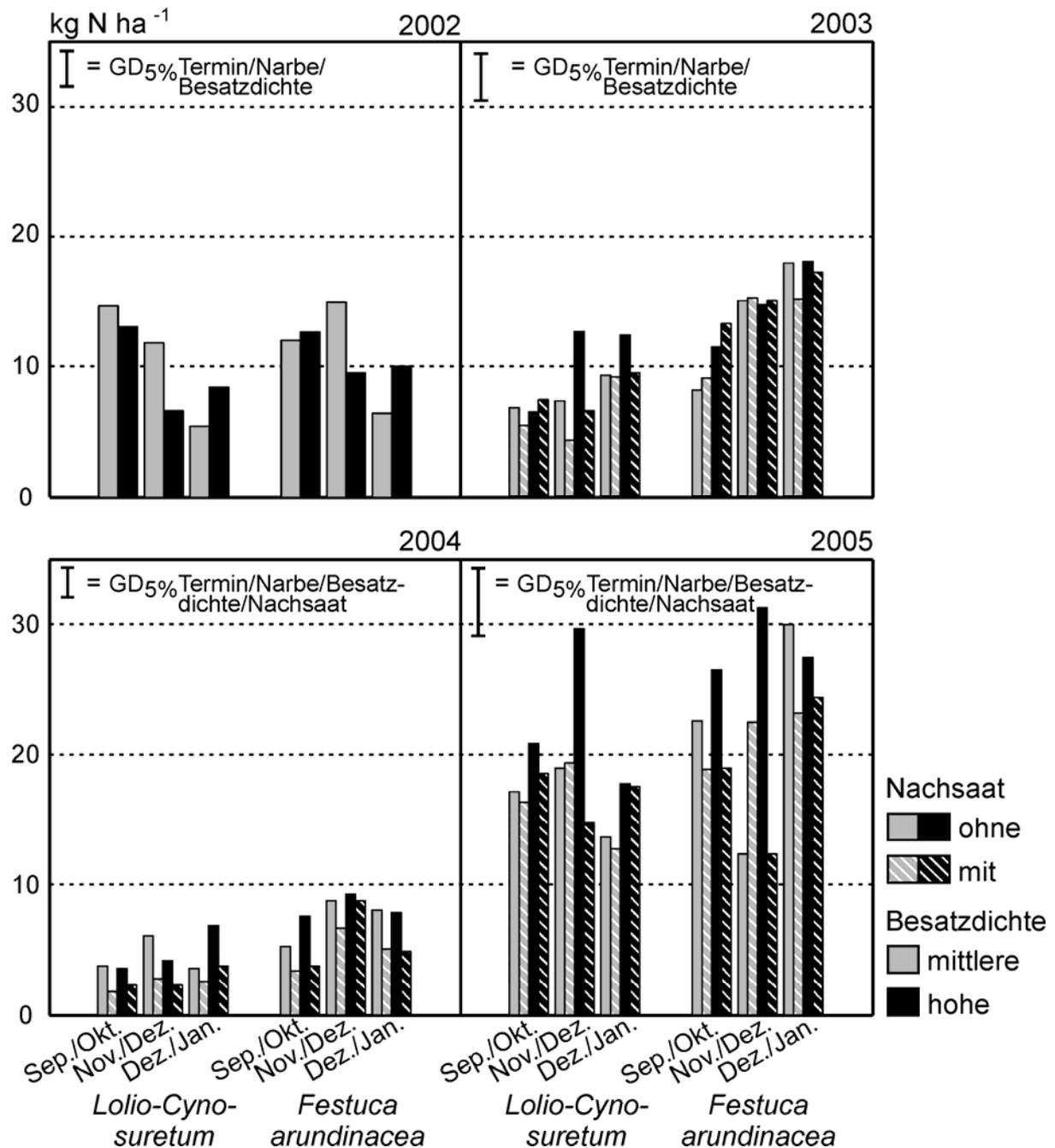


Abb. 10: TS-Erträge des Primäraufwuchses in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe, Besatzdichte und Nachsaat

2002 ist eine stärkere Abnahme der Frühjahrserträge des *Lolium-Cynosuretum*s der Beweidungstermine Sep./Okt. bis Dez./Jan. im Vergleich zur *Festuca arundinacea*-Ansaat festzustellen. In 2003 ist die Zunahme der Frühjahrserträge der Beweidungstermine Sep./Okt. bis Dez./Jan. wesentlich höher bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat ausgeprägt; 2005 beruht die Wechselwirkung auf einen höheren Ertrag der *Festuca arundinacea*-Ansaat vom Winterweidetermin Dez./Jan. im Vergleich zu *Lolium-Cynosuretum*-Varianten. Die Interaktion Termin x Besatzdichte tritt in 2002 auf und wird von unterschiedlichen Frühjahrserträgen vom Winterweidetermin Nov./Dez. und Dez./Jan. zwischen den Varianten der mittleren und hohen Besatzdichte hervorgerufen. 2003 ist die Interaktion Termin x Nachsaat relevant, das auf einen signifikanten Anstieg der TS-Erträge der nicht nachgesäten Parzellen vom Winterweidetermin Nov./Dez. zum Sep./Okt. basiert. Diese Zunahme liegt im Nov./Dez. nur bei den *Lolium-Cynosuretum*-Varianten vor, sodass die Wechselwirkung Narbe x Nachsaat gesichert ist. Der Faktor Narbe ist in 2003-2005 die wichtigste Varianzursache; die *Festuca arundinacea*-Ansaat weist in 2003 und 2004 bei allen Beweidungsterminen und in 2005 zum Termin Sep./Okt und Dez./Jan. höhere Erträge auf als die *Lolium-Cynosuretum*-Varianten. Der zweitwichtigste Faktor ist der Beweidungstermin im Winter. In 2004 und 2005 ist der Faktor Nachsaat als Hauptwirkung gesichert. Die Varianten, die nicht nachgesät werden, haben signifikant höhere TS-Erträge im Frühjahr als die nachgesäten Varianten. 2005 ist der Faktor Besatzdichte die zweitwichtigste Varianzursache und wird von Varianten des Winterweidetermins Nov./Dez. beim *Lolium-Cynosuretum* und bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat hervorgerufen.

4.3.2 N-Entzüge

Aus Abb. 11 gehen die N-Entzüge der Primäraufwüchse der vier untersuchten Jahre hervor, vgl. Anhangtab. 53-57. Zwischen den Jahren bestehen deutliche Unterschiede im durchschnittlichen Niveau der Werte und in den Effekten der Untersuchungsfaktoren. In 2002, 2003 und 2005 ist die Wechselwirkung Termin x Narbe gesichert. 2002 nehmen die N-Entzüge des Pflanzenmaterials bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat von den Beweidungsterminen Sep./Okt. bis Dez./Jan. ab, während bei den *Lolium-Cynosuretum*-Varianten von Sep./Okt. - Nov./Dez. gleichbleibende N-Entzüge im Frühjahr feststellbar sind. In 2003 basiert die Wechselwirkung auf steigende N-Entzüge der *Festuca arundinacea*-Ansaat vom Termin Sep./Okt. bis

Dez./Jan im Gegensatz zu den der *Lolio-Cynosuretum*-Varianten, bei denen keine signifikanten Erhöhungen zwischen den Varianten der verschiedenen Beweidungszeiträume feststellbar sind. 2005 weisen die *Lolio-Cynosuretum*-Varianten vom Beweidungstermin Sep./Okt. und Dez./Jan. niedrigere N-Entzüge auf als die *Festuca arundinacea*-Ansaat, während die N-Entzüge vom Termin Nov./Dez. bei den *Lolio-Cynosuretum*-Varianten höher liegen. Die Interaktion Besatzdichte x Nachsaat ist in 2005 relevant.

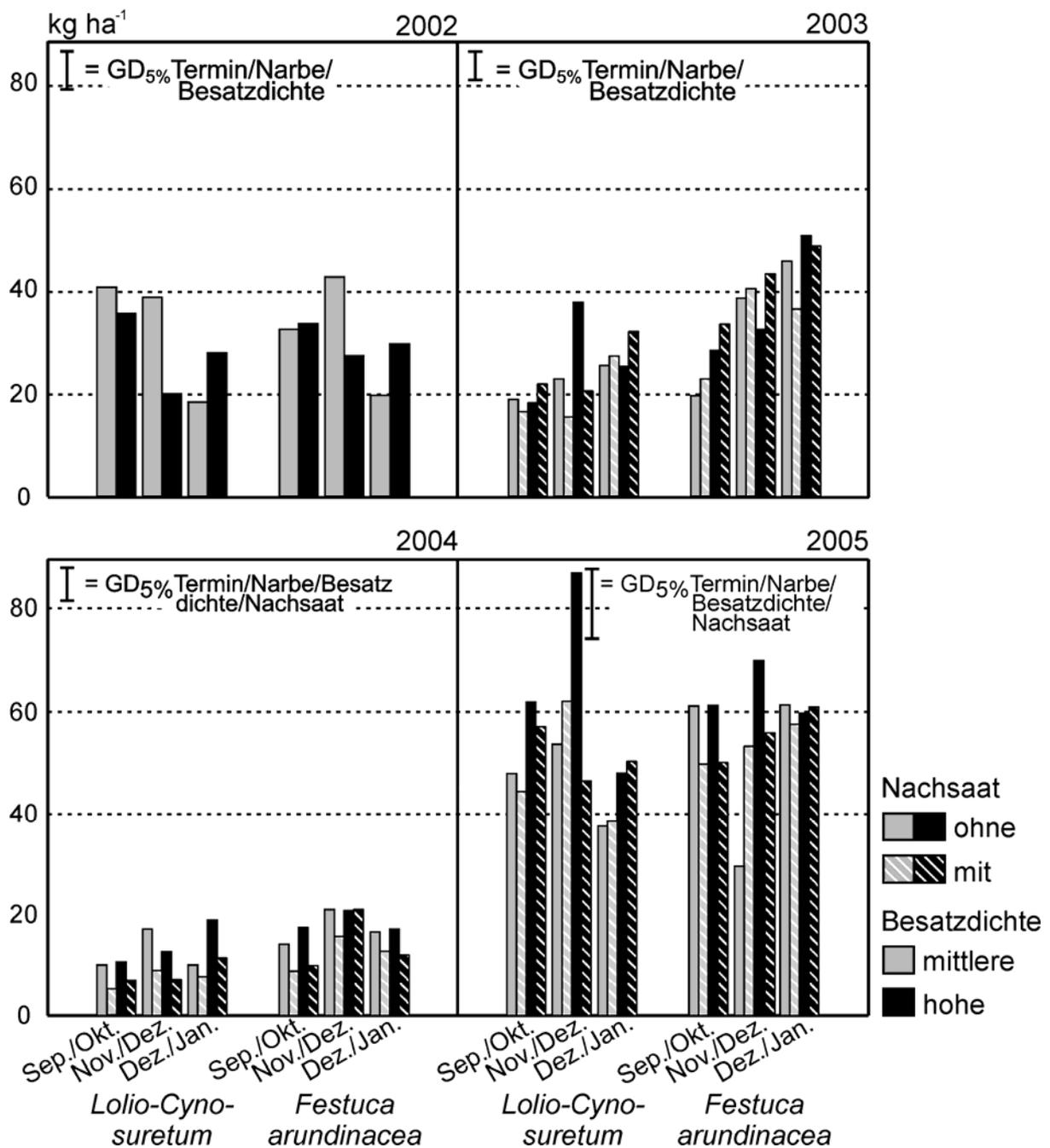


Abb. 11: N-Entzug in der Pflanze des Primäraufwuchses in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe, Besatzdichte und Nachsaat

Die N-Entzüge der Variante Erntetermin Nov./Dez. sind auf den nachgesäten Parzellen, die mit hoher Besatzdichte beweidet sind, geringer als die auf nicht nachgesäten Parzellen. Der Faktor Besatzdichte ist in 2005 die wichtigste und die Nachsaat die zweitwichtigste Varianzursache. In 2002 ist der Faktor Termin als wichtigste Hauptwirkung gesichert und hat in 2003 und 2004 einen signifikanten Einfluss. 2003 ist der Faktor Narbe die größte Varianzursache und 2004 der zweitwichtigste Faktor; die *Festuca arundinacea*-Ansaat weist höhere N-Entzüge auf als die *Lolium-Cynosuretum*-Varianten. In 2004 geht die größte Varianz vom Faktor Nachsaat aus; in einigen Fällen weisen die nachgesäten Parzellen signifikant niedrigere N-Entzüge auf als Parzellen ohne Nachsaat.

4.4 N_{min}-Mengen

Abb. 12 zeigt die N_{min}-N-Mengen der Schicht 0-60 cm, gemessen 14 Tage nach der Beweidung, aufgeteilt nach NH₄-N und NO₃-N, vgl. Anhangtab. 58-72. Der Anteil von NH₄-N stellt in allen vier Jahren den Hauptanteil am Gesamtstickstoff dar. In 2004 ist die Wechselwirkung Termin x Narbe gesichert. Die *Lolium-Cynosuretum*-Varianten weisen nach der Beweidung im Sep./Okt. signifikant höhere N_{min}-N-Mengen auf als nach der Beweidung im Nov./Dez., während die Werte der *Festuca arundinacea*-Ansaat nach allen drei Terminen annähernd gleich sind. Den größten Einfluss an der Varianz hat 2002-2004 der Faktor Termin. Nach der Sep./Okt.-Beweidung liegen meist signifikant höhere N_{min}-N-Mengen im Boden vor als nach der Dez./Jan.-Beweidung. Dieser Effekt ist beim *Lolium-Cynosuretum* stärker ausgeprägt. Die Besatzdichte ist in 2003 und in 2004 die zweitgrößte Varianzursache. Dies beruht vor allem auf einem Unterschied zwischen den Besatzdichten zum Termin Sep./Okt. bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat, wobei Parzellen mit mittlerer Besatzdichte niedrigere N_{min}-N-Mengen aufweisen als Parzellen hoher Besatzdichte.

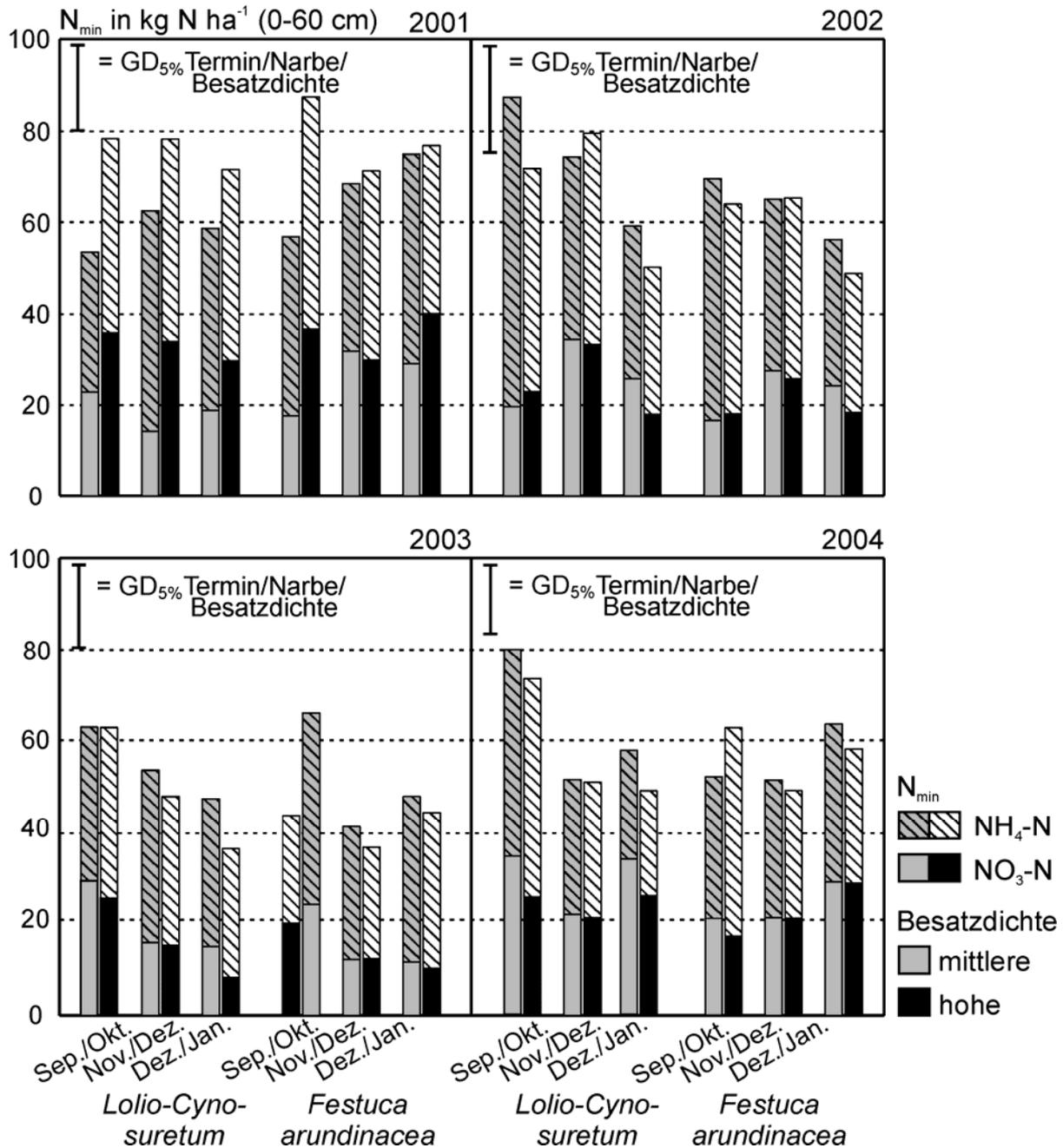


Abb. 12: N_{min} -N-Mengen (= NO_3-N und NH_4-N) in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe und Besatzdichte

4.5 Narbenlückigkeit

In Abb. 13 ist die Narbenlückigkeit dargestellt, vgl. Anhangabb. 5 und Anhangtab. 73-76. In 2002 und 2003 ist die Wechselwirkung Termin x Narbe gesichert. Auf den *Lolium-Cynosuaretum*-Varianten nimmt der Anteil der Lückigkeit in 2002 von Sep./Okt. - Dez./Jan. zu, während bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat die Lückigkeit abnimmt. 2003 ist ein Rückgang auf den *Lolium-Cynosuaretum*-Varianten von Sep./Okt. - Nov./Dez. festzustellen; die Lückigkeit auf der *Festuca arundinacea*-Ansaat bleibt bis zum

Jahresende auf gleichem Niveau. Die wichtigste Varianzursache bildet in 2003 der Faktor Narbe, die durch höhere Lückigkeit bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat zum Termin Nov./Dez. hervorgerufen wird. Die zweitwichtigste Varianzursache in 2003 ist der Faktor Besatzdichte. Hierbei ist der Effekt jedoch nicht gleichgerichtet und hat futterwirtschaftlich keine Relevanz. In 2004 ist der Faktor Termin als größte Hauptwirkung gesichert, da im Sep./Okt. höhere Werte gemessen werden, als Dez./Jan. Generell sind die Werte jahresabhängig unterschiedlich. Eine Winterbeweidung (= Nov./Dez. und Dez./Jan.) wirkt sich offenbar im Vergleich zur Herbstbeweidung (= Sep./Okt.) nicht negativ auf die Narbendichte aus.

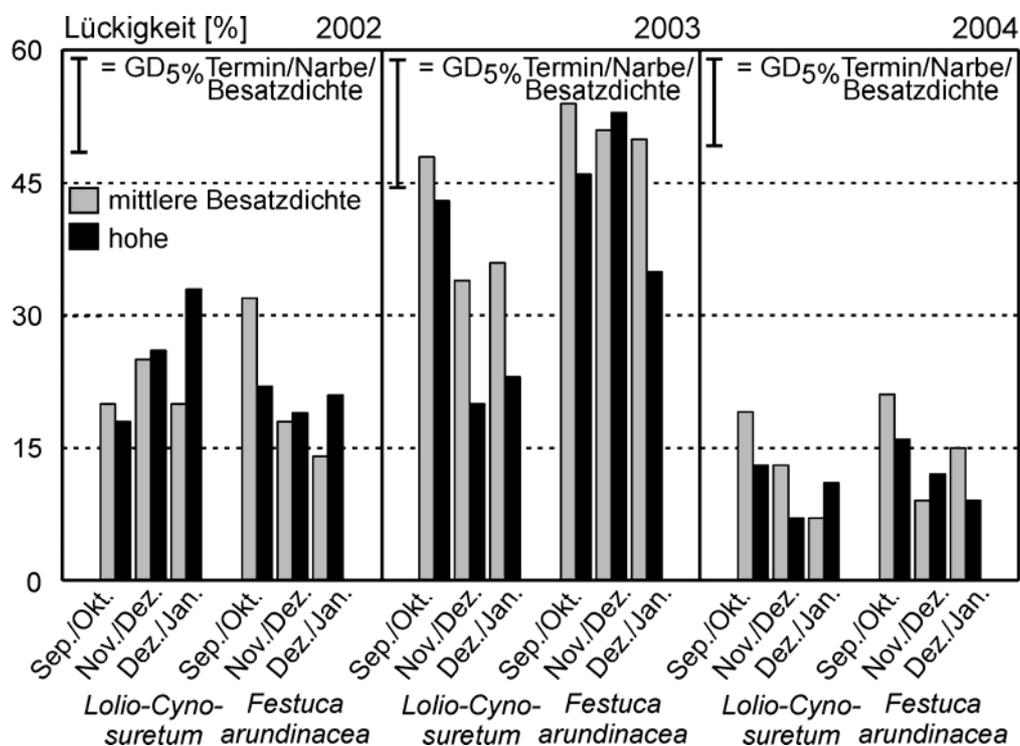


Abb. 13: Lückigkeit in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe und Besatzdichte

4.6 Bodenphysikalische Merkmale

4.6.1 Rinderweide

In Abb. 14 und 15 ist das Volumen der Porengrößen $> 50 \mu\text{m}$ und $50-10 \mu\text{m}$ nach vierjähriger Beweidung dargestellt. Der **Porenanteil $> 50 \mu\text{m}$** ist nach allen drei Beweidungsterminen in beiden Bodenschichten gleich. Ein signifikanter Unterschied besteht hier nur zur Kontrollvariante (= Vor der Beweidung) vgl. Anhangtab. 79 und 80.

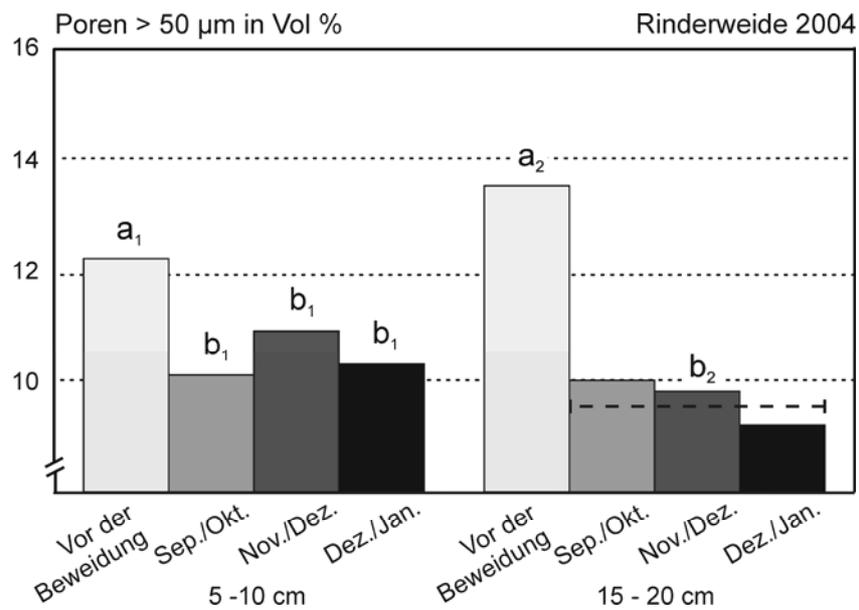


Abb. 14: Poren > 50 µm in Abhängigkeit von Termin und Bodenschicht

Für die **Porengröße 50-10 µm** ist der Faktor Termin gesichert, vgl. Anhangtab. 81 und 82, da in beiden Bodenschichten das Porenvolumen nach den Winterbeweidungen Nov./Dez. und Dez./Jan. signifikant geringer ist als im Sep./Okt. und gegenüber der Kontrollvariante (= Vor der Beweidung). Die Ergebnisse der Porengrößen 10-0,2 µm und < 0,2 µm weisen keine gesicherten Unterschiede auf, vgl. Anhangtab. 83-85.

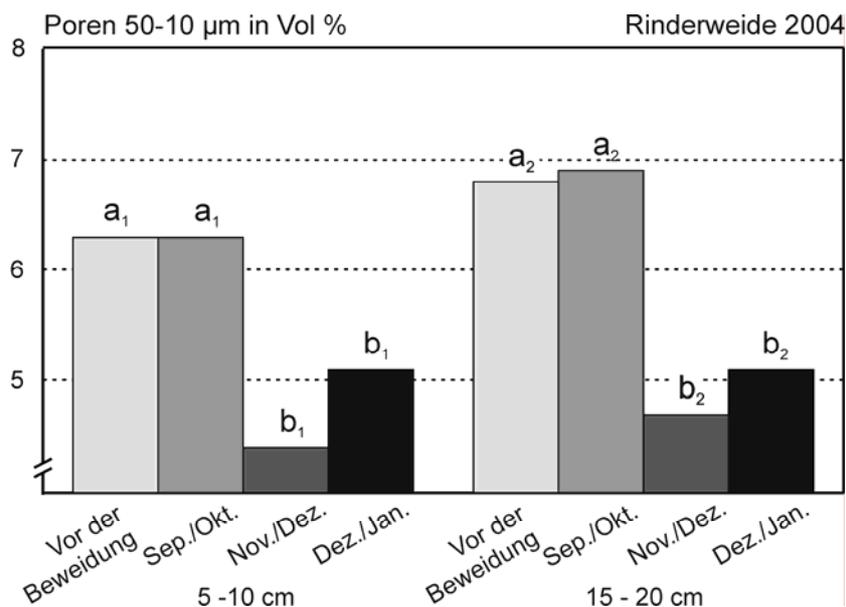


Abb. 15: Poren 50-10 µm in Abhängigkeit von Termin und Bodenschicht

Abb. 16 und Abb. 17 zeigen die **Luft-** (= **ka-Wert**) und die **Wasserleitfähigkeit** (= **kf-Wert**). Bei den Leitfähigkeitswerten bestehen zwischen den Beweidungsterminen keine gesicherten Unterschiede; eine Reduzierung liegt nur gegenüber der Kontrollvariante (= Vor der Beweidung) in der Schicht 5-10 cm vor. Diese Abnahme erfolgt sowohl nach der Herbstbeweidung (= Sep./Okt.) als auch nach den Winterweideterminen. In der Schicht 15-20 cm weisen die Varianten keine gesicherten Unterschiede auf, vgl. Anhangtab. 87-92.

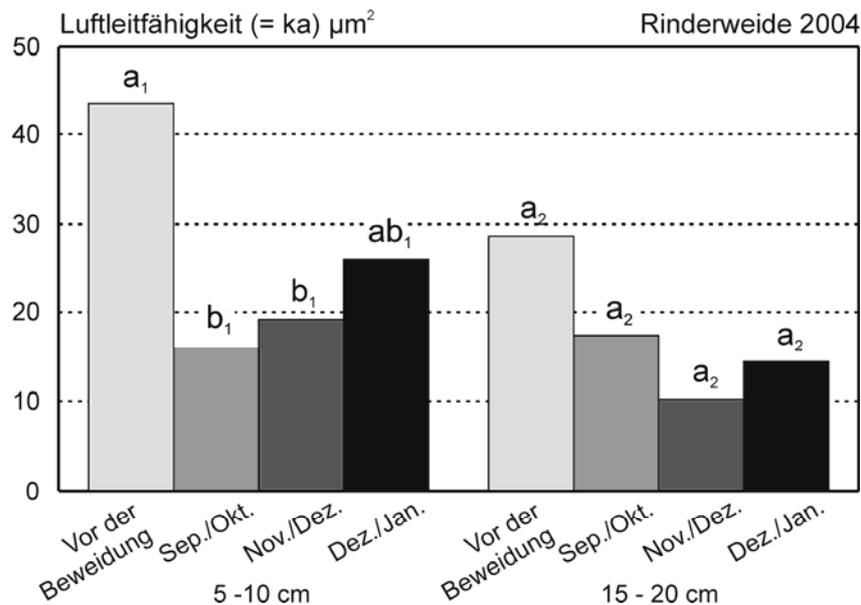


Abb. 16: Luftleitfähigkeit in Abhängigkeit von Termin und Bodenschicht

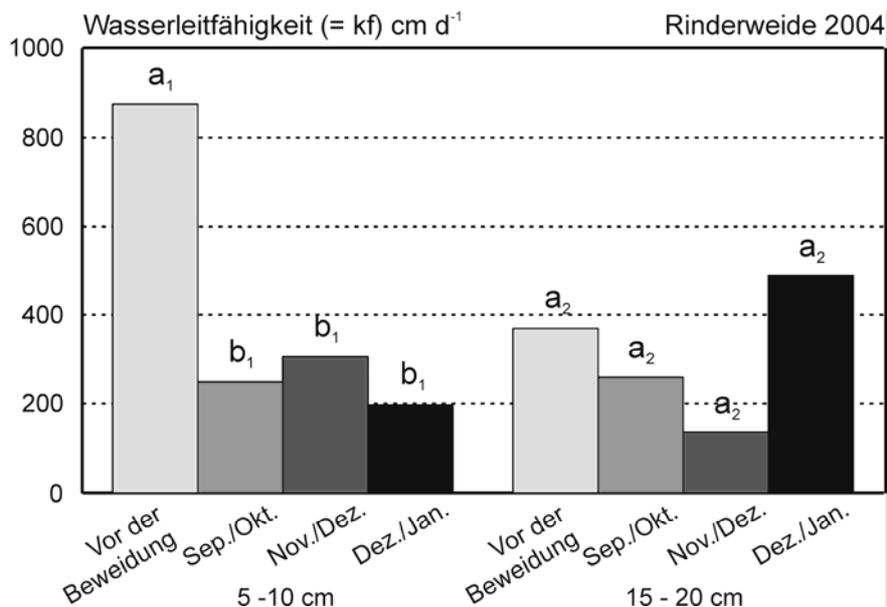


Abb. 17: Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit von Termin und Bodenschicht

Für die Merkmale **Eindringwiderstand** und **Lagerungsdichte** bestehen zwischen der Variante vor und den Varianten nach der Beweidung keine gesicherten Unterschiede, vgl. Anhangtab 93-96.

Abb. 18 zeigt den **Scherwiderstand**, vgl. Anhangtab. 97-101. In 2002, 2003 und 2004 ist als Hauptwirkung der Faktor Narbe gesichert und stellt in 2003 und 2004 die wichtigste Varianzursache dar. 2002 und 2004 weisen die Scherwiderstände der *Festuca arundinacea*-Ansaat zum Termin Nov./Dez. bzw. 2003 im Dez./Jan. höhere Werte auf als die *Lolium-Cynosuretum*-Varianten. Die wichtigste Varianzursache im

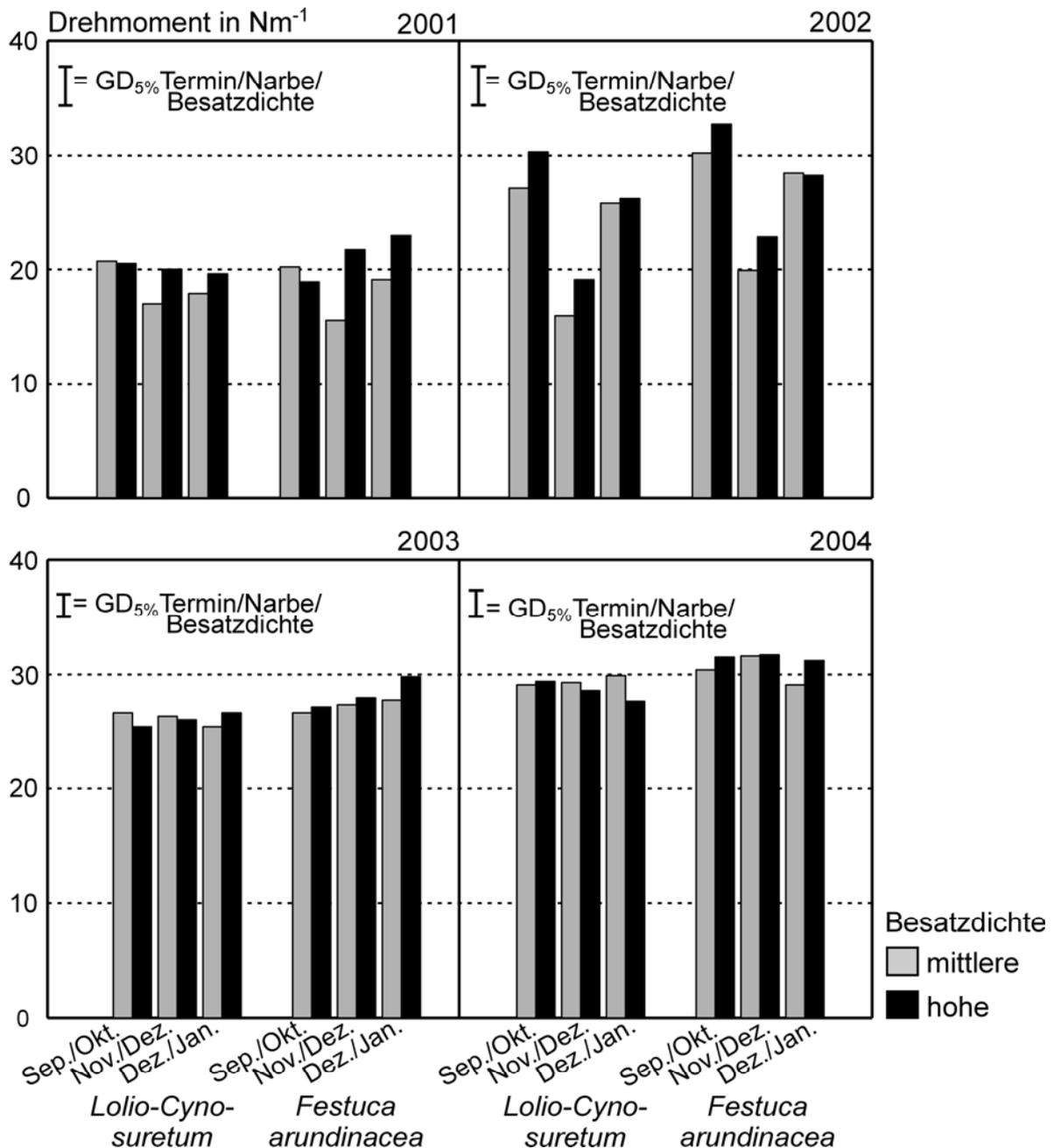


Abb. 18: Scherwiderstand (= Drehmoment bezogen auf eine einheitliche Fläche von 196 cm²) in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe und Besatzdichte auf der Rinderweide

Jahr 2002 ist der Faktor Termin. Die Scherwiderstandsmessungen sind allerdings im Oktober 2002, wo keine Feldkapazität vorliegt, und im März 2003 erhoben worden, so dass Vergleiche zwischen Versuchsjahren nicht möglich sind. In 2001, 2003 und 2004 hat der Weidetermin auf den Scherwiderstand keinen Einfluss. Der Faktor Besatzdichte ist in 2001 gesichert und beruht auf höhere Scherwiderstände von Varianten hoher Besatzdichte im Nov./Dez. und Dez./Jan. Die im Jahr 2001 und 2004 von der Varianztabelle ausgewiesenen Wechselwirkungen haben in Bezug auf mögliche Bodenverdichtungen keine Relevanz.

In Abb. 19 ist der **Oberflächenabfluss** dargestellt, vgl. Anhangabb. 6 und Anhangtab. 102-103. Der prozentuale Anteil am Gesamtniederschlag ist jeweils in der Säule der Abb. 19 ausgewiesen. Die Flächen der *Festuca arundinacea*-Ansaat weisen nach beiden Beweidungsterminen einen signifikant höheren Abfluss auf als die Flächen des *Lolio-Cynosuretum*.

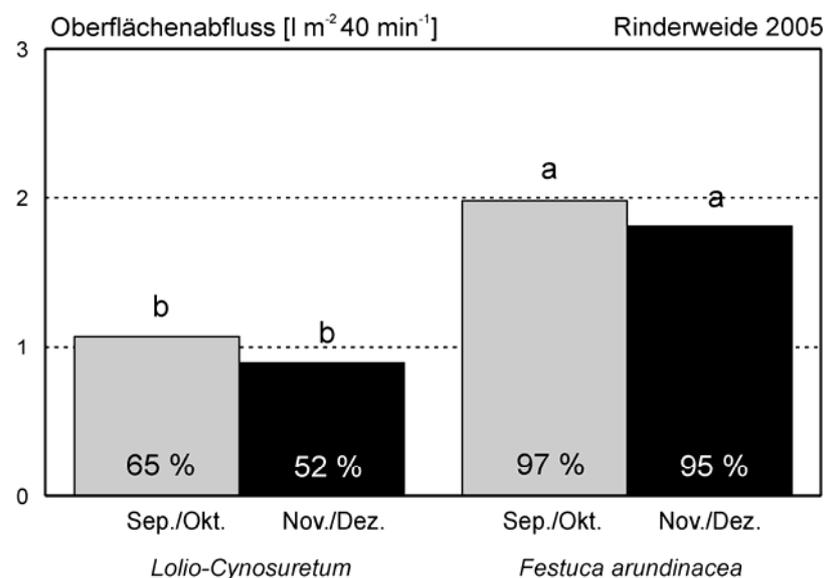


Abb. 19: Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von Termin und Narbe

4.6.2 Schafweide

Die Abb. 20 und 21 zeigen die Volumina der Porengrößen 50-10 μm und 10-0,2 μm , vgl. Anhangtab. 108-111. Bei den Porengrößen $>50 \mu\text{m}$ und $<0,2 \mu\text{m}$ treten in beiden Bodenschichten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Beweidungsterminen auf, vgl. Anhangtab. 106, 107, 112, und 113. Für die **Porengröße 50-10 μm** ist in der Bodenschicht 5-10 cm der Faktor Termin gesichert, das durch eine hohe Abnahme des Porenvolumens nach der Nov./Dez. bzw. Dez./Jan.-Beweidung verursacht wird.

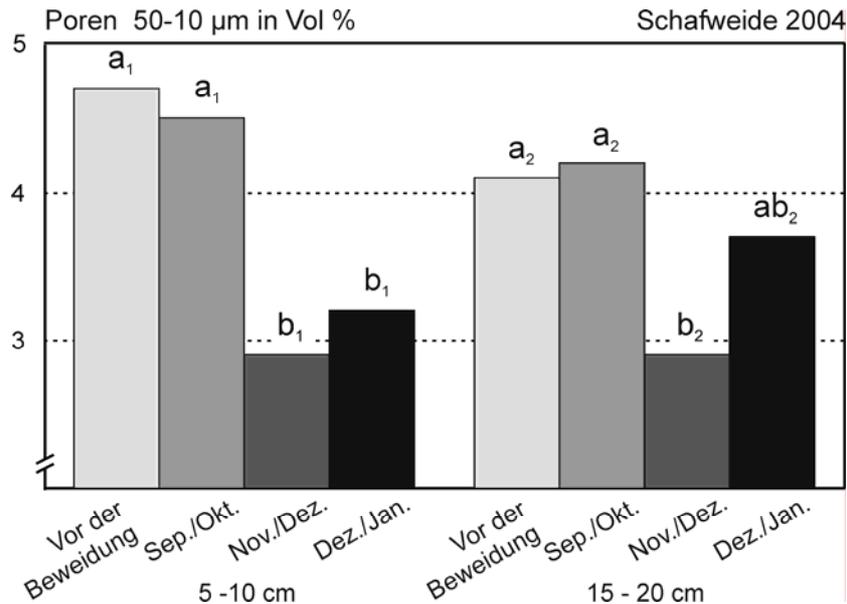


Abb. 20: Poren 50-10 µm in Abhängigkeit von Termin und Bodenschicht

In der Schicht 15-20 cm kommt es nur zum Termin Nov./Dez. zu einer Reduzierung der Porengröße 50-10 µm. Zum Wintertermin Dez./Jan. lässt sich jedoch keine Abnahme des Porenvolumens zum Herbsttermin Sep./Okt. feststellen. Eine Abnahme der Poren 50-10 µm führt zu einer Zunahme der Mittelporen (= Porengröße 10-0,2 µm). Bei der **Porengröße 10-0,2 µm** tritt der Faktor Termin aber nur in der Schicht 15-20 cm als Varianzursache auf; der Porenanteil ist nach den Winterweideterminen signifikant höher.

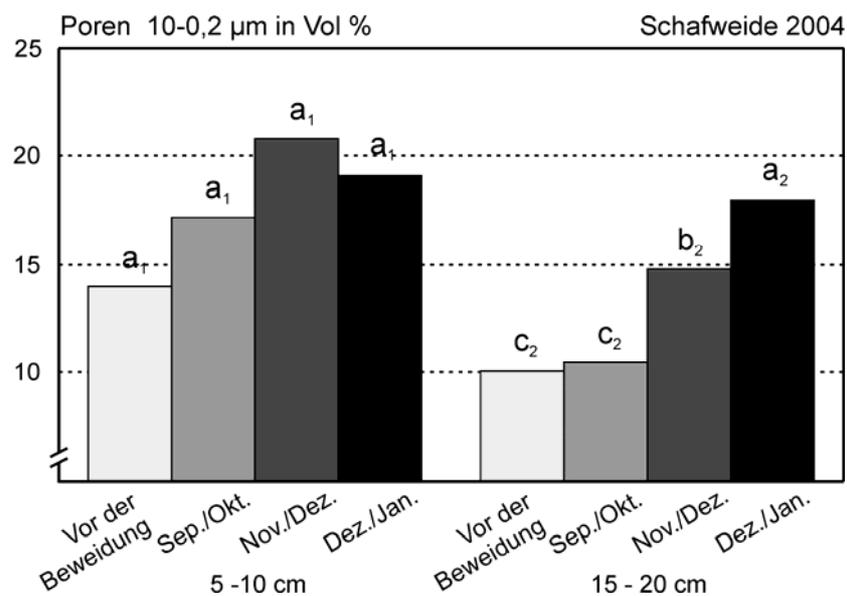


Abb. 21: Poren 10-0,2 µm in Abhängigkeit von Termin und Bodenschicht

In Abb. 22 ist die Luft- und in Abb. 23 die Wasserleitfähigkeit dargestellt, vgl. Anhangtab. 114-119. Der Faktor Termin ist bei der **Luftleitfähigkeit** in beiden Schichten als Hauptwirkung gesichert, vgl. Anhangtab. 114. In der Schicht 5-10 cm besteht nach der Beweidung Nov./Dez. und Dez./Jan. eine geringere Luftleitfähigkeit als zum Termin Sep./Okt. In der Schicht 15-20 cm führt eine Beweidung im Nov./Dez. zu einer Abnahme der Luftleitfähigkeit im Vergleich zur unbeweideten Variante und zum Termin Sep./Okt. Nach der Beweidung Dez./Jan. differieren die Werte nur im Vergleich zur unbeweideten Variante. Dieses Ergebnis ist für die **Wasserleitfähigkeit**, vgl. Anhangtab. 117, für die untere Schicht 15-20 cm übertragbar. In der oberen Schicht (= 5-10 cm) sind keine Unterschiede vorhanden.

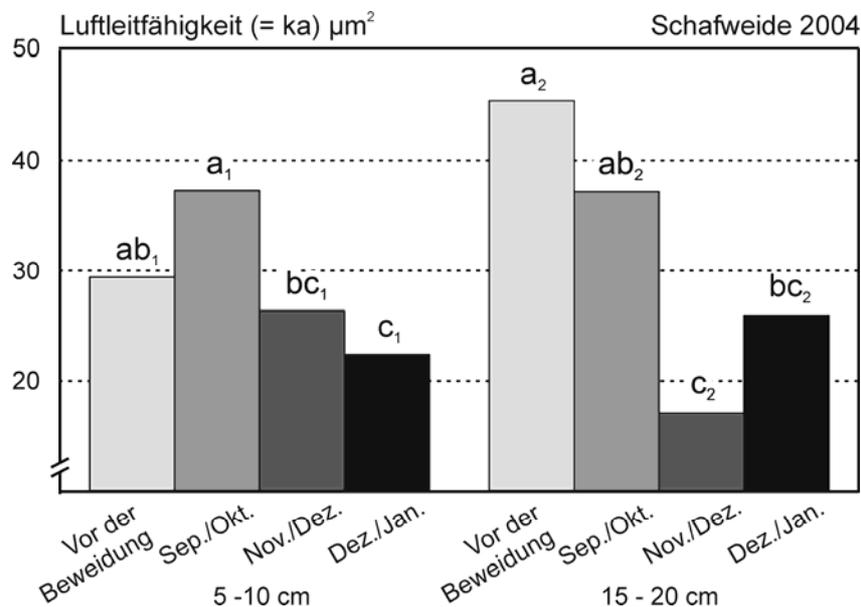


Abb. 22: Luftleitfähigkeit in Abhängigkeit von Termin und Bodenschicht

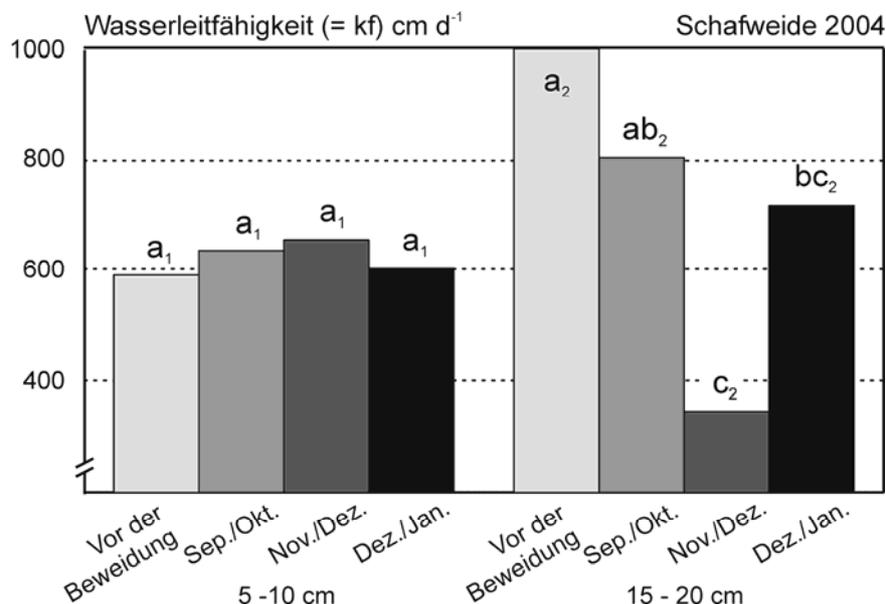


Abb. 23: Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit von Termin und Bodenschicht

Für den **Eindringwiderstand** und die **Lagerungsdichte** bestehen zwischen den Beweidungsterminen in 2004 keine gesicherten Unterschiede, vgl. Anhangtab. 120 - 123.

Abb. 24 zeigt den **Scherwiderstand**, vgl. Anhangtab. 124-128. In 2003 tritt die Wechselwirkung Termin x Narbe auf, die aber bodenverdichtend ohne Relevanz bleibt, vgl. Anhangtab. 127.

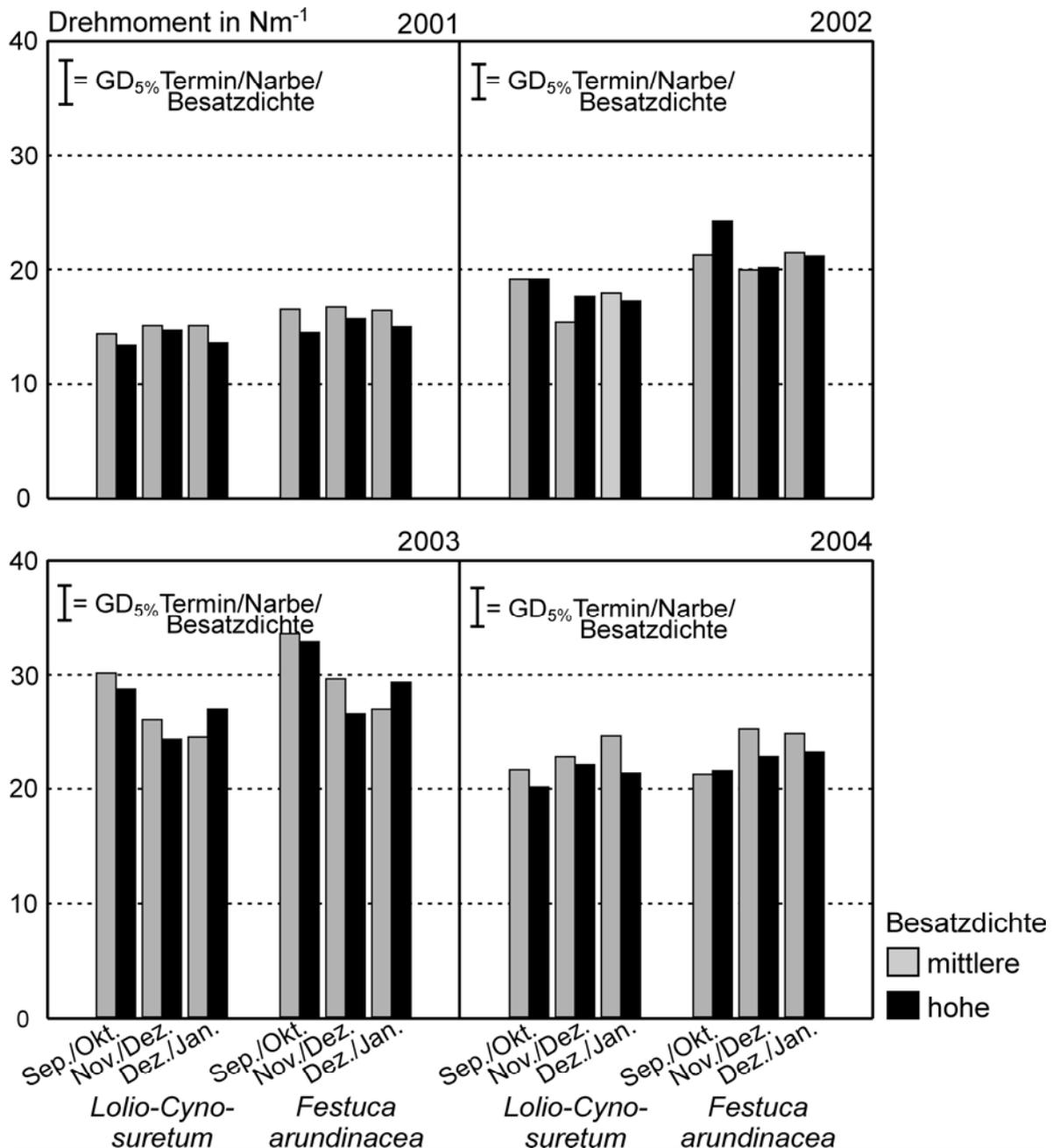


Abb. 24: Scherwiderstand (= Drehmoment bezogen auf eine einheitliche Fläche von 196 cm²) in Abhängigkeit von Erntetermin, Narbe und Besatzdichte auf der Schafweide

Der Faktor Termin ist von 2002-2004 als Hauptwirkung gesichert, verhält sich aber im Laufe der untersuchten Jahre unterschiedlich. In 2003 ist eine Abnahme des Scherwiderstandes vom Termin Sep./Okt. bis Nov./Dez. für beide Narben zu verzeichnen und in 2004 nimmt der Wert auf der *Festuca arundinacea*-Ansaat von Sep./Okt. bis Nov./Dez. zu. Als wichtigste Varianzursache in 2002 und zweitwichtigste in 2003 ist der Faktor Narbe zu nennen. Die *Festuca arundinacea*-Ansaat weist in 2002 zu allen Terminen einen höheren Scherwiderstand auf als die *Lolium-Cynosuretum*-Varianten. In 2003 ist der Unterschied nur zum Termin Sep./Okt. und Nov./Dez. gesichert.

Der Oberflächenabfluss ist auf der Schafweide unrelevant, da hier keine Hanglage, wie im Westerwald, vorliegt.

4.6.3 Direkter Vergleich Rind/Schaf

In Abb. 25 ist das Volumen der **Porengröße > 50 µm** für den direkten Vergleich Rind/Schaf dargestellt, vgl. Anhangtab. 131 und 132. In der Schicht 5-10 cm ist der Faktor Tierart als Hauptwirkung gesichert. Die mit Rindern beweideten Parzellen weisen ein signifikant niedrigeres Porenvolumen auf, als die mit Schafen. Auf den Grobporenanteil hat die Tierart in der Bodenschicht 15-20 cm keinen signifikanten Einfluss. Für die **Porengrößen 50-10 µm, 10-0,2 µm** und **< 0,2 µm** sind generell keine signifikanten Unterschiede nach einer Beweidung feststellbar vgl. Anhangtab. 133-138.

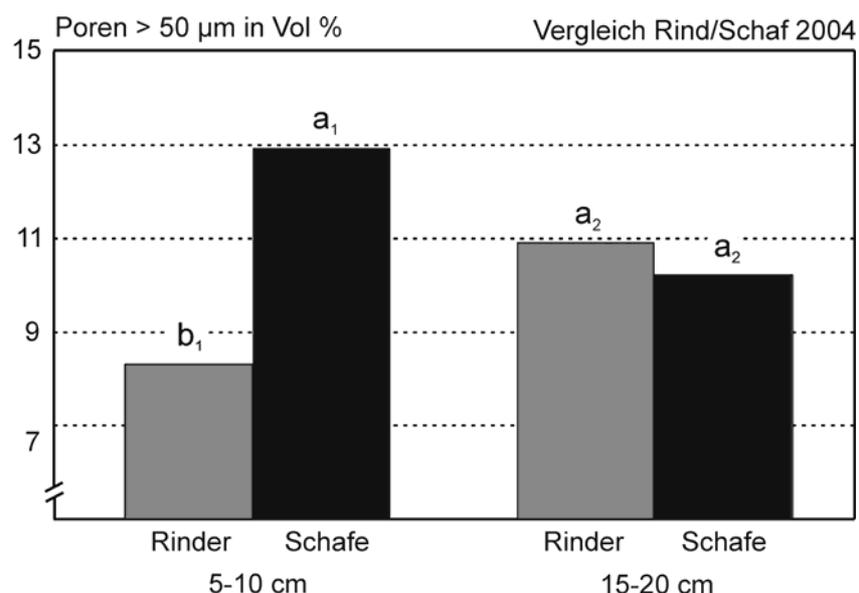


Abb. 25: Poren > 50 µm in Abhängigkeit von der Tierart und Bodenschicht

Die Abb. 26 zeigt die Luft- (= k_a -Wert) und Abb. 27 die Wasserleitfähigkeit (= k_f -Wert). Beim Merkmal **Luft-** und auch bei der **Wasserleitfähigkeit** ist die wichtigste Varianzursache der Faktor Tierart, vgl. Anhangtab. 139-144. Die mit Rindern beweideten Parzellen haben im Vergleich zu den mit Schafen beweideten signifikant niedrigere Leitfähigkeitswerte. Der Einfluss des Faktors Tierart wirkt sich auf beide Schichten aus.

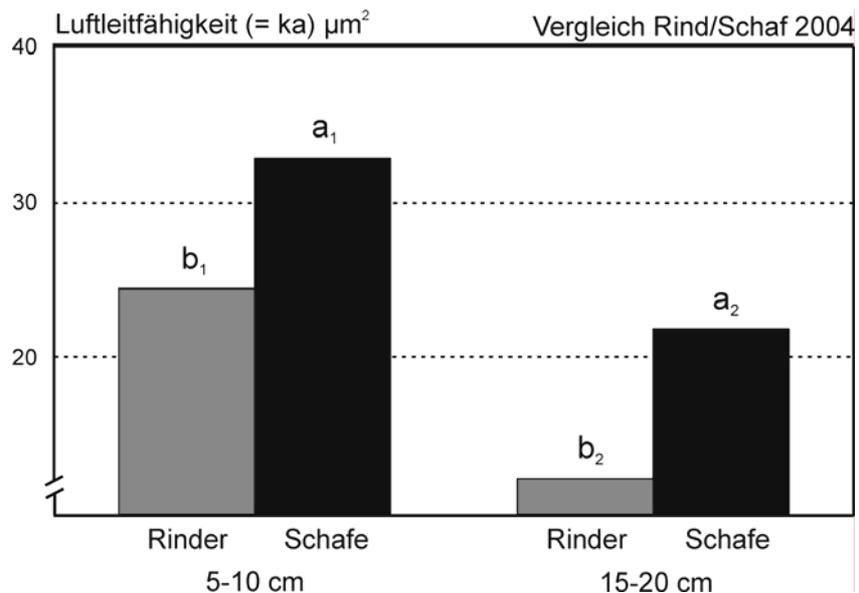


Abb. 26: Luftleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Tierart und Bodenschicht

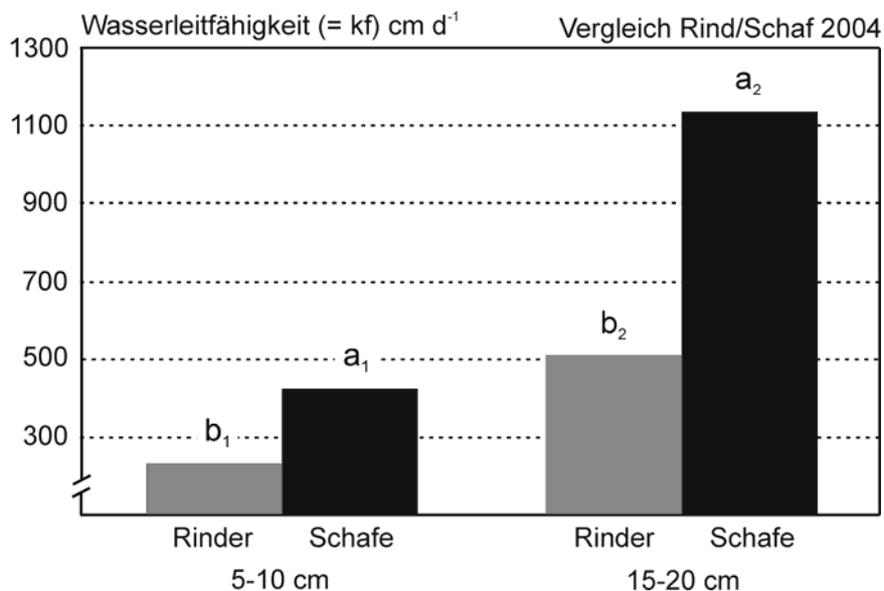


Abb. 27: Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Tierart und Bodenschicht

Die Beweidung von Rindern und Schafen auf Gleyboden ergibt, bezogen auf die Merkmale Eindringwiderstand Lagerungsdichte und Scherwiderstand, keine signifikanten Unterschiede, vgl. Anhangtab. 145-150. Beim Scherwiderstand wird lediglich

eine Erhöhung des Wertes von der oberen Bodenschicht 5-10 cm bis zur Schicht 20-30 cm bei beiden Tierarten festgestellt.

5 Diskussion

5.1 TS-Erträge

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Flächen mit weidereifen Aufwüchsen sind mit einer Besatzdichte von 14,1 GV ha⁻¹ in sieben Tagen bzw. 34,6 GV ha⁻¹ in drei Tagen beweidet worden. In der Praxis würde das einer Umtriebsweide mit einer Besatzdichte von 3,3 GV ha⁻¹ als Auslauf bei monatlichem Umtrieb entsprechen.

Die *Festuca arundinacea*-Ansaat erzielt in allen vier Jahren signifikant höhere **Wintererträge** als das *Lolio-Cynosuretum*. Zum Beweidungstermin Sep./Okt. werden mit Ausnahme 2004 noch keine Unterschiede festgestellt. Erst zum Jahresende hin verringern sich die Erträge der *Lolio-Cynosuretum*-Variante wesentlich stärker als die der *Festuca arundinacea*-Ansaat, wodurch die Wechselwirkung Termin x Narbe gesichert ist vgl. Anhangtab. 8-11. ELSEBACH (2005) berichtet in ihren Untersuchungen auf einer Schafweide von ähnlichen Ertragsverläufen. Bei einem Vergleich der Reinsaaten von *Lolium perenne* und *Festuca arundinacea* kann WOLF (2002) mit *Festuca arundinacea* wesentlich höhere Wintererträge erzielen als mit *Lolium perenne*, während HALL et al. (1998) in Pennsylvania, USA, keine Ertragsunterschiede dieser Grasarten feststellt. Der Grund ist hierbei die unterschiedliche Sortenwahl und eine kürzere Wachstumsphase bei HALL et al. (1998) von August bis November, anstatt von Juli bis Dezember bei WOLF (2002). *Festuca arundinacea* ist bei Winternutzung dem *Lolio-Cynosuretum* wie auch *Lolium perenne* in Reinsaat überlegen und kann offenbar die lange Wachstumsphase ab Juli besser nutzen. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von COLLINS & BALASKO (1981), BAKER et al. (1988) und WOLF (2002). Ein Rückgang der Wintererträge beider Narben zum Jahresende hin kann mit fortschreitender Seneszenz und Abbau erklärt werden (ARCHER & DECKER 1977, LAWS & NEWTON 1987, JAINDL et al. 1991). Nach VAN SOEST & JONES (1968), ARCHER & DECKER (1977) und KRÄLING (2005) bewirken eingelagerte Silikate und Lignin bei *Festuca arundinacea* eine Inkrustierung der Zellwände, wodurch der Abbau des Pflanzenmaterials durch Mikroorganismen und Pilze in der Vegetation langsamer verläuft. Die Höhe der Erträge ist entscheidend von der Witterung abhängig, sodass in den vier Untersuchungsjahren deutliche Ertragsunterschiede bestehen. In den niederschlagsreichen Jahren 2002 und 2004 werden mit der *Festuca arundinacea*-Ansaat zum Termin Sep./Okt. mit 45,4 dt TS ha⁻¹ (= 2002) und 38,1 dt TS ha⁻¹ (= 2004) die höchsten Erträge erzielt, während im überdurchschnittlich trockenen Jahr 2003 im gleichen Zeitraum nur 19,6 dt TS ha⁻¹

geerntet werden. Von jahresabhängigen Ertragsschwankungen berichten BALASKO (1977), OCUMPAUGH & MATCHES (1977), WOLF (2002), WÖHLER (2003) und ELSEBACH (2005). Die durchschnittlichen Wintererträge von *Festuca arundinacea* von 14,6 - 32,4 dt TS ha⁻¹, vgl. Anhangtab. 8-11. sind vergleichbar mit den Werten von WOLF (2002), der im Dezember Erträge zwischen 26,6 und 30,6 dt TS ha⁻¹ bei einer Schonung ab Juli ermittelt. Die *Lolio-Cynosuretum*-Varianten erreichen in dieser Untersuchung mit 6,7 - 20,7 dt TS ha⁻¹ im Winter geringere TS-Erträge als die *Festuca arundinacea*-Ansaat. Untersuchungen von WÖHLER (2003) mit TS-Erträgen von 8,9 - 14,5 dt TS ha⁻¹ und ELSEBACH (2005) mit 6,1 - 18,5 dt TS ha⁻¹ erreichen gleiche Ergebnisse. Im extrem trockenen Jahr 2003 kommt es sogar bei *Festuca arundinacea* bis Dezember zu einem Ertragsanstieg. MATCHES (1979) berichtet ebenfalls vom Wachstum der *Festuca arundinacea*-Narbe bei Temperaturen > 10 °C, das zu einem geringen Ertragsanstieg führt und FRAME (1970) begründet einen positiven Ertragsverlauf im Winter durch günstigere Strahlungs- und Temperaturverhältnisse, die von der verbleibenden photosynthetisch aktiven Masse der langen Wachstumsphase gut genutzt wird. Die durchschnittliche Temperatur im Monat November 2003 beträgt im Westerwald 5,4 °C und liegt damit um 2,8 °C über dem langjährigen Mittel. Die Besatzdichte hat keinen Einfluss auf den TS-Ertrag.

Die Erträge der **Primäraufwüchse** weisen in allen Untersuchungsjahren große Unterschiede auf. Es werden Erträge von 2 dt TS ha⁻¹ - 30 dt TS ha⁻¹ erzielt, vgl. Anhangtab. 49-52. Die Winternutzung hat offenbar keinen negativen Einfluss auf den Frühjahrsertrag; dies steht im Einklang mit Untersuchungen von LOCKHARDT et al. (1969), FRAME (1970), MOTT & MÜLLER (1971), WILMAN & GRIFFITHS (1978), JAINDL et al. (1991), WOLF (2002), WÖHLER (2003) und ELSEBACH (2005). In einigen Fällen weisen Varianten, die mit hoher Besatzdichte beweidet werden, im Frühjahr 2003 und 2005 höhere Erträge auf als Parzellen mittlerer Besatzdichte. Dieser Einfluss ist jedoch kritisch zu beurteilen, da eine hohe Besatzdichte eher einen Minderertrag im Frühjahr erwarten lässt. LOCKHARDT et al. (1969) stellen in ihrer Untersuchung fest, dass hohe Besatzdichten den Frühjahrsertrag verringern können. Andere Autoren berichten von Ertragsrückgängen nach einer Winterbeweidung, die aber im späten Frühjahr wieder ausgeglichen werden (LOCKHARDT et al. 1969, FRAME 1970, MOTT & MÜLLER 1971, WILMAN & GRIFFITHS 1978, NEWTON & JACKSON 1985). Als Ursache wird hier die mechanische Belastung durch Weidetiertritt in Verbindung mit niedrigen Temperaturen angesehen. Wie bei der Zielgröße Winterertrag hat die *Festuca*

arundinacea-Ansaat 2003, 2004 und 2005 einen signifikant höheren TS-Ertrag im Frühjahr als die *Lolio-Cynosuretum*-Varianten, vgl. Abb. 10. Dieser Effekt tritt hauptsächlich bei Varianten der Beweidungstermine Nov./Dez. und Dez./Jan. auf, sodass die Wechselwirkung Termin x Narbe in 2003 und 2005 gesichert ist. Auf höhere Frühjahrserträge von *Festuca arundinacea* nach später Winternutzung im Vergleich zur Nutzung im Spätsommer weist auch ELSEBACH (2005) hin. Nach der Nutzung im Sep./Okt. kommt es bei günstigen Wachstumsbedingungen im Herbst zu einem erneuten Austrieb, wodurch Reservekohlehydrate verbraucht werden, die aber für die Entwicklung der Kältetoleranz im Winter und für den Frühjahraustrieb wichtig sind (VOIGTLÄNDER 1987). In 2004 und 2005 ist der Faktor Nachsaat als Hauptwirkung gesichert. Im Frühjahr werden jahrabhängig niedrigere TS-Erträge auf Varianten erzielt, die eine Nachsaat mit *Lolium perenne* erhalten haben. ELSEBACH (2005) hat den Effekt der Nachsaat ebenfalls in Ihrer Untersuchung nachgewiesen. Die Nachsaat soll Narbenlücken wieder mit *Lolium perenne* schließen, die durch Winternutzung und Trittschäden entstanden sind. Hierbei muss abgewogen werden, ab welchem Schadbild der Aufwand einer Nachsaat lohnenswert ist. Bei geringen Narbenschäden kann offenbar auf eine Nachsaat verzichtet werden.

Beim Vergleich der Auswertung der **Narbenlückigkeit** nach den Herbst- bzw. Winterbeweidungen, vgl. Anhangtab. 73-76 und Anhangabb. 5, mit den Ergebnissen des TS-Ertrages des Primäraufwuchses, vgl. Anhangtab. 48-52, wird ein Zusammenhang zwischen den beiden Größen deutlich. In 2003 kann insgesamt auf allen Varianten eine hohe Lückigkeit und im folgenden Frühjahr ein geringer TS-Ertrag festgestellt werden.

5.2 Futterqualität

Die **Energiedichten** nehmen von September bis zum Jahresende ab, wobei sich die Werte der letzten Beweidungstermine Nov./Dez. und Dez./Jan. nicht mehr signifikant voneinander unterscheiden vgl. Anhangtab. 19-22. Im September weisen beide Narben die höchsten Energiedichten auf; die Energiedichten der *Lolio-Cynosuretum*-Varianten und der *Festuca arundinacea*-Ansaat sind, wie auch ELSEBACH (2005) berichtet, etwa gleich. Je später die Nutzung im Winter, umso stärker wirken sich Seneszenz und Abbauprozesse auf die Energiedichten aus. Die Stärke der Abnahme ist jahresbedingt. Von 2001-2003 hat die *Festuca arundinacea*-Ansaat jeweils zu den Winterterminen signifikant höhere Energiedichten als die *Lolio-Cynosuretum*-Varianten. WÖHLER (2003) stellt zwischen den Pflanzengesellschaften *Lolio*- und

Festuco-Cynosureten im Winter keine Unterschiede fest. Eine Abnahme der Energiedichten während der Wintermonate wird auch von OCUMPAUGH & MATCHES (1977), COLLINS & BALASKO (1981), HITZ & RUSSEL (1998), WOLF (2002), WÖHLER (2003) und ELSEBACH (2005) festgestellt. Der Hauptgrund für den Rückgang, sind offenbar die Fäulnisprozesse mit fortschreitendem Winter. In der vorliegenden Untersuchung können ebenfalls im Januar 2002 geringe Energiedichten ermittelt werden. Aufgrund einer langen Frostperiode mit Schneedecke im Dezember 2001, konnte die Probenahme und Beweidung des letzten Termins erst Mitte Januar erfolgen. Das Pflanzenmaterial ist zu diesem Zeitpunkt weitgehend abgestorben und es werden nur geringe Werte von $5,3 \text{ MJ ME kg}^{-1} \text{ TS}$ (= *Lolio-Cynosuretum*) bzw. $5,8 \text{ MJ ME kg}^{-1} \text{ TS}$ (= *Festuca arundinacea*-Ansaat) erzielt, vgl. Anhangtab. 19. Abgestorbene Pflanzenteile sind in höherem Maße von Abbauprozessen betroffen als vitale. Dabei werden besonders leicht verdauliche und energiereiche Bestandteile von Mikroorganismen umgesetzt (KRÄLING 2005).

Ab September nehmen die **Rohprotein-Konzentrationen** beider Narben bis zum Jahresende ab, wobei die *Lolio-Cynosuretum*-Varianten bis auf 2001 stets höhere Werte aufweisen als die *Festuca arundinacea*-Ansaat vgl. Anhangtab. 29-32. Untersuchungen von ELSEBACH (2005) zeigen auch diesen Unterschied beider Narben, während WÖHLER (2003) zwischen *Lolio*- und *Festuco-Cynosureten* keinen signifikanten Unterschied der Rohprotein-Konzentrationen nachweisen kann. Der Rückgang der Rohprotein-Konzentrationen im Aufwuchs ist bis November am stärksten und nimmt danach nur noch bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat ab. Abnehmende Rohprotein-Konzentrationen bei *Festuca arundinacea* können auch bei TAYLOR & TEMPLETON (1976) und ARCHER & DECKER (1977) festgestellt werden. Der Grund hierfür ist das Absterben der Pflanzen und die Zunahme an totem Pflanzenmaterial (BOEKER 1957, TAYLOR & TEMPLETON 1976). In den Blattspreiten der oberen Blattstockwerke der Pflanze finden sich die höchsten Rohprotein-Konzentrationen, während die unteren Halmpartien nur geringe Konzentrationen aufweisen (OPITZ v. BOBERFELD 1994b). Das Absterben der Pflanze führt zunächst zu einem Verlust der oberen Blätter und somit zu einem hohen Anteil des Rohproteins. Einige Autoren berichten von einem Anstieg der Rohprotein-Konzentrationen bis zum Januar bzw. Februar des nächsten Jahres (TAYLOR & TEMPLETON 1976, WOLF 2002, WÖHLER 2003). Als Ursache wird eine erhöhte Auswaschung und Abbau von anderen Inhaltsstoffen, wie z. B. Nicht-Struktur-Kohlenhydraten, genannt, die vom

Absterben der Pflanzen zunächst stärker betroffen sind und die Rohprotein-Konzentration ansteigen lässt. Der Verlauf des **P/E-Quotienten** vom Herbst bis zum Jahresende ist in dieser Untersuchung mit den Ergebnissen der Rohprotein-Konzentrationen vergleichbar. Das *Lolium-Cynosuretum* weist außer 2001 höhere P/E-Quotienten auf als die *Festuca arundinacea*-Ansaat. vgl. Anhangtab. 34-37. Die Werte der *Lolium-Cynosuretum*-Narbe liegen in 2001 weit und in 2003 und 2004 in einzelnen Varianten über den für Wiederkäuer optimalen Bereich, der zwischen 10 und 14 liegt (MENKE 1987). Dies ist konform mit den Ergebnissen von WÖHLER (2003) und ELSEBACH (2005). Die höchsten Werte werden im September gemessen. Danach sinken die P/E-Quotienten hauptsächlich bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat bis November erheblich und bleiben bis Ende Dezember unverändert. Auch WOLF (2002) berichtet von höheren P/E-Quotienten bei Reinsaaten von *Lolium perenne* gegenüber *Festuca arundinacea*.

Die **Ergosterol-Konzentration** als Maß für die Verpilzung eines Bestandes steigt im Laufe des Jahres an. Dieser Anstieg ist beim *Lolium-Cynosuretum* wesentlich stärker ausgeprägt als bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat und steht im Einklang mit Untersuchungen von WOLF (2002) und ELSEBACH (2005). Ein Ansteigen der Ergosterol-Konzentration im Winter wird durch fortschreitende Seneszenz und die damit verbundene Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Pilze hervorgerufen (SCHLOSSER 1997). Der aufrechte Wuchs von *Festuca arundinacea* erweist sich als vorteilhaft. Dadurch kann die Pflanze leichter abtrocknen und bietet ungünstigere Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen als die dichteren Narben von *Lolium perenne* (GIESLER et al 1996, OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002). Außerdem können Pilze -aufgrund stärkerer Zellwände- *Festuca arundinacea* schwerer besiedeln (WOLF 2002). Die Höhe der Ergosterol-Konzentration ist jahresbedingt unterschiedlich und stark von der Witterung abhängig. Im niederschlagsreichen, kalten Winter 2001/2002 werden die höchsten Ergosterol-Konzentrationen festgestellt, vgl. Anhangtab. 39. Hier ist der Zeitpunkt der Probenahme bedeutend, die im Januar nach einer Schneebedeckung erfolgt ist. Die Blätter der Pflanzen sind im Januar weitgehend abgestorben und die Schneedecke bietet für die Pilzentwicklung ein günstiges Mikroklima (SCHLÖSSER 1997). Die Ergosterol-Konzentration der Bestände nimmt von 2001 bis 2003 ab und erhöht sich 2004 nur leicht bei der *Festuca arundinacea*-Ansaat. WOLF (2002) und WÖHLER (2003) beschreiben dagegen in ihren Arbeiten eine jährliche Zunahme der Ergosterol-Konzentrationen. In dieser Untersuchung

kann das Jahr 2003 als Ausnahme gelten, da aufgrund der langanhaltenden Trockenheit und des lückigen Bestandes die Gefahr eines Pilzbefalls gering ist. Der Temperaturstress, der grundsätzlich auch das Infektionsrisiko erhöhen kann, hat sich daher offenbar nicht negativ ausgewirkt.

Obwohl die Ergosterol-Konzentration in 2004 in beiden Beständen gering ist, kann auf einigen Varianten der *Festuca arundinacea*-Ansaat und des *Lolium-Cynosuretum*s, vgl. Anhangtab. 46 das **Mykotoxin** Ochratoxin A nachgewiesen werden. Ochratoxin A liegt in den anderen Untersuchungsjahren unter der Nachweisgrenze. Das Mykotoxin Zearalenon kann nur in 2002 auf einer Variante der *Festuca arundinacea*-Ansaat ermittelt werden. Mykotoxine treten jahresbedingt unterschiedlich auf und sind in einem Bestand meist nesterweise zu finden. Die hier ermittelten Werte sind noch tolerierbar und führen zu keiner Minderung der Futterqualität. Dies steht im Einklang mit Ergebnissen von WOLF (2002), WÖHLER (2003) und ELSEBACH (2005). In 2001 liegen trotz hoher Ergosterol-Konzentrationen keine Mykotoxine vor. Ein Zusammenhang zwischen Ergosterol-Konzentration und Mykotoxinen, wie auch OPITZ v. BOBERFELD (1996), WOLF (2002), WÖHLER (2003), LASER et al. (2004) und ELSEBACH (2005) berichten, besteht nicht.

Bei Betrachtung der Futterqualitätsmerkmale (= Energiedichte, Rohprotein, P/E-Quotient und Ergosterol-Konzentration), kann davon ausgegangen werden, dass die Tiere bis zum Jahresende auf der Winterweide ausreichend versorgt sind. Sowohl die *Lolium-Cynosuretum*- als auch die *Festuca arundinacea*-Narben können den Bedarf an Energie und Rohprotein der Weidetiere decken. Die P, Na und Mg-Konzentrationen sind dagegen bereits zu Beginn der Winterbeweidung defizitär und müssen ergänzt werden. Eine gezielte Supplementierung ist notwendig, um die Gefahr von Krankheiten wie Weidetetanie, Gebärparese, oder Osteomalazie zu begrenzen (BANZHAF 2004).

5.3 N_{min}-Mengen

In den Jahren 2001 und 2002 werden die höchsten **N_{min}-N-Mengen** im Boden festgestellt, vgl. Anhangtab. 59 und 60, und erreichen Mittelwerte von 66-69 kg N ha⁻¹. Im Vergleich dazu liegen die durchschnittlichen N_{min}-N-Mengen 2003 und 2004 bei 50-60 kg N ha⁻¹, vgl. Anhangtab. 61 und 62. Der Anteil an NO₃-N liegt mit 17-29 kg N ha⁻¹ weit unter der kritischen Marke von 40 kg N ha⁻¹ (OPITZ v. BOBERFELD 1991, HOMM 1994), vgl. Anhangtab. 64-67. Mit einer erhöhten Belastung durch NO₃-N kann

demnach nicht in jedem Fall gerechnet werden. OPITZ v. BOBERFELD (1997) weist darauf hin, dass es an besonders stark frequentierten Plätzen, wie Tränke- und Futterplätze, zu N_{\min} -N-Mengen von $> 200 \text{ kg N ha}^{-1}$ kommen kann und SAUER & HARRACH (1996) stellen auf spät beweideten Flächen eine erhöhte Nitratverlagerung in tiefere Bodenschichten fest. Eine Beweidung auf Böden, die besonders flachgründig sind und eine geringe nutzbare Feldkapazität haben sowie Böden mit hohem Grobporenanteil, sollte daher unterbleiben (SAUER & HARRACH 1996). In der vorliegenden Untersuchung ist die Gefahr einer erhöhten Nitratauswaschung aufgrund der Pflanzenbestände und des Bodentyps kaum zu erwarten, da hier leistungsfähige Narben und eine pseudovergleyte Parabraunerde vorliegen. Nach der Beweidung Sep./Okt. liegen 2002-2004 offenbar futtermengenbedingt signifikant höhere N_{\min} -N-Mengen im Boden vor als nach der Beweidung Dez./Jan. bzw. Nov./Dez. (= 2004). Der Grund für die höhere N-Mineralisierung nach der Sep./Okt. Beweidung, im Vergleich zum Winter, sind neben höheren N-Ausscheidungen über die Exkremete, die noch milden Temperaturen, höhere Niederschläge und eine bessere Durchlüftung der Böden (SCHACHTSCHABEL 2002). Es ist zu vermuten, dass im Winter größere Teile der Exkremete erst bei wieder zunehmenden Temperaturen im Frühjahr mineralisiert werden, da die Aktivität der am Abbau und der Mineralisation beteiligten Organismen reduziert ist.

Die **N-Entzüge** des Primäraufwuchses sind jahresbedingt unterschiedlich. Die Wechselwirkung Termin x Narbe ist in drei Untersuchungsjahren signifikant, vgl. Anhangtab. 54-57. Da dieser Effekt jedes Jahr unterschiedlich ist, kann hier nur von einem jahresbedingten Einfluss auf die N-Entzüge ausgegangen werden. Vielmehr bestehen Abhängigkeiten in 2004 und 2005 zwischen Winterertrag und den N-Entzügen im Frühjahr. Die Wintererträge auf Varianten in 2003 sind genauso gering wie der N-Entzug dieser Flächen in 2004, während 2005 hohe N-Entzüge auf Varianten mit hohen Wintererträgen von 2004 festgestellt werden. Dies ist konform mit Ergebnissen von WOLF (2002) und WÖHLER (2003). Ein Ausmagerungseffekt wie bei WOLF (2002) kann nicht festgestellt werden, da es 2005 sogar zu einer Erhöhung der N-Entzüge kommt.

5.4 Bodenphysikalische Merkmale

Porenvolumen, Luft- und Wasserleitfähigkeit sowie Scher- und Eindringwiderstand sind wichtige Indikatoren zur Beurteilung der physikalischen Bodenverhältnisse (DREWRY 2001, GREENWOOD & MCKENZIE 2001) und können als Aspekte bei der Interpretation von Veränderungen nach einer Beweidung herangezogen werden. Die in Tab. 5 und 6 aufgeführten Merkmale sind typische Zielgrößen, die mögliche Effekte der Druckbelastung anzeigen. Obwohl pro Messung jeweils acht Zylinderproben mit drei Feldwiederholungen, vgl. Kapitel MATERIAL UND METHODEN, gezogen werden, wird festgestellt, dass die Untersuchung der dargestellten Merkmale aufgrund der zum Teil großen Streuungen nicht immer eindeutige Schlussfolgerungen zulassen. Die niedrigen Korrelationswerte in den Tabellen 5, 6 und 8 bei Merkmalen, wo Abhängigkeiten zu erwarten wären, sind deshalb kritisch zu beurteilen. Der Grund kann außer der hohen Streuung der Messergebnisse auch die zum Teil geringen Variationsbreiten sein. Nur zwischen einzelnen Merkmalen, wie z.B. Lufthaushalt und Grobporen $> 50 \mu\text{m}$, bestehen deutliche Abhängigkeiten (BLUME 2004). Vergleichsweise enge Zusammenhänge werden bei der Betrachtung einiger Korrelationskoeffizienten (= „Fettdruck“ vgl. 5, 6 und 8) deutlich. So korreliert die Porengröße $> 50 \mu\text{m}$ für die Schicht 5-10 cm nach der Rinderbeweidung positiv mit dem Gesamtporenvolumen. Nach der Schafbeweidung besteht in der Schicht 5-10 cm keine Abhängigkeit zwischen diesen Merkmalen, vgl. Tab. 5, während in der Schicht 15-20 cm diese Beziehung nicht nur nach der Rinderbeweidung, sondern auch nach der Schafbeweidung vorliegt, vgl. Tab. 6. Das Gesamtporenvolumen setzt sich zusammen aus Grob- Mittel- und Feinporen. Typische Werte für Grünlandböden sind 50-67 Vol % (ROWELL 1994). Die Grobporen werden in schnell dränende ($= >50 \mu\text{m}$) und langsam dränende Grobporen ($= 50-10 \mu\text{m}$) unterteilt (KUNTZE 1994, HARTGE 2002a). Eine Veränderung des Gesamtporenvolumens, wie z.B. durch starke Trittbelastung, bewirkt in der Regel eine Veränderung der Porengrößen (OPITZ V BOBERFELD 1976). Nach GREENWOOD & MCKENZIE (2001) hat eine Rinderbeweidung offenbar aufgrund der höheren Drucklast einen größeren Einfluss auf die Porengröße $> 50 \mu\text{m}$ als eine Schafbeweidung. In der vorliegenden Arbeit wird nach der **Rinderbeweidung** eine Reduzierung der Grobporen im Vergleich zur Kontrollfläche (= Vor der Beweidung) nach allen Beweidungsterminen festgestellt, wobei sich die Werte der jeweiligen Termine nicht unterscheiden, vgl. Anhangtab. 79.

Tab. 5: Korrelationen (= r) zwischen bodenphysikalischen Merkmalen verschiedener Standorte nach der Beweidung 2004/2005 für die **Schicht 5–10 cm**

		Pseudovergleyte Parabraunerde, Rinderbeweidung, n = 12						
Gley, Schafbeweidung, n = 12		Gesamt-poren-volumen	Poren > 50 µm	Dichte	Wasser-leit-fähigkeit	Luft-leit-fähigkeit	Eindring-wider-stand	Scher-wider-stand
	Gesamt-poren-volumen		0,78**	*	0,21	0,30	-0,82**	0,48
	Poren > 50 µm	0,55		-0,80**	0,40	0,44	-0,72**	0,37
	Dichte	*	-0,56		-0,52	-0,61*	0,90**	-0,31
	Wasser-leit-fähigkeit	0,32	0,30	-0,31		0,67*	-0,26	0,29
	Luft-leit-fähigkeit	0,02	0,53	-0,03	0,34		-0,57	0,04
	Eindring-wider-stand	-0,55	-0,34	0,55	0,24	0,53		-0,26
	Scher-wider-stand	-0,20	0,36	0,20	-0,11	0,34	-0,05	

Tab. 6: Korrelationen (= r) zwischen bodenphysikalischen Merkmalen verschiedener Standorte nach der Beweidung 2004/2005 für die **Schicht 15–20 cm**

		Pseudovergleyte Parabraunerde, Rinderbeweidung, n = 12					
Gley, Schafbeweidung, n = 12		Gesamt-poren-volumen	Poren > 50 µm	Dichte	Wasser-leit-fähigkeit	Luft-leit-fähigkeit	Eindring-wider-stand
	Gesamtporen-volumen		0,85**	*	-0,17	0,41	-0,53
	Poren > 50 µm	0,75**		-0,85**	0,08	0,50	-0,44
	Dichte	*	0,75**		0,17	-0,40	0,52
	Wasser-leit-fähigkeit	-0,15	0,21	0,15		0,59*	-0,18
	Luft-leit-fähigkeit	-0,07	0,43	0,07	0,81**		-0,73**
	Eindring-wider-stand	-0,65*	-0,59*	0,65*	-0,23	-0,09	

* Der Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtporenvolumen und Dichte beträgt 1,00, da die Dichte in die Berechnung des Gesamtporenvolumens miteinbezogen wird. Gesamtporenvolumen [Vol %] = $(1 - (\text{Rohdichte}/\text{Dichte}))100$

Die Winterbeweidung wirkt sich im Vergleich zur Septemberbeweidung jedoch nicht negativ auf die Grobporen aus, vgl. Anhangtab. 80. KELLY (1995) weist eine Einschränkung des Grobporenvolumens nach einer Rinderbeweidung in Victoria, Australien, hauptsächlich bis zu einer Tiefe von 15 cm nach und ADDISON & SINGLETON (1999) stellen eine Verdichtung nur bis 5-10 cm Tiefe fest. Nach Untersuchungen von DREWRY et al. (2001) in Neuseeland hat die Besatzdichte in der Schicht 0-5 cm nach einer Winterbeweidung eine entscheidende Bedeutung; eine hohe Besatzdichte (= Beweidung mit 1800 Schafen ha⁻¹ in 24 Stunden) bewirkt im Gegensatz zu einer niedrigen, eine weitere Reduzierung der Poren > 50 µm. Ab einer Tiefe von 5 cm kann in der Regel jedoch kein Unterschied zwischen den Besatzdichten mehr festgestellt werden, signifikante Unterschiede bestehen hier nur noch zu unbeweideten Flächen (DREWRY et al. 2001).

Eine **Schafbeweidung** hat in dieser Untersuchung selbst auf dem trittempfindlichen Boden keinen messbaren Einfluss auf die Porengröße > 50 µm, vgl. Anhangtab. 106; dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von KELLY (1985), DREWRY et al. (1999) und DREWRY et al. (2001), vgl. Tab. 7.

Tab. 7: Auflistung der Grobporenanteile von Schaf- und Rinderweiden verschiedener Autoren

Tierart	Porengröße µm	Tiefe cm	Unbeweidete Fläche Vol %	Intensiv Beweidete Flächen Vol %	Quelle
Schaf	30-300	0-5 (1994)	7,5	5,9	DREWRY et al. (1999)
		5-10(1994)	5,9	5,0	
		0-5 (1995)	7,2	6,1	
		5-10(1995)	5,7	5,9	
Schaf	>10	0-10	17,0	13,7	ZHANG & HORN (1996a)
		20-40	14,6	12,9	
Rind	30-300	0-5	12,8	7,7	DREWRY et al. (2001)
		5-10	10,5	8,6	
		10-15	8,5	6,1	

DREWRY et al. (1999) stellen für Neuseeland nach einer Winterbeweidung in der Schicht 0-5 cm eher eine Verformung der Oberfläche aufgrund hoher Feuchtigkeit fest, als eine Verdichtung durch Beweidung. Der Schaden, der eventuell durch Beweidung entsteht, kann offenbar als minimal angesehen werden. ZHANG & HORN (1996a) ermitteln dagegen in Norddeutschland eine Reduzierung der Grobporen auf einer Salzmarsch nach einer Sommerbeweidung mit Schafen; dieser Rückgang besteht jedoch nur bezogen auf die unbeweidete Fläche und Parzellen mit hoher Besatzdichte, signifikante Unterschiede zwischen unbeweideten und extensiv bewei-

deten Parzellen bestehen jedoch nicht. In der vorliegenden Untersuchung ergeben Messungen nach den Beweidungen in der Schicht 5-10 cm einen Grobporenanteil (= Poren > 50 μm) von 10,9 und 10,3 Vol % (= Rinderweide) bzw. 14,3 und 14,8 Vol % (= Schafweide). In Untersuchungen von DREWRY et al. (1999) auf Winterweiden mit Schafen werden Werte von 9,4 und 13,6 Vol % Grobporen erreicht. Ein Mindestanteil an Grobporen von > 10 Vol % sollte in der Bodenschicht vorhanden sein, um ausreichende Luftkapazität zu gewährleisten. Bei einem Wert < 5 Vol % tritt Luftmangel ein (DÜRR et al. 1995, DREWRY et al. 1999, BLUME 2004, SCHRÖDER & SCHNEIDER 2005). In dieser Untersuchung kann davon ausgegangen werden, dass auf den Flächen offenbar kein Luftmangel vorliegt und damit das Wachstum nicht eingeschränkt wird. Der Verlust der Grobporen führt in den meisten Fällen zu einer Zunahme des Mittelporenanteils (=10-0,2 μm) (ZHANG & HORN 1996a). Auf der Schafweide wird dieser Effekt aber nur in der Bodenschicht 15-20 cm nach der Beweidung Nov./Dez. bestätigt, vgl. Anhangtab. 110. Bei diesen Betrachtungen muss die Bodenart jedoch immer mitberücksichtigt werden. Die schluffbetonte, pseudovergleyte Parabraunerde im Westerwald ist als Winterweide wesentlich besser geeignet als der trittempfindliche, tonige Gley, vgl. Korngrößenzusammensetzung Anhangabb. 1 und 2. Die Beweidung auf Gley mit Schafen ist hier offenbar dennoch möglich. Die Auswirkung einer Rinderbeweidung auf diesen Boden verdeutlicht der Versuch "direkter Vergleich Rind/Schaf". Hier wird gezielt mit hoher Besatzdichte (= 34,6 GV ha⁻¹, bei einer Beweidungsdauer von fünf Tagen) im Dezember unter frostfreien Bedingungen beweidet. Auf den mit Rindern beweideten Parzellen wird der Porenanteil > 50 μm in der Schicht 5-10 cm wesentlich stärker reduziert als auf den Schafparzellen. Einen bedeutenden Effekt auf die bodenphysikalischen Merkmale, wie z.B. den Grobporenanteil, hat die Witterung während der Beweidung; KUNTZE (1963) ermittelt nach einer Herbstbeweidung mit hohen Besatzdichten unter feuchten Bedingungen weitaus geringere Grobporenvolumina als im trockenen Winter desselben Jahres.

Wasser- und Luftleitfähigkeit sind vom Anteil der Grobporen abhängig und stehen im engen Zusammenhang (KUNTZE 1994). In den Versuchen Rinder- und Schafbeweidung, vgl. Tab. 5 und 6, konnte dieser Zusammenhang, im Gegensatz zum Versuch "direkter Vergleich Rind/Schaf", vgl. Tab. 8, nicht gezeigt werden. Hierbei wird eine Abhängigkeit zwischen Wasser- und Luftleitfähigkeit und Poren > 50 μm festgestellt. Je höher der Anteil der Grobporen > 50 μm , desto größer ist die Luft- und Wasserleitfähigkeit. Allgemein kommt es im Westerwald auf der Parabraunerde in

der Schicht 5-10 cm nach der Rinderbeweidung sowohl im Herbst als auch im Winter -lediglich im Vergleich zur Kontrollvariante- zu einer Abnahme der Luft- und Wasserleitfähigkeit, vgl. Anhangtab. 89 und 92; die Schafbeweidung hat generell keinen messbaren Einfluss auf die Luft- und Wasserleitfähigkeit, vgl. Anhangtab. 116 und 119. Das Ergebnis ist konform mit dem der Porengröße > 50 µm.

Tab. 8: Korrelationen (= r) zwischen bodenphysikalischen Merkmalen nach der Beweidung 2004, direkter Vergleich Rind/Schaf

		Gley, Schicht 5–10 cm, n = 8						
		Gesamt-poren-volumen	Poren > 50 µm	Dichte	Wasser-leit-fähigkeit	Luft-leit-fähigkeit	Eindring-wider-stand	Scher-wider-stand
Gley, Schicht 15-20 cm, n = 8	Gesamt-Poren-Volumen		0,66	*	0,50	0,02	0,23	-0,09
	Poren > 50 µm	0,60		-0,54	0,86**	0,46	0,05	-0,38
	Dichte	*	-0,19		-0,50	0,19	-0,32	-0,37
	Wasser-leit-fähigkeit	0,41	0,35	-0,52		0,63	-0,17	-0,20
	Luft-leit-fähigkeit	0,11	0,18	-0,37	0,90**		-0,63	-0,65
	Eindring-wider-stand	-0,03	0,55	0,43	-0,04	-0,19		0,26
	Scher-wider-stand	0,63	0,57	-0,09	-0,03	-0,32	0,41	

* Der Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtporenvolumen und Dichte beträgt 1,00, da die Dichte in die Berechnung des Gesamtporenvolumens miteinbezogen wird, vgl. Gleichung S. 57.

HARTGE & HORN (1992) weisen jedoch darauf hin, dass die Werte der Merkmale einer recht großen Streuung unterliegen und hohe Abweichungen innerhalb der Proben möglich sind. Luft- und Wasserleitfähigkeit sind nicht nur vom Porenvolumen und von der Porenverteilung abhängig, sondern können sich auch durch kleine Schrumpfungsrisse, Wurzel- oder Tiergänge mehr oder weniger stark erhöhen (HARTGE & HORN 1992, DREWRY et al. 2001). Diese biogenen Leitungen und Schrumpfungsrisse können die Funktion der Grobporen übernehmen und müssen bei der Bewertung von Verdichtungseffekten mit berücksichtigt werden. ADDISON & SINGLETON (1999) stellen

für neuseeländische Verhältnisse ebenfalls nach einer Rinderbeweidung einen Rückgang der Leitfähigkeit bis zu einer Schicht von 25 cm, DREWRY et al. (2001) allerdings nur bis 5-10 cm Tiefe fest; zwischen Beweidung und Probenahme liegen jedoch sieben Wochen, sodass die Möglichkeit besteht, dass die biologische Aktivität (= speziell Regenwurmgänge) gerade in der oberen Schicht die Wasserleitfähigkeit wieder steigern kann. Eine Schafbeweidung wirkt sich nach ZHANG & HORN (1996a) erst bei hohen Besatzdichten auf die Wasserleitfähigkeit aus; sie ermitteln nach einer Sommerbeweidung auf extensiv beweideten und unbeweideten Parzellen gleiche Werte. Erst intensive Beweidung führt hier zu einer signifikanten Abnahme der Leitfähigkeit bis zu einer Tiefe von 30 cm. GREENWOOD et al. (1997) stellen nach einem Langzeitversuch von 30 Jahren in der oberen Schicht (= 2,5-3,0 cm) keine Unterschiede zwischen den Beweidungsintensitäten fest, Differenzen bestehen lediglich zur unbeweideten Fläche. Hohe Besatzdichten können das Bodengefüge beeinträchtigen. Dies ist auf die Abnahme des Grobporenanteils und Zunahme des Mittelporenanteils zurückzuführen. Bei Wassersättigung sind vorrangig die Grobporen für die Wasserleitung verantwortlich (ZHANG & HORN 1996a). Die Auswirkung der Tierart wird beim Versuch "direkter Vergleich Rind/Schaf" deutlich, vgl. Anhangtab. 131-138. Die Parzellen, die von Rindern beweidet werden, weisen signifikant niedrigere Wasser- und Luftleitfähigkeitswerte auf, sowohl in der Schicht 5-10 cm als auch in der Schicht 15-20 cm, vgl. Anhangtab. 139 und 144. Dieser Unterschied besteht ebenfalls für die Porengröße $> 50 \mu\text{m}$ in der oberen Schicht 5-10 cm, vgl. Anhangtab. 132. Da die Beweidung mit der gleichen Besatzdichte erfolgt, ist die Verdichtung auf die höhere spezifische Drucklast der Rinder zurückzuführen. Weiterhin trägt der trittempfindliche Gley aufgrund des hohen Wassergehaltes ebenfalls zur Verdichtung bei und wird bei hoher Drucklast stärker verdichtet. Hierbei wird jedoch noch immer die kritische Grenze der Grobporen von 10 Vol % (= $> 50 \mu\text{m}$ und 50-10 μm) deutlich überschritten, sodass von keiner wesentlichen Beeinträchtigung des Wasser- und Lufthaushaltes ausgegangen werden kann. Die Wasserleitfähigkeit liegt auch bei diesen ungünstigen Bedingungen weit über den für Böden allgemeine Wert von 10 mm d^{-1} (SCHRÖDER & SCHNEIDER 2005).

Um den Einfluss oberflächennaher Verdichtungen deutlicher charakterisieren zu können, werden Ergebnisse zur **Infiltration** betrachtet. Die Infiltration steht in einem engen Zusammenhang zur Wasserleitfähigkeit und wird unter anderen von den selben Größen beeinflusst. Hinzu kommen jedoch auch Faktoren, die die Auflage

des Bodens bzw. die Oberflächenbeschaffenheit (= Verkrustung/Verschlämmung) betreffen. SCHIFFLER (1992) differenziert zwischen ereignisunabhängigen und ereignisabhängigen Einflussfaktoren, vgl. Tab. 9.

Tab. 9: Einflussfaktoren für die Infiltration nach SCHIFFLER (1992)

Ereignisunabhängige Einflussfaktoren (Boden und Topographie)	Ereignisabhängige Einflussfaktoren (Niederschlag, Boden, Vegetation)
Bodentextur, Bodenstruktur Körnung (Ton, Schluff, Sand) Porengrößenverteilung Gesamtporenvolumen Wasserspannungskurve Ungesättigte Leitfähigkeit Mächtigkeit der Humusauflage Humusgehalt Verdichtungsintensität Schichtung des Bodens Hangneigung	Anfangswassergehalt und –spannung Niederschlagsintensität Zeitliche Abfolge von Niederschlägen Energie der Regentropfen Verkrustung, Verschlämmung Quellen und Schrumpfen Makroporen (Wurzelkanäle, Wurmkanäle, Risse) Einschlüsse und Strömung der Bodenluft Hysterese der Bodenkennlinien Bodennutzung, Bewuchs, Wachstumsstadien

Befunde aus der Literatur bestätigen, dass Beweidung die Infiltration in der oberen Schicht reduzieren kann, Unterschiede zwischen verschiedenen Besatzdichten werden bislang nicht gefunden (PROFFITT et al 1993, PROFFITT et al. 1995, DREWRY 1999). HEJDUK & KASPRZAK (2005) zeigen in ihren Versuchen den schützenden Effekt der Narbenauflage anhand von Weideparzellen und Parzellen ohne Vegetation. Die Parzellen ohne Vegetation haben eine geringere Infiltrationsrate; dies zeigt, dass Böden mit ausgeprägten Bodenleben und schützender Auflage offenbar kaum Infiltrationsüberschüsse aufweisen (ANONYMUS 2001b). Grünlandstandorte verfügen potentiell über hohe Versickerungskapazitäten, da hier eine gute biogene Grobporosität vorliegt (SCHOBEL 2005).

Im Frühjahr 2005 findet auf der Rinderweide eine Untersuchung zum **Oberflächenabfluss** statt, da die Fläche, im Gegensatz zur Schafweide, eine Hangneigung von 10-12 % aufweist und sowohl erhöhter Abfluss als auch Erosion auftreten können. Hierbei wird festgestellt, dass die Varianten der *Festuca arundinacea*-Ansaat einen höheren Abfluss aufweisen als die *Lolio-Cynosuretum*-Parzellen, vgl. Anhangtab. 103. Die Ursache hierfür könnte in den unterschiedlichen morphologischen Eigenschaften der Pflanzen liegen. *Lolium perenne* ist ein horstbildendes Untergras, das eine weitgehend geschlossene Narbe bildet, während *Festuca arundinacea* als aufrecht wachsendes Obergras eine lockere Narbe aufweist (OPITZ v. BOBERFELD 1994a), die ein schnelles Abfließen des Niederschlagswassers

bewirken kann. Beim Vergleich des Oberflächenabflusses mit den Ergebnissen der **Narbenlückigkeit**, vgl. Anhangtab. 76, können allerdings keine Differenzen zwischen den Narben festgestellt werden; hier unterscheiden sich lediglich die Beweidungstermine; Varianten des Beweidungstermins Nov./Dez. haben einen wesentlich geringeren Abfluss, als Varianten des Termins Sep./Okt. Eine Winterbeweidung erhöht offenbar nicht wesentlich das Risiko des Auftretens von Erosionsschäden, wenn die Besatzdichten angepasst sind. Eine weitere Ursache des erhöhten Oberflächenabflusses bei der *Festuca arundinacea*-Narbe könnte das wesentlich kräftigere und dichtere Wurzelsystem gegenüber dem von *Lolium perenne* sein – die Wurzeln erster und zweiter Ordnung sind dicker und länger (KUTSCHERA 1982). Dieser Wurzelfilz bedeutet ein zusätzliches Hindernis für eine rasche Infiltration. SCHOBEL (2005) konnte bei Untersuchungen des Oberflächenabflusses in der Eifel auf Acker, Grünland und Wald auf einigen Grünlandstandorten einen wesentlich höheren Abfluss aufgrund von bodenbedeckenden Faktoren, wie Feinwurzelflecht, abgestorbener Biomasse und Moosen, nachweisen. Auf den hier untersuchten Varianten ist jedoch keine solche Auflage vorhanden. Die Interpretation der Bedeutung des Oberflächenabflusses für die Erosionsgefährdung gestaltet sich schwierig, da die Narbe einerseits den Abfluss erhöhen kann aber andererseits auch den Bodenabtrag erschwert.

Weder die Rinderbeweidung noch die Schafbeweidung hat in dieser Untersuchung einen signifikanten Einfluss auf die **Lagerungsdichte**. Die Werte liegen in dem für Grünlandböden (= 0,80-1,20 g cm⁻³) (ROWELL 1994) typischen Bereich, vgl. Anhangtab. 123, Die Folge einer hohen Lagerungsdichte kann eine schlechte Durchwurzelbarkeit der Böden, das Auftreten von Wachstumsstörungen (KUNTZE 1994) sowie die Abnahme an pflanzenverfügbarem Wasser sein (BLUME 2004). In der Literatur werden Ergebnisse gezeigt, die aufgrund unterschiedlicher Witterung, Bodentyp und Beweidungsmanagement differieren: PROFFITT et al. (1993) können nach einer dreijährigen Beweidung keine Unterschiede der Dichten feststellen. ZHANG & HORN (1996a) stellen höhere Werte nach einer Beweidung fest, sehen den Grund allerdings nicht direkt im Viehtritt; sie vermuten, dass auf den unbeweideten Parzellen eine wesentlich dichtere Vegetationsdecke vorliegt, dadurch eine Austrocknung verhindert wird und die Lagerungsdichte geringer bleibt. Die beweideten Parzellen unterliegen einer stärkeren Schrumpfung, die eine Verdichtung zur Folge hat. In anderen Untersuchungen erhöht sich die Lagerungsdichte mit

zunehmender Beweidungsintensität; die Zunahmen sind jedoch meist unregelmäßig und haben unterschiedliche Ausmaße (GREENWOOD & MCKENZIE 2001). Die Lagerungsdichte wird meistens nur in der oberen Bodenschicht bis 5 cm (GREENWOOD et al. 1997) bzw. 15 cm (KELLY 1985, DREWRY 2001, XIE & WITTIG 2004) signifikant erhöht. Nach mehrjähriger Beweidung werden bei GREENWOOD et al. (1997) die Differenzen der Dichten zwischen den Beweidungsintensitäten immer kleiner oder, wie DREWRY et al. (1999) berichtet, vollständig aufgehoben; eine Differenz besteht dann nur noch zwischen den unbeweideten und beweideten Parzellen. DREWRY et al. (1999) stufen die Auswirkung des Tritts auf die Lagerungsdichte als unerwartet gering ein und begrenzen den Schaden auf die obere Bodenschicht bis 5 cm. In der vorliegenden Untersuchung konnte keine signifikante Erhöhung der Lagerungsdichte nach den Beweidungen festgestellt werden; dieser Effekt tritt offenbar erst bei wesentlich größeren Belastungen auf.

Der **Eindringwiderstand** ist eine unspezifische und sich ständig ändernde Größe. Abhängigkeiten bestehen zum Porenvolumen, Wassergehalt und Scherwiderstand (HARTGE & HORN 1992). Auf der Rinderweide korreliert der Eindringwiderstand in der Schicht 5-10 cm negativ mit dem Gesamtporenvolumen sowie der Porengröße $> 50 \mu\text{m}$ und positiv mit der Lagerungsdichte, vgl. Tab. 5. In der vorliegenden Untersuchung konnten für den Eindringwiderstand, nicht zuletzt aufgrund der großen Streuung zwischen den Wiederholungen, keine Unterschiede zwischen den Beweidungsterminen festgestellt werden. Auf der pseudovergleyten Parabraunerde im Westerwald liegen die Eindringwiderstände zwischen 1,9 und 2,3 MPa, vgl. Anhangtab. 94, wobei nach HORN et al. (1987) bei Eindringwiderständen von 2,0-4,0 MPa schon geringe Einschränkungen des Wurzelwachstums erfolgen können. Eine Wachstumsstörung aufgrund erhöhter Werte des Eindringwiderstandes ist jedoch nicht zu erwarten, da erst bei Werten $> 4,0 \text{ MPa}$ eine deutliche Hemmung des Wurzelwachstums (HORN et al. 1987) bzw. $> 5,0 \text{ MPa}$ (BLUME 2004) eintritt.

Messungen des **Scherwiderstandes** bestätigen den geringen Einfluss des Weidetieres, wobei nicht nur Termine, sondern auch unterschiedliche Besatzdichten berücksichtigt sind. Beim Versuch "direkter Vergleich Rind/Schaf" liegen selbst in der oberen Schicht 0-10 cm keine signifikanten Unterschiede vor, vgl. Anhangtab. 149-150. Die Winterbeweidung hat hier keinen Einfluss auf den Scherwiderstand. ZHANG & HORN (1996b) stellen nach einer Schafbeweidung im Herbst auf intensiv beweideten Parzellen im Vergleich zu unbeweideten eine höhere Scherfestigkeit fest.

Hierbei beruht die Festigkeitserhöhung offenbar nicht auf einer Zunahme der Lagerungsdichte, sondern hauptsächlich auf die Durchwurzelung bzw. Strukturänderung des Bodens. Ähnliche Resultate liefern Messungen von KELLY (1985) und NIE et al. (2001) zum Eindringwiderstand. Signifikante Unterschiede bestehen nur zu unbeweideten Vergleichsparzellen.

Von den untersuchten bodenphysikalischen Merkmalen (= Grob- und Mittelporenvolumen, Wasser- und Luftleitfähigkeit, Lagerungsdichte sowie Eindring- und Scherwiderstand) hat sich das Grobporenvolumen offenbar als geeignetste Größe zur Beurteilung der Oberflächenverdichtung herauskristallisiert. Während die anderen Merkmale teilweise einer großen Streuung unterliegen, werden bei der Porenvolumenmessung offenbar zuverlässige Werte erzielt. Die Winterweide wirkt sich im Vergleich zur Herbstbeweidung in dieser Untersuchung nicht messbar nachteilig auf den Boden aus. Im November besteht noch eine etwas höhere Verdichtungsgefährdung als Ende Dezember, da zum Jahresende hin die Böden meist durch Frost unempfindlicher gegen Weidetiertritt sind. Unterschiede zwischen den Tierarten können unter ungünstigen Bedingungen auf dem trittempfindlichen Gley festgestellt werden. Hier wirkt sich die höhere Masse des Rindes auf die oberen Bodenschichten negativ aus, während eine Beweidung mit Schafen selbst auf diesen Bodentyp noch möglich ist. Die hier verwendeten hohen Besatzdichten sind bei richtigem Weidemanagement auf der Versuchsfläche noch durchführbar. Wie beim Versuch "direkter Vergleich Rind/Schaf" gezeigt wird, können die bodenphysikalischen Merkmale auf Verdichtungserscheinungen hinweisen. In der Praxis ist die Besatzdichte jedoch weitaus geringer (= Standweide 2 GV ha⁻¹), sodass mit nachhaltigen negativen Auswirkungen auf die Bodenstruktur kaum zu rechnen ist.

6 Zusammenfassung

Die Untersuchungen waren auf die Erfassung von Ertragsleistung, Futterqualität (= Energiedichte, Rohprotein, Ergosterol, ausgewählte Mykotoxine), Narbendichte, N_{\min} -Mengen, bodenphysikalische Merkmale (= Porengrößenverteilung, Luft-Wasserleitfähigkeit, Eindringwiderstand, Lagerungsdichte, Scherwiderstand) und den Oberflächenabfluss ausgerichtet. Es wurde der Einfluss des Termins der Winterbeweidung (= September/Oktober als Standard, November/Dezember, Dezember/Januar), der Besatzdichte (= 14,1 GV ha⁻¹, 34,6 GV ha⁻¹), der Narbe (= *Lolium-Cynosuretum*, *Festuca arundinacea*-Ansaat) für sämtliche Zielgrößen und für die bodenphysikalischen Merkmale zusätzlich der Effekt der Tierart (= Rind, Schaf) zielgrößenabhängig über vier Beobachtungsjahre untersucht. Die Ertragsleistung, Futterqualität, Narbendichte und N_{\min} -Mengen wurden lediglich durch die Beweidung mit Rindern in 470 m ü. NN auf einer pseudovergleyten Parabraunerde, die physikalischen Merkmale darüber hinaus unter Einschluss der Beweidung mit Schafen in 160 m ü. NN auf einem Gley erfasst. Als lateinisches Rechteck mit drei Wiederholungen waren die beiden Versuchskomplexe (= Beweidung mit Rindern, Beweidung mit Schafen) angelegt. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Jahresunabhängig erreichte die *Festuca arundinacea*-Ansaat höhere **TS-Erträge** als die *Lolium-Cynosuretum*-Narben. Der größte Einfluss ging vom Beweidungstermin aus. Allerdings war jahresunabhängig die Interaktion Narbe x Beweidungstermin signifikant, der Ertragsabfall war auf dem *Lolium-Cynosuretum* mit 31 auf 14 dt TS ha⁻¹ wesentlich größer als bei den durch *Festuca arundinacea* dominierten Narben mit 33 auf 22 dt TS ha⁻¹.
2. Der größte Effekt auf die **Energiedichte** ging vom Beweidungstermin aus. In der Mehrzahl der Beobachtungsjahre wiesen die durch *Festuca arundinacea* dominierten Narben die höheren Energiedichten auf, wobei sich allerdings auch hier die Wechselwirkung Narbe x Beweidungstermin als gesichert erwies. Bei den *Lolium-Cynosuretum* nahm die Energiedichte von 9,4 auf 7,0 MJ ME kg⁻¹ TS, auf den *Festuca arundinacea*-Ansaaten von 9,4 auf 7,6 MJ ME kg⁻¹ TS ab.

3. Die **Rohprotein/Energie-Quotienten** waren jahrunabhängig auf den *Lolium-Cynosuareturn*-Varianten mit 16 höher als auf den *Festuca arundinacea*-Ansaaten mit 13. Der Beweidungstermin hatte auf den Quotienten nur einen geringen Einfluss.
4. Auf die **Ergosterol-Konzentration** gingen gesicherte Effekte von dem Beweidungstermin und der Narbe aus, wobei sich in der Mehrzahl der Beobachtungsjahre die Interaktion Narbe x Beweidungstermin als signifikant erwies. Während zum Beweidungstermin Ende September zwischen den Narben kein Unterschied bestand, war die Differenz zum letzten Beweidungstermin mit 52 mg Ergosterol kg⁻¹ TS stets am größten. Bei dem Mykotoxin Zearalenon wurde in 2 % der Messungen die Nachweisgrenze geringfügig überschritten, bei Ochratoxin A war das bei 8 % aller Messungen der Fall.
5. Als höchste gemessene **N_{min}-Menge** sind 87 kg N ha⁻¹ nach der Beweidung Ende September/Anfang Oktober ausgewiesen. Futtermengenbedingt nahmen die N_{min}-Mengen zum Winter hin ab. Der Einfluss der Besatzdichte war nicht relevant. Auf Narbenschäden hatte die Besatzdichte keinen relevanten Effekt.
6. Die Beweidung mit Rindern auf der pseudovergleyten Parabraunerde hatte ebenso wie die Beweidung mit Schafen auf dem Gley keinen Einfluss auf die **Poren > 50 µm**. Ebenso ging auf die **Luft-** und **Wasserleitfähigkeit** kein gesicherter Effekt von der Beweidung im Spätherbst bzw. Winter aus. Dagegen hatte der Weidegang mit Rindern bei einer Besatzdichte von 34,6 GV ha⁻¹ auf dem trittempfindlichen Gley im direkten Vergleich mit Schafen eine signifikante Abnahme der Poren > 50 µm in der Schicht 5-10 cm sowie eine gesicherte Abnahme der Luft- und Wasserleitfähigkeit der Schichten 5-10 cm und 15-20 cm zur Folge.
7. Da lediglich der Versuchskomplex "Beweidung mit Rindern" eine Hangneigung aufwies, wurde nur hier der **Oberflächenabfluss** gemessen. Im Gegensatz zu den Narben ging vom Beweidungstermin kein gesicherter Effekt auf den Oberflächenabfluss aus. Die *Festuca arundinacea*-Narben hatten beweidungsterminunabhängig einen doppelt so hohen Abfluss wie die *Lolium-Cynosuareturn*-Narben.

7 Summary

Validation of winter grazing systems regarding specific effects of beef cattle and general effects of grazing animals on physical soil properties

The research was adjusted to determine the DM yield and forage quality (= concentration of energy, crude protein, ergosterol, selected mycotoxins), sward density, N_{min}-application, physical soil properties (= pore size distribution, air- and hydraulic conductivity, resistance to penetration, bulk density, resistance to shear) and the surface run-off. The influence of the factors date of winter grazing (= September/October as standard, November/December, December/January), stocking rate (= 14.1 GV ha⁻¹, 34.6 GV ha⁻¹), and sward (= *Lolium-Cynosuretum*, *Festuca arundinacea*-seed) were investigated for all analysed features including the physical soil properties. In Addition, the effect of the kind of species (= cattle, sheep) was tested. The duration of the experiments was four years. DM yield, forage quality, sward density, and N_{min}-application were determined at a single location in 470 m above sea level with a stagnic Luvisol grazed with cattles, the physical soil properties were also analysed at a second location grazed by sheep in 160 m above sea level with a glei soil. The trials (= grazing with cattles, grazing with sheep) were established as latin squares with three replications. The results can be summarized as follows:

1. Within all years, sown *Festuca-arundinacea* obtained higher **DM yields** than *Lolium-Cynosuretum*-swards. The biggest influence was the date of winter grazing. However, the interaction sward x date of grazing was significant in all years. The decrease in yield of *Lolium-Cynosuretum*-swards from 31 to 14 dt DM ha⁻¹ was substantial higher than that of the swards dominated with *Festuca-arundinacea*, which fell from 33 to 22 dt DM ha⁻¹.
2. The most important source of variation for **energy-concentration** was date of grazing. In most of the years the swards of *Festuca-arundinacea* higher energy-concentration were evident, but also the interaction sward x date of winter grazing was significant. The energy-concentration on *Lolium-Cynosuretum* decreased from 9.4 to 7.0 MJ ME kg⁻¹ DM and from 9.4 to 7.6 MJ ME kg⁻¹ DM. in *Festuca-arundinacea*-swards.

3. The **crude protein-energy ratio** of 16 in *Lolium-Cynosuretum* swards was independent of the year higher than in sown *Festuca-arundinacea*-swards which averaged a ratio of 13. The date of winter grazing had only small influence on the ratio.
4. The **concentration of ergosterol** was significantly influenced by date of winter grazing and the sward. In most of the years the interaction sward x date of winter grazing was significant as well. The difference at the last grazing date was always the greatest averaging 52 mg Ergosterol kg⁻¹ DM, while there was no difference between the swards when they were grazed end of September. The myxotoxin Zearalenon exceeded marginally the detection limit in 2 % of the cases and that of Ochratoxin A in 8 % of the cases.
5. The highest **N_{min}-amount** was 87 kg N ha⁻¹ after grazing at September/Oktober. During winter the N_{min}-amounts decreased with the amounts of available forage. The stocking rate was not significant, neither on N_{min}-amounts nor on sward damage.
6. Neither winter grazing with cattle on a stagnic luvisol nor winter grazing with sheep on glei soil had an influence on the share of **pores > 50 µm**. Corresponding to this finding, there was no significant effect on **air- and hydraulic conductivity** by grazing in late autumn or in winter. In contrast, in a direct comparison with sheep grazing, cattle grazing with a stocking rate of 34.4 GV ha⁻¹ on a sensitive glei soil caused a significant decrease in the share of pores > 50 µm in the soil layer of 5-10 cm and a significant decrease of the air- and hydraulic conductivity in soil layer of 5-10 cm and 15-20 cm.
7. Since only the trial "grazing with cattle" included a slope inclination, the **surface run-off** was measured only here. In contrast to the factor sward no significant effect on surface run-off was evident for the factor date of winter grazing. The run-off on *Festuca arundinacea*-swards was twice as high than on *Lolium Cynosuretum* swards, which was independent of the grazing date.

8 Literaturverzeichnis

1. ADDISON, B. & P.L. SINGLETON, 1999: Effects of cattle treading on physical properties of three soils used for dairy farming in the Waikato, North Island, New Zealand. – Austral. J. Soil. Res. **37**, 891-902.
2. ALERT, H.J. & U. BAUER, 1985: Futtereinsatz und Anbau von Rohrschwengel (*Festuca arundinacea* Schreb.). – Tierzucht **39**, 126-127.
3. ANONYMUS, 1972: Bestimmung der Versickerungsintensität mit dem Doppelzylinder-Infiltrimeter. – DIN 19682 Blatt **7**, 41-47.
4. ANONYMUS, 1991: Bestimmung von mineralischem (Nitrat-) Stickstoff in Bodenprofilen (N_{\min} -Labormethode). Methodenbuch 1. Die Untersuchungen von Böden. – 4. Aufl. Verl. VDLUFA, Darmstadt, 1-14.
5. ANONYMUS, 1993a: Proctorversuch. DIN 18 127, Erkundung und Untersuchung des Baugrunds. – 6. Aufl. Verl. Beuth GmbH Berlin, Köln, **113**, 269-281.
6. ANONYMUS, 1993b: Methodenbuch, Band III. Die chemische Analyse von Futtermitteln. 3. Ergänzungslieferung. – Verl. VDLUFA Darmstadt.
7. ANONYMUS, 1993c: Jahresbericht. Lehr- und Versuchsanstalt für Grünland und Futterwirtschaft des Landes Brandenburg, Paulinenaue.
8. ANONYMUS, 1997: Methodenbuch Band III. Die chemische Analyse von Futtermitteln. 4. Ergänzungslieferung. – Verl. VDLUFA Darmstadt.
9. ANONYMUS, 2000: SPSS für Windows. Version 9.0.7, SPSS Deutschland, München.
10. ANONYMUS, 2001a: Image-Pro Plus. Version 4.5, Media Cybernetics, Inc., USA.
11. ANONYMUS, 2001b: Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Abschlussbericht IRMA II A1/01: Definition „Sensible Niederschlagsflächen und Bachauen“, IRMA II B1/01: Definition „Schonende Bewirtschaftung“. – URL: http://www.irma-lfw-rp.de/irma2/index_fachbeiträge.htm.
12. ARCHER, K.A. & A.M. DECKER, 1977: Autumn-accumulated tall fescue and orchardgrass. I. Growth and quality as influenced by nitrogen and soil temperatures. – Agron. J. **69**, 605-609.
13. BAATH, H., O. KNABE & P. LEPOM, 1990: Vorkommen von *Fusarium*-Arten und ihren Mykotoxinen auf Silomais. – Arch. Animal Nutr. **40**, 397-405.
14. BAEUMER, K., 1992: Allgemeiner Pflanzenbau. – 3. Aufl. Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 249-325.
15. BAKER, H.K., J.R.A. CHARD & G.P. HUGHES, 1961: The production and utilization of winter grass at various centres in England and Wales, 1954-60. I. Management for herbage production. – J. Brit. Grassl. Soc. **16**, 185-189.
16. BAKER, H.K., J.R.A. CHARD & W.E. HUGHES, 1965: A comparison of cocksfoot and tall fescue dominant swards for out-of-season production. – J. Brit. Grassl. Soc. **20**, 84-94.

17. BAKER, H.K., E.C. PRIGGE & W.B. BRYAN, 1988: Herbage production from hayfields grazed by cattle in fall and spring. – *J. Prod. Agric.* **1**, 275-279.
18. BALASKO, J.A., 1977: Effects of N, P, and K fertilization on yield and quality of tall fescue forage in winter. – *Agron. J.* **69**, 425-428.
19. BANZHAF, K, 2004: Einfluss von Pflanzengesellschaft und Bewirtschaftungsintensität auf Muster und Konzentration ausgewählter Mineralstoffe von Winterweidefutter. – Diss. Gießen.
20. BARTHOLOMEW, H.M., S.L. BOYLES, B. CARTER, E. VOLLBORN, D. MILLER & R.M. SULC, 1997: Experiences of eight Ohio beef and sheep producers with year-round grazing. – *Proc. 18th Intern. Grasl. Congr.*, Saskatoon **29**, 127-128.
21. BAUER, U., 1996: Winterweide hilft Kosten sparen. – *Fleischrinder J.* **3**, 18-20.
22. BAUMANN, U. & B. ZIMMERLI, 1988: Einfache Ochratoxin-A-Bestimmung in Lebensmitteln. – *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **79**, 151-158.
23. BEGON, M., J.L. HARPER & C.R. TOWNSEND, 1991: *Ökologie*. – Verl. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin.
24. BEHRENDT, A., G. SCHALITZ & D. WARNCKE, 2000: Raumzeitliche Nährstoffdynamik auf extensiv genutzten Niedermoorweiden. – Deutscher Grünlandverband e.V., Schriftenreihe Heft **1**, 33-45.
25. BERNHARDT, H., 2005: Mündliche Mitteilungen, Gießen
26. BESTE, A., 2002: Weiterentwicklung und Erprobung der Spatendiagnose als Feldmethode zur Bestimmung ökologisch wichtiger Gefügeeigenschaften landwirtschaftlich genutzter Böden. – Diss. Gießen.
27. BEVEN, K.J. & P.F. GERMANN, 1982: Macropores and water flow in soils. – *Water Resources Res.* **18**, 1311-1325.
28. BLANK, R., J.P. ROLFS, K.H. SÜDEKUM, A. A. FRÖHLICH, R.R. MARQUART & S. WOLFRAM, 2003: Effects of chronic ingestion of Ochratoxin A on blood levels and excretion of the Mycotocin in sheep. – *J. Agric. and Food Chemistry* **51**, 6899-6905.
29. BLUME, H.-P., 2004: Böden als Pflanzenstandorte. In: BLUME, H.-P., 2004: *Handbuch des Bodenschutzes, Bodenökologie und -belastung vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen*. – 3. Aufl. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg/Lech, 93-99.
30. BOEKER, P., 1957: Ganzjähriger Weidegang in Großbritannien durch Winterweide nach dem Foggage- System. – *Landw. Angew. Wiss.* **67**, 85-123.
31. BORSTEL V., U., G. BRIEMLE, H. HOCHBERG, N. KNAUER, J. RIEDER & D. ROTH, 1994: Bewertung ökologischer Leistungen der Grünlandwirtschaft. – Verb. zur Förderung extensiver Grünlandw. e.V., Berlin.
32. BROWN, R.H., R.E. BLASER & J.P. FONTENANT, 1963: Digestibility of fall grown Kentucky 31 fescue. – *Agron. J.* **55**, 321-324.
33. BRYAN, W.B., W.F. WEDIN & R.L. VETTER, 1970: Evaluation of reed canarygrass and tall fescue as spring-summer and fall-saved pasture. – *Agron. J.* **62**, 75-80.

34. BUCZKO, U., O. BENS, E. HANGEN, J. BRUNOTTE & R. HÜTTL, 2003: Infiltration and macroporosity of a silt loam soil under two contrasting tillage systems. – *Landbauforsch. Völkenrode* **53**, 181-190.
35. BUSH, L.P. & P.B. BURRUS JR., 1988: Tall fescue quality and agronomic performance as affected by the endophyte. – *Agron. J.* **65**, 130-132.
36. CAMPINO I., G. HASSELBACH & R. SCHMIDT, 1986: Veränderung einiger chemischer und biologischer Parameter des Bodens sowie der Zusammensetzung der Narbe einer Glatthaferwiese bei unterschiedlicher Nutzungs- bzw. Pflegeintensität – Ergebnisse zehnjähriger Versuchsdurchführung. – *Rasen Turf Gazon* **17**, 7-14.
37. CASLER, M.D., D.J. UNDERSANDER, C. FREDERICKS, D.K. COMBS & J.D. REED, 1998: An on-farm test of perennial forage grass varieties under management intensive grazing. – *J. Prod. Agric.* **11**, 92-99.
38. CARTER, E.D., 1977: Stocking rate and the ecosystem: some soil-plant-animal interrelationships on annual pastures in South Australia. In: *Proceedings of the 13th International Grassland Congress*. – *Verl. Akademie, Berlin*, 348-354.
39. COLLINS, M. & J.A. BALASKO, 1981: Effects of N fertilization and cutting schedules on stockpiled tall fescue. I. Forage yield. – *Agron. J.* **73**, 803-807.
40. CORBETT, J.L., 1957: Studies on the extension of the grazing season. – *J. Brit. Grassl. Soc.* **12**, 81-96.
41. DAHMEN, P., 1989: Auswirkungen der Extensivierung von Grünland auf Massenbildung, Futterqualität und Arteninventar. – *Diss. Bonn*.
42. DAVIES, A. & R.G. SIMONS, 1979: Effect of autumn cutting regime on developmental morphology and spring growth of perennial ryegrass. – *J. Agric. Sci.* **92**, 457-469.
43. DEBLITZ, C., 1994: Die Chancen extensiver tiergebundener Grünlandnutzung als Bewirtschaftungsalternative für Grenzlagen in Ostdeutschland. – *Schriften d. Ges. für Wirtschafts- und Sozialwis. des Landbaues*, 559-572.
44. DEBLITZ, C., C. BORBELY, A.A. CHARRY, F.P. COSTA, Z. V. DAVIER, E., FERNANDEZ, R. GRABNER, A.H. HASHMI, L. IZQUIERDO, P. JAKOBE, J. KLAPKA, K. MAHMOOD, B. OSTOWSKI, K. PARTON, M. PEREIRA, C.H. RAS, E. REYES, J.W. RICHARDSON, P. SARZEAUD, M SWITLYK, K. SZABO, F. THORNE & A. WILCZYNSKI, 2004: Status quo and prospects of beef production world-wide. – *Landbauforsch. Völkenrode* **54**, 237-249.
45. DEBLITZ, C. & M. RUMPF, 1993: Beispiele für eine standortangepasste Mutterkuhhaltung in Ostdeutschland. – *Tierzüchter* **45**, 24-29.
46. DECKER, A. & C. DECKER, 1984: Über den Einfluss von Standortfaktoren und Bewirtschaftung auf die Aktivität der Nitrifikanten von 10 verschiedenen Grünlandböden. – *Angew. Botanik* **58**, 455-464.
47. DREWRY, J.J., J.A.H. LOWE & R.J. PATON, 1999: Effect of sheep stocking intensity on soil physical properties and dry matter production on a Pallic Soil in Southland. – *New Zealand J. of Agric. Res.* **42**, 493-499.

48. DREWRY, J.J., K.C. CAMERON & G.D. BUCHAN, 2001: Effect of simulated dairy cow treading on soil physical properties and ryegrass pasture yield. – New Zealand J. of Agric. Res. **44**, 181-190.
49. DÜRR, H.J., H. PETELKAU & C. SOMMER, 1995: Literaturstudie „Bodenverdichtung“. – Forschungsbericht 107 02 004/09. Umweltbundesamt **55**, 32-43.
50. EBEL, G. & A. MILIMONKA, 1998: Stickstoffflüsse bei Freilandhaltung von Mutterkühen im Winter. – Ber. 42. Jahrestag. AG Grünland u. Futterbau Gießen, 94-97.
51. ELSEBACH, K., 2005: Winterweidesysteme mit Schafen und tierartübergreifende Effekte auf Ertragsanteile und Artenmuster verschiedener Narben – Diss. Gießen.
52. FIEDLER, H. & H. REISSIG, 1964: Lehrbuch der Bodenkunde. – Verl. VEB G. Fischer, Jena.
53. FISCHER, A., 1996: Untersuchungen zur Winterweide mit Rindern auf extensiv genutzten Niedermoorgrünland. – Verband z. Förderung extensiver Grünlandwirtschaft e.V.
54. FISCHER, A. & G. SCHALITZ, 2000: Zweijährige Analysen der Winterweide mit Mutterkühen verschiedener Rassen auf reliefiertem Niedermoor bei Paulinen-*au*e. – Dt. Grünlandverband e.V., Schriftenreihe Heft **1**, 23-32.
55. FRAME, J., 1970: The effect of winter grazing by sheep on spring and early summer pasture production. – J. Brit. Grassl. Soc. **25**, 167-171.
56. FRAUENSTEIN, K., 1971: Pilzliche Krankheitserreger – *Fungi imperfecti*. In MÜHLE, E. (Hrsg.): Krankheiten und Schädlinge der Futtergräser. – Verl. S. Hirzel, Leipzig.
57. FRIBOURG, H.A. & K.W. BELL, 1984: Yield and composition of tall fescue stockpiled for different periods. – Agron. J. **76**, 929-934.
58. GARDNER, A.L. & I.V. HUNT 1955: Winter utilization of cocksfoot. – J. Brit. Grassl. Soc. **10**, 306-316.
59. GERRISH, J.R., P.R. PETERSON, C.A. ROBERTS & J.R. BROWN, 1994: Nitrogen fertilization of stockpiled tall fescue in the midwestern USA. – J. Prod. Agric. **7**, 98-104.
60. GIESLER, L.J., G.Y. YUEN & G. L. HORST, 1996: The microclimate in tall fescue turf as affected by canopy density and its influence on brown patch disease. – Plant Disease **80**, 389-394.
61. GRADWELL, M.W., 1960: Chances in the pore-space of a pasture topsoil under animal treading. – New Zealand J. Agric. Res. **3**, 663-674.
62. GREENWOOD, K.L., D.A. MAC LEOD & K.J. HUTCHINSON, 1997: Long-term stocking rate effects on soil physical properties. – Austral. J. of exp. Agric. **37**, 413-419.
63. GREENWOOD, K.L. & B.M. MCKENZIE, 2001: Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. – Austral. J. of exp. Agric. **41**, 1231-1250.

64. HALL, M.H., P.J. LEVAN, E.H. CASH, H.W. HARPSTER & S.L. FALES, 1998: Fall-grazing management effects on production and persistence of tall fescue, perennial ryegrass, and prairie grass. – J. Prod. Agric. **11**, 487-491.
65. HAND, K.D., 1991: Mittelfristige Auswirkungen einer extensiven Grünlandbewirtschaftung auf Ertrags- und Futterqualitätsparameter sowie den Pflanzenbestand. – Diss. Kiel.
66. HARTGE, K.H., 2002a: Bodengefüge. In: SCHEFFER F. & P. SCHACHTSCHABEL, 2002: Lehrbuch der Bodenkunde. – 15. Aufl. Verl. Ferdinand Enke, Stuttgart, 125-150.
67. HARTGE, K.H., 2002b: Bodenwasser. In: SCHEFFER F. & P. SCHACHTSCHABEL, 2002: Lehrbuch der Bodenkunde. – 15. Aufl. Verl. Ferdinand Enke, Stuttgart, 151-183.
68. HARTGE, K.H. & R. HORN, 1992: Die physikalische Untersuchung von Böden. – 3. Aufl. Verl. Ferdinand Enke, Stuttgart.
69. HARTGE, K.H. & R. HORN, 1999: Einführung in die Bodenphysik. – Verl. Ferdinand Encke, Stuttgart.
70. HARTGE, K.H. & R. HORN, 2002: Gedanken zum derzeitigen Verdichtungszustand von Ackerböden und zur Nachhaltigkeit ihrer Nutzung. – Wasser & Boden **54**, 34-38.
71. HEIKENS, H. B., 1999: Gesundheit und Verhalten von Mutterkühen mit Kälbern in Winterweidehaltung. – Diss. Göttingen.
72. HEJDUK, S. & K. KASPRZAK, 2005: A contribution to proposals of the width of protective grassland strips. – Soil and Water **4**, 1-6.
73. HITZ, A.C. & J.R. RUSSEL, 1998: Potential of stockpiled perennial forages in winter grazing systems for pregnant beef cows. – J. Anim. Sci. **76**, 404-415.
74. HÖLTERSHINKEN, M., K. MAIWORM & H. SCHOLZ, 1996: Mykotoxikosen beim Rind – Probleme auch in Norddeutschland? – Praktische Tierarzt **77**, 9-14.
75. HÖLTERSHINKEN, M., A. HÖHLING, D. BRUNKLAUS, P. HOFFMANN & H. SCHOLZ, 2000: Einfluss von *Epicoccum nigrum* und *Alternaria alternata* auf die Pansenfermentation des Rindes (in vitro). – Proc. 22nd Mykotoxin Workshop, Bonn, Mycotoxin Res. **16**, 187.
76. HOMM, A., 1994: Zur Variabilität der Nitratmengen unter Weidenarben – Diss. Gießen.
77. HONOLD, F. & B. HONOLD, 1991: Ionenselektive Elektroden: Grundlage und Anwendungen in Biologie und Medizin. – Birkenhäuserverlag, Bosh, Boston, Berlin.
78. HORN, R., 1981: Die Bedeutung der Aggregation von Böden für die mechanische Belastbarkeit in dem für Tritt relevanten Auflastbereich und deren Auswirkungen auf physikalische Bodenkenngößen. – Landschaftsentw. und Umweltforsch. **10**, 171-195.
79. HORN, R., 1985: Die Bedeutung der Trittvverdichtung durch Tiere auf physikalische Eigenschaften alpiner Böden. – Z. Kulturtechnik u. Flurbereinigung **26**, 42-51.

80. HORN, R., 1999: Verdichtung von Böden – Überlegungen zur Prozess und zur Prognose der mechanischen Belastbarkeit. – *Wasser & Boden* **51**, 9-13.
81. HORN R., J. STORCK & A.R. DEXTER, 1987: Untersuchungen über den Einfluss des Bodengefüges für den Eindringwiderstand in Böden. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **150**, 342-347.
82. HORN, R. & K.H. HARTGE, 2001: Das Befahren von Ackerflächen als Eingriff in den Bodenwasserhaushalt. – *Wasser & Boden* **53**, 13-19.
83. HORN, R., R. PAUL, C. SIMOTA & H. FLEIGE, 2002: Schutz vor mechanischer Belastung. In: BLUME H.-P., P. FELIX-HENNINGSEN & W.R. FISCHER, 2002: – *Hand. der Bodenk.* **14**, 1-11.
84. HUME, D.E. & J.L. BROCK, 1997: Morphology of tall fescue (*Festuca arundinacea*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*) plants in pastures under sheep and cattle grazing. – *J. Agric. Sci.* **129**, 19-31.
85. HUTH, C, 2004: Analyse der Entwicklung von Körper- und Klauenmaßen sowie der Druckverteilung unter den Klauen bei Jungrindern verschiedener Rassen. – *Diss. Hannover.*
86. JACOB. H., 1987: Nutzung des Dauergrünlandes. In: VOIGTLÄNDER, G & H. JACOB: *Grünlandwirtschaft und Futterbau.* – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 258-327.
87. JAINDL, R.G., S.H. SHARROW & H.H. MEYER, 1991: Effect of winter grazing date on yield components of *Lolium perenne* (L.)/*Trifolium repens* (L.) hill pasture. – *Grass and Forage Sci.* **46**, 351-357.
88. KÄDING, H. & D. HÖLZEL, 2000: Stoffausträge von Weiden nach Lysimeter-simulation. – *Dt. Grünlandverband e.V.*, **1**, 46-58.
89. KALLENBACH, R.L., G.J. BISHOP-HURLEY, M.D. MASSIE, G.E. ROTTINGHAUS & C.P. WEST, 2003: Herbage mass, nutritive value, and ergovaline concentration of stockpiled tall fescue. – *Crop Sci.* **43**, 1001-1005.
90. KELLY, K.B., 1985: Effects of soil modification and treading on pasture growth and physical properties of an irrigated red-brown earth. – *Austral. J. Agric. Res.* **36**, 799-807.
91. KEUREN, R.W. VAN, 1970: All-season pastures for beef cows. – *Ohio Agric. Res. Dev. Center. Research Summary No.* **37**. 27-31.
92. KLAPP, E., 1971: *Wiesen und Weiden.* – 4. Aufl. Verl. Paul Parey, Berlin u. Hamburg.
93. KLAPP, E. & W. OPITZ VON BOBERFELD, 1990: *Taschenbuch der Gräser.* – 12. Aufl. Verl. Paul Parey, Berlin u. Hamburg.
94. KMOCH, H.G. & H. HANUS, 1965: Vereinfachte Methodik und Auswertung der Permeabilitätsmessung des Bodens für Luft. – *Z. Pflanzenern. Bodenkde* **111**, 1-10.
95. KORN, S. VON, 1992: *Schafe in Koppel- und Hütehaltung.* – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.

96. KÖHN, M., 1929: Korngrößenbestimmung vermittels Pipettanalyse. – Tonindustrie-Zeitung **55**, 729-731.
97. KRÄLING, M. 2005: Einfluss der Gerüstsubstanzen auf die *in-vitro*-Verdaulichkeit organischer Substanzen differenziert bewirtschafteter Winterweiden. – Diss. Gießen.
98. KUNTZE, H., 1963: Untersuchung zur Trittfestigkeit von Weideböden. – Kali-Briefe **4**, 1-8.
99. KUNTZE, H., 1994: Physikalische Bodeneigenschaften. In: KUNTZE, H., G. ROESCHMANN & G. SCHWERDTFEGGER, Bodenkunde. – 5. Aufl. Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 144-184.
100. KUTSCHERA L. & E. LICHTENEGGER, 1982: Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen, Band 1: Monocotyledoneae. – Verl. Gustav Fischer, Stuttgart, 215-237.
101. LASER, H., W. OPITZ V. BOBERFELD, K. WÖHLER & D. WOLF, 2003: Effects of the botanical composition and weather conditions on mycotoxins in winter forage from grassland. – Mycotoxin Res. **19**, 87-90.
102. LASER, H., W. OPITZ V. BOBERFELD, K. WÖHLER & D. WOLF, 2004: Incidence of Mycotoxins in Grassland. – Grassl. Sci. Europe **9**, 1014-1016.
103. LAWS, J.A. & J.E. NEWTON, 1987: The effect of stocking rate and grazing management of sheep during winter on liveweight performance and herbage production. – Res. and Develop. Agric. **4**, 141-146.
104. LEASURE, J.K., 1952: The growth pattern of mixtures of orchardgrass and tall fescue with ladino clover in relation to temperature. – Proc. Assoc. South. Agric. Workers. **49**, 177-178.
105. LIETH, H., 1954: Die Porenvolumina der Grünlandböden und ihre Beziehungen zur Bewirtschaftung und zum Pflanzenbestand. – Agron. & Crop Sci. **98**, 453-460.
106. LINDGREN, E. & E.J. LINDBERG, 1988: Influence of cutting time and N fertilization on the nutritive value of timothy. I. Crude protein content, metabolizable energy and energy value determined *in vivo* vs. *in vitro*. – Swedish J. Agric. Res. **18**, 77-83.
107. LINDNER, H., 1967: Die Scherfestigkeit des Bodens und ihre Beziehung zur Textur, Lagerungsdichte, Porengrößenverteilung und Bodenfeuchte. – Albrecht Thaer-Archiv **11**, 1141-1147.
108. LIU, W., E.A. GUERTAL & E. SANTEN, VAN, 1999: Population differentiation, spatial variation and sampling of tall fescue under grazing. – Agron. J. **91**, 801-806.
109. LOCKHART, D.A.S., J.B.D. HERRIOTT, J.M.M. CUNNINGHAM & R.G. HEDDLE, 1969: The effects of winter grazing on subsequent production from pasture. – J. Brit. Grassl. Soc. **24**, 146-150.
110. LULL, H.W., 1959: Soil compaction on forest and range lands. – Forest Serv., United States Department of Agriculture, Washington **768**.

111. MAIDL F.X. & G. FISCHBECK, 1985: Wenn dem Boden die Luft ausgeht. – DLG-Mitt. **23**, 1354-1356.
112. MAIWORM, K., M. HÖLTERSHINKEN & H. SCHOLZ, 1995: Auswirkungen verdorbener Maissilage auf Fermentationsvorgänge im Pansensaft des Rindes (*in-vitro*). – Tierärztl. Umschau **50**, 283-290.
113. MATCHES, A.G., 1979: Management, in: BUCKNER, R. C. & L. P. BUSH (Hrsg.): Tall fescue. – Americ. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, 171-199.
114. MENKE, K.H., 1987: Ernährungsphysiologische Grundlagen. In: MENKE, K.-H. & W. HUSS, 1987: Tierernährung und Futtermittelkunde. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 15-113.
115. MENKE, K. H. & H. STEINGASS, 1987: Schätzung des energetischen Futterwertes aus der *in vitro* mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. 2. Mitteilung: Regressionsgleichungen. – Übers. Tierern. **15**, 59-94.
116. MOTT, N. & G. MÜLLER, 1971: Einfluss der Spätherbst- und Winterbeweidung auf Frühjahrsertrag und Pflanzenbestand. – D. wirtschaftseig. Futter **17**, 24-34.
117. MWENDERA, E.J. & M.A. MOHAMED SALEEM, 1997: Infiltration rates, surface runoff, and soil loss as influenced by grazing pressure in the Ethiopian highlands. – Soils Use and Management **13**, 29-35.
118. NELSON, C.J., 1996: Physiology and development morphology. In: MOSER L.E., D.R. BUXTON & M.D. CASLER, 1996: Cool Season Forage Grasses. – Agronomy, Monograph. **34**, 87-125.
119. NEWTON, J.E. & C. JACKSON, 1985: The effects of management and duration of grazing by sheep during the autumn and winter on subsequent grass production. – J. Agric. Sci. **105**, 199-203.
120. NIE, Z. N., G.N. WARD & A.T. MICHAEL, 2001: Impact of pugging by dairy cows on pastures and indicators of pugging damage to pasture soil in south-western Victoria. – Austral. J. Agric. Res. **52**, 37-43.
121. NOBLE, J.C. & D.J. TONGWAY, 1986: Herbivores in arid and semi-arid rangelands. In Austral. Soils: The human impact. – Univ. of Queensland press, St. Lucia, 243-270.
122. OCUMPAUGH, W.R. & A.G. MATCHES, 1977: Autumn-winter yield and quality of tall fescue. – Agron. J. **69**, 639-643.
123. OPITZ V. BOBERFELD, W., 1976: Einfluss von Stickstoffdüngung, Nutzung und Jahreszeit auf das Porenvolumen von Dauergrünland. – J. Agron. & Crop Sci. **143**, 66-82.
124. OPITZ V. BOBERFELD, W., 1991: Zur Variabilität der Nitratmenge unter Grünlandnarben. – Ergeb. Landw. Forsch. Gießen **20** 95-107.
125. OPITZ V. BOBERFELD, W., 1994a: Grünlandlehre. Biologische und ökologische Grundlagen. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.

126. OPITZ V. BOBERFELD, W., 1994b: Phänotyp und Futterqualität einschließlich Konservierungseigenschaften bei Gräsern. – J. Agron. & Crop Sci. **172**, 289-304.
127. OPITZ V. BOBERFELD, W., 1996: Qualitätsveränderungen einschließlich Mykotoxinproblematik von Primäraufwüchsen einer Glatthaferwiese (*Arrhenatherion elatioris*). – Agribiol. Res. **49**, 52-62.
128. OPITZ V. BOBERFELD, W., 1997: Winteraußenhaltung von Mutterkühen in Abhängigkeit vom Standort unter pflanzenbaulichen Aspekt. – Ber. Landw. **75**, 604-618.
129. OPITZ V. BOBERFELD, W., 2001: Grassland management aspects for year-round outdoor stock keeping of suckler cows. – Grassl. Sci. Poland **4**, 137-147.
130. OPITZ V. BOBERFELD, W., 2004: Ammonium and nitrate accumulations with outdoor stock keeping of suckler cows and beef cattle during winter. – Proc. Production Ecological and Landscape Creation Functions of Grassland Ecosystems and Fodder Crops, Univ. Nitra, 119-123.
131. OPITZ V. BOBERFELD, W. & M. STERZENBACH, 1999: Winteraußenhaltung von Mutterkühen unter den Aspekten Standort, Umwelt und Futterwirtschaft. – Z. Kulturtechnik u. Landentw. **40**, 258-262.
132. OPITZ V. BOBERFELD, W. & D. WOLF, 2002: Zum Effekt pflanzenbaulicher Maßnahmen auf Qualität und Ertrag von Winterfutter „auf dem Halm“. – German J. Agron. **6**, 9-16.
133. OPITZ V. BOBERFELD, W. K. WÖHLER, G. EHRHARDT, M. GAULY, C. URBAN, H. SEUFERT & A. WAGNER, 2002: Nutzungsperspektiven für Grünland peripherer Regionen. – Ber. Landw. **80**, 419-445.
134. OPITZ V. BOBERFELD, M. STERZENBACH & P. DANIEL 2004: Silage quality of Tall Fescue in comparison with other grass species. – Grassl. Sci. Europe **9**, 972-974.
135. OPITZ V. BOBERFELD, K WÖHLER & H. LASER, 2005: Beziehungen zwischen Futterqualität und Pilzbefall von Weidefutter im Herbst und Winter in Abhängigkeit von Pflanzengesellschaft, Witterung und Standort. – Bodenkultur **56**, im Druck.
136. ÖZPINAR, H., G. AUGONYTE & W. DROCHNER, 1999: Inactivation of ochratoxin in ruminal fluid with variation of pH-value and fermentation parameters in an *in-vitro* system. – Environment. Toxic. Pharmac. **7**, 1-9.
137. PETERSEN, A., 1988: Die Gräser als Kulturpflanzen und Unkräuter auf Wiese, Weide und Acker. – Verl. Akademie, Berlin.
138. POGGEMANN, S., 2001: N-Applikation und N₂O-Emissionen von Weideland unter variierenden Bedingungen. – Diss. Gießen.
139. PRAGER, V., 1983: Untersuchungen über den landwirtschaftlichen Nutzwert des Rohrschwingels (*Festuca arundinacea* Schreb.). – Diss. Gießen.
140. PRIGGE, E.C., W.B. BRYAN & E.S. GOLDMAN-INNIS, 1999: Early and late season grazing of orchardgrass and fescue hayfields overseeded with red clover. – Agron. J. **91**, 690-696.

141. PROFFITT, A.P.B., S. BENDOTTI, M.R. HOWELL & J. EASTHAM, 1993: The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brown earth. – *Austral. J. Agric. Res.* **44**, 317-331.
142. PROFFITT, A.P.B., R.J. JARVIS & S. BENDOTTI, 1995: The impact of sheep trampling and stocking rate on the physical properties of Red Duplex Soil with two initially different structures. – *Austral. J. Agric. Res.* **46**, 733-747.
143. RAYBURN, E.B., R.E. BLASER & D.D. WOLF, 1979: Winter tall fescue yield and quality with different accumulation periods and N-rates. – *Agron. J.* **71**, 959-963.
144. RICHARDS, L.A. & H. FIREMAN, 1943: Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. – *Soil Sci.* **56**, 173-180.
145. RIESTERER, J.L., M.D. CASLER, D.J. UNDERSANDER & D.K. COMBS, 2000: Seasonal yield distribution of cool-season grasses following winter defoliation. – *Agron. J.* **92**, 974-980.
146. ROSENBERG, N.J., 1964: Response of plants to the physical effects of soil compaction. – *Adv. Agron.* **16**, 181-196.
147. ROWELL, D.L., 1994: *Bodenkunde, Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen.* – Verl. Springer, Berlin.
148. SAUER, S. & T. HARRACH, 1996: Stickstoffverlagerung unter spätbeweidetem Grünland. – *Z. Pflanzenernähr.und Bodenkde.* **159**, 31-35.
149. SCHACHTSCHABEL, P., 2002: Nährstoffe. In: SCHEFFER F. & P. SCHACHTSCHABEL, 2002: *Lehrbuch der Bodenkunde.* – 15. Aufl., Verl. Ferdinand Enke, Stuttgart, 199-265.
150. SCHAFFER, G., 1960: Eine Methode der Abscherwiderstandsmessung in Ackerböden zur Beurteilung ihrer Strukturfestigkeit im Felde. – *Landw. Forsch.* **13**, 24-32.
151. SCHAFFER, G. 1963: Phänologische Strukturänderungen bei verschiedenen Bodentypen. – *Agron. & Crop Sci.* **118**, 201-214.
152. SCHIFFLER, G.R., 1992: Experimentelle Erfassung und Modellierung der Infiltration stärkerer Niederschläge unter realen Feldbedingungen. – *Mitt. Instituts für Hydrologie u. Wasserwirtschaft Universität Karlsruhe* **40**, IHW, Karlsruhe.
153. SCHLÖSSER, E., 1997: *Allgemeine Phytopathologie.* – 2. Aufl., Verl. Georg Thieme, Stuttgart, New York.
154. SCHNEIDER, K., 1917: Winterweide. – *Mitt. DLG* **32**, 572-576.
155. SCHNUG, E. & S. HANEKLAUS, 2002: Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden – Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden Hochwasserschutz – *Landbauforsch. Völkenrode* **52**, 197-203.
156. SCHOBEL, S., 2005: Infiltrations- und Bodenabflussprozesse in Abhängigkeit von der Landnutzung und dem Substrat in der Trier-Bitburger Mulde. – *Diss. Trier.*
157. SCHOLEFIELD, D. & D.M. HALL, 1985: A method to measure the susceptibility of pasture soils to poaching by cattle. – *Soil Use Manag.* **1**, 134-138.

158. SCHRÖDER, D., 1975: Auswirkungen von Lockerungsmaßnahmen auf das Bodengefüge von Pseudogleyen. – Z. Pflanzenernähr.& Bodenkde. **138**, 197-208.
159. SCHRÖDER, D. & H. SCHNEIDER, 2005: Beste fachliche Praxis zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen. – Getreide Magazin **2**, 144-148.
160. SCHWADORF, K. & H.-M. MÜLLER, 1989: Determination of ergosterol in cereals, feed components, and mixed feed by liquid chromatography. – J. Assoc. Off. Anal. Chem. **72**, 457-462.
161. SEITZ, L. M., H.E. MOHR, R. BURRONGHS & S. SAUER, 1977: Ergosterol as an indicator of fungal invasion in grains. – Cereal Chem. **54**, 1207-1217.
162. SHERWOOD, R.F. & J.F. PEPERDY, 1974: Production of mycotoxin, zearlenone by *Fusarium gramni nearum* growing on stored grain. – J. Sci. Food Agric. **9**, 1081-1093.
163. SOEST, P.J. VAN & L.H.P. JONES, 1968: Effect of silica in forages upon digestibility. – J. Dairy Sci. **51**, 1644-1648.
164. SSEMAKULA, J., 1983: A comparative study of hoof pressures of wild and domestic ungulates. – Afr. J. Ecol. **21**, 325-328.
165. STÄHLIN, A. & H. TIRTAPRADJA, 1974: Ein Vergleich von Rohrschwengel (*Festuca arundinacea* Schreb.) und Wiesenschwengel (*Festuca pratensis* Huds.) in chemischer Hinsicht. – J. Agron. & Crop Sci. **140**, 100-116.
166. SUTTON, W.D. & A.D. PATERSON, 1980: Effects of the plant host on the detergent sensitivity and viability of *Rhizobium* bacteriods. – Planta **148**, 287-292.
167. TAYLOR, T.H. & W.C. Tempelton, 1976: Stockpiling Kentucky bluegrass and tall fescue forage for winter pasture. – Agron. J. **68**, 235-239.
168. THALMANN, A., 1990: Mykotoxine in Getreide. – Angew. Botanik **64**, 167-173.
169. THOMAS, H. & I.B. NORRIS, 1981: The influence of light and temperature during winter on growth and death in simulated swards of *Lolium perenne*. – Grass and Forage Sci. **36**, 107-116.
170. TITZE, A., 1997: Freilandhaltung von Mutterkühen unter Berücksichtigung der Rohrschwengelweide. - Arch. Tierzucht. **40**, 181.
171. VALENTA, H., 1998: Ochratoxin A – Carry over, Bioverfügbarkeit aus nicht extrahierbaren Rückständen und Möglichkeiten zur Dekontamination von Futtermitteln. In: Kurzfassungen Kreisläufe erwünschter und unerwünschter Stoffe - ihre Bedeutung in der Nahrungskette. Info. der Arbeitsgruppe „Carry over unerwünschter Stoffe in Futtermitteln“. Braunschweig, 39-41.
172. VAYLAY, R. & E. SANTEN, VAN, 1999: Grazing induces a patterned selection response in tall fescue. – Crop Sci. **39**, 44-51.
173. VOIGTLÄNDER, G., 1987: Gemeinsame Grundlagen. In: VOIGTLÄNDER, G. & H. JACOB: Grünlandwirtschaft und Futterbau. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 39-50.

174. WACKER, G., 1983: Futterwert von Rohrschwengel und Empfehlungen zu seinem Anbau. – *Feldwirtschaft* **24**, 151-153.
175. WALLBAUM, F., 1996: Tiergerechtigkeit der ganzjährigen Weidehaltung fleischbetonter Mutterkühe am Mittelgebirgsstandort. – Diss. Göttingen.
176. WALTER, H., 1957: Wie kann man den Klimatypus anschaulich darstellen? *Umschau* **24**, 751-754.
177. WEDIN, W.F., I.T. CARLSON & R.L. VETTER, 1966: Studies on nutritive value of fall-saved forage, using rumen fermentation and chemical analyses. – Proc. 10th Intern. Grasl. Congr., Helsinki, 424-428.
178. WHEELER, J.L., 1968: Major problems in winter grazing. – *Herb. Abstr.* **38**, 11-18.
179. WILMAN, D. & P.D. GRIFFITHS, 1978: The effect of winter and early spring grazing by sheep on subsequent sward production. – *J. Agric. Sci.* **90**, 471-477.
180. WILMAN, D. & Y. GAO, 1996: Herbage production and tiller density in five related grasses, their hybrids and mixtures. – *J. Agric. Sci.* **127**, 57-65.
181. WILMAN, D. & P. REZVANI MOGHADDAM, 1998: In vitro digestibility and neutral detergent fibre and lignin contents of plant parts of nine forage species. – *J. Agric. Sci.* **131**, 51-58.
182. WILMAN, D., K.H. DONG. & Z.L. JIN, 1999: Persistence of a range of grasses in a continental climate. – *Expl. Agric.* **35**, 55-62.
183. WOLF, D., 2002: Zum Effekt von Pflanzenbestand, Vornutzung und Nutzungstermin auf Qualität und Masse von Winterweidefutter. – Diss. Gießen.
184. WOLF, D. & W. OPITZ v. BOBERFELD, 2003: Effects of Nitrogen Fertilization and Date of Utilization on the Quality and Yield of Tall Fescue in Winter. – *J. Agron. Crop Sci.* **189**, 47-53.
185. WÖHLER, K., 2003: Zur Qualität und Masse von Winterweidefutter in Abhängigkeit von Standort, Pflanzengesellschaft und Bewirtschaftung. – Diss. Gießen.
186. XIE, Y. & R. WITTIG, 2004: The impact of grazing intensity on soil characteristics of *Stipa grandis* and *Stipa bungeana* steppe in northern China (autonomous region of Ningxia). – *Acta oecol.* **25**, 197-204.
187. ZHANG H.Q. & R. HORN, 1996a: Einfluss der Beweidung auf die physikalischen Eigenschaften einer Salzmarsch im Deichvorland(I): die gesättigte Wasserleitfähigkeit und das Bodengefüge. – *Z. Kulturtechnik und Landentw.* **37**, 24-31.
188. ZHANG H.Q. & R. HORN, 1996b: Einfluss der Beweidung auf die physikalischen Eigenschaften einer Salzmarsch im Deichvorland(II): Bodenfestigkeit. – *Z. Kulturtechnik und Landentw.* **37**, 214-220.
189. ZUBE, P., 1996: Probleme der winterlichen Freilandhaltung von Mutterkühen. Hrsg.: Verband Förderung extensiver Grünlandwirtschaft, Berlin. – Schriftenreihe: Freilandhaltung von Rindern im Winter, 21-28.

9 Anhang

Anhangabbildung

Korngrößenanalysen Westerwald und Linden	1 & 2
Proctordichte Westerwald und Linden	3 & 4
Frühjahrsertrag des Primäraufwuchses in Abhängigkeit von der Lückigkeit.....	5
Oberflächenabfluss.....	6

Anhangtabelle

Standort, Bodenprofilbeschreibung und Gauss-Krüger-Koordinaten der Flächen und bodenchemische Kennwerte.....	1 & 2
Anzahl der Schneetage	3
Ernte- und Beweidungstermine	4 & 5
Ertragsanteile, Artenzahl und Hauptbestandbildner.....	6

Futterqualität *Rinderweide*

TS-Erträge	7-11
Weiderest	12
Energiedichte ME	13-16
Energiedichte NEL.....	18-20
Verdaulichkeit der organischen Substanz	23-27
Rohprotein	28-32
P/E-Quotient	33-37
Ergosterol	38-42
Mykotoxine	43-47
TS-Erträge des Primäraufwuchses	48-52
N-Entzüge.....	53-57
N _{min} -N	58-62
NO ₃ -N.....	63-67
NH ₄ -N	68-72
Lückigkeit.....	73-76

Bodenphysikalische Merkmale *Rinderweide*

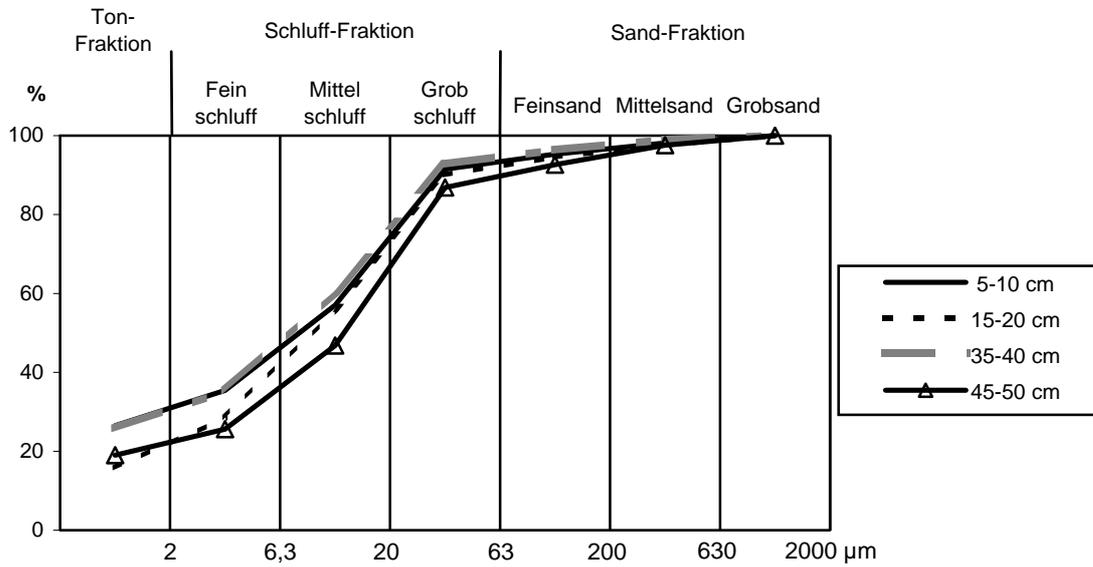
Gesamtporenvolumen	77 & 78
Poren > 50 µm.....	79 & 80
Poren 50-10 µm	81 & 82
Poren 10-0,2 µm.....	83 & 84
Poren < 0,2 µm	85 & 86
Luftleitfähigkeit.....	87-89
Wasserleitfähigkeit	90-92
Eindringwiderstand	93 & 94
Lagerungsdichte	95 & 96
Scherwiderstand.....	97-101
Oberflächenabfluss.....	102 & 103

Versuch Bodenphysikalische Merkmale Schafweide

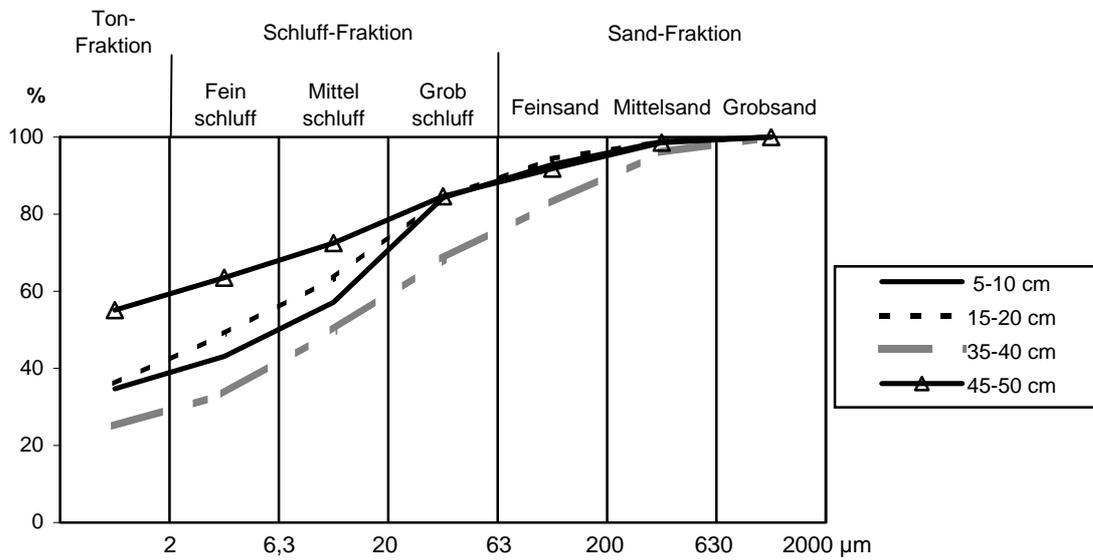
Gesamtporenvolumen	104 & 105
Poren > 50 μm	106 & 107
Poren 50-10 μm	108 & 109
Poren 10-0,2 μm	110 & 111
Poren < 0,2 μm	112 & 113
Luftleitfähigkeit.....	114-116
Wasserleitfähigkeit	117-119
Eindringwiderstand	120 & 121
Lagerungsdichte	122 & 123
Scherwiderstand.....	124-127

Versuch Bodenphysikalische Merkmale direkter Vergleich Rind/Schaf

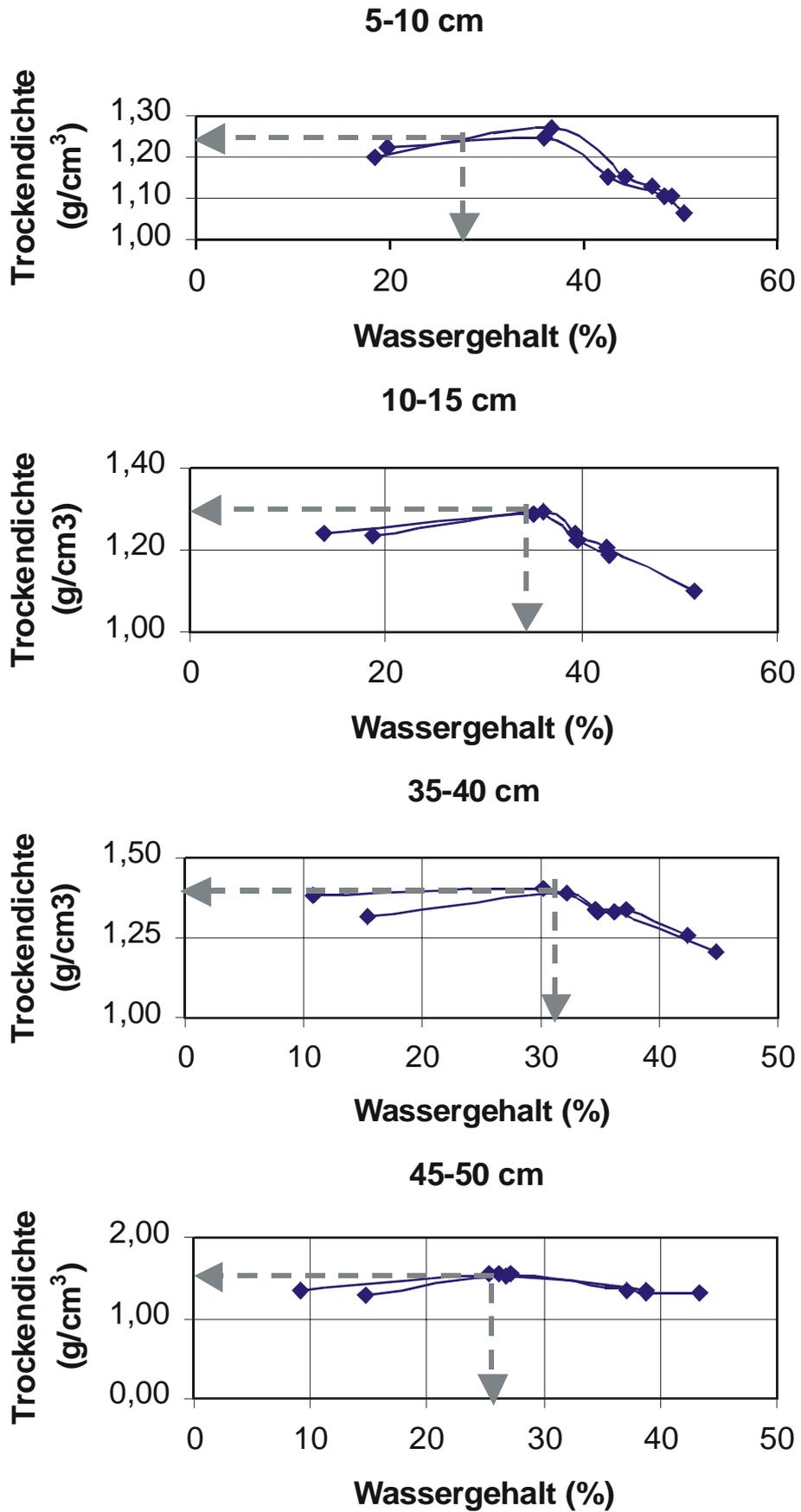
Gesamtporenvolumen	129 & 130
Poren > 50 μm	131 & 132
Poren 50-10 μm	133 & 134
Poren 10-0,2 μm	135 & 136
Poren < 0,2 μm	137 & 138
Luftleitfähigkeit.....	139-141
Wasserleitfähigkeit	142-144
Eindringwiderstand	145 & 146
Lagerungsdichte	147 & 148
Scherwiderstand.....	149 & 150



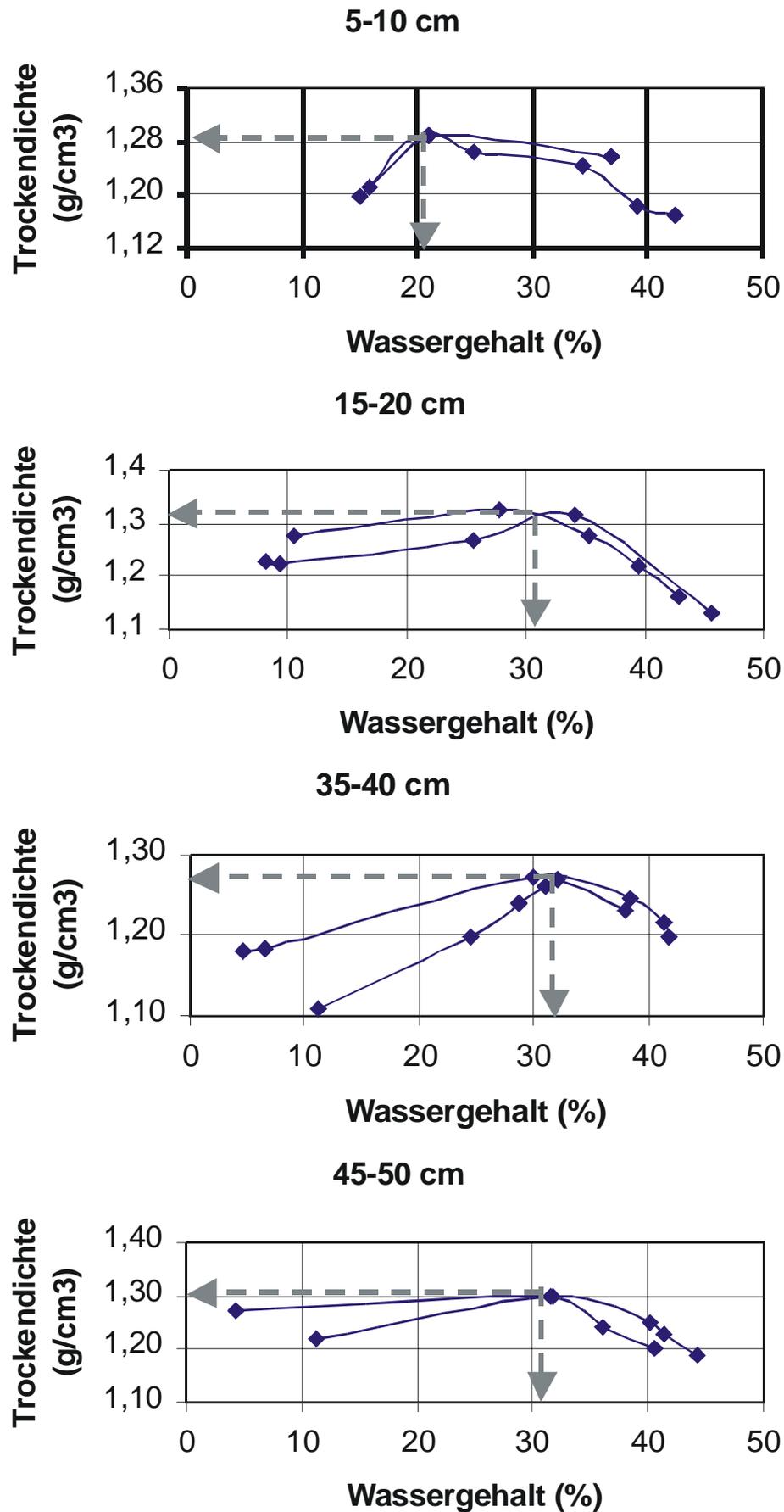
Anhangabb. 1: Korngrößenanalyse Westerwald



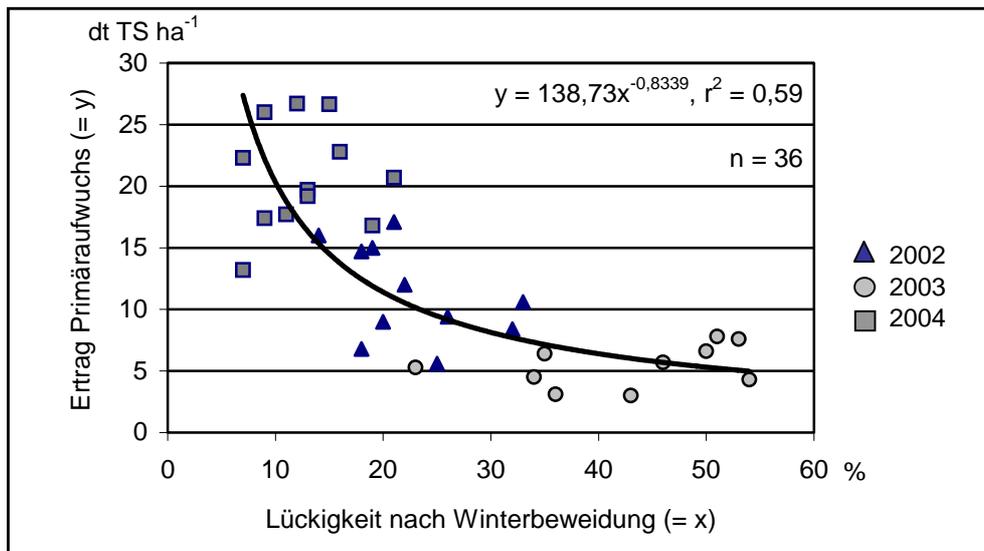
Anhangabb. 2: Korngrößenanalyse Linden



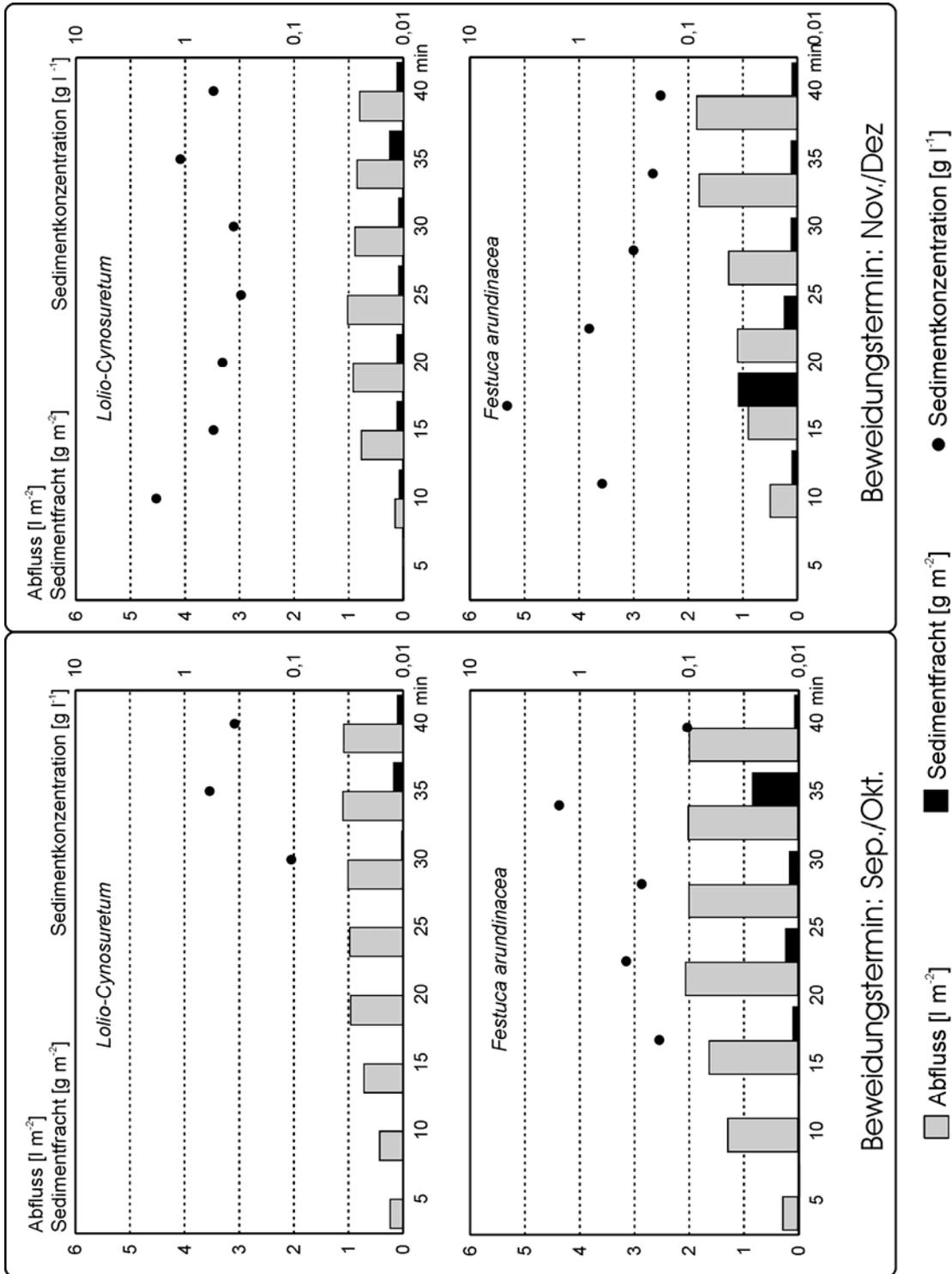
Anhangabb. 3: Proctordichte der vier Bodenschichten Versuchsfläche Westerwald



Anhangabb. 4: Proctordichte der vier Bodenschichten Versuchsfläche Linden



Anhangabb. 5: TS-Ertrag des Primäraufwuchs (= y) in Abhängigkeit von der Lückigkeit nach der Winterbeweidung (= x) von 2002-2004



Anhangabb. 6: Oberflächenabfluss der Rinderweide

Anhangtab. 1: Bodenprofilbeschreibung und Gauss-Krüger-Koordinaten der Flächen Linden und Westerwald

Standort	Bodentyp	Bodenhorizonte	Tiefe cm	Bodenart	Gauss-Krüger (= Eckpunkte)
Westerwald (Rinder) 470 m ü. NN					
Oben (= Block 1)	Rankerbraunerde	Ah	0-24	Lu	1. R: 3421856,8 H: 5622324,8 2. R: 3421612,0 H: 5622384,2
		Bv	24-40	Lu	
		II Cv	40	Lu	
Unten (= Block 2 und 3)	Pseudovergleyte Kolluvisolparabraunerde	Ah	0-8	Ut3	3. R: 3421641,3 H: 5622446,5 4. R: 3421876,7 H: 5622374,4
		M	8-49	Ut3	
		Sw-Al	49-58	Ut4	
		IISd-Al	58-70	Ut4	
Linden (Schafe) 160 m ü. NN					
	Gley	Ah	0-21	Lt2	1. R: 3476613,0 H: 5600485,1 2. R: 3476559,6 H: 5600497,7 3. R: 3476545,0 H: 5600544,4 4. R: 3476603,3 H: 5600440,4
		Go	21-53	Lt2	
		II fAh	53-70	Lts	
		II Gr	70-140	Lts	
		III Cv	140	Tt	

Anhangtab. 2: Bodenchemische Kennwerte im November 2000 der Flächen Linden und Westerwald

	pH-Wert	P ₂ O ₅ [mg 100g ⁻¹ Boden]	K ₂ O [mg 100g ⁻¹ Boden]
Westerwald	5,1	7,1	24,4
Linden	5,7	24,6	15,3

Anhangtab. 3: Anzahl der Tage mit geschlossener Schneedecke von November bis zum Ende der Winterbeweidung auf den Flächen Westerwald, Linden

	2001/2002		2002/2003		2003/2004		2004/2005	
	Westerw.	Linden	Westerw.	Linden	Westerw.	Linden	Westerw.	Linden
November	2	0	0	0	0	0	0	0
Dezember	13	11	3	0	10	0	9	0
Januar	25	18	14	0	20	0	7	2

Anhangtab. 4: Erntetermine der Fläche Westerwald

	Primäraufwuchs	September	November	Dezember
2001	-	26.09.	3.12.	25.01.
2002	07.05.	19.09.	18.11.	6.01.
2003	05.05.	22.09.	19.11.	16.12.
2004	30.04.	16.09.	17.11.	13.12.
2005	06.05.	-	-	-

Anhangtab. 5: Beweidungstermine der Fläche Westerwald

	September	November	Dezember
2001	26.09. – 11.10.	03.12. – 17.12.	25.01. – 08.02.
2002	17.09. – 09.10.	18.11. – 08.12.	06.01. – 23.01.
2003	06.10. – 26.10.	13.11. – 02.12.	19.12. – 14.01.
2004	20.09. – 01.10.	25.11. – 13.12.	15.12. – 14.01.

Anhangtab. 6: Ertragsanteile [%], Artenzahl und Hauptbestandsbildner

	2003		2004		2005	
	<i>Lolio-Cynos.</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Lolio-Cynos.</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Lolio-Cynos.</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
Rinderweide						
Gräser	90	90	82	83	82	84
Leguminosen	+	1	8	5	8	5
sonstige Kräuter	10	9	10	12	10	11
gesamte Artenzahl	36	36	44	45	46	47
Hauptbestandsbildner	<i>Agrostis capillaris</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Agrostis capillaris</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Agrostis capillaris</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
Ertragsanteile des Hauptbestandsbildners	26	72	35	66	29	65
Schafweide						
Gräser	85	94	79	86	77	83
Leguminosen	+	+	1	2	1	2
sonstige Kräuter	15	6	20	12	22	15
gesamte Artenzahl	34	37	38	41	47	47
Hauptbestandsbildner	<i>Lolium perenne</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Lolium perenne</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Lolium perenne</i>	<i>Festuca arundinacea</i>
Ertragsanteile des Hauptbestandsbildners	38	76	38	65	33	66

Anhangtab. 7: Varianztabelle für die TS-Erträge

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	12,413	2	28,896	14,676	7,610
Säule	2	32,566	2	25,351	12,500	49,055
Termin	2	1526,718 **	2	1675,306 **	241,514 **	923,452 **
Besatzdichte	1	31,547	1	5,529	0,484	1,924
Narbe	1	240,767 **	1	581,026 **	218,279 **	1525,271 **
Nachsaat			1	41,763	45,503 *	38,011
T x B	2	3,227	2	11,252	15,070	24,171
T x N	2	97,550 **	2	211,766 **	37,548 *	88,918 *
B x N	1	5,680	1	125,996 *	37,441	16,177
T x B x N	2	0,912	2	7,563	34,125 *	21,497
T x S			2	67,572	98,072 **	78,967 *
B x S			1	0,630	3,431	7,098
T x B x S			2	2,030	6,672	28,629
N x S			1	23,150	3,937	93,228
T x N x S			2	25,937	7,541	28,309
B x N x S			1	6,461	1,344	5,264
T x B x N x S			2	0,333	11,873	56,601
Rest	20	17,952	44	26,894	10,441	23,104
Total	36		72			

Anhangtab. 8: Bruttoertrag [dt TS ha⁻¹] 2001

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	33,3	33,9	19,1	19,0	4,0	6,7	19,3
<i>Festuca arundinacea</i>	32,3	34,1	22,7	25,4	14,6	18,0	24,5
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	32,8	34,0	20,9	22,2	9,3	12,4	21,9
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 6,74							

Anhangtab. 9: Bruttoertrag [dt TS ha⁻¹] 2002

Termin \ Narbe	Termin \ Nachsaat	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$
		mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	Kontrolle	46,9	44,5	29,9	30,9	21,5	19,0	32,1
	Nachsaat	44,4	41,4	29,9	29,3	27,5	22,4	32,5
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		45,7	42,9	29,9	30,1	24,5	20,7	32,3
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	42,3	45,7	34,7	38,0	28,8	30,5	36,7
	Nachsaat	39,3	45,2	41,0	43,9	32,2	34,3	39,3
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		40,8	45,4	37,8	41,0	30,5	32,4	37,2
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$		43,3	44,2	33,8	33,2	27,5	26,5	35,1
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 6,04								

Anhangtab. 10: Bruttoertrag [dt TS ha⁻¹] 2003

Termin \ Narbe	Termin \ Nachsaat	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$
		mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	Kontrolle	19,5	14,0	19,5	19,9	9,0	9,7	15,3
	Nachsaat	16,9	15,6	13,3	15,4	13,9	9,7	14,1
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		18,2	14,8	16,4	17,6	11,4	9,7	14,7
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	16,5	21,7	24,4	24,4	15,3	12,9	19,2
	Nachsaat	12,7	17,5	17,8	20,6	17,5	16,8	17,2
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		14,6	19,6	21,1	22,5	16,4	14,8	18,5
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$		16,4	17,2	18,8	20,1	13,9	12,3	16,4
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 3,76								

Anhangtab. 11: Bruttoertrag [dt TS ha⁻¹] 2004

Termin		Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	31,4	30,5	18,2	14,8	13,9	16,6	20,9
	Nachsaat	30,9	32,1	23,4	17,1	20,6	23,6	24,6
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		31,1	31,3	20,8	16,0	17,3	20,1	22,8
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	33,9	42,3	34,8	34,9	24,7	23,7	32,4
	Nachsaat	39,9	34,0	27,9	30,2	26,7	30,6	31,6
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		36,9	38,1	31,4	32,6	25,7	27,1	32,3
\bar{x} Termin/Besatzdichte		34,0	34,7	26,1	24,3	21,5	23,6	27,4
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 5,59								

Anhangtab. 12: Weiderest [dt TS ha⁻¹] 2002-2004 des Beweidungstermins Dez./Jan.

			2002		2003		2004	
			\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	mittlere Besatz- dichte	Kontrolle	8,2	3,5	2,6	0,6	2,9	1,0
		Nachsaat	7,8	1,8	2,9	1,3	3,5	0,8
	hohe Besatz- dichte	Kontrolle	3,4	1,9	--	--	4,6	3,3
		Nachsaat	3,9	0,8	--	--	5,2	4,5
<i>Festuca arundinacea</i>	mittlere Besatz- dichte	Kontrolle	12,9	5,8	2,8	0,6	3,0	1,1
		Nachsaat	12,9	5,3	1,4	1,4	2,8	1,1
	hohe Besatz- dichte	Kontrolle	9,7	5,5	--	--	2,1	0,3
		Nachsaat	9,7	4,2	--	--	2,1	0,4

Anhangtab. 13: Varianztabelle für die Energiedichte (= ME)

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	0,060	2	0,052	0,034	0,028
Säule	2	0,465	2	1,005 **	0,099	0,062
Termin	2	44,744 **	2	13,349 **	11,467 **	24,890 **
Besatzdichte	1	0,007	1	0,006	0,270 *	0,135
Narbe	1	1,247 **	1	4,686 **	2,912 **	0,062
Nachsaat			1	0,028	0,073	0,001
T x B	2	0,112	2	0,176	0,226 **	0,068
T x N	2	0,784 **	2	0,801 **	0,352 **	0,369
B x N	1	0,080	1	0,001	0,132	0,006
T x B x N	2	0,005	2	0,067	0,023	0,509
T x S			2	0,030	0,091	0,379
B x S			1	0,278	0,180 *	0,027
T x B x S			2	0,020	0,222 **	0,104
N x S			1	0,108	0,088	0,033
T x N x S			2	0,120	0,466 *	0,128
B x N x S			1	0,286	0,260 *	0,053
T x B x N x S			2	0,001	0,136 *	0,180
Rest	20	0,133	44	0,073	0,040	0,262
Total	36		72			

Anhangtab. 14: Energiedichte [MJ ME kg⁻¹ TS] 2001

Termin	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	9,4	9,2	8,0	7,8	5,2	5,4	7,5
<i>Festuca arundinacea</i>	9,1	9,2	8,8	8,7	5,6	5,9	7,9
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	9,2	9,2	8,4	8,3	5,4	5,6	7,7
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 0,62							

Anhangtab. 15: Energiedichte [MJ ME kg⁻¹ TS] 2002

Termin	Nachsaat	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$
		mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	9,3	9,0	7,8	7,7	7,6	7,2	8,1
	Nachsaat	8,9	9,1	7,7	8,0	7,0	7,2	8,0
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		9,1	9,0	7,8	7,8	7,3	7,2	8,0
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	9,1	9,1	8,3	8,6	8,1	7,8	8,5
	Nachsaat	9,2	9,2	8,3	8,5	8,2	8,0	8,6
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		9,1	9,1	8,3	8,6	8,2	7,9	8,5
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$		9,1	9,1	8,1	8,2	7,8	7,6	8,3
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 0,40								

Anhangtab. 16: Energiedichte [MJ ME kg⁻¹ TS] 2003

		Termin		Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere	hohe	mittlere	hohe	mittlere	hohe	mittlere	hohe	
		Besatzdichte		Besatzdichte		Besatzdichte		Besatzdichte		
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	9,5	9,6	7,9	8,1	7,5	8,4			8,5
	Nachsaat	9,4	9,2	8,3	8,6	7,9	7,8			8,5
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		9,5	9,4	8,1	8,4	7,7	8,1			8,5
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	9,6	9,3	8,8	8,9	8,1	8,4			8,9
	Nachsaat	9,6	9,7	8,8	8,8	8,5	8,6			9,0
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		9,6	9,5	8,8	8,8	8,3	8,5			8,9
\bar{x} Termin/Besatzdichte		9,5	9,4	8,4	8,6	8,0	8,3			8,7
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 0,23										

Anhangtab. 17: Energiedichte [MJ ME kg⁻¹ TS] 2004

		Termin		Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere	hohe	mittlere	hohe	mittlere	hohe	mittlere	hohe	
		Besatzdichte		Besatzdichte		Besatzdichte		Besatzdichte		
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	9,9	9,8	8,7	8,9	7,5	7,9			8,8
	Nachsaat	10,2	9,8	8,4	9,1	7,8	7,6			8,8
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		10,0	9,8	8,5	9,0	7,6	7,7			8,8
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	9,6	9,7	8,8	8,6	8,1	8,3			8,9
	Nachsaat	9,9	10,2	8,7	8,5	7,7	7,9			8,8
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		9,8	10,0	8,7	8,5	7,9	8,1			8,9
\bar{x} Termin/Besatzdichte		9,9	9,9	8,6	8,8	7,8	7,9			8,8
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 0,60										

Anhangtab. 18: Varianztabelle für die Energiedichte (= NEL)

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	0,033	2	0,027	0,007	0,016
Säule	2	0,191	2	0,507 **	0,026	0,029
Termin	2	22,103 **	2	6,461 **	5,453 **	11,796 **
Besatzdichte	1	0,004	1	0,003	0,093 *	0,067
Narbe	1	0,588 **	1	2,387 **	1,675 **	0,049
Nachsaat			1	0,013	0,017	0,001
T x B	2	0,075	2	0,086	0,115 **	0,031
T x N	2	0,462 **	2	0,403 **	0,220 **	0,176
B x N	1	0,054	1	0,001	0,040	0,004
T x B x N	2	0,004	2	0,032	0,004	0,243
T x S			2	0,014	0,032	0,176
B x S			1	0,134	0,126 *	0,012
T x B x S			2	0,010	0,096 **	0,049
N x S			1	0,053	0,070	0,019
T x N x S			2	0,058	0,177 **	0,064
B x N x S			1	0,137	0,159 **	0,023
T x B x N x S			2	0,001	0,041	0,085
Rest	20	0,067	44	0,036	0,018	0,129
Total	36		72			

Anhangtab. 19: Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TS] 2001

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	5,6	5,5	4,6	4,4	2,6	2,8	4,2
<i>Festuca arundinacea</i>	5,3	5,4	5,2	5,1	2,9	3,1	4,5
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	5,4	5,5	4,9	4,8	2,8	2,9	4,4
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 0,44							

Anhangtab. 20: Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TS] 2002

Termin \ Narbe	Termin	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$
		mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	Kontrolle	5,5	5,3	4,5	4,4	4,3	4,0	4,7
	Nachsaat	5,2	5,4	4,4	4,6	3,9	4,0	4,6
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		5,4	5,3	4,4	4,5	4,1	4,0	4,6
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	5,4	5,4	4,8	5,0	4,7	4,5	5,0
	Nachsaat	5,4	5,4	4,8	5,0	4,8	4,6	5,0
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		5,4	5,4	4,8	5,0	4,7	4,5	5,0
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$		5,4	5,4	4,6	4,7	4,4	4,3	4,8
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 0,28								

Anhangtab. 21: Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TS] 2003

Termin \ Narbe	Termin	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$
		mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	Kontrolle	5,7	5,7	4,5	4,7	4,2	4,9	5,0
	Nachsaat	5,5	5,4	4,8	4,9	4,5	4,4	4,9
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		5,6	5,6	4,6	4,8	4,4	4,7	4,9
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	5,7	5,5	5,2	5,2	4,7	4,9	5,2
	Nachsaat	5,7	5,8	5,2	5,2	5,0	5,1	5,3
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		5,7	5,6	5,2	5,2	4,8	5,0	5,2
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$		5,7	5,6	4,9	5,0	4,6	4,8	5,1
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 0,15								

Anhangtab. 22: Energiedichte [MJ NEL kg⁻¹ TS] 2004

	Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	\bar{x} Nachsaat/ Narbe
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	5,9	5,8	5,1	5,2	4,2	4,5	5,1
	Nachsaat	6,1	5,8	4,9	5,4	4,5	4,3	5,2
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		6,0	5,8	5,0	5,3	4,4	4,4	5,1
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	5,7	5,8	5,1	5,0	4,7	4,8	5,2
	Nachsaat	5,9	6,1	5,1	4,9	4,4	4,6	5,2
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		5,8	6,0	5,1	5,0	4,6	4,7	5,2
\bar{x} Termin/Besatzdichte		5,9	5,9	5,0	5,2	4,5	4,6	5,2
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 0,42								

Anhangtab. 23: Varianztabelle für die Verdaulichkeit der organischen Substanz

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	2,306	2	4,856	6,357	0,448
Säule	2	8,575	2	22,659 **	3,694	4,976
Termin	2	874,106 **	2	388,801	350,447 **	831,211 **
Besatzdichte	1	1,464	1	7,692	8,913	7,480
Narbe	1	85,358 **	1	121,637 **	63,345 **	0,018
Nachsaat			1	5,993	5,208	6,481
T x B	2	8,336	2	9,017	5,440	4,116
T x N	2	40,671 **	2	22,002 **	39,385 **	0,864
B x N	1	5,948	1	3,257	0,866	3,704
T x B x N	2	0,582	2	0,935	1,399	15,931 *
T x S			2	3,682	11,185 *	22,594 **
B x S			1	14,633 *	2,036	35,418 **
T x B x S			2	5,554	4,313	18,124 *
N x S			1	15,460	0,896	1,922
T x N x S			2	6,670	12,483 *	6,945
B x N x S			1	12,836 *	3,529	1,026
T x B x N x S			2	3,517	2,067	2,800
Rest	20	3,134	44	2,204	2,573	4,022
Total	36		72			

Anhangtab. 24: Verdaulichkeit der organischen Substanz [%] 2001

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Narbe
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	70,8	65,7	60,6	60,6	51,3	51,1	60,0
<i>Festuca arundinacea</i>	65,5	66,1	64,0	63,2	52,5	53,1	60,7
\bar{x} Termin/ Besatzdichte	68,2	65,9	62,3	61,9	51,9	52,1	60,4
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 1,30							

Anhangtab. 25: Verdaulichkeit der organischen Substanz [%] 2002

Termin		Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	66,1	64,8	58,2	57,2	60,7	54,6	60,3
	Nachsaat	64,2	65,4	57,7	57,3	53,4	54,7	58,8
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		65,2	65,1	58,0	57,2	57,1	54,6	59,5
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	65,4	65,5	60,9	61,9	60,0	58,0	61,9
	Nachsaat	65,6	65,6	61,1	62,1	60,4	59,0	62,3
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		65,5	65,6	61,0	62,0	60,2	58,5	62,1
\bar{x} Termin/Besatzdichte		65,3	65,3	59,5	59,6	58,6	56,6	60,8
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 1,73								

Anhangtab. 26: Verdaulichkeit der organischen Substanz [%] 2003

Termin		Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	68,4	68,6	58,5	60,0	56,2	59,6	61,9
	Nachsaat	67,1	66,3	62,2	62,7	57,1	57,8	62,2
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		67,7	67,5	60,4	61,3	56,6	58,7	62,0
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	67,2	65,9	63,6	63,9	59,2	61,5	63,5
	Nachsaat	65,5	67,5	64,6	63,6	61,9	62,6	64,3
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		66,4	66,7	64,1	63,7	60,5	62,0	63,9
\bar{x} Termin/Besatzdichte		67,0	67,1	62,2	62,5	58,6	60,4	63,0
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 2,64								

Anhangtab. 27: Verdaulichkeit der organischen Substanz [%] 2004

Termin		Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	70,1	69,7	60,6	64,7	56,6	61,1	63,8
	Nachsaat	71,5	69,7	61,5	62,9	58,4	57,0	63,5
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		70,8	69,7	61,0	63,8	57,5	59,1	63,6
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	68,6	69,4	63,6	61,5	58,0	63,4	64,1
	Nachsaat	70,2	71,0	63,0	61,7	57,7	55,3	63,1
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		69,4	70,2	63,3	61,6	57,9	59,3	63,6
\bar{x} Termin/Besatzdichte		70,1	70,0	62,2	62,7	57,7	59,2	63,6
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 3,30								

Anhangtab. 28: Varianztabelle für die Rohprotein-Konzentration

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	3,468 *	2	0,067	0,234	1,779
Säule	2	1,140	2	0,045	0,465 *	3,689
Termin	2	16,405 *	2	31,745 *	87,303 **	246,346 **
Besatzdichte	1	0,329	1	1,051	2,269 *	1,267
Narbe	1	3,648	1	38,419 *	137,941 **	186,789 **
Nachsaat			1	0,008	0,332	0,771
T x B	2	1,415	2	1,628 *	1,853 *	2,845
T x N	2	19,287 *	2	0,506	0,723 *	2,664
B x N	1	0,012	1	0,003	3,650 **	0,289
T x B x N	2	1,000	2	0,026	0,043	0,959
T x S			2	0,093	0,324 *	1,786
B x S			1	0,660	1,011	0,374
T x B x S			2	0,358	0,769 *	2,135
N x S			1	0,002	0,064 *	4,144
T x N x S			2	0,334	1,953 *	1,669
B x N x S			1	0,901	0,074	0,296
T x B x N x S			2	0,096	0,410	1,808
Rest	20	0,919	44	0,313	0,676	3,014
Total	36		72			

Anhangtab. 29: Rohproteinkonzentration [% i. d. TS] 2001

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	14,4	14,0	15,7	14,6	14,1	15,0	14,6
<i>Festuca arundinacea</i>	18,0	17,0	15,5	15,7	12,6	12,9	15,3
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	16,2	15,5	15,6	15,1	13,3	13,9	15,0
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 1,70							

Anhangtab. 30: Rohproteinkonzentration [% i. d. TS] 2002

Termin \ Narbe	Termin \ Nachsaat	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$
		mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	Kontrolle	10,8	11,1	10,2	8,9	9,8	8,8	9,9
	Nachsaat	11,0	11,3	9,6	9,9	9,0	8,8	9,9
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		10,9	11,2	9,9	9,4	9,4	8,8	9,9
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	9,7	10,3	8,3	7,7	7,8	7,2	8,5
	Nachsaat	9,7	10,0	8,1	7,8	8,0	7,2	8,5
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		9,7	10,2	8,2	7,8	7,9	7,2	8,5
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$		10,3	10,7	10,5	8,6	10,4	9,6	9,2
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 0,65								

Anhangtab. 31: Rohproteinkonzentration [% i. d. TS] 2003

	Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	\bar{x} Nachsaat/ Narbe
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	14,9	15,6	11,5	11,6	11,3	11,9	12,8
	Nachsaat	13,1	15,4	11,6	12,1	11,4	11,9	12,6
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		14,0	15,5	11,5	11,9	11,3	11,9	12,7
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	12,0	12,3	9,8	8,8	8,4	8,4	10,0
	Nachsaat	12,1	12,7	8,6	8,7	8,9	8,3	9,9
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		12,1	12,5	9,2	8,7	8,6	8,4	9,9
\bar{x} Termin/Besatzdichte		13,0	14,0	10,4	10,3	10,0	10,1	11,3
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 0,96								

Anhangtab. 32: Rohproteinkonzentration [% i. d. TS] 2004

	Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	\bar{x} Nachsaat/ Narbe
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	17,2	16,4	12,2	12,6	10,2	12,5	13,5
	Nachsaat	17,6	16,8	10,7	12,6	10,1	9,3	12,8
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		17,4	16,6	11,4	12,6	10,1	10,9	13,2
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	13,4	13,3	8,0	8,2	7,9	8,2	9,8
	Nachsaat	13,7	13,4	8,4	8,8	8,0	8,3	10,1
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		13,6	13,4	8,2	8,5	7,9	8,2	10,0
\bar{x} Termin/Besatzdichte		15,5	15,0	9,8	10,6	9,0	9,6	11,6
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 2,02								

Anhangtab. 33: Varianztabelle für die Rohprotein/Energie-Quotienten

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	4,989 *	2	0,061	0,413	1,900
Säule	2	2,522	2	1,489	3,239	2,834
Termin	2	197,701 **	2	2,846 *	30,682 **	105,103 **
Besatzdichte	1	0,855	1	1,996	0,630	1,140
Narbe	1	7,484 *	1	115,481 **	250,201 **	245,303 **
Nachsaat			1	0,001	1,174	1,692
T x B	2	0,661	2	2,657 *	4,384	1,805
T x N	2	63,034 **	2	6,167 **	7,357 *	0,433
B x N	1	0,502	1	0,052	3,280	0,298
T x B x N	2	2,175	2	0,035	0,401	0,134
T x S			2	0,089	0,062	0,930
B x S			1	0,164	3,629	0,184
T x B x S			2	0,813	0,096	1,623
N x S			1	0,150	0,033	7,951
T x N x S			2	0,260	1,185	4,105
B x N x S			1	0,276	0,442	0,149
T x B x N x S			2	0,239	1,686	1,522
Rest	20	1,126	44	0,805	1,474	3,466
Total	36		72			

Anhangtab. 34: P/E-Quotient 2001

Termin Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	15,4	15,2	19,7	18,7	26,9	27,9	20,6
<i>Festuca arundinacea</i>	19,9	18,5	17,6	18,1	22,6	21,8	19,7
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	17,6	16,8	18,6	18,4	24,8	24,9	20,2
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 1,81							

Anhangtab. 35: P/E-Quotient 2002

Termin Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	12,1	12,4	12,8	12,0	13,0	12,2	12,4
<i>Festuca arundinacea</i>	10,6	11,1	9,9	9,1	9,6	9,1	9,9
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	11,3	11,8	11,3	10,5	11,3	10,7	11,2
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 1,05							

Anhangtab. 36: P/E-Quotient 2003

Termin Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	14,6	16,5	13,8	14,0	15,9	15,7	15,1
<i>Festuca arundinacea</i>	12,7	13,2	10,4	10,6	11,3	10,6	11,5
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	13,7	14,8	12,1	12,3	13,6	13,2	13,3
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 1,41							

Anhangtab. 37: P/E-Quotient 2004

Termin Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	17,3	17,0	13,3	14,0	13,3	14,1	14,8
<i>Festuca arundinacea</i>	13,9	13,5	9,4	9,9	10,0	10,3	11,2
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	15,6	15,3	11,4	12,0	11,7	12,2	13,0
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 2,16							

Anhangtab. 38: Varianztabelle für die Ergosterol-Konzentration

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	517,750	2	1189,296	29,816	571,584
Säule	2	602,583	2	239,110	82,747	1031,334
Termin	2	211236,750 **	2	49765,607 **	11241,479 **	28586,542 **
Besatzdichte	1	225,000	1	215,256	12,941	141,681
Narbe	1	49432,111 **	1	34382,263 **	18523,554 **	3683,681 **
Nachsaat			1	200,400	2,481	62,347
T x B	2	1853,083	2	56,907	198,669	19,014
T x N	2	10113,361 **	2	3955,183 *	2596,457 **	1426,431
B x N	1	40,111	1	9865,296 **	110,438	806,681
T x B x N	2	1513,028	2	1958,157	310,853	537,514
T x S			2	1464,492	678,358 *	314,847
B x S			1	9730,117 **	18,434	1634,014
T x B x S			2	2781,161	360,293	421,431
N x S			1	4433,489 *	91,560	238,347
T x N x S			2	1269,054	96,329	640,681
B x N x S			1	449,453	7,638	245,681
T x B x N x S			2	1921,642	264,45	907,764
Rest	20	717,133	44	952,453	136,655	502,934
Total	36		72			

Anhangtab. 39: Ergosterol-Konzentration [mg kg⁻¹ TS] 2001

Termin	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	58	46	207	167	337	379	199
<i>Festuca arundinacea</i>	61	28	69	76	255	259	125
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	59	37	138	122	296	319	162
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 45,6							

Anhangtab. 40: Ergosterol-Konzentration [mg kg⁻¹ TS] 2002

Termin	Nachsaat	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$
		mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	38	37	156	110	210	114	111
	Nachsaat	43	44	122	123	117	140	98
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		41	40	139	116	164	127	105
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	14	29	50	25	77	112	51
	Nachsaat	24	30	48	118	71	130	70
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		19	30	49	72	74	121	61
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$		30	35	94	94	119	124	83
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 36,0								

Anhangtab. 41: Ergosterol-Konzentration [mg kg^{-1} TS] 2003

		Termin		Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte			
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	40	32	83	57	80	105	66		
	Nachsaat	38	44	58	56	109	104	68		
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		39	38	71	57	94	105	67		
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	23	34	30	29	52	51	36		
	Nachsaat	28	36	15	20	53	51	34		
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		26	35	23	25	52	51	35		
\bar{x} Termin/Besatzdichte		32	36	47	41	73	78	51		
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 13,6										

Anhangtab. 42: Ergosterol-Konzentration [mg kg^{-1} TS] 2004

		Termin		Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte			
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	37	27	111	62	114	123	79		
	Nachsaat	32	46	87	106	99	94	77		
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		35	37	99	84	107	108	78		
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	33	28	49	67	95	93	61		
	Nachsaat	32	39	50	72	94	112	67		
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		33	34	50	69	95	103	64		
\bar{x} Termin/Besatzdichte		33	35	74	77	101	106	71		
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 26,1										

Anhangtab. 43: Ochratoxin A und Zearalenon [mg kg^{-1} TS] des Beweidungstermins Ende Dezember in 2001

		<i>Lolio-Cynosuretum</i>		<i>Festuca arundinacea</i>	
	Narbe	Zearalenon	Ochratoxin A	Zearalenon	Ochratoxin A
mittlere Besatzdichte	Wdh.				
	1	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	2	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
hohe Besatzdichte	1	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	2	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	3	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
u.B.= unterhalb der Bestimmungsgrenze (< 0,005 mg Zearalenon kg^{-1} TS; < 0,0005 mg Ochratoxin A kg^{-1} TS)					

Anhangtab. 44: Ochratoxin A und Zearalenon [mg kg⁻¹ TS] des Beweidungstermins Ende Dezember in 2002

	Narbe Wdh.	<i>Lolio-Cynosuretum</i>		<i>Festuca arundinacea</i>	
		Zearalenon	Ochratoxin A	Zearalenon	Ochratoxin A
mittlere Besatzdichte	1	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	2	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	3	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
hohe Besatzdichte	1	u.B.	u.B.	0,09	u.B.
	2	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	3	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.

u.B. = unterhalb der Bestimmungsgrenze (< 0,01 mg Zearalenon kg⁻¹ TS; < 0,0005 mg Ochratoxin A kg⁻¹ TS)

Anhangtab. 45: Ochratoxin A und Zearalenon [mg kg⁻¹ TS] des Beweidungstermins Ende Dezember in 2003

	Narbe Wdh.	<i>Lolio-Cynosuretum</i>		<i>Festuca arundinacea</i>	
		Zearalenon	Ochratoxin A	Zearalenon	Ochratoxin A
mittlere Besatzdichte	1	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	2	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	3	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
hohe Besatzdichte	1	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	2	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	3	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.

u.B. = unterhalb der Bestimmungsgrenze (< 0,01 mg Zearalenon kg⁻¹ TS; < 0,0005 mg Ochratoxin A kg⁻¹ TS)

Anhangtab. 46: Ochratoxin A und Zearalenon [mg kg⁻¹ TS] des Beweidungstermins Ende Dezember in 2004 **ohne Nachsaat**

	Narbe Wdh.	<i>Lolio-Cynosuretum</i>		<i>Festuca arundinacea</i>	
		Zearalenon	Ochratoxin A	Zearalenon	Ochratoxin A
mittlere Besatzdichte	1	u.B.	0,0046	u.B.	0,0005
	2	u.B.	0,0026	u.B.	u.B.
	3	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
hohe Besatzdichte	1	u.B.	0,0011	u.B.	u.B.
	2	u.B.	u.B.	u.B.	0,0007
	3	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.

u.B. = unterhalb der Bestimmungsgrenze (< 0,01 mg Zearalenon kg⁻¹ TS; < 0,0005 mg Ochratoxin A kg⁻¹ TS)

Anhangtab. 47: Ochratoxin A und Zearalenon [mg kg^{-1} TS] des Beweidungstermins Ende Dezember in 2004 mit Nachsaat

	Narbe	<i>Lolio-Cynosuretum</i>		<i>Festuca arundinacea</i>	
		Zearalenon	Ochratoxin A	Zearalenon	Ochratoxin A
mittlere Besatzdichte	Wdh. 1	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	2	u.B.	0,0009	u.B.	u.B.
	3	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
hohe Besatzdichte	1	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	2	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
	3	u.B.	u.B.	u.B.	0,21

u.B. = unterhalb der Bestimmungsgrenze ($< 0,01 \text{ mg Zearalenon kg}^{-1} \text{ TS}$; $< 0,0005 \text{ mg Ochratoxin A kg}^{-1} \text{ TS}$)

Anhangtab. 48: Varianztabelle für die TS-Erträge des Primäraufwuchses

Varianzursache	FG	2002 MQ/F-Test	FG	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test	2005 MQ/F-Test
Block	2	5,781	2	6,135	1,251	61,367 **
Säule	2	7,422	2	0,667	1,473	28,270
Termin	2	93,473 **	2	145,342 **	22,008 **	11,854
Besatzdichte	1	6,142	1	63,532 **	2,497	222,365 **
Narbe	1	7,964	1	649,460 **	135,704 **	486,991 **
Nachsaat			1	15,968	110,803 **	190,180 **
T x B	2	56,740 **	2	1,226	4,866	31,530
T x N	2	16,000 **	2	21,651 *	5,252	148,768 **
B x N	1	1,614	1	0,560	0,005	0,023
T x B x N	2	1,405	2	14,755	6,452	48,250 *
T x S			2	10,410	0,327	1,164
B x S			1	0,039	1,358	159,572 **
T x B x S			2	2,561	0,467	155,535 **
N x S			1	20,291 *	2,683	0,386
T x N x S			2	11,501	0,527	70,983 **
B x N x S			1	6,720	1,439	1,369
T x B x N x S			2	4,059	2,625	5,081
Rest	20	2,422	44	4,709	1,906	9,893
Total	36		72			

Anhangtab. 49: TS-Erträge Primäraufwuchs [dt TS ha^{-1}] 2002

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	14,8	13,2	11,9	6,7	5,5	8,5	10,1
<i>Festuca arundinacea</i>	12,1	12,8	15,1	9,6	6,5	10,1	11,0
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	13,4	13,0	13,5	8,1	6,0	9,3	10,6
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 2,70							

Anhangtab. 50: TS-Erträge Primäraufwuchs [dt TS ha⁻¹] 2003

Narbe	Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	6,6	6,3	7,1	12,3	9,0	12,0	8,9
	Nachsaat	5,3	7,2	4,2	6,4	8,9	9,2	6,9
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		6,0	6,8	5,6	9,4	9,0	10,6	7,9
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	7,9	11,1	14,6	14,3	17,4	17,5	13,8
	Nachsaat	8,8	12,9	14,8	15,7	14,7	16,7	13,9
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		8,4	12,0	14,7	15,0	16,0	17,1	13,9
\bar{x} Termin/Besatzdichte		7,2	9,4	10,1	12,2	12,5	13,9	10,9
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 3,58								

Anhangtab. 51: TS-Erträge Primäraufwuchs [dt TS ha⁻¹] 2004

Narbe	Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	3,8	3,6	6,1	4,2	3,6	6,9	4,7
	Nachsaat	1,8	2,3	2,8	2,3	2,6	3,8	2,6
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		2,8	3,0	4,5	3,3	3,1	5,3	3,7
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	5,3	7,6	8,8	9,3	8,1	7,9	7,8
	Nachsaat	3,4	3,8	6,7	5,9	5,1	4,9	5,0
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		4,3	5,7	7,8	7,6	6,6	6,4	6,4
\bar{x} Termin/Besatzdichte		3,6	4,4	6,1	5,4	4,9	5,9	5,0
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 2,27								

Anhangtab. 52: TS-Erträge Primäraufwuchs [dt TS ha⁻¹] 2005

Narbe	Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	17,2	20,9	19,0	29,7	13,7	17,8	19,7
	Nachsaat	16,4	18,6	19,4	14,8	12,8	17,6	16,6
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		16,8	19,7	19,2	22,3	13,2	17,7	18,2
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	22,6	26,5	12,4	31,3	30,0	27,5	25,1
	Nachsaat	18,9	19,0	22,5	22,0	23,2	24,4	21,7
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		20,7	22,8	17,4	26,7	26,6	26,0	23,4
\bar{x} Termin/Besatzdichte		18,8	21,2	18,3	24,5	19,9	21,9	20,8
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 5,17								

Anhangtab. 53: Varianztabelle für N-Entzüge der Primäraufwüchse

Varianzursache	FG	2002		FG	2003		2004		2005	
		MQ/F-Test			MQ/F-Test		MQ/F-Test		MQ/F-Test	
Block	2	80,013	*	2	0,669		19,982		366,676	**
Säule	2	33,411		2	6,137		2,951		293,666	*
Termin	2	438,161	**	2	145,342	**	117,719	**	173,836	
Besatzdichte	1	86,356	*	1	63,532	**	19,235		1534,151	**
Narbe	1	4,668		1	649,460	**	367,752	**	143,906	
Nachsaat					15,968		532,758	**	379,418	*
T x B	2	540,510		2	1,226		39,035		145,501	
T x N	2	87,087	*	2	21,651	*	23,172		1092,628	**
B x N	1	25,796		1	0,560		4,047		70,412	
T x B x N	2	5,729		2	14,755		32,976		276,052	*
T x S				2	10,410		3,998		104,568	
B x S				1	0,039		3,639		881,130	**
T x B x S				2	2,561		7,145		1054,492	**
N x S				1	20,291	*	0,129		52,058	
T x N x S				2	11,501		4,281		324,295	*
B x N x S				1	6,720		1,379		28,596	
T x B x N x S				2	4,059		6,882		6,732	
Rest	20	19,406		44	4,709		15,560		69,352	
Total	36			72						

Anhangtab. 54: N-Entzüge des Primäraufwuchses [kg ha⁻¹] 2002

Termin	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	40,7	35,7	38,8	20,0	18,4	27,9	30,2
<i>Festuca arundinacea</i>	32,6	33,7	42,7	27,4	19,7	29,7	31,0
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	36,6	34,7	40,8	23,7	19,1	28,8	30,6
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 7,50							

Anhangtab. 55: N-Entzüge des Primäraufwuchses [kg ha⁻¹] 2003

Termin	Sep./Okt	Nov./Dez.	Dez./Jan.	$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$		
					Nachsaat	mittlere Besatzdichte
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	18,7	18,0	22,6	37,4	24,5
	Nachsaat	16,3	21,6	15,3	20,3	22,0
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		17,5	19,8	18,9	28,9	23,3
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	19,4	28,1	38,2	32,2	35,0
	Nachsaat	22,6	33,2	40,0	42,8	37,1
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		21,0	30,7	39,1	37,5	36,1
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$		19,2	25,2	29,0	33,2	29,7
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 5,62						

Anhangtab. 56: N-Entzüge des Primäraufwuchses [kg ha^{-1}] 2004

	Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	10,1	10,7	17,2	12,7	10,1	18,9	13,3
	Nachsaat	5,0	7,1	9,0	7,2	7,8	11,5	7,9
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		7,6	8,9	13,1	10,0	8,9	15,2	10,6
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	14,2	17,5	21,0	20,8	16,6	17,2	17,9
	Nachsaat	8,9	10,0	15,7	14,8	12,8	12,1	12,4
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		11,5	13,8	18,3	17,8	14,7	14,7	15,1
\bar{x} Termin/Besatzdichte		9,6	11,3	15,7	13,9	11,8	14,9	12,9
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 6,49								

Anhangtab. 57: N-Entzüge des Primäraufwuchses [kg ha^{-1}] 2005

	Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} Nachsaat/ Narbe
Narbe	Nachsaat	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	Kontrolle	47,8	61,9	53,6	87,4	37,4	47,9	56,0
	Nachsaat	44,3	57,0	62,0	46,4	38,4	50,2	49,7
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		46,1	59,5	57,8	66,9	37,9	49,1	52,9
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	61,1	61,2	29,5	70,0	61,3	59,7	57,1
	Nachsaat	49,7	50,0	53,2	54,1	57,5	60,9	54,3
\bar{x} Termin/Besatzdichte/Narbe		55,4	55,6	41,4	62,1	59,4	60,3	55,7
\bar{x} Termin/Besatzdichte		50,8	57,5	49,6	64,5	48,7	54,7	54,3
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 13,49								

Anhangtab. 58: Varianztabelle für die für die N_{\min} -N Mengen

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	38,740	2	2853,145 **	272,367	295,121
Säule	2	327,418	2	669,543	1447,186 **	1425,463 **
Termin	2	59,295	2	3063,893 **	2154,926 **	2214,233 **
Besatzdichte	1	1737,661 **	1	281,324	1527,653 *	1003,554 *
Narbe	1	85,695	1	1026,410	759,535	430,852
Nachsaat			1	309,897	172,706	41,702
T x B	2	204,850	2	538,140	161,668	396,553
T x N	2	142,230	2	166,111	513,033	1068,658 **
B x N	1	258,428	1	120,582	18,293	0,591
T x B x N	2	0,715	2	31,225	185,676	57,496
T x S			2	246,984	338,219	261,746
B x S			1	266,911	191,484	10,944
T x B x S			2	177,708	357,936	27,480
N x S			1	169,825	40,228	134,489
T x N x S			2	522,984	132,191	8,546
B x N x S			1	26,325	4,841	124,614
T x B x N x S			2	187,571	425,222	153,731
Rest	20	118,877	44	394,638	240,302	167,124
Total	36		72			

Anhangtab. 59: N_{\min} -N-Mengen [kg ha^{-1}] der Schicht 0-60 cm 2001

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	53,4	82,4	62,3	78,3	58,6	71,5	67,8
<i>Festuca arundinacea</i>	56,8	74,2	68,0	71,1	74,9	76,8	70,3
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	55,1	78,3	65,1	74,7	66,8	74,1	69,0
GD _{5%Termin/Besatzdichte/Narbe} = 18,60							

Anhangtab. 60: N_{\min} -N-Mengen [kg ha^{-1}] der Schicht 0-60 cm 2002

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	87,4	71,6	74,3	79,4	59,1	50,1	70,3
<i>Festuca arundinacea</i>	69,4	64,0	64,9	65,2	56,0	48,7	61,4
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	78,4	67,8	69,6	72,3	57,6	49,4	65,8
GD _{5%Termin/Besatzdichte/Narbe} = 23,15							

Anhangtab. 61: N_{\min} -N-Mengen [kg ha^{-1}] der Schicht 0-60 cm 2003

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	62,7	70,7	53,6	47,9	47,4	36,5	53,1
<i>Festuca arundinacea</i>	43,8	66,1	41,3	36,8	47,9	44,4	46,7
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	53,3	68,4	47,4	42,4	47,7	40,4	49,9
GD _{5%Termin/Besatzdichte/Narbe} = 18,30							

Anhangtab. 62: N_{\min} -N-Mengen [kg ha^{-1}] der Schicht 0-60 cm 2004

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	74,9	86,9	51,6	51,1	61,1	51,8	62,9
<i>Festuca arundinacea</i>	51,0	70,5	51,6	46,9	63,5	58,3	57,0
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	63,0	78,7	51,6	49,0	62,3	55,0	59,9
GD _{5%Termin/Besatzdichte/Narbe} = 15,03							

Anhangtab. 63: Varianztabelle für die für die NO₃-N Mengen

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	67,517	2	181,944	330,916	41,315
Säule	2	37,565	2	67,441	159,179	1216,042**
Termin	2	19,386	2	962,256 **	1387,421 **	465,831 **
Besatzdichte	1	1281,677 **	1	27,323	132,586	264,544 *
Narbe	1	173,340	1	182,820	228,091	430,776 **
Nachsaat			1	10,435	32,699	98,241 **
T x B	2	61,841	2	145,294	33,314	61,039
T x N	2	137,539	2	31,125	59,995	209,386 **
B x N	1	85,477	1	7,701	21,568	97,455
T x B x N	2	167,328	2	11,440	11,873	22,793
T x S			2	26,326	97,745	93,315
B x S			1	65,198	58,834	81,130
T x B x S			2	133,954	78,270	8,850
N x S			1	11,429	12,411	19,469
T x N x S			2	60,028	14,470	2,440
B x N x S			1	1,511	2,013	26,478
T x B x N x S			2	34,355	36,685	121,984*
Rest	20	59,92	44	113,288	116,028	37,940
Total	36		72			

Anhangtab. 64: NO₃-N-Mengen [kg ha⁻¹] der Schicht 0-60 cm 2001

Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} _{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
Narbe							
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	22,8	37,4	14,3	33,8	18,8	29,6	26,1
<i>Festuca arundinacea</i>	17,6	36,7	31,7	29,8	29,0	40,1	30,8
\bar{x} _{Termin/ Besatzdichte}	20,2	37,1	23,0	31,8	23,9	34,9	28,5
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 13,20							

Anhangtab. 65: NO₃-N-Mengen [kg ha⁻¹] der Schicht 0-60 cm 2002

Termin	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x} _{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
Narbe							
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	19,6	22,9	34,3	33,2	25,7	18,0	25,6
<i>Festuca arundinacea</i>	16,6	18,1	27,4	25,7	24,2	18,3	21,7
\bar{x} _{Termin/ Besatzdichte}	18,1	20,5	30,8	29,4	24,9	18,1	23,7
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 12,40							

Anhangtab. 66: NO₃-N-Mengen [kg ha⁻¹] der Schicht 0-60 cm 2003

Termin \ Narbe	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	27,3	31,3	16,1	15,5	15,2	8,5	19,0
<i>Festuca arundinacea</i>	20,3	24,4	12,4	12,6	11,9	10,5	15,4
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	23,8	27,9	14,2	14,0	13,6	9,5	17,2
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 12,53							

Anhangtab. 67: NO₃-N-Mengen [kg ha⁻¹] der Schicht 0-60 cm 2004

Termin \ Narbe	Nachsaat	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		$\bar{x}_{\text{Nachsaat/Narbe}}$
		mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	Kontrolle	33,1	34,7	22,2	18,6	31,0	27,7	27,9
	Nachsaat	21,5	38,7	22,2	24,4	41,0	27,4	29,2
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		27,3	36,7	22,2	21,5	36,0	27,6	28,6
<i>Festuca arundinacea</i>	Kontrolle	18,1	23,1	16,7	21,5	27,0	25,5	22,0
	Nachsaat	18,6	21,8	26,4	21,2	31,5	32,6	25,4
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte/Narbe}}$		18,4	22,5	21,5	21,4	29,3	29,0	23,7
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$		22,8	29,6	21,9	21,4	32,6	28,3	26,1
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe/Nachsaat = 10,13								

Anhangtab. 68: Varianztabelle für die für die NH₄-N Mengen

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	13,416	2	1607,490 **	3,993	121,981
Säule	2	366,609	2	354,104	665,430 **	710,211 **
Termin	2	26,572	2	2861,623 **	118,401	1924,975 **
Besatzdichte	1	155,066	1	133,300	760,180 **	237,595
Narbe	1	7,071	1	342,862	155,196	0,001
Nachsaat			1	206,597	55,112	11,930
T x B	2	205,854	2	558,995	99,620	149,913
T x N	2	110,297	2	93,301	296,883	378,051 *
B x N	1	0,069	1	67,337	79,579	113,219
T x B x N	2	119,729	2	75,532	115,665	79,327
T x S			2	166,406	167,541	79,529
B x S			1	68,275	38,050	32,480
T x B x S			2	17,708	201,664	65,701
N x S			1	93,141	97,308	51,619
T x N x S			2	349,835	76,548	17,200
B x N x S			1	15,223	0,610	265,976
T x B x N x S			2	124,127	347,655	26,013
Rest	20	150,384	44	164,117	116,113	99,748
Total	36		72			

Anhangtab. 69: NH₄-N-Mengen [kg ha⁻¹] der Schicht 0-60 cm 2001

Termin Narbe	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	30,6	45,0	48,1	44,4	39,8	41,8	41,6
<i>Festuca arundinacea</i>	39,2	50,7	36,3	41,3	45,9	36,7	41,7
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	34,9	47,8	42,2	42,9	42,8	39,2	41,7
GD _{5%Termin/Besatzdichte/Narbe} = 20,90							

Anhangtab. 70: NH₄-N-Mengen [kg ha⁻¹] der Schicht 0-60 cm 2002

Termin Narbe	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	67,7	48,7	40,0	46,3	33,4	32,1	44,7
<i>Festuca arundinacea</i>	52,8	45,8	37,5	39,5	31,9	30,5	39,7
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	60,3	47,3	38,8	42,9	32,6	31,3	42,2
GD _{5%Termin/Besatzdichte/Narbe} = 14,93							

Anhangtab. 71: NH₄-N-Mengen [kg ha⁻¹] der Schicht 0-60 cm 2003

Termin Narbe	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	35,4	39,3	37,5	32,4	32,2	28,0	34,2
<i>Festuca arundinacea</i>	23,5	41,6	28,9	24,2	36,0	33,9	31,4
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	29,5	40,5	33,2	28,3	34,1	31,0	32,8
GD _{5%Termin/Besatzdichte/Narbe} = 12,53							

Anhangtab. 72: NH₄-N-Mengen [kg ha⁻¹] der Schicht 0-60 cm 2004

Termin Narbe	Sep./Okt		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	47,6	50,2	29,4	29,5	25,1	24,2	34,4
<i>Festuca arundinacea</i>	32,7	48,0	30,0	27,8	34,3	29,2	33,7
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	40,2	49,1	29,7	28,7	29,7	26,7	34,0
GD _{5%Termin/Besatzdichte/Narbe} = 11,61							

Anhangtab. 73: Varianztabelle für die Lückigkeit

Varianzursache	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	40,191	338,314	39,148
Säule	2	652,691 **	234,043	8,898
Termin	2	8,420	914,054 **	336,781 **
Besatzdichte	1	88,889	1555,933 **	58,681
Narbe	1	68,056	3560,922 **	137,503
Nachsaat	1	168,056	14,098	22,781
T x B	2	401,649 **	91,979	87,524
T x N	2	479,774 **	577,147 **	1,191
B x N	1	22,222	19,762	6,722
T x B x N	2	77,170	121,246	191,983 **
T x S	2	1,649	28,271	111,656 *
B x S	1	5,556	60,792	17,014
T x B x S	2	18,837	35,031	10,878
N x S	1	5,556	74,821	77,087
T x N x S	2	18,837	63,076	6,483
B x N x S	1	12,500	13,338	8,000
T x B x N x S	2	49,219	167,318	2,948
Rest	44	81,100	153,251	34,689
Total	72			

Anhangtab. 74: Lückigkeit [%] 2002

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x} Narbe
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	20	18	25	26	20	33	24
<i>Festuca arundinacea</i>	32	22	18	19	14	21	21
\bar{x} Termin/ Besatzdichte	26	20	21	22	17	27	22
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 10,5							

Anhangtab. 75: Lückigkeit [%] 2003

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x} Narbe
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	48	43	34	20	36	23	34
<i>Festuca arundinacea</i>	54	46	51	53	50	35	48
\bar{x} Termin/ Besatzdichte	51	45	42	37	43	29	41
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 14,4							

Anhangtab. 76: Lückigkeit [%] 2004

Termin Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	19	13	13	7	7	11	12
<i>Festuca arundinacea</i>	21	16	9	12	15	9	15
$\bar{x}_{\text{Termin/ Besatzdichte}}$	20	14	11	10	11	10	14
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 9,7							

Anhangtab. 77: Varianztabelle für das Gesamtporenvolumen der Rinderweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	12,962	5,485
Säule	2	22,414	15,594
Termin	3	2,237	9,691
Rest	4	7,071	7,853
Total	12		

Anhangtab. 78: Gesamtporenvolumen [Vol %] der Rinderweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	59,9	58,7	57,8	58,6	58,7	4,63	6,03
15 – 20 cm	56,9	55,2	54,5	52,5	54,8	4,88	6,35
\bar{x}_{Termin}	58,4	56,9	56,1	55,5	56,7		

Anhangtab. 79: Varianztabelle für die Poren > 50 µm der Rinderweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	10,068 **	0,591
Säule	2	26,172 **	17,484
Termin	3	2,693 *	11,045
Rest	4	0,472	5,027
Total	12		

Anmerkung bodenphysi-
kalische Merkmale, vgl. S.25

$\alpha = 10\%$ mit * gekennzeichnet
 $\alpha = 5\%$ mit ** gekennzeichnet

Anhangtab. 80: Poren > 50 µm [Vol %] der Rinderweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	12,2	10,1	10,9	10,3	10,3	1,20	1,56
15 – 20 cm	13,5	10,0	9,8	9,2	10,6	3,90	5,08
\bar{x}_{Termin}	12,8	10,1	10,4	9,7	10,8		

Anhangtab. 81: Varianztabelle für die Poren 50 - 10 µm der Rinderweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	0,777	1,088
Säule	2	0,022	1,190
Termin	3	2,741 **	3,807 **
Rest	4	0,364	0,313
Total	12		

Anhangtab. 82: Poren 50 - 10 µm [Vol %] der Rinderweide

Termin	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
Schicht							
5 – 10 cm	6,3	6,3	4,4	5,1	5,5	1,05	1,37
15 – 20 cm	6,8	6,9	4,7	5,1	5,9	0,97	1,27
\bar{x}_{Termin}	6,6	6,6	4,6	5,1	5,7		

Anhangtab. 83: Varianztabelle für die Poren 10 - 0,2 µm der Rinderweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	0,881	15,137
Säule	2	28,101	51,046 *
Termin	3	8,288	14,529
Rest	4	28,715	8,717
Total	12		

Anhangtab. 84: Poren 10 - 0,2 µm [Vol %] der Rinderweide

Termin	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
Schicht							
5 – 10 cm	20,6	19,4	23,3	21,3	21,2	9,33	12,15
15 – 20 cm	16,1	17,5	20,8	16,2	17,6	5,14	6,69
\bar{x}_{Termin}	18,4	18,4	22,1	18,8	19,4		

Anhangtab. 85: Varianztabelle für die Poren < 0,2 µm der Rinderweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	1,757	6,841
Säule	2	23,559	40,601 *
Termin	3	6,355	5,999
Rest	4	10,212	3,884
Total	12		

Anhangtab. 86: Poren < 0,2 μm [Vol %] der Rinderweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	21,1	23,0	19,5	21,9	21,4	5,56	7,24
15 – 20 cm	16,1	17,5	20,8	16,2	17,6	3,43	4,47
\bar{x}_{Termin}	18,6	20,2	20,2	19,0	19,5		

Anhangtab. 87: Varianztabelle für die Luftleitfähigkeit der Rinderweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	12,581	189,455
Säule	2	349,521 *	21,830
Termin	3	213,154	124,633
Rest	4	71,341	78,221
Total	12		

Anhangtab. 88: Luftleitfähigkeit [μm^2] der Rinderweide (= transformiert, geometrisches Mittel)

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	29,3	11,1	13,1	22,3	19,0	14,70	19,14
15 – 20 cm	22,0	15,7	7,7	9,7	13,3	15,40	20,05
\bar{x}_{Termin}	25,6	13,4	10,4	16,0	16,4		

Anhangtab. 89: Luftleitfähigkeit [μm^2] der Rinderweide (= untransformierte Originalwerte)

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}
5 – 10 cm	43,6	16,0	19,3	26,1	26,3
15 – 20 cm	28,7	17,5	10,3	14,5	17,7
\bar{x}_{Termin}	36,1	16,8	14,8	20,3	22,0

Anhangtab. 90: Varianztabelle für die Wasserleitfähigkeit der Rinderweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	2955,423	31011,911
Säule	2	4515,906	10067,805
Termin	3	55766,910 *	20721,297
Rest	4	8831,484	20103,514
Total	12		

Anhangtab. 91: Wasserleitfähigkeit [cm d^{-1}] der Rinderweide (= transformiert, geometrisches Mittel)

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	401,5	102,5	166,4	132,7	200,8	163,59	213,01
15 – 20 cm	268,3	188,5	67,49	155,7	170,0	246,82	321,37
\bar{x}_{Termin}	334,9	145,5	113,3	144,2	185,4		

Anhangtab. 92: Wasserleitfähigkeit [cm d^{-1}] der Rinderweide (= untransformierte Originalwerte)

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}
5 – 10 cm	873,0	248,8	305,8	197,4	406,3
15 – 20 cm	369,8	259,3	136,4	488,8	313,6
\bar{x}_{Termin}	621,4	254,1	221,1	343,1	359,9

Anhangtab. 93: Varianztabelle für den Eindringwiderstand der Rinderweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	146953,452	374160,414 *
Säule	2	447693,008 *	78521,884
Termin	3	87726,827	104014,647
Rest	4	73124,351	80668,283
Total	12		

Anhangtab. 94: Eindringwiderstand [kPa] der Rinderweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	1867,9	2105,6	2197,2	1857,1	2006,9	470,73	612,92
15 – 20 cm	1870,7	2109,2	2319,4	2165,6	2116,2	494,42	643,76
\bar{x}_{Termin}	1869,3	2107,4	2258,3	2011,3	2061,6		

Anhangtab. 95: Varianztabelle für die Lagerungsdichte der Rinderweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	0,002	0,004
Säule	2	0,010 *	0,011
Termin	3	0,003	0,007
Rest	4	0,002	0,006
Total	12		

Anhangtab. 96: Lagerungsdichte [g cm^{-3}] der Rinderweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	1,06	1,14	1,12	1,10	1,10	0,071	0,092
15 – 20 cm	1,14	1,19	1,21	1,26	1,20	0,130	0,169
\bar{x}_{Termin}	1,10	1,16	1,16	1,18	1,15		

Anhangtab. 97: Varianztabelle für den Scherwiderstand der Rinderweide

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	34,614 *	2	3,235	0,490	1,823
Säule	2	73,222 *	2	14,062	0,171	16,405 *
Termin	2	8,280	2	726,887 *	5,220	4,617
Besatzdichte	1	44,890 *	1	70,985 *	5,677	0,131
Narbe	1	1,604	1	159,425 *	57,742 *	67,164 *
Nachsaat			1	5,792	2,762	5,731
T x B	2	22,591 *	2	16,071	5,916	1,420
T x N	2	9,067	2	4,009	5,035	2,998
B x N	1	4,694	1	0,839	8,213	19,131 *
T x B x N	2	3,925	2	0,041	0,290	6,925
T x S			2	5,447	4,252	1,671
B x S			1	7,910	0,594	0,118
T x B x S			2	3,599	0,384	2,545
N x S			1	0,001	0,209	0,001
T x N x S			2	0,518	0,339	0,099
B x N x S			1	0,887	0,236	3,222
T x B x N x S			2	0,334	1,765	1,982
Rest	20	4,281	44	12,105	2,942	3,793
Total	36		72			

Anhangtab. 98: Scherwiderstand [Nm^{-1}] der Rinderweide 2001

Termin Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez.		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	20,7	20,5	17,0	20,0	17,9	19,6	19,3
<i>Festuca arundinacea</i>	20,2	18,9	15,5	21,7	19,1	23,0	19,7
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	20,5	19,7	16,3	20,9	18,5	21,3	19,5
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 3,40							

Anhangtab. 99: Scherwiderstand [Nm^{-1}] der Rinderweide 2002

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	27,1	30,3	15,9	19,1	25,8	26,2	24,1
<i>Festuca arundinacea</i>	30,2	32,7	19,9	22,8	28,4	28,2	27,0
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	28,7	31,5	17,9	20,9	27,1	27,2	25,6
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 4,05							

Anhangtab. 100: Scherwiderstand [Nm^{-1}] der Rinderweide 2003

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	26,6	25,4	26,3	26,0	25,4	26,6	26,0
<i>Festuca arundinacea</i>	26,6	27,1	27,3	27,9	27,7	29,8	27,7
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	26,6	26,3	26,8	26,9	26,5	28,2	26,9
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 1,99							

Anhangtab. 101: Scherwiderstand [Nm^{-1}] der Rinderweide 2004

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	29,1	29,4	29,3	28,6	29,9	27,6	29,0
<i>Festuca arundinacea</i>	30,4	31,5	31,6	31,7	29,1	31,2	30,9
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	29,8	30,4	30,4	30,2	29,5	29,4	30,0
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 2,26							

Anhangtab. 102: Varianztabelle für den Oberflächenabfluss der Rinderweide

Varianzursache	FG	MQ/F-Test
Säule	2	0,237
Termin	1	0,090
Narbe	1	2,535 **
Termin x Narbe		0,001
Rest	4	0,053
Total	12	

Anhangtab. 103: Oberflächenabfluss [Liter] der Rinderweide

Termin Schicht	Sep./Okt.	Nov./Dez.	\bar{x}_{Narbe}
Lolio- Cynosuretum	1,07	0,89	0,98
Festuca arundinacea	1,98	1,81	1,90
\bar{x}_{Termin}	1,53	1,35	1,44
GD _{10%} Termin/Narbe = 0,366			
GD _{5%} Termin/Narbe = 0,461			

Anhangtab. 104: Varianztabelle für das Gesamtporenvolumen der Schafweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	12,707	5,697
Säule	2	9,658	0,220
Termin	3	1,710	9,031
Rest	4	4,690	10,993
Total	12		

Anhangtab. 105: Gesamtporenvolumen [Vol %] der Schafweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	59,9	60,8	61,6	61,3	60,9	3,77	4,91
15 – 20 cm	54,9	54,7	54,6	58,4	56,1	5,77	7,52
\bar{x}_{Termin}	57,4	57,7	59,0	59,8	58,5		

Anhangtab. 106: Varianztabelle für die Poren > 50 µm der Schafweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	2,163	3,900
Säule	2	17,752 *	3,168
Termin	3	1,714	0,958
Rest	4	3,425	20,493
Total	12		

Anhangtab. 107: Poren > 50 µm [Vol %] der Schafweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	13,6	15,4	14,3	14,8	14,5	3,22	4,19
15 – 20 cm	12,1	11,3	11,2	12,3	11,7	7,88	10,26
\bar{x}_{Termin}	12,9	13,3	12,8	13,6	13,1		

Anhangtab. 108: Varianztabelle für die Poren 50 - 10 µm der Schafweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	0,376	0,113
Säule	2	0,147	0,023
Termin	3	2,526 **	1,024
Rest	4	0,377	0,282
Total	12		

Anhangtab. 109: Poren 50 - 10 µm [Vol %] der Schafweide

Termin	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
Schicht							
5 – 10 cm	4,7	4,5	2,9	3,2	3,8	1,07	1,39
15 – 20 cm	4,1	4,2	2,9	3,7	3,7	0,93	1,20
\bar{x}_{Termin}	4,4	4,3	2,9	3,4	3,8		

Anhangtab. 110: Varianztabelle für die Poren 10 - 0,2 µm der Schafweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	3,484	1,261
Säule	2	34,049	1,687
Termin	3	25,253	42,600 **
Rest	4	15,709	2,992
Total	12		

Anhangtab. 111: Poren 10 - 0,2 µm [Vol %] der Schafweide

Termin	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
Schicht							
5 – 10 cm	14,0	17,2	20,8	19,1	17,8	6,90	8,98
15 – 20 cm	10,1	10,5	14,8	18,0	13,3	3,01	3,92
\bar{x}_{Termin}	12,0	13,8	17,8	18,5	15,6		

Anhangtab. 112: Varianztabelle für die Poren < 0,2 µm der Schafweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	1,721	0,252
Säule	2	44,209 *	4,360
Termin	3	10,674	4,287
Rest	4	7,446	6,426
Total	12		

Anhangtab. 113: Poren < 0,2 μm [Vol %] der Schafweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	27,6	23,7	23,6	24,2	24,8	4,75	6,18
15 – 20 cm	28,6	28,7	27,4	26,2	27,7	4,41	5,75
\bar{x}_{Termin}	28,1	26,2	25,5	25,2	26,3		

Anhangtab. 114: Varianztabelle für die Luftleitfähigkeit der Schafweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test		15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	0,496		17,430
Säule	2	235,841	**	6,139
Termin	3	177,169	*	397,214 *
Rest	4	29,009		90,683
Total	12			

Anhangtab. 115: Luftleitfähigkeit [μm^2] der Schafweide (= transformiert, geometrisches Mittel)

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	27,9	33,9	22,3	15,9	25,0	9,38	12,21
15 – 20 cm	35,9	30,2	12,7	14,7	23,3	16,58	21,58
\bar{x}_{Termin}	31,9	32,1	17,5	15,2	24,2		

Anhangtab. 116: Luftleitfähigkeit [μm^2] der Schafweide (= untransformierte Originalwerte)

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}
5 – 10 cm	29,2	37,0	26,2	22,2	28,7
15 – 20 cm	45,1	36,9	17,0	25,8	31,2
\bar{x}_{Termin}	37,2	37,0	21,6	24,0	29,9

Anhangtab. 117: Varianztabelle für die Wasserleitfähigkeit der Schafweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	13270,886	59407,538
Säule	2	54097,434	58709,046
Termin	3	831,496	185917,608 **
Rest	4	32005,248	27085,480
Total	12		

Anhangtab. 118: Wasserleitfähigkeit [cm d^{-1}] der Schafweide (= transformiert, geometrisches Mittel)

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	470,6	471,8	481,5	442,8	466,7	311,42	405,49
15 – 20 cm	858,7	592,7	254,6	510,2	554,1	286,49	373,03
\bar{x}_{Termin}	664,6	532,3	368,1	476,5	510,4		

Anhangtab. 119: Wasserleitfähigkeit [cm d^{-1}] der Schafweide (= untransformierte Originalwerte)

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}
5 – 10 cm	591,7	636,2	655,6	603,2	621,7
15 – 20 cm	999,4	804,0	345,8	716,4	716,4
\bar{x}_{Termin}	795,6	720,1	500,7	659,8	669,0

Anhangtab. 120: Varianztabelle für den Eindringwiderstand der Schafweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	20027,447	64296,811
Säule	2	25639,397	54054,122
Termin	3	112955,419	266377,617
Rest	4	69289,248	116530,030
Total	12		

Anhangtab. 121: Eindringwiderstand [kPa] der Schafweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Termin	GD _{5%} Termin
5 – 10 cm	1778,2	1817,4	1456,7	1469,2	1630,4	458,22	596,63
15 – 20 cm	1680,2	2191,3	1987,5	1530,3	1847,3	594,24	773,74
\bar{x}_{Termin}	1729,2	2004,3	1722,1	1499,8	1738,9		

Anhangtab. 122: Varianztabelle für die Lagerungsdichte der Schafweide

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	2	0,009	0,004
Säule	2	0,007	0,001
Termin	3	0,001	0,007
Rest	4	0,003	0,008
Total	12		

Anhangtab. 123: Lagerungsdichte [g cm^{-3}] der Schafweide

Termin Schicht	Kontrolle	Sep./Okt.	Nov./Dez.	Dez./Jan.	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10% Termin}	GD _{5% Termin}
5 – 10 cm	1,07	1,04	1,02	1,03	1,04	0,098	0,128
15 – 20 cm	1,20	1,20	1,15	1,10	1,16	0,157	0,204
\bar{x}_{Termin}	1,13	1,12	1,08	1,06	1,10		

Anhangtab. 124: Varianztabelle für den Scherwiderstand der Schafweide

Varianzursache	FG	2001 MQ/F-Test	FG	2002 MQ/F-Test	2003 MQ/F-Test	2004 MQ/F-Test
Block	2	23,846 *	2	108,014 *	44,177 *	8,767
Säule	2	8,168	2	49,492 *	17,779	62,257 *
Termin	2	2,129	2	39,291 *	177,955 *	40,976 *
Besatzdichte	1	13,941	1	12,021	5,415	42,898 *
Narbe	1	19,816	1	243,493 *	143,424 *	18,528
Nachsaat			1	0,450	28,413	0,717
T x B	2	0,491	2	8,022	45,527 *	4,974
T x N	2	0,083	2	0,054	3,828	1,628
B x N	1	0,778	1	1,387	1,811	1,841
T x B x N	2	0,183	2	8,139	4,997	5,476
T x S			2	1,706	3,303	5,216
B x S			1	5,763	10,904	5,650
T x B x S			2	3,670	2,115	7,026
N x S			1	0,779	1,772	13,114
T x N x S			2	0,349	0,471	8,597
B x N x S			1	5,168	5,520	7,467
T x B x N x S			2	6,283	5,655	1,812
Rest	20	5,224	44	6,923	7,019	8,511
Total	36		72			

Anhangtab. 125: Scherwiderstand [Nm^{-1}] der Schafweide 2001

Termin Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio- Cynosuretum</i>	14,4	13,4	15,1	14,7	15,1	13,6	14,4
<i>Festuca arundinacea</i>	16,6	14,5	16,8	15,7	16,5	15,0	15,9
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	15,5	14,0	15,9	15,2	15,8	14,3	15,1
GD _{5%Termin/Besatzdichte/Narbe} = 3,89							

Anhangtab. 126: Scherwiderstand [Nm^{-1}] der Schafweide 2002

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	19,2	19,2	15,4	17,7	18,0	17,3	17,8
<i>Festuca arundinacea</i>	21,3	24,3	20,0	20,2	21,5	21,2	21,4
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	20,2	21,8	17,7	18,9	19,8	19,2	19,6
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 3,07							

Anhangtab. 127: Scherwiderstand [Nm^{-1}] der Schafweide 2003

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	30,0	28,6	25,9	24,2	24,4	26,8	26,6
<i>Festuca arundinacea</i>	33,4	32,7	29,5	26,4	26,8	29,2	29,7
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	31,7	30,6	27,7	25,3	25,6	28,0	28,2
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 3,08							

Anhangtab. 128: Scherwiderstand [Nm^{-1}] der Schafweide 2004

Termin \ Narbe	Sep./Okt.		Nov./Dez		Dez./Jan.		\bar{x}_{Narbe}
	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	mittlere Besatzdichte	hohe Besatzdichte	
<i>Lolio-Cynosuretum</i>	21,5	20,0	22,7	22,0	24,5	21,2	22,0
<i>Festuca arundinacea</i>	21,1	21,4	25,1	22,7	24,7	23,1	23,0
$\bar{x}_{\text{Termin/Besatzdichte}}$	21,3	20,7	23,9	22,3	24,6	23,9	22,8
GD _{5%} Termin/Besatzdichte/Narbe = 3,40							

Anhangtab. 129: Varianztabelle für das Gesamtporenvolumen des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	3	7,292	16,888
Tierart	1	10,947	0,002
Rest	8	6,138	4,815
Total	7		

Anhangtab. 130: Gesamtporenvolumen [Vol %] des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Tierart \ Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	57,0	59,3	58,1	4,12	5,57
15 – 20 cm	53,7	53,7	53,7	3,65	4,94
\bar{x}_{Tierart}	55,3	56,5	55,9		

Anhangtab. 131: Varianztabelle für die Poren > 50 µm des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	3	3,898	5,511
Tierart	1	41,961 **	0,797
Rest	8	1,681	4,691
Total	7		

Anhangtab. 132: Poren > 50 µm [Vol %] des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	8,3	12,9	10,6	2,16	2,92
15 – 20 cm	10,9	10,2	10,5	3,60	4,87
\bar{x}_{Tierart}	9,6	11,6	10,6		

Anhangtab. 133: Varianztabelle für die Poren 50 - 10 µm des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	3	0,416	0,668
Tierart	1	0,057	1,372
Rest	8	0,850	0,885
Total	7		

Anhangtab. 134: Poren 50 - 10 µm [Vol %] des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	4,3	4,5	4,4	1,53	2,07
15 – 20 cm	4,5	3,7	4,1	1,57	2,12
\bar{x}_{Tierart}	4,4	4,1	4,3		

Anhangtab. 135: Varianztabelle für die Poren 10 - 0,2 µm des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	3	9,875	32,524
Tierart	1	1,655	3,925
Rest	8	19,110	16,134
Total	7		

Anhangtab. 136: Poren 10 - 0,2 µm [Vol %] des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	11,3	10,4	10,9	7,27	9,84
15 – 20 cm	7,1	8,5	7,8	6,68	9,04
\bar{x}_{Tierart}	9,2	9,4	9,3		

Anhangtab. 137: Varianztabelle für die Poren < 0,2 µm des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	3	4,363	7,720
Tierart	1	6,548	0,001
Rest	8	3,671	2,199
Total	7		

Anhangtab. 138: Poren < 0,2 µm [Vol %] des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	33,3	31,5	32,4	3,19	4,31
15 – 20 cm	31,3	31,3	31,3	2,47	3,34
\bar{x}_{Tierart}	32,3	31,4	31,8		

Anhangtab. 139: Varianztabelle für die Luftleitfähigkeit des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	3	33,890	7,406
Tierart	1	156,965 **	152,965 **
Rest	8	6,647	9,213
Total	7		

Anhangtab. 140: Luftleitfähigkeit [µm²] des direkten Vergleiches Rind/Schaf
(= transformiert, geometrisches Mittel)

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	8,8	17,6	13,2	5,05	6,83
15 – 20 cm	7,9	16,6	12,3	4,29	5,80
\bar{x}_{Tierart}	8,3	17,1	12,7		

Anhangtab. 141: Luftleitfähigkeit [µm²] des direkten Vergleiches Rind/Schaf
(= untransformierte Originalwerte)

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}
5 – 10 cm	24,5	32,9	28,7
15 – 20 cm	12,3	21,9	17,1
\bar{x}_{Tierart}	18,4	27,4	22,9

Anhangtab. 142: Varianztabelle für die Wasserleitfähigkeit des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	3	1038,134	20820,707
Tierart	1	24912,584 *	146169,768 *
Rest	8	1602,755	15533,565
Total	7		

Anhangtab. 143: Wasserleitfähigkeit [cm d^{-1}] des direkten Vergleiches Rind/Schaf
(= transformiert, geometrisches Mittel)

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	38,7	150,3	94,5	66,61	90,08
15 – 20 cm	67,0	337,3	202,2	207,37	280,43
\bar{x}_{Tierart}	52,9	243,8	148,4		

Anhangtab. 144: Wasserleitfähigkeit [cm d^{-1}] des direkten Vergleiches Rind/Schaf
(= untransformierte Originalwerte)

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}
5 – 10 cm	230,2	420,8	325,5
15 – 20 cm	506,6	1130,2	818,4
\bar{x}_{Tierart}	368,4	775,5	571,9

Anhangtab. 145: Varianztabelle für den Eindringwiderstand des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	3	41586,351	24086,988
Tierart	1	529,748	16445,241
Rest	8	21943,701	73630,732
Total	7		

Anhangtab. 146: Eindringwiderstand in [kPa] des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	1334,3	1318,1	1326,2	246,47	333,30
15 – 20 cm	1691,7	1601,1	1646,4	451,48	610,54
\bar{x}_{Tierart}	1513,0	1459,6	1486,3		

Anhangtab. 147: Varianztabelle für die Lagerungsdichte des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	15-20 cm MQ/F-Test
Block	3	0,005	0,006
Tierart	1	0,002	0,006
Rest	8	0,002	0,003
Total	7		

Anhangtab. 148: Lagerungsdichte in [g cm^{-3}] des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	1,14	1,11	1,12	0,067	0,090
15 – 20 cm	1,23	1,17	1,20	0,093	0,126
\bar{x}_{Tierart}	1,18	1,14	1,16		

Anhangtab. 149: Varianztabelle für den Scherwiderstand des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Varianzursache	FG	5-10 cm MQ/F-Test	10-20 cm MQ/F-Test	20-30 cm MQ/F-Test
Block	3	13,186	30,186	13,245
Tierart	1	20,062	33,697	8,549
Rest	8	8,514	9,295	2,934
Total	7			

Anhangtab. 150: Scherwiderstand [Nm^{-1}] des direkten Vergleiches Rind/Schaf

Tierart Schicht	Rinder	Schafe	\bar{x}_{Schicht}	GD _{10%} Tierart	GD _{5%} Tierart
5 – 10 cm	23,8	20,6	22,2	4,85	6,57
10 – 20 cm	31,3	27,3	29,3	5,07	6,86
20 – 30 cm	35,5	37,6	36,6	2,85	3,85
\bar{x}_{Tierart}	30,2	28,5	29,4		

Lebenslauf

Name	Gerhard Schlimbach
Geburtsdatum	21.08.1967, Köln verheiratet, 2 Töchter
1974 – 1978	kath. Grundschule Urnenstraße, Köln
1978 – 1987	Gymnasium Thusneldastraße, Köln Abschluss: Abitur
1987 – 06.1990	Ausbildung zum Industriekaufmann bei der Deutz AG, Köln mit einem halbjährigen Einsatz bei der Tochtergesellschaft KHD France, Gretz bei Paris
06.1990 – 09.1990	Assistent in der kaufmännischen Auftragsabwicklung in der Abteilung „Vertrieb DEUTZ SERVICE“
10.1990 – 09.1991	Grundwehrdienst in Koblenz
10.1991 – 11.1997	Studium der Agrarwissenschaften an der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn Fachrichtung: Pflanzenproduktion Abschluss: Agraringenieur
10.1993 – 09.1994	Landwirtschaftliche Praktika auf Rügen, in Much (Bergisches Land), und auf dem Versuchsgut Höfchen der Bayer AG, Burscheid Abschluss: Praktikantenprüfung
02.1998 – 04.1998	Assistent bei der aot Proterma GmbH, Köln
05.1998 – 07.1998	Stell. Gartencenterleiter bei der Jean Chrysant GmbH, Bonn
08.1998 – 12.2002	Gartencenterleiter OBI Gummersbach und OBI Rheinbach einschließlich Traineeausbildung
01.2003 – 12.2005	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II – Grünlandwirtschaft und Futterbau – Anfertigung der vorliegenden Arbeit

Mein Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Opitz von Boberfeld für die Überlassung des Themas, die fachliche Beratung und Diskussion sowie die Unterstützung dieser Arbeit;

Herrn Prof. Dr. T. Harrach für die Übernahme des Korreferats;

Herrn Prof. Dr. D. Schröder und seinen Mitarbeitern Herrn Dr. R. Schneider und Herrn C. Müller des Instituts für Bodenkunde an der Universität Trier für die sehr gute Zusammenarbeit und fachliche Unterstützung;

Herrn G. Pfeiffer für die Überlassung der Versuchsflächen im Westerwald sowie Maschinen inklusive Gerätschaften, die ich zur reibungslosen Erledigung meiner Arbeit benötigt habe;

den Betreuern der Wetterstation Bad Marienberg für die Bereitstellung der Wetterdaten;

allen Mitarbeitern des Institutes und der Versuchsstation Linden-Forst für die gute Zusammenarbeit und den technischen und fachlichen Hilfen;

meinen Kollegen und Freunden Katja Banzhaf, Silke Echternacht, Katja Elsebach, Helga Hötte, Markus Krähling, Harald Laser, Edwin Mandler, Przemyslaw Mazur, Michaela Neff, Judith Oerlemans, Udo Schnepf, Jörg Simon, Maik Sterzenbach und Katrin Wöhler für das herzliche Arbeitsklima und den vielen fachlichen und privaten Gesprächen;

Rolf Gerber vom Institut für Bodenkunde in Gießen für den Einsatz des Bodenradars;

meinen Mitbewohnern Nicole Kühle, Rolf Schleyer und Songül Rolfs für die schönen gemeinsamen Stunden;

meinen Eltern, Schwestern und meinen Schwiegervater Bernhard Dreyer für das Korrekturlesen;

besonders meiner Frau Christiane und meinen Töchtern Anna und Paula

und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung der Arbeit im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 299 „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“.