

Flächenhafte und funktionale Analyse kleinräumiger standortbedingter Variationen der Grünlandvegetation und -produktivität

**Dissertation zur
Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)**

**im Fachbereich 11 - Ökologische Agrarwissenschaften
der Universität Kassel**

vorgelegt von Sara Gottardi

1. Gutachter: Prof. Dr. Michael Wachendorf
2. Gutachter: Prof. Dr. Günter Spatz

Die Disputation fand in Witzenhausen am 26. September 2008 statt.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt und andere als die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Kein Teil dieser Arbeit ist in einem anderen Promotions- oder Habilitationsverfahren verwendet worden.

18.02.08

Sara Gottardi

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	5
<i>2.1 Standort</i>	<i>5</i>
2.1.1 Untersuchungsgebiet	5
2.1.2 Untersuchungszeitraum	5
2.1.3 Geologie	5
2.1.4 Böden	6
2.1.5 Klima und Witterung	6
2.1.6 Vegetation des Untersuchungsgebietes	9
2.1.7 Bewirtschaftung der Untersuchungsfläche	9
<i>2.2 Erhebungsmethoden</i>	<i>10</i>
2.2.1 Räumliche Verteilung der Beprobungsflächen	10
2.2.2 Topographie	10
2.2.3 Bodenkartierung und Bodenuntersuchungen	11
2.2.4 Ermittlung von Wetterdaten	12
2.2.5 Vegetationsaufnahmen	12
2.2.6 Oberirdische Phytomasse	13
2.2.6.1 Trockenmasseerträge	13
2.2.6.2 Qualitätsuntersuchungen	13
2.2.7 Bewirtschaftungsdaten	14
<i>2.3 Datenverarbeitung</i>	<i>15</i>
2.3.1 Statistische Verfahren	15
2.3.1.1 Box-Whisker-Plots	15
2.3.1.2 Verwendete Tests	15
2.3.1.3 Korrelationen	15
2.3.1.4 Clusteranalyse	16
2.3.1.5 Diskriminanzanalyse	16
2.3.1.6 Multivariate Regressionsanalysen	17
2.3.1.7 Spezielle Analysen bei den Intensivflächen	17
2.3.1.7.1 Vergleichsmaße für die interpolierten Karten der Intensivuntersuchungen	17
2.3.1.7.2 Berechnung des optimalen Stichprobenumfangs	18
2.3.1.7.3 Variogrammanalyse	18
2.3.2. GIS-Analysen	19
3. Ergebnisse	22
<i>3.1 Standortparameter</i>	<i>22</i>
<i>3.2 Vegetation - Dynamik der Pflanzenarten</i>	<i>25</i>
3.2.1 Zusammenhänge zwischen den Pflanzenarten	26
3.2.2 Zusammenhänge zwischen Pflanzenarten und Umweltparametern	26
<i>3.3 Ertrag</i>	<i>28</i>
3.3.1 Zusammenhänge zwischen Ertrag und Pflanzenarten	29
3.3.2 Zusammenhänge zwischen Ertrag und Umweltparametern	29
<i>3.4 Futterqualität</i>	<i>31</i>
3.4.1 Rohproteingehalt	31
3.4.1.1 Zusammenhänge zwischen Rohproteingehalt und Umweltparameter	32
3.4.2 Rohfasergehalt	33
3.4.2.1 Zusammenhänge zwischen Rohfasergehalt und Pflanzenarten	34
3.4.2.2 Zusammenhänge zwischen Rohfasergehalt und Umweltparameter	34
3.4.3 Energiegehalt	35
3.4.3.1 Zusammenhänge zwischen Energiegehalt und Pflanzenarten	36
3.4.3.2 Zusammenhänge zwischen Energiegehalt und Umweltparameter	36
<i>3.5 Unterschiede zwischen Bestandes- und Bodeneigenschaften</i>	<i>37</i>
3.5.1 Bodentypen	37
3.5.2 Bodenarten	37

<i>3.6 Multivariate Zusammenhänge zwischen Standort, Vegetation und Bewirtschaftung</i>	40
3.6.1 Clusteranalyse	40
3.6.2 Diskriminanzanalyse	44
<i>3.7 Quantitative Untersuchung des Einflusses verschiedener Standortfaktoren auf das Vorkommen von Weißklee</i>	48
<i>3.8 Fein gerasterte Teilflächen</i>	51
3.8.1 Bodencharakteristika der fein gerasterten Teilflächen	51
3.8.2 Vegetation	53
3.8.3 Zusammenhänge auf den fein gerasterten Teilflächen	53
3.8.4 Vergleiche zwischen verschiedenen Beprobungsdichten	54
3.8.4.1 Standortparameter	55
3.8.4.2 Vegetation	67
3.8.4.3 Trockenmasseertrag	73
3.8.5 Variogrammanalyse	76
4. Diskussion	79
4.1 Standortparameter	79
4.2 Vegetation – Dynamik der Pflanzenarten	79
4.3 Ertrag	81
4.4 Futterqualität	83
4.5 Unterschiede zwischen Bestandes- und Bodeneigenschaften	86
4.6 Multivariate Zusammenhänge zwischen Standort, Vegetation und Bewirtschaftung	87
4.7 Quantitative Untersuchung des Einflusses verschiedener Standortfaktoren auf das Vorkommen von Weißklee	89
4.8 Fein gerasterte Teilfläche	91
4.8.1 Optimale Stichprobenanzahl und Interpolationsqualität bei den Intensivuntersuchungen	91
4.8.1.1 Optimale Stichprobenanzahl	91
4.8.1.2 Qualität der Interpolation bei verschiedenen Rasterweiten	92
4.8.1.3 Variogrammanalyse für die interpolierten Parameter	95
4.8.1.4 Schlussfolgerungen zur optimalen Stichprobenanzahl und Interpolationsqualität	96
4.8.2 Variogrammanalyse für die nicht interpolierten Parameter	97
4.9 Bewirtschaftungsrelevante Aspekte der Artenzusammensetzung	98
5. Zusammenfassung	102
6. Literaturverzeichnis	106
7. Anhang	116

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Wetterdaten für das Untersuchungsgebiet (Referenzzeitraum 1961-1990): Monatliche Mittelwerte der Lufttemperatur und monatliche Niederschlagsmenge.	6
Tab. 2:	Jahres-Niederschlagssumme, Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode (April bis Oktober), Jahres-Mittelwert der Monats-Lufttemperatur und Mittelwert der Monats-Lufttemperatur in den Vegetationsperioden der Jahre 2001 bis 2003 und des Referenzzeitraumes 1961 - 1990. (Wetterstation Frankenhausen, Kassel-Calden und Kassel - siehe Kap. 2.2.4).	8
Tab. 3:	Ansaatmischung auf der Untersuchungsfläche.	9
Tab. 4:	Verwendete Methoden für die untersuchten Bodenparameter.	12
Tab. 5:	Zusammenstellung der Zeitpunkte der verschiedenen Bodenuntersuchungen und Messungen auf dem Mühlberg.	12
Tab. 6:	Vorhandene Bodentypen auf dem Mühlberg (angegeben sind die Anzahl der Beprobungspunkte mit gleichem Bodentyp und die Abkürzungen der Bodentypen). Die in den Rahmen dargestellten Übergangsbodentypen wurden entsprechend den ähnlichen Bodentypen zugeordnet (siehe Kap. 2.2.3).	22
Tab. 7:	Vorhandene Bodenarten auf dem Mühlberg (angegeben ist die Anzahl der Beprobungspunkte mit gleicher Bodenart in den obersten 30 cm, die Korngrößenverteilung und die Abkürzungen der Bodenarten).	23
Tab. 8:	Aufgenommene Standortparameter des Mühlberges (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichungen, Variationskoeffizienten, Anzahl der Beprobungen).	24
Tab. 9:	Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha ⁻¹) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Variationskoeffizient).	28
Tab. 10:	Durchschnittliche Rohproteingehalte (g kg ⁻¹ TS) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Variationskoeffizient).	31
Tab. 11:	Durchschnittliche Rohfasergehalte (g kg ⁻¹ TS) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Variationskoeffizient).	33
Tab. 12:	Durchschnittliche Energiegehalte (MJ NEL kg ⁻¹ TS) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichung und Variationskoeffizient).	35
Tab. 13:	Zeigt die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile von Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltsstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodentypen. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Ertragsanteilen von Arten bzw. Trockenmasseerträgen bzw. Futterqualitätsparametern. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf den Bodentyp, der links in der Tabelle genannt ist (Bodentyp der Zeile). <u>Beispiel 1:</u> Tab. 2001 (Trockenmasse im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB-DD) Die Trockenmasse auf AB war höher (+) als die Trockenmasse auf BB-DD. <u>Beispiel 2:</u> Tab.2002 (<i>Poa pratensis</i> im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB) <i>Poa pratensis</i> hatte auf AB niedrigere Ertragsanteile (-) als auf BB. Abkürzungen: n. a. Arten = nicht angesäte Arten. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.	38
Tab. 14:	Zeigt die signifikanten Unterschiede der Produktivität der Arten (Ertragsanteile von Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltsstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodenarten. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den	

durchschnittlichen Ertragsanteilen von Arten bzw. Trockenmasseerträgen bzw. Futterqualitätsparametern. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf die Bodenart, der links in der Tabelle genannt ist (Bodenart der Zeile). Beispiel: Tab. 2001 (Trockenmasse im Schnittpunkt von Bodenart Tu4 und Ut3). Die Trockenmasse auf Tu4 war niedriger (-) als die Trockenmasse auf Ut3. Abkürzungen: n. a. Arten = nicht angesäte Arten. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7. 39

Tab. 15: Durchschnittliche Faktorwerte jeder Gruppe für die ersten drei Diskriminanzfunktionen getrennt nach Untersuchungsjahren. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte, die besonders weit auseinander liegen. Sie weisen auf die Gruppen hin, die am besten durch die Diskriminanzfunktion getrennt werden. Eine Übersicht dieser Werte ist für die restlichen Diskriminanzfunktionen in Tab. A 36, Tab. A 37 und Tab. A 38, zu finden. 45

Tab. 16: Schätzwerte der Parameter für das Modell für *Trifolium repens* im Jahr 2001. 48

Tab. 17: Schätzwerte der Parameter für das Modell für *Trifolium repens* im Jahr 2002. 49

Tab. 18: Schätzwerte der Parameter für das Modell für *Trifolium repens* im Jahr 2003. 50

Tab. 19: Verteilung der Beprobungspunkte der drei Intensivflächen auf Bodenart (angegeben ist die Anzahl der Beprobungsstellen, die Bodenart in den obersten 30 cm und die Abkürzungen der Bodenarten). 52

Tab. 20: Werte der Variogramm-Modelle für die Standortparameter der Intensivflächen. 77

Tab. 21: Werte der Variogramm-Modelle für die Pflanzenarten der Intensivflächen. 77

Tab. 22: Optimale Stichprobenzahl in Prozent aller Messpunkte für die einzelnen Parameter auf den Flächen I01-I03; n. n. = nicht berechnet, da die Werte nicht normalverteilt waren. 91

Tabellen im Anhang

Tab. A 1: Kennwerte der Korrelationen zwischen Standortparameter (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$). Dargestellt sind die Beziehungen mit Korrelationskoeffizient $> 0,45$ (d.h. $r^2 > 0,2$); + ausdrückt eine positive Beziehung; - eine negative Beziehung; Abkürzungen: siehe Tab. 8. 119

Tab. A 2: Vorhandene Bodenarten auf den entsprechenden Bodentypen des Mühlberges. Angegeben ist die Anzahl der Beprobungspunkte. 119

Tab. A 3: Flächenanteile (%) von den angesäten und nicht angesäten Arten der Untersuchungsjahre 2001-2003 auf dem Mühlberg. 123

Tab. A 4: Kennwerte der Korrelationen zwischen Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) für die drei Untersuchungsjahre (Spearman-Korrelationskoeffizient; ** - Signifikanz $p < 0,01$; * - Signifikanz $p < 0,05$). Dargestellt sind die Beziehungen mit Korrelationskoeffizient $> 0,45$ (d.h. $r^2 > 0,2$); + ausdrückt eine positive Beziehung; - eine negative Beziehung. 127

Tab. A 5: Durchschnittliche Ertragsanteile der Arten (%) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodentyp. Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima und Anzahl der Flächen mit der entsprechenden Pflanzenart auf dem jeweiligen Bodentyp (siehe Tab. 6). 128

Tab. A 6: Zeigt die signifikanten Unterschiede in den Ertragsanteilen der Arten auf verschiedenen Bodentypen für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodentypen. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Ertragsanteilen. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf den Bodentyp, der links in der Tabelle genannt ist (Bodentyp der Zeile). Beispiel

1: Tab. 2001 (n. a. Arten im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB-DD) Die Ertragsanteile an n. a. Arten auf AB waren höher (+) als die Ertragsanteile an n. a. Arten auf BB-DD. <u>Beispiel 2</u> : Tab. 2002 (<i>Poa pratensis</i> im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB) <i>Poa pratensis</i> hatte auf AB niedrigere Ertragsanteile (-) als auf BB. Abkürzungen: n. a. Arten = nicht angesäte Arten. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.	129
Tab. A 7: Durchschnittliche Ertragsanteile der Arten (%) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodenart. Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima und Anzahl der Flächen mit der entsprechenden Pflanzenart auf der jeweiligen Bodenart (Abkürzungen der Bodenart: siehe Tab. 7).	130
Tab. A 8: Zeigt die signifikanten Unterschiede in den Ertragsanteilen der Arten auf verschiedenen Bodenarten für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodenarten. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Ertragsanteilen. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf die Bodenart, der links in der Tabelle genannt ist (Bodenart der Zeile). <u>Beispiel</u> : Tab. 2001 (n. a. Arten im Schnittpunkt von Bodenart Ut4 und Tu4) Die Ertragsanteile an n. a. Arten auf Ut4 war höher (+) als die n. a. Arten auf Tu4. Abkürzungen: n. a. Arten = nicht angesäte Arten. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.	131
Tab. A 9: Kennwerte der Korrelationen zwischen Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) und Standortparametern für die drei Untersuchungsjahre (Spearman-Korrelationskoeffizient; ** - Signifikanz $p < 0,01$; * - Signifikanz $p < 0,05$). Dargestellt sind die Beziehungen mit Korrelationskoeffizient $> 0,45$ (d.h. $r^2 > 0,2$). Korrelationskoeffizienten $< 0,45$ sind nur dann dargestellt, wenn es während der Jahre einen Trend gab. Ein Plus (+) drückt eine positive Beziehung aus, ein Minus (-) eine negative Beziehung; Abkürzungen Standortparameter siehe Tab. 8; J. = Jahr.	132
Tab. A 10: Flächenanteile des Trockenmasseertrages (dt TM ha ⁻¹) der Untersuchungsjahre 2001-2003 auf dem Mühlberg.	133
Tab. A 11: Kennwerte der Korrelationen zwischen Trockenmasseerträgen (dt TM ha ⁻¹) und Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) für die drei Untersuchungsjahre. (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); ** - Signifikanz $p < 0,01$; * - Signifikanz $p < 0,05$). Dargestellt sind alle Arten, die eine Beziehung zu den Trockenmasseerträgen zeigten.	133
Tab. A 12: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha ⁻¹) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodentypen (Darstellung der Mittelwerte, Minima und Maxima).	134
Tab. A 13: Zeigt die signifikanten Unterschiede in der Produktivität (Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltsstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodentypen. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Trockenmasseerträgen bzw. Futterqualitätsparametern. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf den Bodentyp, der links in der Tabelle genannt ist (Bodentyp der Zeile). <u>Beispiel</u> : Tab. 2001 (Trockenmasse im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB-DD). Die Trockenmasse auf AB war höher (+) als die TM auf BB-DD. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.	135
Tab. A 14: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha ⁻¹) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodenarten (Darstellung der Mittelwerte, Minima und Maxima) (Abkürzungen der Bodenart: siehe Tab. 7).	136
Tab. A 15: Zeigt die signifikanten Unterschiede in der Produktivität (Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltsstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren	

Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodenarten. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Trockenmasseerträgen bzw. Futterqualitätsparametern. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf die Bodenart, der links in der Tabelle genannt ist (Bodenart der Zeile). <u>Beispiel</u> : Tab. 2001 (Trockenmasse im Schnittpunkt von Bodenart Tu4 und Ut3). Die Trockenmasse auf Tu4 war niedriger (-) als die Trockenmasse auf Ut3. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.	136
Tab. A 16: Flächenanteile des Rohproteingehaltes (g kg^{-1} TS) der Untersuchungsjahre 2002 und 2003 auf dem Mühlberg.	137
Tab. A 17: Flächenanteile des Rohfasergehaltes (g kg^{-1} TS) der Untersuchungsjahre 2002 und 2003 auf dem Mühlberg.	137
Tab. A 18: Kennwerte der Korrelationen zwischen Rohproteingehalt (g kg^{-1} TS) sowie Rohfasergehalt (g kg^{-1} TS) und Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) für die 2 Untersuchungsjahre (Spearman-Korrelationskoeffizient; **-Signifikanz $p < 0,01$; *-Signifikanz $p < 0,05$). Dargestellt sind die Beziehungen mit Korrelationskoeffizient $> 0,45$ (d.h. $r^2 > 0,2$); + ausdrückt eine positive Beziehung; - eine negative Beziehung.	137
Tab. A 19: Flächenanteile des Energiegehaltes (MJ NEL kg^{-1} TS) der Untersuchungsjahre 2002 und 2003 auf dem Mühlberg.	138
Tab. A 20: Durchschnittliche Rohaschegehalte (g kg^{-1} TS) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Variationskoeffizient).	138
Tab. A 21: Durchschnittliche Rohnährstoff- (g kg^{-1} TS) und Energiegehalte (MJ NEL kg^{-1} TS) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodentypen (Darstellung der Mittelwerte, Minima und Maxima).	139
Tab. A 22: Durchschnittliche Rohnährstoff- und Energiegehalte für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodenarten (Darstellung der Mittelwerte, Minima und Maxima). Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.	139
Tab. A 23: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha^{-1}), Ertragsanteile an <i>Trifolium repens</i> (%), <i>Dactylis glomerata</i> (%), <i>Poa pratensis</i> (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodentyp. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für das Versuchsjahr 2001. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.	140
Tab. A 24: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha^{-1}), Rohfasergehalte (g kg^{-1} TS), Energiegehalte (MJ NEL kg^{-1} TS), Ertragsanteile an <i>Dactylis glomerata</i> (%), <i>Poa pratensis</i> (%), <i>Festuca pratensis</i> (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodentyp. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für das Versuchsjahr 2002. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.	140
Tab. A 25: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha^{-1}), Rohfasergehalte (g kg^{-1} TS), Ertragsanteile an <i>Dactylis glomerata</i> (%), <i>Poa pratensis</i> (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodentyp. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für das Versuchsjahr 2003. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.	140
Tab. A 26: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha^{-1}), Rohfasergehalte (g kg^{-1} TS), Ertragsanteile an <i>Trifolium repens</i> (%), <i>Poa pratensis</i> (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodenart. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für das Versuchsjahr 2001. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.	141
Tab. A 27: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha^{-1}), Ertragsanteile an <i>Trifolium repens</i> (%), <i>Poa pratensis</i> (%), <i>Dactylis glomerata</i> (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodenart. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw.	

Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für das Versuchsjahr 2002. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.	141
Tab. A 28: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha ⁻¹), Ertragsanteile an <i>Trifolium repens</i> (%) und <i>Dactylis glomerata</i> (%), getrennt nach Bodenart. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für das Versuchsjahr 2003. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.	141
Tab. A 29: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sechs nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen im Jahr 2001.	143
Tab. A 30: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sieben nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen im Jahr 2002.	143
Tab. A 31: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den acht nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen im Jahr 2003.	143
Tab. A 32: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sechs nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen (2001). Die hier dargestellten Pflanzengruppen enthalten nur jene Probenfläche, die in 2001 und 2003 denselben Pflanzengruppen zugeordnet sind.	144
Tab. A 33: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sechs nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen (2003). Die hier dargestellten Pflanzengruppen enthalten nur jene Probenfläche, die in 2001 und 2003 denselben Pflanzengruppen zugeordnet sind.	144
Tab. A 34: Diskriminanzladungen der Merkmalvariablen für die einzelnen Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalysen der Jahre 2001 - 2003 (Die verwendeten Kürzel für die Variablen werden in Tab. A 35 erläutert).	145
Tab. A 35: Diskriminanzladungen der Merkmalvariablen für die einzelnen Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalyse für die „engeren Pflanzengruppen“.	146
Tab. A 36: Durchschnittliche Faktorwerte der Pflanzengruppen für alle Diskriminanzfunktionen im Jahr 2001. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte, die besonders weit auseinander liegen. Sie wiesen auf jene Pflanzengruppen hin, die am besten von der Diskriminanzfunktion getrennt wurden. Hier trugen nur die ersten drei Diskriminanzfunktionen zur Trennung der Pflanzengruppen signifikant bei.	147
Tab. A 37: Durchschnittliche Faktorwerte der Pflanzengruppen für alle Diskriminanzfunktionen im Jahr 2002. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte, die besonders weit auseinander liegen. Sie wiesen auf jene Pflanzengruppen hin, die am besten von der Diskriminanzfunktion getrennt wurden. Hier trugen nur die ersten drei Diskriminanzfunktionen zur Trennung der Pflanzengruppen signifikant bei.	147
Tab. A 38: Durchschnittliche Faktorwerte der Pflanzengruppen für alle Diskriminanzfunktionen im Jahr 2003. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte, die besonders weit auseinander liegen. Sie wiesen auf jene Pflanzengruppen hin, die am besten von der Diskriminanzfunktion getrennt wurden. Hier trugen nur die ersten fünf Diskriminanzfunktionen zur Trennung der Pflanzengruppen signifikant bei.	147
Tab. A 39: Durchschnittliche Faktorwerte der Pflanzengruppen für alle Diskriminanzfunktionen der Analyse der „engeren Pflanzengruppen“. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte die besonders weit auseinander liegen. Sie wiesen auf jene Pflanzengruppen hin, die am besten von der Diskriminanzfunktion getrennt wurden. Hier trugen nur die ersten fünf Diskriminanzfunktionen zur Trennung der Pflanzengruppen signifikant bei.	148
Tab. A 40: Kennwerte der Korrelationen zwischen Diskriminanzfunktionen gleicher Zahl aus den Untersuchungsjahren, die paarweise gegeneinander aufgetragen worden sind (Pearson-Korrelationskoeffizient ; **-Signifikanz p<0,01, *-Signifikanz p<0,05).	148
Tab. A 41: Aufgenommene Standortparameter der Intensivfläche I01 (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichungen, Variationskoeffizienten, Anzahl der Beprobungen).	149
Tab. A 42: Aufgenommene Standortparameter der Intensivfläche I02 (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichungen, Variationskoeffizienten, Anzahl der Beprobungen).	150

Tab. A 43: Aufgenommene Standortparameter Intensivfläche I03 (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichungen, Variationskoeffizienten, Anzahl der Beprobungen).	151
Tab. A 44: Durchschnittliche Ertragsanteile der Arten (%) für die drei Intensivflächen (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima und Anzahl der Beprobungsflächen auf den jeweiligen Intensivflächen).	152
Tab. A 45: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Standortparametern auf der Fläche I01. (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$) (Abkürzungen der Standortparameter: siehe Tab. A 41. Die Beschriftung bei den chemischen Bodenparametern „_15“ ist Kennzeichnung für die „7-15 cm Tiefe“. Die chemischen Bodenparameter ohne diese Beschriftung kennzeichnen die Tiefe „0-7 cm“).	153
Tab. A 46: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Standortparametern auf der Fläche I02. (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$) (Abkürzungen der Standortparameter: siehe Tab. A 42. Die Beschriftung bei den chemischen Bodenparametern „_15“ ist Kennzeichnung für die „7-15 cm Tiefe“. Die chemischen Bodenparameter ohne diese Beschriftung kennzeichnen die Tiefe „0-7 cm“).	154
Tab. A 47: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Standortparametern auf der Fläche I03. (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$) (Abkürzungen der Standortparameter: siehe Tab. A 43. Die Beschriftung bei den chemischen Bodenparametern „_15“ ist Kennzeichnung für die „7-15 cm Tiefe“. Die chemischen Bodenparameter ohne diese Beschriftung kennzeichnen die Tiefe „0-7 cm“).	155
Tab. A 48: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) und Umweltfaktoren (Tab. A 41, Tab. A 42 u. Tab. A 43) auf den Intensivflächen (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$) (Abkürzungen: Lolium peren. = Lolium perenne; Poa pratens. = Poa pratensis).	156
Tab. A 49: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Trockenmasseertrag (dt TM ha ⁻¹) sowie Energiegehalt (MJ NEL kg ⁻¹ TS) und Standortparametern auf der Intensivfläche (Spearman-Korrelationskoeffizient; **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$).	156
Tab. A 50: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Trockenmasseertrag (dt TM ha ⁻¹) und Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) auf der Intensivfläche (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p)); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$)	157
Tab. A 51: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den pH-Wert aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	158
Tab. A 52: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den pH-Wert aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	158
Tab. A 53: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den pH-Wert aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	159
Tab. A 54: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den P-Gehalt (als P ₂ O ₅ in mg/100g) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	159
Tab. A 55: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den P-Gehalt (als P ₂ O ₅ in mg/100g) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	160
Tab. A 56: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den P-Gehalt (als P ₂ O ₅ in mg/100g) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	160
Tab. A 57: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den K-Gehalt (als K ₂ O in mg/100g) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und	

interpolierten Beprobungsdichten.	161
Tab. A 58: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den K-Gehalt (als K ₂ O in mg/100g) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	161
Tab. A 59: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den K-Gehalt (als K ₂ O in mg/100g) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	162
Tab. A 60: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den Mg-Gehalt (mg/100g) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten	162
Tab. A 61: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den Mg-Gehalt (mg/100g) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	163
Tab. A 62: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den Mg-Gehalt (mg/100g) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	163
Tab. A 63: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für N _t -Gehalt (%) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	164
Tab. A 64: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den N _t -Gehalt (%) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	164
Tab. A 65: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den N _t -Gehalt (%) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	165
Tab. A 66: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von <i>Lolium perenne</i> (%) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	165
Tab. A 67: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von <i>Lolium perenne</i> (%) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	166
Tab. A 68: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von <i>Lolium perenne</i> (%) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	166
Tab. A 69: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von <i>Dactylis glomerata</i> (%) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	167
Tab. A 70: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von <i>Dactylis glomerata</i> (%) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	167
Tab. A 71: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von <i>Dactylis glomerata</i> (%) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	168
Tab. A 72: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von <i>Trifolium repens</i> (%) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	168
Tab. A 73: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von <i>Trifolium repens</i> (%) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	169
Tab. A 74: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von <i>Trifolium repens</i> (%) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	169
Tab. A 75: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Trockenmasse (dt TM ha ⁻¹) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	170

Tab. A 76: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Trockenmasse (dt TM ha ⁻¹) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	170
Tab. A 77: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Trockenmasse (dt TM ha ⁻¹) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.	171

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Monatliche Temperaturen und Niederschläge im 13-jährigen Mittel (1991-2003) der Wetterstation Kassel nach Angaben des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES - Erläuterung in Kap. 2.2.4.	7
Abb. 2:	Wetterdaten aus den Untersuchungsjahren 2001 bis 2003: Monatliche Mittel von Lufttemperatur und Niederschlagsmenge in Frankenhausen (siehe Kap. 2.2.4).	8
Abb. 3:	Niederschlagsmenge der jeweils ersten 4 Monate der Untersuchungsjahre.	8
Abb. 4:	Lage des Untersuchungsgebietes, der Untersuchungsfläche und Verteilung der Probenflächen im 50 m-Raster sowie auf der feingerasterten Teilfläche.	10
Abb. 5:	Durchschnittliche Jahresbesatzleistung ($\text{GV ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) für die Jahre 2001 und 2002 der Beprobungspunkte des Mühlberges und Anzahl der Parzellen mit der gleichen durchschnittlichen Jahresbesatzleistung.	14
Abb. 6:	Beispielhafte Darstellung der Komponenten eines Variogrammes	19
Abb. 7:	Hangneigung und Höhenlinien des Mühlberges (FRICKE, 2000).	22
Abb. 8:	Leitbodentypen des Mühlberges. Übergangstypen sind nicht dargestellt, sondern dem dominierenden Bodentyp zugeordnet. Darstellung der Karte als Thiessenpolygone der 50 m-Rasterbodenkartierung.	23
Abb. 9:	Übersicht über den durchschnittlichen Ertragsanteil der angesäten und nicht angesäten Arten auf dem „Mühlberg“ (n. a. Arten = nicht angesäte Arten).	25
Abb. 10:	Trockenmasseerträge (dt TM ha^{-1}) der Gesamtfläche, differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt.	28
Abb. 11:	Darstellung der Trockenmasseerträge (dt TM ha^{-1}) auf dem Mühlberg der Jahre 2001 bis 2003 zum Zeitpunkt des Schnitttermins ca. am 10. Mai, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	29
Abb. 12:	Temperaturentwicklung (als Temperatursumme) der drei Untersuchungsjahre, jeweils ab 1. Januar bis zum ersten Schnitt. Dargestellt ist auch die Temperaturentwicklung ab 1. Januar bis zum Erreichen der $200 \text{ }^{\circ}\text{C-T-Summe}$.	31
Abb. 13:	Rohproteingehalte ($\text{XP in g kg}^{-1} \text{ TS}$) auf der Gesamtfläche differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt. Die Unterschiede sind nicht signifikant (Mann-Whitney-U-Test).	32
Abb. 14:	Darstellung des Rohproteingehaltes ($\text{g kg}^{-1} \text{ TS}$) auf dem Mühlberg der Jahre 2002 und 2003 zum Zeitpunkt des Schnitttermins ca. am 10. Mai, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	32
Abb. 15:	Rohfasergehalt ($\text{XF in g kg}^{-1} \text{ TS}$) auf der Gesamtfläche, differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt. Die Unterschiede sind signifikant (Mann-Whitney-U-Test).	33
Abb. 16:	Darstellung des Rohfasergehaltes ($\text{g kg}^{-1} \text{ TS}$) auf dem Mühlberg der Jahre 2002 und 2003 zum Zeitpunkt des Schnitttermins am ca. 10. Mai, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	34
Abb. 17:	Energiegehalt ($\text{MJ NEL kg}^{-1} \text{ TS}$) der Gesamtfläche, differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt. Die Unterschiede sind signifikant (Mann-Whitney-U-Test; **-Signifikanz $p < 0,01$; *-Signifikanz $p < 0,05$).	35
Abb. 18:	Darstellung des Energiegehaltes ($\text{MJ NEL kg}^{-1} \text{ TS}$) auf dem Mühlberg der Jahre 2002 und 2003 zum Zeitpunkt des Schnitttermins ca. am 10. Mai, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	36
Abb. 19:	Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sechs nach Clusteranalyse gebildeten Gruppen (2001).	40
Abb. 20:	Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sieben nach Clusteranalyse gebildeten Gruppen (2002).	41
Abb. 21:	Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den acht nach Clusteranalyse gebildeten Gruppen (2003).	41
Abb. 22:	Ergebnis der Unterteilung in Gruppen durch die Clusteranalyse für die Jahre 2001-	

	2003. Räumliche Verteilung der ermittelten Gruppen auf dem Mühlberg als Thiessenpolygone der 50 m-Rastervegetationskartierung.	43
Abb. 23:	Einfluss von pH-Wert, P-Gehalt und Tonfraktion auf die Ertragsanteile von <i>Trifolium repens</i> (2001).	48
Abb. 24:	Einfluss von pH-Wert, P-Gehalt und Mg-Gehalt bzw. Tonfraktion auf die Ertragsanteile von <i>Trifolium repens</i> (2002).	49
Abb. 25:	Einfluss von pH-Wert und Mg-Gehalt bzw. Tonfraktion auf die Ertragsanteile von <i>Trifolium repens</i> (2003).	50
Abb. 26:	Leitbodentypen der drei fein gerasterten Teilflächen (2001 - 2003). Darstellung der Karten als Thiessenpolygone mit 6,25 m-Rasterdichte. (Abkürzungen der Bodentypen: BB = Braunerde; DD-BB= Pelosol-Braunerde; DD = Pelosol; BB-DD = Braunerde-Pelosol; LL = Parabraunerde; YK = Kolluvisol; GG-YK = Gley-Kolluvisol; SS-YK = Pseudogley-Kolluvisol; LL- YK = Parabraunerde-Kolluvisol; YK-SS = Kolluvisol-Pseudogley).	52
Abb. 27:	Rasterbeprobungsdichte mit den jeweils größeren verwendeten Beprobungsabständen für die drei Intensivflächen.	55
Abb. 28:	pH-Wert der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten: 6,25x6,25 m, 12,5x12,5 m, 25x25 m, 50x50 m.	56
Abb. 29:	pH-Wert der Intensivuntersuchungsfläche I02 dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	56
Abb. 30:	pH-Wert der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	57
Abb. 31:	P-Gehalt (als P ₂ O ₅ in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	58
Abb. 32:	P-Gehalt (als P ₂ O ₅ in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	59
Abb. 33:	P-Gehalt (als P ₂ O ₅ in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	59
Abb. 34:	K-Gehalt (als K ₂ O in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	61
Abb. 35:	K-Gehalt (als K ₂ O in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	61
Abb. 36:	K-Gehalt (als K ₂ O in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	62
Abb. 37:	Mg-Gehalt (mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	63
Abb. 38:	Mg-Gehalt (mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	63
Abb. 39:	Mg-Gehalt (mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	64
Abb. 40:	N _t -Gehalt (%) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	65
Abb. 41:	N _t -Gehalt (%) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten	66
Abb. 42:	N _t -Gehalt (%) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	66
Abb. 43:	Ertragsanteile von <i>Lolium perenne</i> (%) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	68
Abb. 44:	Ertragsanteile von <i>Lolium perenne</i> (%) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	68
Abb. 45:	Ertragsanteile von <i>Lolium perenne</i> (%) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Raterweiten.	69
Abb. 46:	Ertragsanteile von <i>Dactylis glomerata</i> (%) der Intensivuntersuchungsfläche I01,	

	dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	69
Abb. 47:	Ertragsanteile von <i>Dactylis glomerata</i> (%) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	70
Abb. 48:	Ertragsanteile von <i>Dactylis glomerata</i> (%) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	70
Abb. 49:	Ertragsanteile von <i>Trifolium repens</i> (%) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	72
Abb. 50:	Ertragsanteile von <i>Trifolium repens</i> (%) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	72
Abb. 51:	Ertragsanteile von <i>Trifolium repens</i> (%) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	73
Abb. 52:	Trockenmasseertrag (dt TM ha ⁻¹) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	74
Abb. 53:	Trockenmasseertrag (dt TM ha ⁻¹) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	75
Abb. 54:	Trockenmasseertrag (dt TM ha ⁻¹) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.	75
Abb. 55:	Räumliche Verteilung der durch Clusteranalyse für die Jahre 2001-2003 ermittelten Gruppen von Parzellen D und F, auf dem Mühlberg als Thiessenpolygone der 50 m-Rastervegetationskartierung. Den Gruppen F und D wurden durch die Clusteranalyse im Laufe der Jahre weitgehend dieselben Parzellen zugeordnet. Durch die dynamische Betrachtung mit Hilfe der Diskriminanzanalyse konnte ein Differenzierungsprozess gegenüber alle anderen Gruppen nachgewiesen werden.	89
Abb. 56:	G-Werte für die Intensivflächen I01 (Dreieck), I02 (Kreis) und I03 (Viereck) getrennt nach untersuchten Parametern und Rasterweite. In Dunkelgrau sind die Umweltfaktoren, in Hellgrau Vegetation und in Schwarz die Trockenmasse dargestellt (Abkürzungen: pH = pH-Wert; P = P-Gehalt; K = K-Gehalt; Mg = Mg-Gehalt; Nt = N _t -Gehalt; L = <i>Lolium perenne</i> ; D = <i>Dactylis glomerata</i> ; T = <i>Trifolium repens</i> ; Tm = Trockenmasse).	94

Abbildung im Anhang

Abb. A 1:	Darstellung des pH-Wertes und P-Gehaltes (als P ₂ O ₅ in mg/100g) des Mühlberges, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	120
Abb. A 2:	Darstellung des K- (als K ₂ O in mg/100g) und Mg-Gehaltes (mg/100g) des Mühlberges, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	120
Abb. A 3:	Darstellung des Gesamtstickstoffes und organischen Kohlenstoffes des Mühlberges, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	121
Abb. A 4:	Darstellung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums und Lagerungsdichte des Mühlberges, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	121
Abb. A 5:	Darstellung der Ertragsanteile von <i>Lolium perenne</i> , <i>Dactylis glomerata</i> und <i>Trifolium repens</i> der Jahre 2001 bis 2003, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	124
Abb. A 6:	Darstellung der Ertragsanteile von <i>Festuca pratensis</i> , <i>Festuca rubra</i> und <i>Poa pratensis</i> der Jahre 2001 bis 2003, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	125
Abb. A 7:	Darstellung der Ertragsanteile von <i>Phleum pratense</i> und nicht angesäte Arten der Jahre 2001 bis 2003, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.	126
Abb. A 8:	Rohaschegehalt (XA in g kg ⁻¹ TS) auf der Gesamtfläche, differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt. Die Unterschiede sind signifikant (Mann-Whitney-U-Test).	138
Abb. A 9:	Dendrogramme aus der Clusteranalyse für die Jahre 2001-2003.	142
Abb. A 10:	Variogramm-Modelle für a) Mg-Gehalt (mg/100g) (sphärisches Modell) und b) C _{org} -	

	Gehalt (%) (Gauß' sches Modell) auf der Fläche I01. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $.	172
Abb. A 11:	Gauß' sche Variogramm-Modelle für a) elektrische Leitfähigkeit (mSm^{-1}) und b) Lagerungsdichte ($g\ cm^{-3}$) auf der Fläche I01. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $.	172
Abb. A 12:	Sphärische Variogramm-Modelle für a) <i>Lolium perenne</i> (%) und b) <i>Festuca rubra</i> (%) auf der Fläche I01. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $.	172
Abb. A 13:	Experimentelle Variogramme für a) <i>Poa pratensis</i> (%) und b) <i>Trifolium repens</i> (%) auf der Fläche I01. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $. \bullet^{534} ist die Anzahl der Wertpaare.	173
Abb. A 14:	Sphärisches Variogramm-Modell für a) Trockenmasseerträge ($dt\ TM\ ha^{-1}$) und experimentelles Variogramm für b) <i>Dactylis glomerata</i> auf der Fläche I01. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $. \bullet^{534} ist die Anzahl der Wertpaare.	173
Abb. A 15:	Richtungsabhängige Experimentelle Variogramme für Trockenmasse ($dt\ TM\ ha^{-1}$) auf der Fläche I01. (Direction 0 = N-S-Richtung; Direction 45 = NO-SW-Richtung; Direction 90 = O-W-Richtung; Direction 135 = NW-SO-Richtung) $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $. \bullet^{72} ist die Anzahl der Wertpaare.	173
Abb. A 16:	Experimentelle Variogramme für a) pH-Wert und b) elektrische Leitfähigkeit (mSm^{-1}) auf der Fläche I02. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $. \bullet^{682} ist die Anzahl der Wertpaare.	174
Abb. A 17:	Sphärisches Variogramm-Modell für a) <i>Festuca rubra</i> (%) und experimentelles Variogramm für b) <i>Festuca pratensis</i> (%) auf der Fläche I02. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $.	174
Abb. A 18:	Experimentelle Variogramme für a) <i>Trifolium repens</i> (%) und b) Trockenmasse ($dt\ TM\ ha^{-1}$) auf der Fläche I02. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $. \bullet^{682} ist die Anzahl der Wertpaare.	174
Abb. A 19:	Richtungsabhängig Experimentelle Variogramme für <i>Festuca pratensis</i> (%) auf der Fläche I02. (Direction 0 = N-S-Richtung; Direction 45 = NO-SW-Richtung; Direction 90 = O-W-Richtung; Direction 135 = NW-SO-Richtung). $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $. \bullet^{88} ist die Anzahl der Wertpaare.	175
Abb. A 20:	Sphärisches Variogramm-Modell für a) nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (mm) und experimentelles Variogramm für b) P-Gehalt ($mg/100g$) auf der Fläche I03. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $. \bullet^{540} ist die Anzahl der Wertpaare.	175
Abb. A 21:	Sphärische Variogramm-Modelle für a) <i>Poa pratensis</i> (%) und b) <i>Festuca rubra</i> (%) auf der Fläche I03. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $.	176
Abb. A 22:	Sphärisches Variogramm-Modell für a) <i>Trifolium repens</i> (%) und experimentelles Variogramm für b) <i>Dactylis glomerata</i> (%) auf der Fläche I03. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $. \bullet^{540} ist die Anzahl der Wertpaare.	176
Abb. A 23:	Experimentelle Variogramme für a) <i>Lolium perenne</i> (%) und b) <i>Festuca pratensis</i> (%) auf der Fläche I03. $ h $ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m ; $\gamma_s(h)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $ h $. \bullet^{540} ist die Anzahl der Wertpaare.	176

Abkürzungsverzeichnis

Bodentyp

AB	Braunauenboden
GG-AB	Gley-Braunauenboden
BB	Braunerde
SS-BB	Pseudogley-Braunerde
BB-DD	Braunerde-Pelosol
LL	Parabraunerde
YK	Kolluvisol
GG	Gley
GGw	Wechselgley
BB-RN	Braunerde-Ranker

Bodenart

Ut4	stark tonigem Schluff
Ut3	mittel tonigem Schluff
Tu4	stark schluffigem Ton
Tu3	mittel schluffigem Ton
Tu2	schwach schluffigem Ton

Rohnährstoff- u. Energiegehalt

TM	Trockenmasse
XF	Rohfasergehalt
XP	Rohproteingehalt
XA	Rohaschegehalt
NEL	Energiegehalt

n. a. Arten	nicht angesäte Arten
T-Summe	Temperatursumme

1. Einleitung

Ein zentrales Motiv für die pflanzenbauliche Forschung ist es, Methoden zu entwickeln, die eine effizientere Nutzung der Ressourcen des Feldes ermöglichen und damit gleichzeitig zu einer Verbesserung des ökonomischen Betriebsergebnisses beitragen. Eines der Hindernisse zur Erreichung dieses Zieles ist die Heterogenität der Flächen und die daraus folgenden Unterschiede im Pflanzenwachstum innerhalb der Felder. Diese unterschiedlichen Ertragsmuster in jedem Schlag lassen ertragslimitierende Wachstumsbedingungen vermuten. Diese Bedingungen durch teilflächenspezifische Bewirtschaftung (*precision farming*) zu verbessern, ist daher das Hauptinteresse der Forschung. Unter diesem Aspekt ist die räumliche Variabilität von Standortfaktoren und Ertrag und deren Erfassung u.a. von SWINDELL (1995), GOTWAY et al., (1996), BORGELT et al. (1997), BRINGMARK and BRINGMARK (1998), FRANZEN et al. (1999) FLEMING et al. (2000) und MUELLER et al. (2001) bearbeitet worden.

Mit den verfügbaren Techniken zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung wird es sicherlich in Zukunft möglich sein, die Heterogenität der landwirtschaftlichen Flächen zu erfassen und einen teilflächenspezifischen, standortangepassten Pflanzenbau durchzuführen, der auch ökologische Belange berücksichtigt.

In Deutschland gibt es u. a. das Verbundprojekt *preagro*, das die Praxistauglichkeit der technisch-methodischen Voraussetzungen für die Umsetzung des teilflächenspezifischen Landbaus prüfen soll (WERNER et al., 2002). Dabei werden Methoden erarbeitet, die durch berührungsfreie Messungen (Geophysik, Fernerkundung) sowie indirekte Verfahren (Abschätzungs- bzw. Simulationsmodelle) das Potential von Standort und Bestand daraufhin analysieren, welche Ertragshöhe für spezielle Kulturpflanzenarten und jede einzelne Teilfläche des Schlages als Ertragspotenzial bzw. Ertragserwartung erreichbar ist.

Außerdem werden in vielen Versuchen die Faktoren ermittelt, die der Ertragsvariabilität zu Grunde liegen. Darüber hinaus werden komplexe Wachstumsmodelle entwickelt und die relevanten Faktoren z.B. die Ertragsvariabilität innerhalb der Schläge simuliert (SCHOOP et al., 1999; WENDROTH et al., 2001; KERSEBAUM et al., 2002; GRAEFF-HÖNNINGER et al., 2004). Diese Versuche richten sich in erster Linie auf die Entwicklung eines Verfahrens, das zu einer Optimierung von angepassten Düngungsstrategien führen kann. Alle genannten Untersuchungen zum teilflächenspezifischen Landbau wurden bisher vorwiegend auf Ackerland durchgeführt. Für die Grünlandbewirtschaftung liegen Ergebnisse zu teilflächenbezogenen Untersuchungen kaum vor.

Im Grünlandbereich wurden bisher auf weitgehend homogenen Einzelflächen vielfach die Wirkungsbeziehung Standort-Pflanze bzw. der grundlegende Einfluss der Nährstoffversorgung auf Ertragsbildung, Futterqualität und Artenzusammensetzung untersucht. Die ertragswirksame Stickstoffversorgung wird in erster Linie durch Düngungsversuche ermittelt (RIEDER, 1988; ADOLF u. BISCHOFF, 1990; THEIß u. OPITZ v. BOBERFELD, 1992; JÜRGENS, 1993; BAIER et al., 1995; KÜNTZEL, 1996). Ebenso wurden Abhängigkeiten der oben genannten Grünlandparameter von Grundnährstoffen wie Phosphor, Kalium sowie dem pH-Wert nachgewiesen (NEUBAUER, 1977; GUTSER et al.,

1978; MÜLLER, 1985; STYPINSKI u. KOCIALKOWSKA, 1989; BARTELS u. SCHEFFER, 1990; KULAKOV et al., 1990; BANSZKI et al., 1992; BAYER u. BECK, 1992; TOTEV et al., 1994; REX, 1995; SCHELLBERG et al., 1999; JOHNSTON et al., 2001). Einen Einfluss zeigen auch Organische Substanz und Tongehalt der Böden (LOGAN and THOMAS, 1999). Hinsichtlich des Ressourcenschutzes sei an dieser Stelle auch auf die Untersuchungen von JANSSENS et al. (1998) zu Beziehungen zwischen bodenchemischen Faktoren und der Artendiversität hingewiesen. Diese und andere Studien des Wirkungskomplexes Standort- Grünlandvegetation waren jedoch nicht auf einen einzelnen Schlag oder auf einen Standorttyp beschränkt (BENNET and ADAMS, 1998) oder fanden in anderen biogeografischen Regionen statt (BARNES et al., 1991), wodurch die Übertragbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt ist.

In solchen Studien wird überwiegend eine getrennte Analyse der einzelnen Einflussfaktoren vorgenommen. Dabei besteht die Tendenz, diese Untersuchungen in Versuchsanlagen (DYCKMANS, 1989; SCHALITZ u. PÖTZCH, 1990; LEX, 1992) und nicht im Freiland durchzuführen. Die Anwendung multivariater Analyseverfahren wird speziell auf betriebsbewirtschafteten Weiden selten eingesetzt oder wie z.B. bei TURKINGTON and HARPER (1979), hauptsächlich bei der Entschlüsselung von Konkurrenzmechanismen, in diesem Fall zwischen *Trifolium repens* und seinen wichtigsten begleitenden Arten.

Weiterhin liegen wenige Arbeiten zur Beschreibung und Analyse der Variabilität innerhalb einzelner Flächen vor. SCHÜTZ u. SCHNYDER (1998) untersuchten auf der Basis räumlicher Erhebungen (über Rasterbeprobungen) die Variabilität von Futterqualität und Verzehr auf einer Rindviehweide. Zwar existieren aktuelle Arbeiten aus Nordirland von BAILEY et al. (2000), JORDAN et al. (2003) und SHI et al. (2000) über schlaginterne Grünlandertrags- bzw. Bodennährstoffverteilungen, die über räumlich verteilte Beprobungen entstanden sind. An Analysen über Beziehungen zwischen Standortfaktoren (abiotische) und Grünlanderträgen (biotische Faktoren) mangelt es in diesem Kontext jedoch.

Bisher fehlen Untersuchungen zur Beschreibung der Korrelation zwischen der räumlichen Variabilität der biotischen Faktoren (Ertrag, Futterqualität, Vegetation) und den ebenfalls räumlich differenzierten abiotischen Faktoren des Grünlandes im mitteleuropäischen Raum. Diese grünlandökologischen Kenntnisse können unter anderem

- als Grundlage für verbesserte Produktivitätseinschätzungen,
- zur Etablierung standortangepasster Weide- und Schnittnutzungssysteme,
- zur Verbesserung der Artenzusammenstellung der Narbe,
- zur Optimierung von Nährstoffkreisläufen sowie
- zur Modellierung und Abschätzung von Ertrag und Futterqualität dienen.

Am Beispiel eines Grünlandstandortes im deutschen Mittelgebirge, der weitgehend praxisüblich genutzt wurde und sehr variable Standortbedingungen aufweist, sollen mit der vorliegenden Studie die räumliche und zeitliche Entwicklung von Grünland- und Standortmerkmalen untersucht werden. Darüber hinaus werden die Zusammenhänge zwischen den Parametern mit Geoinformationssystemen und statistischen Verfahren analysiert.

- Beprobungsstrategie

Zur Erfassung der räumlichen Heterogenität der natürlichen Ressourcen wurde nach verschiedenen Strategien bei der Stichprobennahme vorgegangen, wie sie u.a. in den Arbeiten von CLAY et al. (1998), CHANG et al. (1999), MALLARINO et al. (1999), MCBRATNEY et al. (1999) ausgeführt wurden. Systematische Rasterbeprobungen geben hierbei flächenhafte Daten besser wieder als Zufallsbeprobungen oder stratifizierte Zufallsbeprobungen (WEBSTER and OLIVER, 1990). Demzufolge haben sich bei den Beprobungsmustern für Böden die Raster durchgesetzt (BORGELT et al., 1997; SADLER et al., 1998; CHANG et al., 1999; MALLARINO et al., 1999; FLEMING et al., 2000; KRAVCHENKO and BULLOCK, 2000; MUELLER et al., 2001; KRAVCHENKO, 2003). Die verwendeten Rasterweiten variieren von über 50 m (SHI et al., 2000) bis zu 0,5 m in kleineren Teilflächen (BORGELT et al., 1997).

Im Grünlandbereich liegen nur wenige Arbeiten mit solchen Fragestellungen vor. SHI et al. (2000) und JORDAN et al. (2003) untersuchten über systematische Beprobungen bei verschiedenen Mustern die schlagbezogene Bodennährstoff- bzw. Grünlandertragsverteilung mit dem Ziel, die passende Musterungsdichte der Beprobungen zu finden. Derzeit hat sich hier die Anwendung von Rastern als Beprobungsstrategie auch im Grünland stark durchgesetzt (FROMENT et al., 1996; SCHÜTZ u. SCHNYDER, 1998; TONN u. THUMM, 2005; SCHAUMBERGER et al., 2005).

Der optimale Abstand zwischen den Beprobungsstellen, d.h. die Beprobungsdichte, wurde besonders bei der Erfassung von Bodennährstoffen betrachtet. Für die Bestimmung der optimalen Stichprobendichte bezüglich der Bodenparameter wurde z.B. der t-Test (LASCANO and HATFIELD, 1992; TSEGAYE and HILL, 1998) angewendet. Andere Autoren überprüften in diesem Zusammenhang den Einfluss des Beprobungsabstandes (Stichprobendichte und Stichprobenumfang) auf den Mittelwert der erhobenen Parameter (GUPTA et al., 1997).

In diesem Kontext stehen bei den genannten Untersuchungen wieder vorwiegend pflanzenbauliche oder bodenkundliche Fragestellungen auf dem Acker im Vordergrund. Für das Grünland wurden Versuche durchgeführt, die sich auf Bodennährstoff- (SHI et al., 2000) und Ertragsverteilung sowie die Nährstoffgehalte des Ertrags (JORDAN et al., 2003) beschränkten.

Zur Entwicklung einer optimalen Beprobungsstrategie ist eine Bewertung der Qualität der generierten Karte aus den erfassten Punktdaten (Pflanzen – Ertrag – Standort - Bewirtschaftung) erforderlich. Es zeigte sich, dass die Genauigkeit dieser Karten mit zunehmendem Stichprobenumfang steigt (ISAAKS and SRIVASTAVA, 1989; ENGLUND et al., 1992) und dass mit geringerem Stichprobenumfang die Auflösung der Karten abnimmt (GOTWAY et al., 1996). Die Genauigkeit einer interpolierten Karte ist abhängig vom Beprobungsmuster als auch vom Beprobungsabstand (VOLTZ and WEBSTER, 1990; ENGLUND et al., 1992; GOTWAY et al., 1996) d.h. auch Beprobungsdichte (MUELLER et al., 2001; SCHLOEDER et al., 2001), wobei dies nach SADLER et al. (1998) in erster Linie von der räumlichen Struktur der Bodeneigenschaften abhängt.

Die Suche nach dem geeigneten Interpolationsverfahren, das einer möglichst akkuraten

Darstellung der Messdaten, vorwiegend Bodenparameter, als flächenhafte Struktur ermöglicht, wurde von zahlreichen Autoren (u.a. VOLTZ and WEBSTER, 1990; GOTWAY et al., 1996) ebenfalls durchgeführt. Darunter werden hauptsächlich IDW (Inverse-Distance-Weighting Interpolation) und Kriging angewendet (SCHLOEDER et al., 2001; MUELLER et al., 2001).

Es fehlen jedoch Untersuchungen, die, den Verlust an Informationen quantifizieren, der auftritt, wenn der Beprobungsabstand der erhobenen biotischen und abiotischen Grünlandparameter auf die üblichen 50 m schrittweise vergrößert wird. Weiterhin liegen keine Erkenntnisse über die kleinräumige Variabilität der biotischen und abiotischen Parameter des Grünlandes innerhalb eines Schlages vor.

Die zentralen Fragen für die Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Grünlandbeständen waren:

- Ermittlung der Flächenheterogenität bezüglich botanischer Artenzusammensetzung, Phytomasse- und Standortparametern schlagbezogen und auf Teilflächen eines Schlages.
- Ermittlung räumlicher Muster von Grünlanderträgen, Futterqualität, Artenzusammensetzung und ausgewählten Standortparametern sowie deren zeitliche Dynamik innerhalb eines Schlages.
- Analyse der Zusammenhänge zwischen Artenzusammensetzung, Phytomasse- und Standortparametern innerhalb eines Schlages und deren zeitliche Dynamik.
- Quantifizierung der Informationsverluste bei der punktuellen Beprobung von Artenzusammensetzung, Phytomasse- und Standortparametern mit unterschiedlicher Rasterweite; Entwicklung und Bewertung von Beprobungsstrategien.

Vor allem sollte die Frage beantwortet werden:

Lassen sich durch die musterartige Abbildung der Pflanzengemeinschaften auf der Fläche Rückschlüsse auf Standort-, Ertrags- oder Futterqualitätsabhängigkeiten ziehen, die eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung begründen könnten?

2. Material und Methoden

2.1 Standort

2.1.1 Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet wurde die Teilfläche „Mühlberg“ des Versuchsbetriebes für ökologische Landwirtschaft „Hessische Staatsdomäne Frankenhausen“ der Universität Kassel ausgewählt. Die Domäne wurde von der Universität Kassel im Jahr 1998 übernommen und wird seitdem nach AgÖL-Richtlinien bewirtschaftet.

Die „Hessische Staatsdomäne Frankenhausen“ liegt in Nordhessen, etwa 8 Kilometer nördlich von Kassel in der Gemeinde Grebenstein. Ihre Flächen breiten sich auf einem Plateau aus, das ca. 230 m über NN liegt. Das Untersuchungsgebiet Mühlberg umfasst ca. 20 ha. Der Standort zeigt einen Höhenunterschied von 32 m (218 – 250 m ü. NN) und weist ein ausgeprägtes Geländere Relief auf. Er ist vorwiegend in nordwestlicher Richtung exponiert, mit Hangneigungen bis 20 %.

2.1.2 Untersuchungszeitraum

Der Zeitraum der Untersuchung erstreckte sich über die Jahre 2001 bis 2003. Einige Vorbeprobungen liefen schon ab 1999, da ab diesem Zeitpunkt eine Kartierung des Bodens im 50 m Raster auf den Gesamtflächen der „Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen“ erfolgte.

2.1.3 Geologie

Der Versuchsbetrieb befindet sich im Naturraum der Westhessischen Senke, die Teil der präpermisch angelegten Hessischen Senke (aus dem Paläozoikum) ist (WALTER, 1995). Sie ist einem tektonischen Grabensystem aus dem Tertiär zuzuordnen und auch Teil der sogenannten geologischen Mittelmeer-Mjösen-Zone (LOTZ, 1995). Sie besteht aus einer Vielzahl von kleinen, lößbedeckten, durch flache Schwellen getrennte Becken und wird von vulkanisch gebildetem Bergland begleitet. Die Flächen der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen liegen vorzugsweise in einer der Senkenfolgen der Westhessischen Senke, der Rötensenke von Hofgeismar (LINSTOW u. BREDDIN, 1928; KLINK, 1969). Ihr Untergrund besteht aus Oberem Buntsandstein (Röt) und wird im Osten sowohl von mesozoischen Gesteinen als auch von den gehobenen und harten Gesteinen des mittleren Buntsandsteins begrenzt. Im Nordwesten findet sie ihre Grenze im Mittleren Muschelkalk, im Westen im Unteren Muschelkalk und zwei Ausläufertälern. Die charakterisierenden Gesteine des Betriebes sind im Westteil lößbedeckte Buntsandsteine, die Mächtigkeiten bis 7,5 m erreichen und weichgeformte Hänge bilden (BRANDT, 2001). Östlich dominieren die Buntsandsteine mit einigen Bergkegeln aus Basalt. Auf dem „Mühlberg“ wird der dominierende Obere Buntsandstein (Röt) mit Löss und Kolluvien in unterschiedlicher Mächtigkeit überdeckt. Auen und Hangbereiche sind durch Stau- und Hangwasser geprägt. Diese Voraussetzungen haben zu einem breiten Spektrum unterschiedlicher Bodentypen auf der Untersuchungsfläche geführt.

2.1.4 Böden

Die große Variabilität der bodenbildenden Faktoren Relief und Ausgangsgestein bedingt auf dem Gebiet eine Vielzahl von Bodenformen auf kleinem Raum. Auf den Kuppen und Hängen aus Lößlehmdecken haben sich Parabraunerden (z.T. erodiert) entwickelt. In Mulden und an Unterhängen befinden sich Kolluvisole, während in den Tiefenlinien Gleye und Auengleye aus überwiegend lehmig-schluffigem Material mit wechselnden Grundwasserständen anzutreffen sind (Jungfernbach). Östlich des Baches tritt der Löß an vielen Stellen zurück und Buntsandstein taucht auf, der zur Bildung von Pelosol-Braunerden mit Übergängen zu kalkhaltigem Pelosol geführt hat. Die Beschreibung der Böden der Staatsdomäne Frankenhausen im 50 m - Raster wurde durch das Fachgebiet Bodenkunde der Universität Kassel bearbeitet (BRANDT, 2001; BRANDT et al., 2001a; BRANDT unveröffentlicht). Auf dem „Mühlberg“ wechseln sich auf den Kuppen Braunerde mit Parabraunerde und gelegentlich Kolluvisol (antropogen bedingt durch straßenbauliche Maßnahmen), in Hanglagen Kolluvisol mit Braunerde-Ranker und Pelosol ab, während am Hangfuß und in der Aue häufig Gley und Auenboden zu finden sind.

2.1.5 Klima und Witterung

Das Untersuchungsgebiet wird dem Nordhessischen Bergland (Kasseler Raum) mit subozeanischem und kühl-gemäßigtem Klima innerhalb des Westlichen Klimabezirkes Mitteldeutschlands zugeordnet. Der Kasseler Raum weist ein langjähriges Mittel der Jahresniederschläge (1961 - 1990) von 698 mm auf, die Jahresmitteltemperatur beträgt 8,5 °C (MÜLLER-WESTERMEIER, 1996). Die langjährigen monatlichen Niederschlagsmengen und Temperaturdaten für den internationalen Referenzzeitraum 1961 - 1990 sind in Form von Mittelwerten in Tab. 1 zusammengestellt.

Tab. 1: Wetterdaten für das Untersuchungsgebiet (Referenzzeitraum 1961-1990): Monatliche Mittelwerte der Lufttemperatur und monatliche Niederschlagsmenge.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept	Okt.	Nov.	Dez.
Monatliche Niederschlagssumme (mm)	55	43	51	50	67	79	64	63	54	46	59	67
Monatliche Durchschnittstemperatur (°C)	-0.2	0.8	3.9	7.9	12.6	15.6	17.2	16.9	13.5	9.3	4.1	1.1

Der Witterungsverlauf der letzten 13 Jahre (im Mittel von 1991 - 2003: 717 mm und 9,2 °C, Wetterstation Kassel nach Angaben des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES, Abb. 1) unterscheidet sich von den langjährigen monatlichen Mittelwerten des Jahresniederschlags und der Jahresmitteltemperatur im Raum Kassel (1961 - 1990). Die Niederschlagsmengen sind in den Sommermonaten Juni und Juli am höchsten, wobei auch Oktober und Dezember als niederschlagreiche Monate hervortreten. Die niedrigsten Lufttemperaturen im Monatsmittel werden im Januar (0,9 °C), die höchsten im August (18,3 °C) erreicht.

Kassel (231m NN)

51° 17' N 09°26' O

(1991 – 2003)

9,2°C 717mm

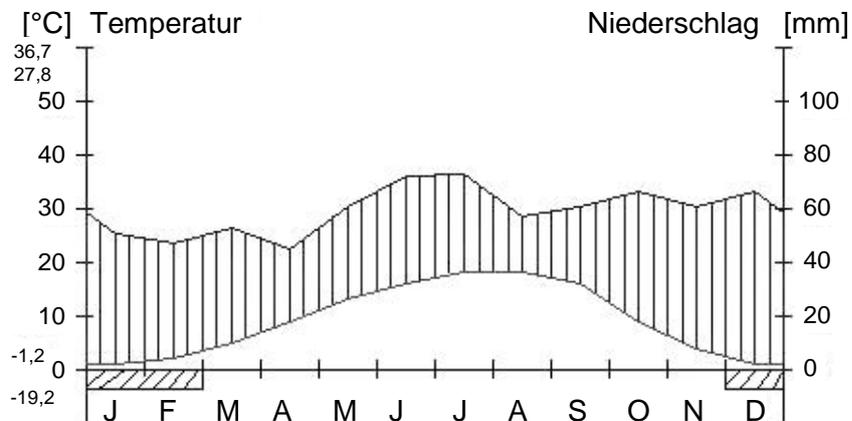


Abb. 1: Monatliche Temperaturen und Niederschläge im 13-jährigen Mittel (1991-2003) der Wetterstation Kassel nach Angaben des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES - Erläuterung in Kap. 2.2.4.

Der Witterungsverlauf in den Untersuchungsjahren war sehr unterschiedlich (Abb. 2; Tab. 2). Durchschnittliche Jahrestemperaturen und durchschnittliche Temperaturen der Vegetationsperioden (von April bis Oktober) lagen höher als im langjährigen Referenzzeitraum 1961 - 1990. Im Gegensatz dazu war die jährliche Niederschlagssumme nur in 2002 höher als im Referenzzeitraum, allerdings außerhalb der Vegetationsperiode (April bis Oktober).

In den Jahren 2001 bis 2003 lagen die monatlichen Temperaturmittel mit Ausnahme von September, Oktober und Dezember über den Werten des langjährigen Mittels. Dabei war der August durchschnittlich um 2,3 °C wärmer als im langjährigen Mittel.

Gleichzeitig war die durchschnittliche Summe der monatlichen Niederschläge der Jahre 2001-2003 in den meisten Monaten niedriger als der langjährige Durchschnitt mit Ausnahme der Monate Februar, Juli, September und Oktober. Vor allem im August waren die durchschnittlichen Niederschlagsmengen um fast 34 mm niedriger.

Von allen drei Untersuchungsjahren war 2002 das regenreichste und zugleich wärmste, vor allem war der Monat Februar extrem mild. Überdurchschnittliche Niederschlagsmengen fielen im Februar, Juli und Oktober bis Dezember. Im Gegensatz dazu waren sie im Januar, April und September extrem niedrig. In 2003 war der extrem heiße Sommer besonders auffallend mit den höchsten Temperaturen im August und extrem niedrigen Temperaturen im Februar und Oktober. Im Jahr 2003 fielen, mit Ausnahme des Januars, in zehn Monaten unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen, was ein deutliches Jahresniederschlagsdefizit zur Folge hatte.

Tab. 2: Jahres-Niederschlagssumme, Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode (April bis Oktober), Jahres-Mittelwert der Monats-Lufttemperatur und Mittelwert der Monats-Lufttemperatur in den Vegetationsperioden der Jahre 2001 bis 2003 und des Referenzzeitraumes 1961 - 1990. (Wetterstation Frankenhausen, Kassel-Calden und Kassel - siehe Kap. 2.2.4).

	Ø 1961-1990	2001	2002	2003
Jahres-Niederschlagssumme (mm)	698	685,3	702,5	440,5
Jahres-Mittelwert der Monats-Lufttemperatur (°C)	8,5	9,2	9,3	9,2
Vegetationsperiode-Niederschlagssumme (mm)	423	382,8	361,3	253,5
Vegetationsperiode-Mittelwert der Monats-Lufttemperatur (°C)	13,3	14	13,4	14,1

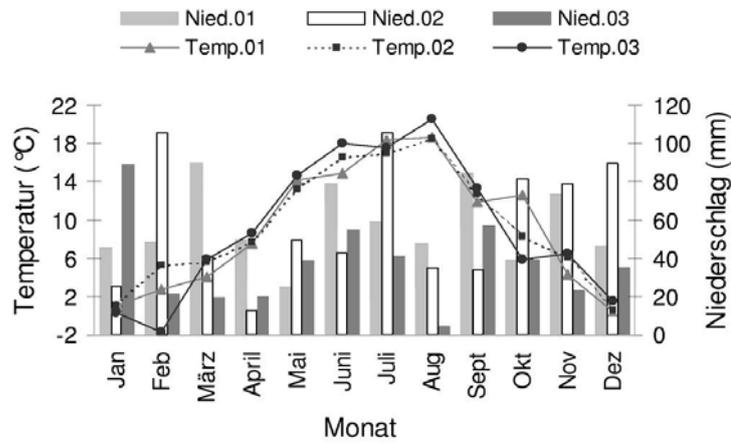


Abb. 2: Wetterdaten aus den Untersuchungsjahren 2001 bis 2003: Monatliche Mittel von Lufttemperatur und Niederschlagsmenge in Frankenhausen (siehe Kap. 2.2.4).

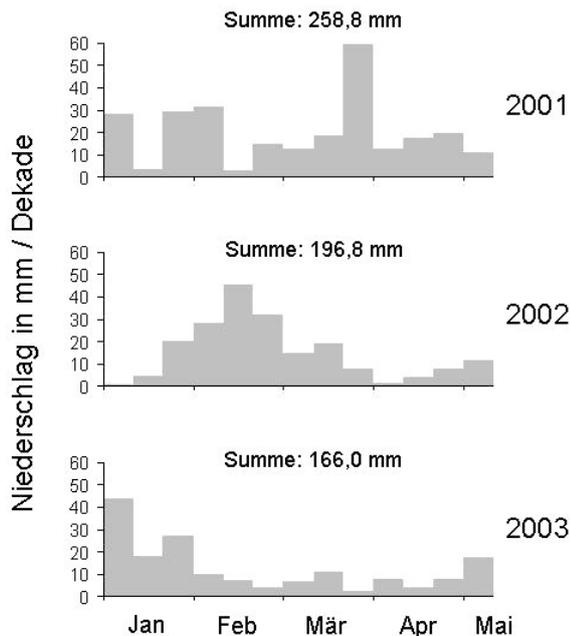


Abb. 3: Niederschlagsmenge der jeweils ersten 4 Monate der Untersuchungsjahre.

Für den Zeitraum von Januar bis zum 1. Schnitt (ca. 10. Mai) d.h. vor und am Anfang der Vegetationsperiode ist in Abb. 3 die Niederschlagsversorgung der Untersuchungsjahre zusammengefasst. Dabei wurden die täglichen Niederschläge als Dekade dargestellt. Die beste Wasserversorgung zeigten die Jahre 2001 (258,8 mm) und 2002 (196,8 mm). Vergleichsweise niedrige Niederschlagsmengen gab es in 2003 (166 mm).

2.1.6 Vegetation des Untersuchungsgebietes

Vor der Übernahme der Domäne Frankenhausen durch die Universität Kassel im Jahr 1998 wurde der Mühlberg zwanzig Jahre lang als Acker genutzt. Im Herbst 1998 erfolgte auf der Untersuchungsfläche eine einheitliche Grünlandneusaat. Die Zusammensetzung der Saat-Mischung wird in Tab. 3 wiedergegeben. Die Ausbringung des Saatgutes erfolgte mit einer Drillmaschine.

Tab. 3: Ansaatmischung auf der Untersuchungsfläche.

Arten	Sorten	Saatmenge in kg ha ⁻¹
Lolium perenne	Liprinta, früh	1
	Lihersa, mittel	1
	Limes, spät	2
Festuca pratensis	Leiflix, mittel	4
Dactylis glomerata	Lidagio, spät	3
Phleum pratense	Lirocco, mittel	1.5
Poa pratensis	Limagio, früh	3
Festuca rubra	Tridano, spät	2
Trifolium repens	Lirepa	4
Aussaatmenge insgesamt		21.5

Die Arten der Ansaatmischung werden nachfolgend auch „angesäte Arten“ genannt, nicht in der Ansaatmischung enthaltene Arten werden als „nicht angesäte Arten“ bezeichnet.

2.1.7 Bewirtschaftung der Untersuchungsfläche

In den ersten beiden Jahren nach der Ansaat wurde die Untersuchungsfläche einheitlich gemäht, da noch kein Viehbestand auf dem Betrieb vorhanden war. Seit 2001 erfolgte die Bewirtschaftung als Mähweide, wobei Mahd und Beweidung auf den Flächen jährlich wechselten. Dadurch konnte nach der Ansaat eine weitgehend einheitliche Nutzung umgesetzt werden. Bei geringem Aufwuchs während der Sommermonate (Wachstumsdepression in der Trockenperiode) wurden die Tiere (Jungvieh und Milchvieh) auf der Weide mit konserviertem Aufwuchs zugefüttert.

Als Pflegemaßnahmen erfolgten ab 2001 im Frühjahr das Eggen des Mühlberges und nach der Beweidung das Mulchen der Weidereste. Auf jährlich alternierenden Teilflächen erfolgte außerdem zu Vegetationsbeginn die Ausbringung von ca. 20 m³ ha⁻¹ Gülle mit Hilfe eines Schleppschlauch-Verteilers.

2.2 Erhebungsmethoden

2.2.1 Räumliche Verteilung der Beprobungsflächen

Die Beprobung der Untersuchungsfläche folgte in einem Raster (50 m) von 97 Punkten auf 20 ha mit einer Probenflächengröße von 1 m². Zusätzlich erfolgten jährlich dichtere Beprobungen auf einer 50x50 m großen Teilfläche (= 81 Punkte) eines Rasters, das einer vielfachen Unterteilung des ganzflächigen 50 m-Rasters entsprach und ein Intervall von 6,25 m hatte (nachfolgend „Intensivfläche“ genannt). 2002 wurden zusätzliche Beprobungspunkte in die Intensivfläche aufgenommen. Dies ermöglichte die komplette Abdeckung des Berghangs. Die Probenflächenverteilung auf dem Mühlberg und der fein gerasterten Teilfläche für die Jahre 2001-2003 („Intensivfläche“; I01, I02, I03) wird in der Abb. 4 dargestellt.

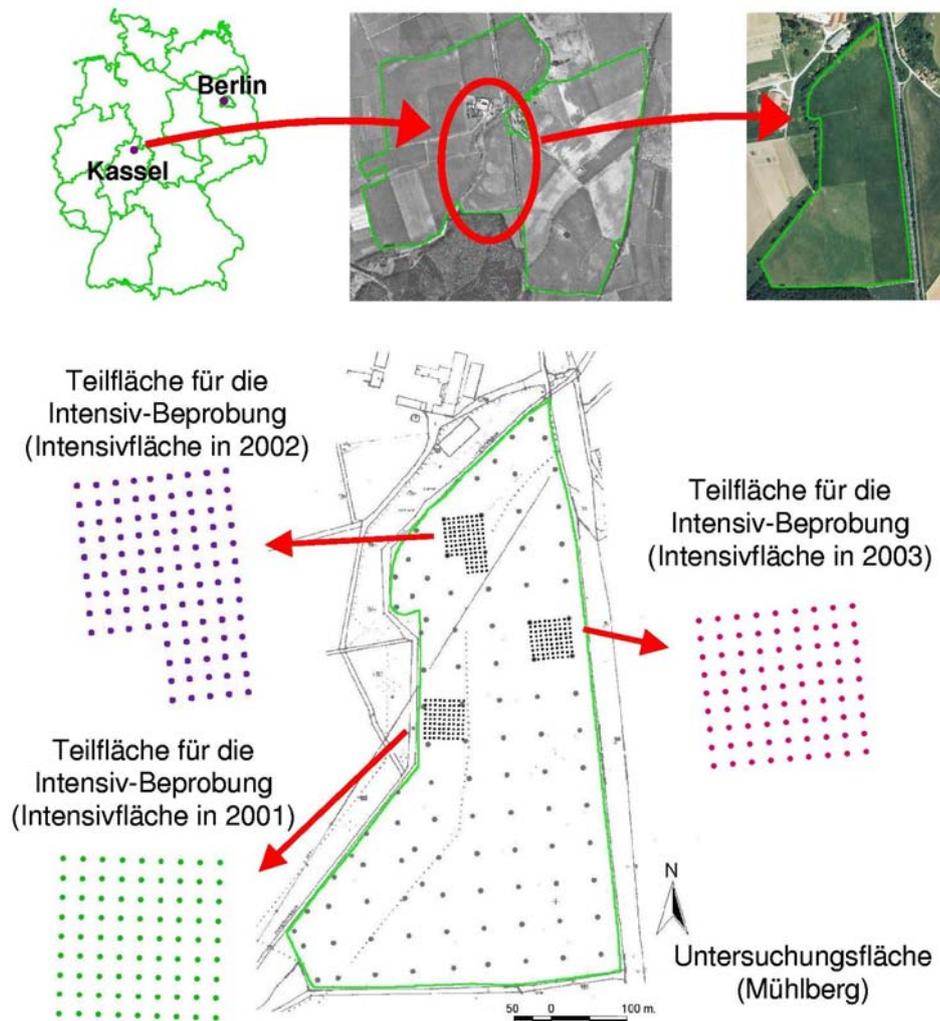


Abb. 4: Lage des Untersuchungsgebietes, der Untersuchungsfläche und Verteilung der Probenflächen im 50 m-Raster sowie auf der feingerasterten Teilfläche.

2.2.2 Topographie

Ein präzises digitales Geländemodell (horizontale Messgenauigkeit 1-2 cm) wurde durch Vermessung der Gesamtfläche mit Präzisions-GPS (montiert auf einem Gelände – Vierrad (Quad)) erstellt. Dazu wurde die Gesamtfläche streifenweise im 5 m - Abstand

befahren und nach jeweils 5 Metern wurde die Position sowie die Höhe gemessen und gespeichert. Die Ableitung weiterer topografischer Parameter und deren Untersuchung wird im Kapitel 2.3.2. beschrieben.

2.2.3 Bodenkartierung und Bodenuntersuchungen

Für die Beprobungspunkte der Untersuchungsfläche und der intensiv beprobten Teilflächen erfolgte eine Bodenkartierung mit dem Bohrstock (Tab. 5). Die Profilansprache wurde gemäß den Richtlinien der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA4 (AG BODENKUNDE 1996) durchgeführt. Für die Textur wurden die metrischen Mittelwerte der geschätzten Klassen der KA 4 übernommen. Die Erfassung dieser Daten wurde in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Bodenkunde der Universität Kassel vorgenommen (BRANDT, 2001; BRANDT et al., 2001a; BRANDT u. HAMMER-WEIß, unveröffentlicht). An diesen Stellen wurde dem Boden auch eine Volumenprobe mit Stechzylinder im Bereich der Hauptwurzelzone (Oberboden, 10 cm Tiefe) entnommen. Daran wurden Lagerungsdichte, gravimetrisches Wasservolumen und Steingehalt untersucht. Die Beprobungen für jede Untersuchungsfläche (Untersuchungsfläche „Mühlberg; Teilfläche für die Intensiv-Beprobung) konnten nicht gleichzeitig durchgeführt werden. Daher erstreckte sich die Beprobung über mehrere Termine zwischen 2001 und 2003.

Durch die Angaben aus den Bodenprofilansprachen und Lagerungsdichten wurden gemäß den Richtlinien der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA4 (AG BODENKUNDE, 1996) schrittweise zuerst nutzbare Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums sowie nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums mit Berücksichtigung des Steingehalts berechnet. Für den effektiven Wurzelraum wurden die Werte nach RENGER und STREBEL (1980) angenommen.

Neben der Bodenkartierung fand an denselben Stellen die Entnahme von Bodenproben in zwei Tiefen (0-7 cm und 7-15 cm) statt, außer für die Gesamtuntersuchungsfläche im 50 m-Raster. Dort erfolgte die Erhebung 1999 in einer Tiefe bis 15 cm auf der gerade angesäten ehemaligen Ackerfläche.

Die Bodenproben wurden nach Lufttrocknung, Zerkleinerung (Backenbrecher) und Absiebung (2 mm Sieb) auf pH-Wert, pflanzenverfügbare Grundnährstoffe (Mg, K, P), Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff sowie organischen Kohlenstoff analysiert (Tab. 4). Die Laboruntersuchungen wurden teilweise an der LUFA KASSEL und teilweise am Fachgebiet Bodenkunde der Universität Kassel durchgeführt.

Auf der Gesamtfläche und den intensivbeprobten Teilflächen erfolgte im Frühjahr 2003 die Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens (ECa). Hierzu wurde ein EM38-Sensor (Firma GEONICS Ltd., Missisauga, Ontario, Kanada) verwendet, der nach dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens misst (SUDDUTH et al., 2003). Durch bahnenförmiges Abfahren der Fläche im 5m-Abstand und Messabständen innerhalb einer Bahn von etwa 3,5 m ermittelte die Firma AGRICON (Jahna, D) die Leitfähigkeitswerte. Da die Befahrung im Frühjahr bei Feldkapazität erfolgte, lassen sich in erster Linie Aussagen zur Textur des Bodens treffen (LÜCK and EISENREICH, 1999; SCHMIDHALTER and ZINZEL, 1999; MCNEILL,

1980). Die Notwendigkeit einer Temperaturkorrektur, wie bei DURLESSER (1999) und LÜCK et al. (2002) vorgeschlagen wird, war aufgrund der konstanten Außentemperatur während des Messzeitraums nicht erforderlich.

Da für einige Übergangsbodentypen (Tab. 6) nicht genügend Wiederholungen vorlagen, wurden sie entsprechend ähnlichen Bodentypen zugeordnet, um eine statistische Auswertung zu ermöglichen. Beispielsweise wurden die Gley-Braunauenböden mit dem Braunauenboden zusammengefasst. Auch die Pseudogley-Braunerden wurden mit der Braunerde sowie die Wechselgleye mit den Gleyen zusammengefasst.

Tab. 4: Verwendete Methoden für die untersuchten Bodenparameter.

Parameter	Methode / Literaturangabe
Mg	CaCl ₂ Extraktion, Messung am AAS / HOFFMANN, 1991
K als K ₂ O	CAL-Extraktion, Messung am Flammenphotometer / HOFFMANN, 1991
P, als P ₂ O ₅	CAL-Extraktion, Messung am Spektralphotometer / HOFFMANN, 1991
pH-Wert	Bodensuspension aus 10 g + 25 ml 0,01 M CaCl ₂ / HOFFMANN, 1991
C _t , N _t	Elementaranalysator (Vario EL) bei 950°C und Wärmeleitfähigkeitsdetektion / SCHLICHTING et al., 1995
C _{min}	gasvolumetrische Bestimmung nach Scheibler als CaCO ₃ / HOFFMANN, 1991
C _{org}	Rechnerisch aus der Differenz zwischen C _{min} und C _t

Tab. 5: Zusammenstellung der Zeitpunkte der verschiedenen Bodenuntersuchungen und Messungen auf dem Mühlberg.

	Bodenkartierung	Lagerungsdichte	Bodenprobenentnahme für Laboruntersuchung	ECa - Messung
Gesamtfläche - 50m R.	1999	2001	1999	2003
Intensivfläche I01	2001	2001	2001	
Intensivfläche I02	2002	2002	2002	
Intensivfläche I03	2003	2003	2003	

2.2.4 Ermittlung von Wetterdaten

Die langjährigen Wetterdaten wurden aus der Wetterstation Kassel nach Angaben des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES zusammengestellt. Grundsätzlich wurden die Wetterdaten aus der Wetterstation von Frankenhausen (Firma THEODOR FRIEDRICHS & CO., METEOROL. GERÄTE UND SYSTEME GmbH, Schenefeld, D) verwendet. Bei Ausfällen wurde auf die Daten der Nachbarstation Kassel-Calden (bei UL-Flugschule O. Liedmann - www.ultraleicht.de) oder Kassel (Station 10438 - Deutscher Wetterdienst - www.dwd.de) zurückgegriffen.

2.2.5 Vegetationsaufnahmen

Die Artenzusammensetzung der Grünlandnarbe wurde anhand von Ertragsanteilschätzungen nach KLAPP (VOIGTLÄNDER u. VOß, 1979) erfasst. Diese Methode wurde leicht abgeändert, indem für selten vorhandene Arten (2-3 Exemplare) ein Ertragsanteil von 0,1 % vergeben wurde. Auf den Rasterpunkten des ganzflächigen 50 m-Rasters und den Flächen, die intensiv untersucht wurden, erfolgte die Erhebung der Vegetation vor der ersten Nutzung, um aktuelle Nutzungseinflüsse weitgehend auszuschließen und die Artenzusammensetzung der Vegetation in erster Linie auf

Standortgegebenheiten zurückführen zu können. Um Zusammenhänge zwischen Ertragsmessungen und Vegetation besser ableiten zu können, wurden die Vegetationsaufnahmen auf einer kleineren, für hohe Probendichten geeigneten Größe von 1 m² erhoben (GEYGER, 1964; 'T MANNETJE and JONES, 2000), die auch als Mess- und Schnittflächen dienten. Der größte Teil der Probenerhebung wurde darüber hinaus von Vegetationsaufnahmen auf Minimumarealen (16 - 25 m²) (VOIGTLÄNDER und VOß, 1979) begleitet, um die Ergebnisse mit anderen Untersuchungen vergleichbar zu machen. Die Bestimmung der Arten erfolgte nach ROTHMALER (1994) und für ihre Benennung wurde die Nomenklatur aus der Standardliste (WISSKIRCHEN und HAEUPLER, 1998) verwendet.

2.2.6 Oberirdische Phytomasse

2.2.6.1 Trockenmasseerträge

Auf der Untersuchungsfläche und Intensivuntersuchungsflächen erfolgte jährlich (2001 bis 2003) eine Beprobung des ersten Aufwuchses zur Bestimmung des Ertrages vor der ersten Nutzung (Weideauftrieb). Nur zu diesem Zeitpunkt konnten aktuelle Nutzungseinflüsse auf die Grünlandnarbe ausgeschlossen und Ursachen für die Artenzusammensetzung in erster Linie auf Standortgegebenheiten zurückgeführt werden. Dieser Ertragsschnitt wurde immer vor dem 10. Mai auf allen 1 m² Probestellen durchgeführt. Der Zeitpunkt des Schnittes wurde nicht anhand der morphologischen Entwicklung einer Art festgelegt, sondern richtete sich nach dem von der Staatsdomäne Frankenhausen festgestellten Zeitpunkt des Viehauftriebs. Die frische Phytomasse wurde mit Hilfe eines Metallrahmens (1 x 1 m), eines Doppelmesserschneidgerätes und Elektroscheren (MODEL ACCU 6, Firma GARDENA KRESS und KASTNER GmbH, Ulm, D) bei einer Schnitthöhe von 3 cm geerntet. Das Schnittgut wurde in Crispack-Beuteln (Firma BAUMANN SAATZUCHTBEDARF, Waldenburg, D) verpackt und zuerst bei 60°C getrocknet (48 h im Umluftofen, lagerungsfähig), zu einem späteren Zeitpunkt zusätzlich noch bei 105°C, um die Trockensubstanz pro Hektar errechnen zu können. Die Überschätzungen bei 60°C-Trocknung im Gegensatz zur 105°C-Trocknung betrug 1 bis 2 %.

2.2.6.2 Qualitätsuntersuchungen

Die Ertragsschnittproben von der Gesamtfläche und der Intensivuntersuchung der Jahre 2002 und 2003 wurden im Labor des Fachgebietes Tierernährung und Tiergesundheit der Universität Kassel auf ihre Futterqualität hin untersucht. Zuvor wurden sie gemahlen und auf 1 mm abgesiebt (Pflanzenmühle - Firma RETSCH). Für die Bestimmung der Roh Nährstofffraktionen wurde die Nah-Infrarot-Reflexionsspektroskopie (NIRS) angewendet (Gerät: FOSS-NIRSYSTEM-6500). Die Spektren wurden mit der WIN-ISI-SOFTWARE (v.1.4) (Infrasoft International) analysiert. Die Erstellung der NIRS-Kalibration erfolgte aus der Kalibrierungsgleichung von 50 Proben (von 1999 bis 2002) nach der Referenzmethode Weender Analyse (NAUMANN u. BASSLER, 1976). Die NIRS-Methode ist ursprünglich nicht für die Bestimmung von Aschegehalten vorgesehen, da eigentlich

nur organische Bindungen im Nahinfrarotbereich Absorptionen zeigen. Allerdings wurde in der Praxis festgestellt, dass auch anorganische Bestandteile mit hinreichender Verlässlichkeit nachgewiesen werden können (vergleiche u.a. GILLON et al., 1999). Die Schätzung des Aschegehaltes mit NIRS ist allerdings nicht so genau wie für Rohfaser und Rohprotein, daher erfolgte eine genauere Quantifizierung des Aschegehaltes erneut durch Veraschung des gesamten Probenmaterials im Muffelofen. Der Energiegehalt wurde unter Einbeziehung von Verdaulichkeitswerten aus Futterwerttabellen (Grünfütter, frisch, 1. Aufwuchs: grasreich -obergrasbetont- Grünland mit 2-3 Nutzungen; DLG, 1997) berechnet (Formel siehe Anhang). Alle Angaben zu den Rohnährstoffgehalten beziehen sich auf die Trockenmasse bei 105 °C.

2.2.7 Bewirtschaftungsdaten

Der Mühlberg wurde im Vorjahr des Untersuchungszeitraumes, das für die Berücksichtigung der Einflüsse auf die in 2001 vorkommende Vegetation relevant ist, einheitlich gemäht (Erläuterung in Kap 2.1.7). Anschließend wurde die Untersuchungsfläche ab 2001 auch beweidet. Anhand des Weidebuches der Staatdomäne Frankenhausen wurde der Viehbesatz für jeden Beprobungspunkt nach VOIGTLÄNDER und JACOB (1987) als durchschnittliche Jahresbesatzleistung für die Jahre 2001 und 2002 berechnet (2003 wurde nicht berücksichtigt, da die Ernte vor der Beweidung stattfand). Die Jahresbesatzleistung wurde in Großvieheinheit pro Hektar (GV ha^{-1}) und Jahr angegeben (Formel siehe Anhang). Zusätzlich wurden auch die durchschnittliche (2001-2002) Besatzdichte (GV ha^{-1}) und Besatzleistung (GV-Tage ha^{-1}) (nach VOIGTLÄNDER und JACOB, 1987) berechnet.

Die Weidekoppeln hatten eine durchschnittliche Größe von 2,10 ha, mit einer Spannbreite von 1,1 bis 3,96 ha (innerhalb der 2 Jahre). Abb. 5 zeigt die Anzahl der Beprobungspunkte mit gleicher durchschnittlicher Jahresbesatzleistung.

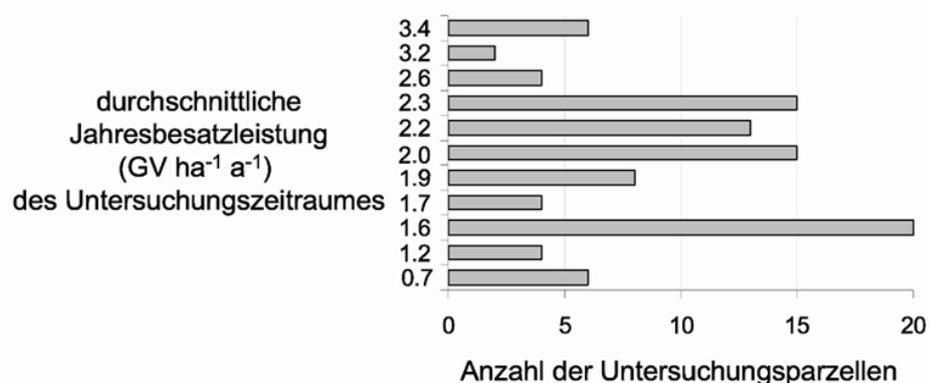


Abb. 5: Durchschnittliche Jahresbesatzleistung ($\text{GV ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) für die Jahre 2001 und 2002 der Beprobungspunkte des Mühlberges und Anzahl der Parzellen mit der gleichen durchschnittlichen Jahresbesatzleistung.

2.3 Datenverarbeitung

2.3.1 Statistische Verfahren

2.3.1.1 Box-Whisker-Plots

Um die Ergebnisse zu visualisieren, wurden Box-and-Whiskers-Plots (im Folgenden kurz als Box-Plots bezeichnet) verwendet. Die Box-Plots ermöglichen eine komprimierte Darstellung der Daten. Der Strich innerhalb der Box kennzeichnet den Median, die untere Grenze der Box das 25 %-Perzentil und die obere Grenze das 75 %-Perzentil. Damit liegen die mittleren 50 % der Werte innerhalb der Box. Die ober- und unterhalb der Box stehenden Querstriche geben den größten und kleinsten Wert an (Whisker-Länge = $\pm 1,5 \times$ Länge des Interquartilabstandes). Liegen Werte um das 1,5 bis 3 fache höher als der Interquartilsabstand (IQR) bezeichnet man sie als Ausreißer (Symbol: O). Werte die das 3 fache des IQR überschreiten gelten als Extremwerte (Symbol: *).

2.3.1.2 Verwendete Tests

Die Unterschiede in einer Variablen zwischen zwei Gruppen von nicht-normalverteilten Datensätzen wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test (auch mit Bonferroni-Korrektur) (SACHS, 1997) geprüft. Zur Erfassung von Unterschieden zwischen mehreren Gruppen von nicht-normalverteilten Datensätzen wurde der Kruskal-Wallis-Test (SACHS, 1997) verwendet. Für den anschließenden paarweisen Vergleich wurden multiple Mittelwertsvergleiche nach dem nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test ($\alpha=0,05$) (SACHS, 1997) durchgeführt.

Zur Überprüfung der Normalverteilung der Variablen wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test ($\alpha=0,10$) (SACHS, 1997) eingesetzt. Hierzu wurden die Residuen überprüft (KÖHLER et al., 1996). Bei einigen Variablen wurde eine logarithmische Transformation der Werte durchgeführt.

Für die statistische Feststellung von extrem hohen oder niedrigen Werten innerhalb einer Reihe wurde der Ausreißer-Test nach Grubbs (GRUBBS, 1969) angewendet. Damit wurden auf der intensiv beprobten Teilfläche I03 einige Werte des P- und K-Gehaltes der oberen Tiefe als Ausreißer ermittelt und entsprechend aus dem Datensatz entfernt.

2.3.1.3 Korrelationen

Die Korrelation zwischen zwei Variablen wurde anhand des Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten (bei einer vorliegenden nicht parametrischen Verteilung) oder Pearson'schen Korrelationskoeffizienten (bei einer vorliegenden parametrischen Verteilung) bestimmt (SACHS, 1997).

Der jeweilige Zusammenhang zwischen den spezifischen Ertragsanteilen der Arten, den Trockenmasseerträgen, den Futterqualitätsparametern und den Standortfaktoren wurde mittels des Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten (bei einer vorliegenden nicht parametrischen Verteilung) oder Pearson'schen Korrelationskoeffizienten (bei einer vorliegenden parametrischen Verteilung) bestimmt (SACHS, 1990). Die Standortparameter (siehe Tab. 8), die bei der Analyse herangezogen wurden, waren

Nährstoffgehalte des Bodens (Mg-, K-, P-Gehalt), pH-Wert, C_t -, C_{org} -, N_t -Gehalt, Lagerungsdichte, nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes, elektrische Leitfähigkeit des Bodens, Korngrößenfraktion des Bodens und Reliefattribute (Hangneigung, Hangrichtung, Vertikalkrümmung und topographischer Wetness-Index; siehe auch Kap. 2.3.2. GIS-Analysen). Das Verfahren wurde für die Vegetationsaufnahmen der Gesamtfläche sowie für die der Intensivuntersuchung durchgeführt. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS (RELEASE 10.0, SPSS Inc., 1999). Damit wurden auch die Zusammenhänge zwischen Vegetation und Standort analysiert.

2.3.1.4 Clusteranalyse

Die Gruppierung der Vegetationsdaten des Mühlberges erfolgte getrennt für die Jahre 2001 bis 2003 mit Hilfe einer Clusteranalyse über eine, mittels Index nach van der Maarel (WESTOFF and VAN DER MAAREL, 1978) berechneten Ähnlichkeitsmatrix und einer Gruppenbildung nach dem Minimum Variance Clustering-Verfahren (ORLOCI, 1967). Diese Analyse erfolgte mit Hilfe des Programms Mulva-5 (WILDI and ORLOCI, 1996). Anschließend wurden die daraus gewonnenen Pflanzengruppen auf ihre Unterschiede untersucht. Diese Analyse diente als erster Schritt zur Durchführung einer Diskriminanzanalyse.

2.3.1.5 Diskriminanzanalyse

Die durch mehrere Variablen gekennzeichneten Unterschiede zwischen zuvor eingeteilten Pflanzengruppen wurden mittels Diskriminanzanalyse überprüft.

In die dafür gewählte Diskriminanzanalyse flossen für alle Pflanzengruppen die folgenden Daten ein: pH-Wert, Mg-, K-, P-, C_t -, C_{org} -, bzw. N_t -Gehalt, Trophiefaktor (siehe BRIEMLE, 1997), elektrische Leitfähigkeit, Lagerungsdichte, Steingehalt, gravimetrischer Wassergehalt, nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums, Reliefparameter, Bodenart bzw. Kornfraktionsanteil, Boden-, Acker- sowie Grünlandzahl (nach Reichsbodenschätzung), Zustand (nach Reichsbodenschätzung), Jahresbesatzleistung (Mittelwert 2001 und 2002), einzelne Ertragsanteile jeder Art aus den Vegetationsaufnahmen, Trockenmasseerträge, berechnete Wertzahlen (KLAPP'sche Wertzahl, VOIGTLÄNDER und VOß, 1979) und Zeigerwerte (Stickstoff- und Feuchtezahl, quantitativ, ELLENBERG et al., 1992) je Parzelle und Untersuchungsjahr. Die multiple Lösung ergibt beim Bilden der resultierenden Vektoren eine Matrix der Diskriminanzfunktionen und eine Matrix der Diskriminanzfaktorwerte, das heißt, die Pflanzengruppen unterscheiden sich in zwei Dimensionen. Zum einen zeigen die Faktorwerte, wie stark sich die Objekte (Parzellen) durch Polarordnung voneinander unterscheiden. Zum anderen zeigen die Funktionen durch die Ladungen, welche Variablen die Unterschiede zwischen den Gruppen charakterisieren. Die Diskriminanzfunktionen wurden durch die Maximierung der Unterschiede zwischen bzw. in den Gruppen ermittelt und auf Signifikanz ihres Varianzanteils mittels χ^2 -Test überprüft. Diese Analyse erfolgte mit dem Programm Canon - Multivariat Analyse von

LEHMANN (2002).

2.3.1.6 Multivariate Regressionsanalysen

Für die Untersuchung der Etablierung von *Trifolium repens* wurde für alle drei Jahre eine multivariate Regressionsanalyse mittels GLM-Procedures (GLM für "General Linear Model") in SAS (SAS Institute, 1997) verwendet.

Zur Bestimmung des Einflusses auf Weißkleeertragsanteile wurden in das Modell nicht nur die Haupteffekte, sondern auch ihre gegenseitige Beeinflussung in Form von Wechselwirkungen bzw. zweier und dreier Interaktionseffekte einbezogen. Das Modell wurde schrittweise auf die signifikanten Effekte ($P < 0.05$) reduziert. Als Haupteffekte wurden die chemischen Bodenwerte (pH-Wert, P-, K-, Mg- und N_r-Gehalt) sowie der geschätzte Tonfraktionsanteil ausgewählt.

Die Wirkung einzelner signifikanter Effekte aus der Regressionsgleichung wurde als Grafik dargestellt. Für die fortlaufend dargestellten Haupteffekte (Interaktionseffekte) wurde eine Variationsbreite („range“) ihrer Werte verwendet, die um ihre Mittelwerte +/- Standardabweichung lagen. Die in der Graphik nicht direkt dargestellten aber dennoch signifikanten Effekte waren darin implementiert und auf ihren Mittelwert fixiert.

Vor der Berechnung des Modells wurden die Weißkleeertragsanteile zunächst logarithmiert und anschließend für die graphische Darstellung wieder rücktransformiert. CONNOLLY and WACHENDORF (2001) geben detaillierte Erklärungen zu den genannten Berechnungen.

2.3.1.7 Spezielle Analysen bei den Intensivflächen

Für die beiden folgenden Analysen (Kap. 2.3.1.7.1 und 2.3.1.7.2) der Intensivflächen wurden je chemischem Bodenparameter beider Tiefen gewogene arithmetische Mittelwerte gebildet.

2.3.1.7.1 Vergleichsmaße für die interpolierten Karten der Intensivuntersuchungen

Um den Verlust an Information bei den punktuell erhobenen Datensätzen mit jeweils größeren Abständen im Vergleich zu den „vollständigen“ Datensätzen (6,25x6,25 m-Raster) sowie bei den interpolierten rasterartig angeordneten Punktdaten mit jeweils größeren Abständen festzustellen, wurden Mittelwert und statistische Streuungsmaßzahl wie Standardabweichung bzw. Variationskoeffizient verwendet.

Als Vergleichsmaß der Interpolation zwischen Datensätzen mit 6,25x6,25 m-Raster (Feldrealität) und Datensätzen mit unterschiedlicher Rasterweite wurde die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (RMSE - root mean square error) (VOLTZ and WEBSTER, 1990) berechnet (Formel siehe Anhang). Dieses Fehlermaß (in der Einheit der verschiedenen Parameter) beschreibt, inwieweit die geschätzten Werte (d.h. die Werte aus der Interpolation mit breiteren Rasterweiten) im Durchschnitt den Validierungswerten entsprechen, ohne dass sich dabei positive und negative Abweichungen gegenseitig ausgleichen können. Dabei werden größere Abweichungen

stärker gewichtet als kleinere.

Ein weiterhin verwendetes Vergleichsmaß ist die „Vorhersagbarkeits-Güte“ (G - goodness-of-prediction) (AGTERBERG, 1984 zitiert in GOTWAY et al., 1996; KRAVCHENKO and BULLOCK, 1999; SCHLOEDER et al., 2001) (Formel siehe Anhang), mit der die Genauigkeit eines jeden interpolierten Datensatzes ermittelt wird. Ein G-Wert gleich 100 zeigt das vollständige Eintreten der Vorhersage. Negative Werte hingegen zeigen eine sehr schlechte Qualität der Prognosen, d.h. schlechter als die Ergebnisse, die man bei der Interpolation mit dem Mittelwert der Daten erreicht hätte.

2.3.1.7.2 Berechnung des optimalen Stichprobenumfanges

Zur Berechnung des minimal notwendigen Stichprobenumfanges wurde die im Anhang dargestellte Formel angewendet. Dabei wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

Der minimal notwendige Stichprobenumfang (auf der Normalverteilung basierende Näherungen) lässt sich berechnen, wenn ein Stichprobenmittelwert höchstens um einen vorgegebenen Wert (maximal akzeptierte Fehlertoleranz) des Mittelwerts der Gesamtstichproben abweicht und dies mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit $1 - \alpha$ (Fehlerrisiko α) gelten soll. Die maximal akzeptierte Fehlertoleranz wurde bei $\pm 5\%$ festgelegt (vergleiche SHI et al., 2000). Beim Einsatz dieses Verfahrens ist die Normalverteilung der Messwerte Voraussetzung für die berechnete Nutzung der t-Werte (Student-t-Verteilung).

2.3.1.7.3 Variogrammanalyse

Die Untersuchung der räumlichen Abhängigkeit von Standortparametern und Pflanzenarten innerhalb der drei Intensivflächen erfolgte mittels Berechnung von Semivarianz (dargestellt als Semivariogramm bzw. Variogramm). Dabei wird überprüft, ob die Ähnlichkeit zwischen dicht nebeneinander liegenden Beprobungspunkten (oder Beprobungsflächen) größer war als die weiter voneinander entfernten.

Die Überprüfung von Nachbarschaftsabhängigkeiten erfolgte mit dem Programm Variowin (Vers. 2.2 von PANNATIER, 1996). Die Reichweite der räumlichen Abhängigkeit und die Varianz wurden auf Grundlage eines sogenannten Variogramms ermittelt, bei dem die Semivarianz (die Hälfte der Varianz der Inkremente zweier Messwerte) in Abhängigkeit vom zugehörigen Entfernungsvektor aufgetragen wurde. Dieses deskriptive Maß für die räumliche Kontinuität von Messwerten und damit die Reichweite und Richtung von räumlichen Prozessen wird durch eine Semivariogramm-Gleichung (siehe Anhang) definiert. Diese Gleichung gilt unter der Annahme der „intrinsic Hypothese“. Sie besagt, dass der Wert des Variogramms lediglich von der Entfernung zweier Punkte zueinander abhängig und der Erwartungswert des Semivariogramms bei gleicher Entfernung zwischen den Punkten immer derselbe ist.

Zur Beschreibung der räumlichen Varianz einer ortsbezogenen Variablen wurden zuerst experimentelle omnidirektionale Semivariogramme erzeugt. Im Einzelnen wurden zunächst standardisierte experimentelle Variogramme berechnet. Sie sind stabil gegen Extremwerte und eignen sich außerdem gut zum Vergleich verschiedener experimenteller Variogramme aus unterschiedlichen Parametern.

Bei omnidirektionalen Semivariogrammen geht man davon aus, dass die räumliche Abhängigkeit in alle Richtungen gleich, d.h. richtungsunabhängig ist. In manchen Fällen liegt jedoch eine räumliche Anisotropie vor, das bedeutet, dass der räumliche Variabilitätsverlauf richtungsabhängig unterschiedlich ist.

Durch Wahl einer Gitterversuchsstruktur für alle drei Intensivteillflächen war auch die Überprüfung der räumlichen Variabilität auf Anisotropie möglich. Zur Bestimmung des Anisotropieverhältnisses wurden die direktionalen Variogramme in Winkelabständen von 45° und einer Toleranz von $22,5^\circ$ berechnet.

Das experimentelle Semivariogramm liefert die Ergebnisse räumlicher Abhängigkeiten in bestimmten Abständen. Um für jeden beliebigen Abstand Werte für die Semivarianz ableiten zu können, ist die Anpassung der experimentellen Werte an ein Modell notwendig. Dadurch wird der Verlauf der Semivariogramme optimal wiedergegeben. In der Geostatistik beschränkt man sich üblicherweise auf einige bekannte Modelle, für die die Definiertheit nachgewiesen ist (u.a. sphärisch, exponentiell und linear). Bei dieser Studie erfolgte die Anpassung an definierte Modelle nur bei einigen, anschließend noch dargestellten Parametern.

Als Ergebnis der Variogramm-Analyse werden drei Parameter angegeben (Abb. 6).

- Nugget-Effekt (Nugget-Varianz): Unstetigkeit am Ursprung. Sie setzt sich zusammen aus der Messfehlervarianz und der kleinräumigen Varianz innerhalb der Bereiche, die geringer sind als die kleinste Beobachtungsdistanz.
- Schwellenwert (engl.: sill): ist der maximale Wert des Semivariogramms, der erreicht wird, wenn die Messwerte räumlich unabhängig voneinander werden.
- Reichweite (engl.: range): Dies ist der Abstand h , in dem der Sill-Wert erreicht wird, also die Distanz, in der Messwerte räumlich unabhängig voneinander werden.

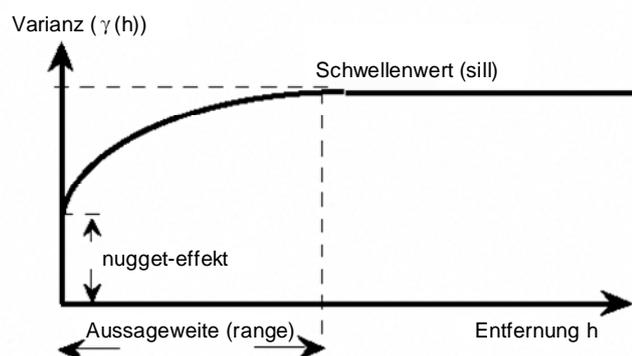


Abb. 6: Beispielhafte Darstellung der Komponenten eines Variogrammes

2.3.2. GIS-Analysen

Die Interpolation des Höhenmodells erfolgte nach der Methode „Contouring“ in Spans (Version 7.0, TYDAC 1997). Diese Methode entspricht der Triangulation mit linearer Interpolation zwischen den Messpunkten unter Beibehaltung ihrer Höhenwerte. Durch eine Reliefanalyse wurden die lokalen primären Reliefparameter, Hangneigung und

Hangrichtung, abgeleitet.

Auf der Basis dieses digitalen Höhenmodells wurde vom Institut für Bodenlandschaftsforschung ZALF (Müncheberg) eine komplexe Relieffanalyse bei einer Auflösung von 2x2 m mit ArcInfo GRID Module sowie vom Institut selbst entwickelten AML-Scripten (REUTER et al., 2003) durchgeführt. Durch diese Analyse wurden zusätzliche primäre Reliefparameter (Vertikalkrümmung, Horizontalkrümmung und Zuflussrichtung) sowie sekundäre Reliefparameter (topografischer Wetness-Index) gewonnen.

Die primären und sekundären Reliefparameter wurden für die Klassifikationsmethoden nach PENNOCK et al. (1987) und PENNOCK et al. (1994) verwendet, um eine Beschreibung der Geländeoberfläche in Reliefeinheiten homogener Krümmung zu ermöglichen, d.h. um eine Einteilung des Geländes (der Geländekomplexität) in „Landformelemente“ zu erhalten. Ein spezieller Algorithmus ermöglichte zusätzlich die Klassifikation von planaren Landformelementen. Alle diese gewonnenen Reliefmerkmale werden zusammengefasst in zwei verschiedenen „Landformelement“ Parametern. Der eine (LF_R) beinhaltet Klassenwerte von 1 bis 4 (Ebene, Hangfuß, Geländerücken, Geländeschulter), der andere (LF_C), komplexer, Klassenwerte von 1 bis 11 (divergente Geländeschulter, gerade Geländeschulter, konvergente Geländeschulter, divergenter Geländerücken, gerader Geländerücken, konvergenter Geländerücken, divergenter Hangfuß, gerader Hangfuß, konvergenter Hangfuß, Einzugsgebiet mit niedriger Entwässerungskapazität, Einzugsgebiet mit hoher Entwässerungskapazität). Der topografische Wetness-Index wurde mit Hilfe der Methode von MOORE et al. (1993) ermittelt und stellt den reliefbedingten Bodenfeuchteanteil dar.

Die Übertragung der punktuellen ermittelten Messungen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens (Bodenscanner; EM38-Sensor) erfolgte nach der Interpolationsmethode „Contouring“ in Spans (Version 7.0, TYDAC 1997).

Die Extraktion der morphometrischen Reliefattribute und der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit aus den interpolierten Rasterkarten erfolgte über eine gewichtete Mittelwertbildung im SPANS-GIS (Version 7.0, TYDAC 1997). In die Berechnung floss eine 1 m²-flächenhaften Datenebene über den 50 m-Rasterbeprobungspunkte ein.

Für die flächenhafte Darstellung der Bodentypen in Karten wurde durch Berechnung von Thiessen-Polygonen (THIESSEN, 1911) mit dem GIS-Programm ArcView (Version 3.2, ERSI 1998).

Zur Erzeugung räumlicher Karten (Standort- und Vegetationsparameter) wurden die punktuell erhobenen Daten nach dem abstandswichtenden Verfahren (IDW - Inverse-Distance-Weighting Interpolation) (ISAAK and SRIVASTAVA, 1989) mit einer Wichtung der Distanz von $1/10^1$ (GOTWAY et. al., 1996) im GIS-Programm ArcView (Version 3.2, ERSI 1998) interpoliert.

Extra Analyse für die Intensivflächen

Die Interpolation der punktuellen Datensätze der feingerasterten Untersuchungsflächen wurde mittels „trianguliertem irregulären Netzwerk (TIN) – Verfahren“ mit dem GIS-

Programm ArcView (Version 3.2, ERSI 1998) durchgeführt. Ein TIN wird hierbei mittels Delaunay-Triangulation (KUMAR, 1996) aus den bekannten Messpunkten erzeugt. Durch Dreiecksvernetzung (Dreiecksvermaschung) wird dabei eine flächenhafte Abbildung der Parameterinformationen erstellt. Der Vorteil der TIN-Struktur im Rahmen der Fragestellung der vorliegenden Arbeit liegt in der Transparenz dieses linearen Interpolationsverfahrens, das ohne die Verwendung komplexer Algorithmen auskommt. Im Vergleich zu anderen Verfahren bietet diese klar nachvollziehbare Kalkulation eine konkrete Hilfe bei der Interpretation der Ergebnisse.

3. Ergebnisse

3.1 Standortparameter

Die Untersuchungsfläche weist ein ausgeprägtes Geländere relief mit Höhenunterschieden bis 33 m (218 – 251 m ü. NN) auf. Sie ist vorwiegend durch Areale mit Hangneigungen bis ca. 20 % (Abb. 7) in nordwestlicher Richtung gekennzeichnet.

Die Heterogenität der geomorphographischen Reliefattribute der Fläche findet ihre Fortsetzung in einem breiten Spektrum von unterschiedlichen Bodentypen. In der Tab. 6 werden die vorgefundenen fünf Bodentypen, fünf Übergangsbodentypen (Subtypen) sowie deren Häufigkeit dargestellt.

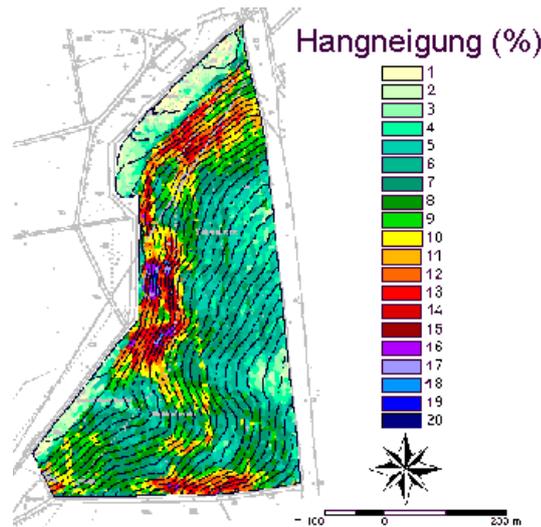


Abb. 7: Hangneigung und Höhenlinien des Mühlberges (FRICKE, 2000).

Die Abb. 8 gibt die Verteilung der Hauptide bodentypen des Standortes als Thiessenpolygone in verschiedenen Bodentypen an. In Auen- und Hangfußbereichen überwiegen Braunaueboden und Gley. In Hangbereichen wechseln sich Kolluvisol mit Braunerde-Ranker und Pelosol ab, während die Kuppen aus Braunerde, Parabraunerde und gelegentlich Kolluvisol bzw. Pelosol bestehen.

Tab. 6: Vorhandene Bodentypen auf dem Mühlberg (angegeben sind die Anzahl der Beprobungspunkte mit gleichem Bodentyp und die Abkürzungen der Bodentypen). Die in den Rahmen dargestellten Übergangsbodentypen wurden entsprechend den ähnlichen Bodentypen zugeordnet (siehe Kap. 2.2.3).

Bodentyp	Anzahl Beprobungspunkte	Abkürzung
Braunaueboden	10	AB
Gley-Braunaueboden	2	GG-AB
Braunerde	30	BB
Pseudogley-Braunerde	2	SS-BB
Braunerde-Pelosol	11	BB-DD
Parabraunerde	2	LL
Kolluvisol	31	YK
Braunerde-Ranker	2	BB-RN
Gley	4	GG
Wechselgley	3	GGw

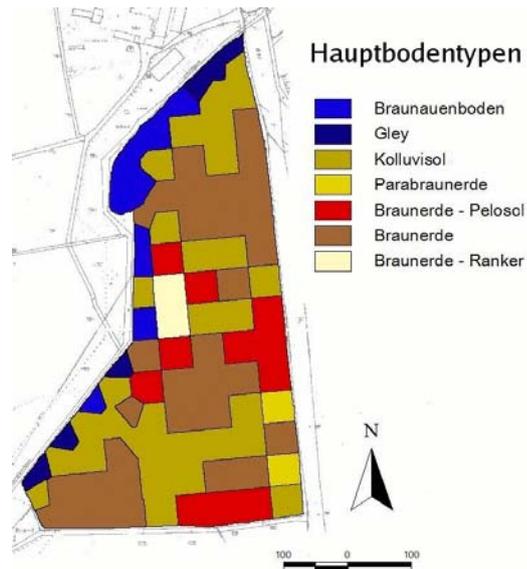


Abb. 8: Leitbodentypen des Mühlberges. Übergangstypen sind nicht dargestellt, sondern dem dominierenden Bodentyp zugeordnet. Darstellung der Karte als Thiessenpolygone der 50 m-Rasterbodenkartierung.

Circa zwei Drittel der Beprobungspunkte bestanden aus Braunerde und Kolluvisol. Darunter waren 43% als stark toniger Schluff (Ut4) und 29% als stark schluffiger Ton (Tu4) eingestuft. Tab. 7 stellt die vorhandenen Bodenarten auf der Beprobungsfläche und Tab. A 2 deren Zuordnung zu den entsprechenden Bodentypen dar.

Tab. 7: Vorhandene Bodenarten auf dem Mühlberg (angegeben ist die Anzahl der Beprobungspunkte mit gleicher Bodenart in den obersten 30 cm, die Korngrößenverteilung und die Abkürzungen der Bodenarten).

Bodenart	Kornfraktionen (Masse- %)						Anzahl Beprobungspunkte
	Ton (%)		Schluff (%)		Sand (%)		
	von	bis	von	bis	von	bis	
Ut4	17	25	65	83	0	18	45
Ut3	12	17	65	88	0	23	16
Tu4	25	35	65	75	0	10	24
Tu3	30	45	50	65	0	20	5
Tu2	45	65	30	55	0	25	7

Die Böden in nördlichen feuchten Randbereichen entlang des Baches mit Ausdehnung in der Spitze des Mühlberges weisen niedrige Werte von Lagerungsdichte und scheinbarer elektrischer Leitfähigkeit, hohe P-, N_r -, C_{org} - und Mg-Gehalte und niedrige K-Gehalte auf. Im süd-westlichen Bereich waren K- und Mg-Gehalte niedrig, gemessene pH-Werte relativ hoch, während im süd-östlichen Bereich und im nördlichen Zentralbereich des Mühlberges N_r -, C_{org} - und Mg-Gehalte dagegen sehr niedrig einzustufen sind. Im südlichen Zentralbereich wurden hohe pH-Werte und Mg-Gehalte sowie hohe Werte von Lagerungsdichte und scheinbarer elektrischer Leitfähigkeit ermittelt. Für diese Parameter wird die Verteilung auf dem Mühlberg in Abb. A 1, Abb. A 2, Abb. A 3 und Abb. A 4 dargestellt.

Die gemessenen und berechneten Standortfaktoren verfügten insgesamt über eine große Variationsbreite, wie in Tab. 8 ersichtlich wird.

Tab. 8: Aufgenommene Standortparameter des Mühlberges (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichungen, Variationskoeffizienten, Anzahl der Beprobungen).

Parameter (n=97)	Einheit	Abkrüz.	Mittelw.	Min.	Max.	s.	cv %	n
pH-Wert (0-15 cm Tiefe)	-	pH	6.87	6.30	7.50	0.28	4.03	96
Phosphor (0-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	P	18.41	6.00	42.00	7.51	40.79	96
Kalium (0-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	K	24.46	8.00	42.00	6.09	24.90	96
Magnesium (0-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	Mg	23.16	11.00	38.00	6.29	27.16	96
Gesamtkohlenstoff (0-15 cm Tiefe)	%	Ct	1.88	1.27	3.05	0.39	20.81	96
Organischer Kohlenstoff (0-15 cm Tiefe)	%	Corg	1.82	1.27	3.05	0.35	19.11	96
Gesamtstickstoff (0-15 cm Tiefe)	%	Nt	0.20	0.13	0.33	0.03	17.26	96
Trophiefaktor	Kardinalzahl	Tf	13.43	5.79	25.21	4.22	31.45	96
Lagerungsdichte	gcm ⁻³	Ld	1.49	1.21	1.77	0.09	6.04	97
Wassergehalt	Vol. %	Wass	39.91	31.92	53.11	3.80	9.52	97
Steingehalt	Gew. %	Stein	7.23	0.51	31.99	6.66	92.13	97
Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (Anrechnung Steingehalt)	mm	nFk _{We}	153.2	39.4	367.0	55.5	36.2	97
Tonfraktion	Masse-%	Ton	25.46	15	55	10.3	40.4	97
Schlufffraktion	Masse-%	Schl	70.3	43	77	8.8	12.5	97
Sandfraktion	Masse-%	Sand	8.73	5	13	2.4	27.8	97
Elektrische Leitfähigkeit	mSm ⁻¹	ECa	31.46	17.90	44.00	5.84	18.56	92
Zustandsstufe	Ordinalzahl	ZUST	4.0	1	6	1.4	34.7	97
Bodenzahl	Ordinalzahl	BODE	52.3	38	70	8.9	17.1	77
Ackerzahl	Ordinalzahl	ACKE	48.1	33	69	9.3	19.3	77
Grünlandzahl	Ordinalzahl	GRUE	52.1	34	60	7.3	14.0	20
Hangneigung	%	Slp	7.26	0	16.00	3.51	48.39	97
Hangrichtung	°	Asp	293.7	13.0	359.7	44.6	15.2	97
Horizontalkrümmung	1(100m) ⁻¹	C_PLA	61.2	8.1	120.1	15.3	25.1	97
Vertikalkrümmung	1(100m) ⁻¹	C_PRO	105.8	1.0	192.9	25.2	23.8	97
Topografischer Wetness-Index	-	MWI	53.2	42.1	77.9	5.1	9.6	97
Zuflussrichtung	Ordinalzahl	FLDI	5.8	3	8	0.8	13.2	97
Landformelement (komplex)	Ordinalzahl	LF_C	6.2	1	11	2.2	35.8	97
Landformelement	Ordinalzahl	LF_R	2.4	1	4	0.9	35.4	97

Die jeweiligen Zusammenhänge zwischen chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften (pH-Wert, P-, K-, Mg-, C_t-, C_{org}-, N_t-Gehalt, Lagerungsdichte, Wassergehalt, Steingehalt, Lagerungsdichte, nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes, elektrische Leitfähigkeit des Bodens und Korngrößenfraktion des Bodens) und geomorphographischen Reliefattributen (Hangneigung, Hangrichtung, Horizontalkrümmung, Vertikalkrümmung, topografischer Wetness-Index, Zuflussrichtung und Landformelemente) waren zwar zum Teil signifikant, aber alle durch Korrelationskoeffizienten kleiner als 0,63 gekennzeichnet. Einen Überblick über die Beziehungen zwischen den Standortparametern gibt Tab. A 1.

3.2 Vegetation - Dynamik der Pflanzenarten

Von den sieben im Herbst 1998 angesäten Arten waren im Untersuchungszeitraum *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* und *Trifolium repens* am stärksten vertreten (Abb. 9; Abb. A 6 und Abb. A 7). Die durchschnittlichen Ertragsanteile von *Lolium perenne* blieben von 2001 bis 2003 annähernd stabil (ca. 43 bzw. 41 %). Am stärksten vertreten war dabei die *Lolium perenne*-Ertragsanteilkategorie zwischen 41 und 55 %, die den Mühlberg flächenmäßig zu fast 60 % abdeckte (siehe Anhang Abb. A 5; Tab. A 3).

Das Vorkommen von *Dactylis glomerata* nahm mäßig, aber kontinuierlich zu von 17 % (2001) über 20 % (2002) bis 22 % (2003). Dabei deckten die Areale, in denen diese Art stärker vertreten war (d.h. Ertragsanteilklassen zwischen 16 und 40 %) den Mühlberg, anfangs zu 27 %, in 2003 schließlich zu 39 % ab.

Die Dynamik von *Trifolium repens* wird wegen seiner Bedeutung für die Stickstofffixierung und die Futterqualitätseigenschaften, die sehr wichtig speziell für den Ökologischen Landbau sind, besonders eingehend betrachtet. Der Weißklee etablierte sich nahezu flächendeckend, jedoch mit rückläufigem Trend (vergleiche Abb. 9). In 2001 betrug der durchschnittliche Ertragsanteil 22 %, in 2002 15 % und 2003 16 %. Dieser rückläufige Trend ist bei hohen Weißkleeertragsanteilen stärker als bei niedrigen und ebenfalls deutlich erkennbar bei der Einteilung der Fläche in Ertragsanteilklassen (Abb. A 5; Tab. A 3).

Bei den übrigen angesäten Arten (*Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Phleum pratense*) erreichten die mittleren Ertragsanteile insgesamt nur sehr niedrige Werte (< 7 %). Bei allen Arten, außer *Poa pratensis*, nahmen sie im Laufe des Untersuchungszeitraumes ab (Erläuterung siehe Anhang - Abb. A 6; Abb. A 7; Tab. A 3).

Die durchschnittlichen Ertragsanteile **nicht angesäter Arten**, die sich nachfolgend auf dem Mühlberg verbreiteten, lagen im Jahr 2001 bei 8 % und nahmen zu auf 13 % in 2002 bis 16 % im Jahre 2003. In 2003 deckten sie mit einer Ertragsanteilkategorie zwischen 2 und 10 % bereits fast 30 % des Mühlberges ab (Abb. A 7; Tab. A 3).

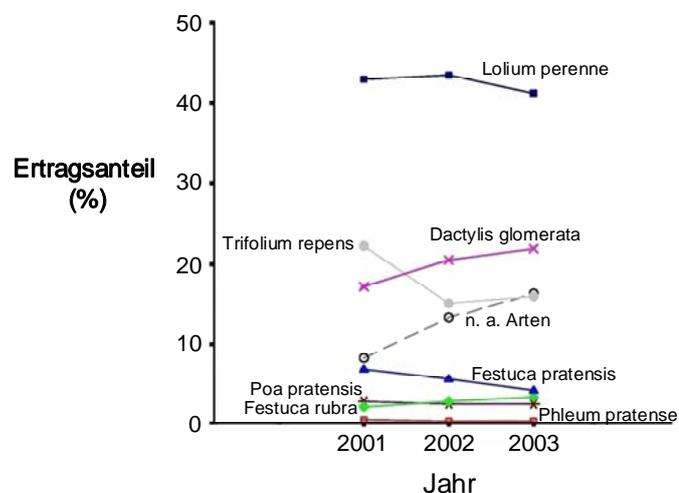


Abb. 9: Übersicht über den durchschnittlichen Ertragsanteil der angesäten und nicht angesäten Arten auf dem „Mühlberg“ (n. a. Arten = nicht angesäte Arten).

3.2.1 Zusammenhänge zwischen den Pflanzenarten

Die Zusammenhänge zwischen den angesäten Arten untereinander waren zwar für die drei Untersuchungsjahre zum Teil signifikant, aber alle durch Korrelationskoeffizienten kleiner als 0,63 gekennzeichnet. Dagegen waren zwischen den angesäten und nicht angesäten Arten einige negative Zusammenhänge sogar relativ eng (bis $r = 0,87^{**}$), die im Anhang detailliert aufgeführt sind (Tab. A 4).

3.2.2 Zusammenhänge zwischen Pflanzenarten und Umweltparametern

- Bodentyp

Betrachtet man die Ertragsanteile der verschiedenen Arten hinsichtlich der Bodentypen, zeigten sich zwischen Anteilen an *Dactylis glomerata* auf Kolluvisol sowie Braunerde-Pelosol (mit höheren Ertragsanteilen) und auf Bodentypen, die am Hangfuß und in der Aue zu finden sind (d.h. Gley und Braunaunenboden), signifikante Unterschiede (Tukey-Kramer-Test; $\alpha = 0,05$), die allerdings nicht in allen Jahren auftraten (Tab. A 5 und Tab. A 6). Die niedrigsten mittleren Ertragsanteile dieser Art wurden allgemein auf Gley (2001, 2002) und Braunerde-Ranker (2003) vorgefunden, die höchsten Ertragsanteile in allen Jahren dagegen auf Parabraunerde. Aufgrund der zu geringen Anzahl an Wiederholungen konnte jedoch für Parabraunerde und Braunerde-Ranker keine statistische Absicherung dieser Ergebnisse vorgenommen werden. Die Ertragsanteile an *Lolium perenne* waren für alle drei Jahre relativ homogen auf alle Bodentypen verteilt. Nur im Jahr 2001 unterschieden sie sich auf Kolluvisol (höhere Ertragsanteile) von denen auf Gley. Die niedrigsten Anteile dieser Art wurden auf Parabraunerde und die höchsten auf Kolluvisol, Braunerde-Pelosol bzw. Braunerde gemessen. Bei *Trifolium repens* waren die Ertragsanteile auf Braunerde signifikant höher als die auf Kolluvisol (in 2001 u. 2003) und auf Braunaunenboden (2001). 2003 waren sie außerdem auf Braunerde-Pelosol signifikant höher als auf Kolluvisol. Niedrigste bzw. höchste Weißkleeanteile wurden auf den Bodentypen Parabraunerde bzw. Braunerde-Ranker erfasst. *Festuca pratensis*-Ertragsanteile waren für die drei Jahre relativ homogen auf alle Bodentypen verteilt. Nur in 2002 unterschieden sie sich auf Kolluvisol (höhere Ertragsanteile) signifikant von denen auf Gley. Die niedrigsten und höchsten Anteile wurden auf Braunerde-Ranker und Parabraunerde erfasst. Die *Poa pratensis*-Ertragsanteile unterschieden sich auf Braunerde-Pelosol (höhere Ertragsanteile) von denen auf Kolluvisol (in 2001 und 2002) sowie Braunaunenboden (in 2002 und 2003) signifikant; außerdem waren sie im Jahr 2002 auf Braunerde signifikant höher als die auf Braunaunenboden. Generell wurden die niedrigsten Ertragsanteile auf Braunaunenboden sowie Gley, und die höchsten auf Braunerde-Ranker vorgefunden.

Die Ertragsanteile der übrigen angesäten Arten (*Phleum pratense* und *Festuca rubra*) waren relativ homogen auf alle Bodentypen verteilt, wobei *Festuca rubra* auf Braunerde-Ranker im Vergleich zu anderen Bodentypen sehr hohe Anteile hatte. Die **nicht angesäten Arten** verhielten sich während der drei Versuchsjahre einheitlich. Auf Braunaunenboden und auf Gley wurden nicht nur signifikant höhere Ertragsanteile als auf Braunerde-Pelosol vorgefunden, sondern auch auf Braunerde sowie auf Kolluvisol.

Generell wurden die niedrigsten Anteile auf Braunerde-Ranker und die höchsten auf Gley nachgewiesen.

- Bodenart

Der mittlere Ertragsanteil der Arten wurde hinsichtlich ihrer Verteilung auf die vorgefundenen Bodenarten untersucht (Tab. A 7 und Tab. A 8). Dabei wurde festgestellt, dass die Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* im Jahr 2001 relativ homogen auf alle Bodenarten verteilt waren. 2002 und 2003 dagegen waren sie auf mittel tonigem Schluff (Ut3) signifikant höher als auf den anderen Böden mit Ausnahme von schwach schluffigem Ton (Tu2). Die Ertragsanteile an *Trifolium repens* unterschieden sich auf stark schluffigem Ton (Tu4) in allen Jahren, auf schwach schluffigem Ton (in 2001 und 2003) sowie mittel schluffigem Ton (Tu3) in 2003 von denen auf mittel tonigem Schluff (Ut3), hier waren sie sehr niedrig. In den Jahren 2001 und 2003 waren die Ertragsanteile an *Festuca pratensis* homogen auf alle Bodenarten verteilt. 2002 waren die Ertragsanteile auf stark schluffigem Ton (Tu4) dagegen signifikant höher als die auf schwach schluffigem Ton (Tu2) und stark tonigem Schluff (Ut4). Bei *Poa pratensis* waren die Ertragsanteile auf stark schluffigem Ton signifikant höher als die auf mittel tonigem Schluff (Ut3) (2001 u. 2003) und stark tonigem Schluff (Ut4) (2002 u. 2003). Auf schwach schluffigem Ton (Tu2) waren sie in den Jahren 2002 und 2003 höher als die auf Ut3 und Ut4. Ertragsanteile an *Lolium perenne*, *Phleum pratense* und *Festuca rubra* wurden durch die Bodenart nicht beeinflusst. Das Vorkommen der **nicht angesäten Arten** zeigte in jedem Jahr ein ähnliches Bild: Auf Ut4 und Ut3 waren die Ertragsanteile signifikant höher als die auf Tu4 sowie auf Tu2.

- Weitere Umweltparameter

Die Einflüsse der Standortparameter auf die Ertragsanteile der Arten wurden für die drei Untersuchungsjahre getrennt untersucht. Die Zusammenhänge zwischen abiotischen Parametern und Ertragsanteilen der Arten ergaben keine besonders engen Beziehungen, oftmals kamen sie auch nur gelegentlich mit signifikanten Kennwerten (Spearman-Korrelationskoeffizient) innerhalb der Jahre vor. Sie wiesen Korrelationskoeffizienten von höchstens 0,65** auf, wobei in vielen Fällen nur die Trends in Zunahme/Abnahme dieser Zusammenhänge die Erklärung der Beziehungen hilfreich unterstützten (Tab. A 9). Zwischen *Poa pratensis* und nutzbarer Feldkapazität des effektiven Wurzelraums z.B. wurden mit positiven Trends während der Jahre negative Zusammenhänge gefunden ($r = 0,46^{**}$; $r = 0,62^{**}$; $r = 0,65^{**}$ von 2001 bis 2003).

Zwischen den nicht angesäten Arten und den Standortparametern wurden gelegentlich einige negative Zusammenhänge sogar sehr eng nachgewiesen, die im Anhang detailliert aufgeführt sind (Tab. A 9).

3.3 Ertrag

In allen Untersuchungsjahren erfolgte der Probenschnitt zur Ertragsmessung (Kap. 2.2.6.1) vor dem ersten Viehaustrieb (ca. 10. Mai). Dieser Zeitpunkt entsprach einem sehr frühen Vegetationsstadium, daher waren die geernteten Erträge ziemlich gering.

Der durchschnittliche Ertrag des Probenschnittes vom Mühlberg vor der ersten Nutzung betrug für die drei Untersuchungsjahre 7,9 dt TM pro Hektar, wobei es Schwankungen zwischen 0,6 und 23 dt TM pro Hektar gab. Die jährlichen Mittelwerte lagen bei 6,2 dt TM ha⁻¹ (2001), 9,9 dt TM ha⁻¹ (2002) und 7,7 dt TM ha⁻¹ (2003). Die Schwankungen waren innerhalb der einzelnen Jahre von der gleichen Größenordnung wie für alle drei Untersuchungsjahre zusammen. Sie sind in Tab. 9 aufgeführt.

Tab. 9: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Variationskoeffizient).

Untersuchungsjahr	Trockenmasse Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabw.	Variationskoeff.
2001	6.2	0.6	21.2	4.1	65.6 %
2002	9.9	1.0	23.0	4.5	45.0 %
2003	7.7	2.4	18.6	3.2	42.1 %

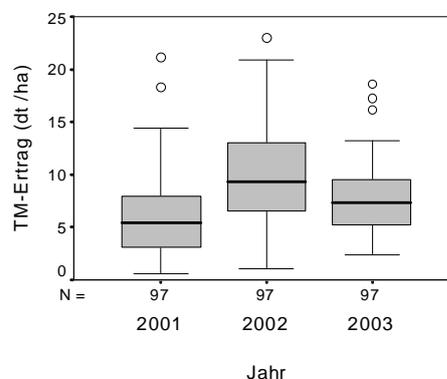


Abb. 10: Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) der Gesamtfläche, differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt.

Die Verteilung des Trockenmasseertrages auf dem Mühlberg wurde für die Jahre 2001 bis 2003 in Abb. 11 dargestellt. In 2001 deckten die Klassen mit Trockenmasseerträgen von 3 bis 6 dt TM ha⁻¹ die größte Fläche des Mühlberges ab (Tab. A 10). In 2002 hingegen lagen Trockenmasseerträge der größten Flächenabdeckungen bei Werten bereits zwischen 7 und 8 dt TM ha⁻¹. In 2003 dagegen zeigte die Klasse der großflächigsten Areale nur Trockenmasseerträge von 5 bis 6 dt TM ha⁻¹.

Die Areale, die während der Jahre am produktivsten blieben, wurden am Hangfuß und im Auenbereich (nördlichste Spitze des Mühlberges sowie die Randbereiche entlang des Baches) vorgefunden. Hohertragsflächen lagen weitgehend unveränderlich im nördlichen Zentralbereich des Mühlberges. Am geringsten waren in allen

Untersuchungsjahren die Erträge im nord-westlichen Areal und im südlichen Zentralbereich des Mühlberges.

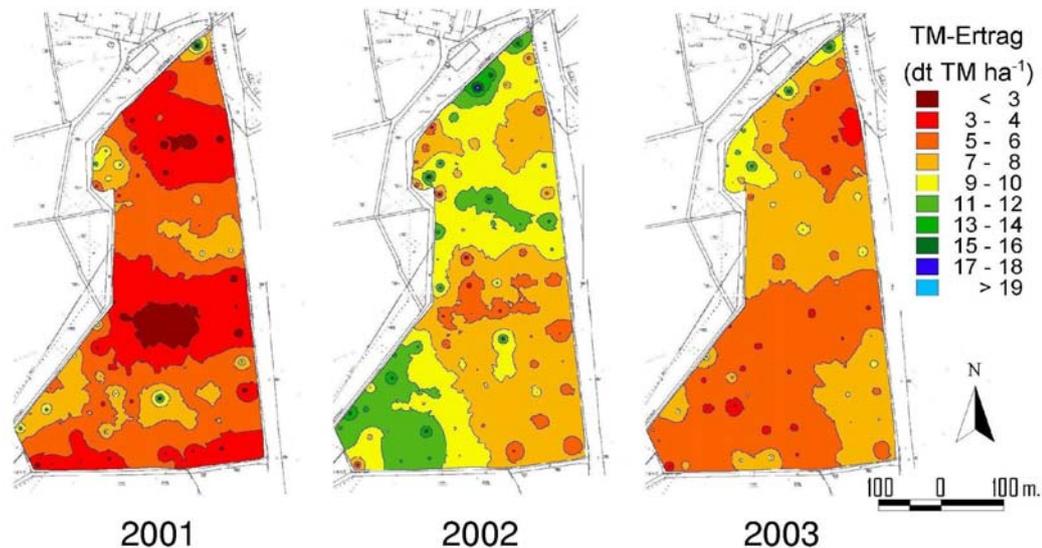


Abb. 11: Darstellung der Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) auf dem Mühlberg der Jahre 2001 bis 2003 zum Zeitpunkt des Schnitftermins ca. am 10. Mai, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

3.3.1 Zusammenhänge zwischen Ertrag und Pflanzenarten

Die Ertragsleistungen der drei Jahre zeigten überwiegend keine einheitlichen und deutlichen Zusammenhänge zu den Pflanzenarten (Tab. A 11). Ganz vereinzelt waren die Korrelationskoeffizienten jedoch erstaunlich hoch (z.B. $r = 0,77^*$ bei *Rumex obtusifolius* in 2001). In den einzelnen Jahren waren ertragsreiche Areale durch *Rumex obtusifolius*, *Ranunculus repens*, *Cirsium arvense* sowie *Dactylis glomerata* (mit sehr niedrigem Zusammenhang) geprägt. Gleichzeitig waren sie durch niedrige Ertragsanteile von *Trifolium repens*, *Poa pratensis* und *Lolium perenne* (mit sehr niedrigem Zusammenhang) charakterisiert.

3.3.2 Zusammenhänge zwischen Ertrag und Umweltparametern

- Bodentyp

Die Bodentypen Gley und Braunaunenboden, die über eine bessere Wasserversorgung verfügten, waren in allen drei Jahren am produktivsten (Tab. A 12), gefolgt von Parabraunerde und Kolluvisol. Dagegen wurden auf Braunerde-Ranker und Braunerde-Pelosol die niedrigsten Erträge nachgewiesen. Die vorgefundenen TM-Erträge auf Braunaunenboden wiesen mit höheren Werten signifikante Unterschiede gegenüber denen auf Braunerde-Pelosol (in 2001-2003), Braunerde (in 2001 und 2003) und Kolluvisol (in 2003) auf (Tab. A 13). Weiterhin unterschieden sich die TM-Erträge auf Gley (höhere Beträge) signifikant von denen auf Braunerde-Pelosol (in 2001 und 2002) und Braunerde (in 2001). Die Erträge auf Parabraunerde und Braunerde-Ranker konnten bei den multiplen Mittelwertsvergleichen mit dem nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test ($\alpha=0,05$) nicht geprüft werden, da bei beiden die Stichprobenanzahl zu

gering war. Im Jahr 2002, in dem im Durchschnitt die höchsten Erträge gemessen wurden, zeigten sich auf den verschiedenen Bodentypen nicht so viele signifikante Unterschiede in der Produktivität.

- Bodenart

Mittel toniger Schluff (Ut3) war in allen Jahren, hinsichtlich der Trockenmasseerträge, am produktivsten. Die niedrigsten TM-Erträge wurden auf mittel schluffigem Ton (Tu3) nachgewiesen (Tab. A 14).

Der Ertrag auf der Bodenart mittel tonigem Schluff (Ut3) war signifikant höher als der auf stark schluffigem Ton (Tu4) (in 2001 und 2002), mittel schluffigem Ton (Tu3) (in 2002 und 2003) und schwach schluffigem Ton (Tu2) (in 2001). Zusätzlich ergaben sich in 2002 signifikante Unterschiede durch höhere TM-Erträge auf stark tonigem Schluff (Ut4) im Vergleich zu stark schluffigem Ton (Tu4) (Tab. A 15).

- weitere Umweltparameter

Die Einflüsse weiterer Standortparameter (siehe Kap. 2.3.1.3) auf die Trockenmasse wurden für die Jahre 2001 bis 2003 untersucht. Die Zusammenhänge zwischen diesen abiotischen Parametern und dem Trockenmasseertrag erreichten nur geringe Korrelationskoeffizienten (maximal 0,43** (negativ) bei Lagerungsdichte in 2001).

- Witterungsparameter

Die Untersuchungsjahre wurden auch auf den Zeitpunkt des Vegetationsbeginns hin untersucht. Dieser ist für eine Temperatursumme ab 200 °C definiert. Er wurde für alle Untersuchungsjahre aus den Tagesdurchschnittstemperaturen ab 1. Januar berechnet. Mit Hilfe dieses T-Summen-Wertes für die ersten Monate im Jahr stellten mehrere Autoren (vergleiche ERNST und LOEPER, 1976) den Vegetationsbeginn im Frühjahr fest. ERNST und LOEPER (1976) benutzten bei der Berechnung der T-Summe eine Korrektur, die auch hier angewendet wurde (T-Werte finden im Januar zur Hälfte, im Februar zu 75 % und ab 1. März volle Berücksichtigung). 2001 wurde der Vegetationsbeginn (T-Summe = 200 °C) am 31. März festgestellt, in 2002 dagegen 17 Tage früher und 2003 sogar 29 Tage später (Abb. 12). Diese Unterschiede gingen einher mit unterschiedlichen Erträgen. 2002 wies die höchsten Erträge auf. Sie lagen bei 81 % der Parzellen höher als 2001 und bei 70 % der Parzellen höher als 2003.

Auch in der Entwicklung der T-Summe vom Vegetationsbeginn bis zum ersten Schnitt setzte sich dieser Trend 2002 fort. Im Vergleich zu den beiden anderen Untersuchungsjahren wurden 2002 höhere T-Werte schneller erreicht (Abb. 12). Die Temperatursummenkurve von 2003 lässt dagegen die langsamste Entwicklung erkennen, begründet in einer langen Winterperiode. Auffallend ist außerdem die starke Temperaturzunahme von Ende April bis zum Schnittzeitpunkt, die die Temperatursummenkurve von 2001 sogar um den Wert von 22 °C überbot. Dies beeinflusste auch die TM-Erträge. Bei der Gegenüberstellung der Trockenmasseerträge wird erkennbar, dass 2003 70 % der Parzellen einen höheren Ertrag hatten als 2001.

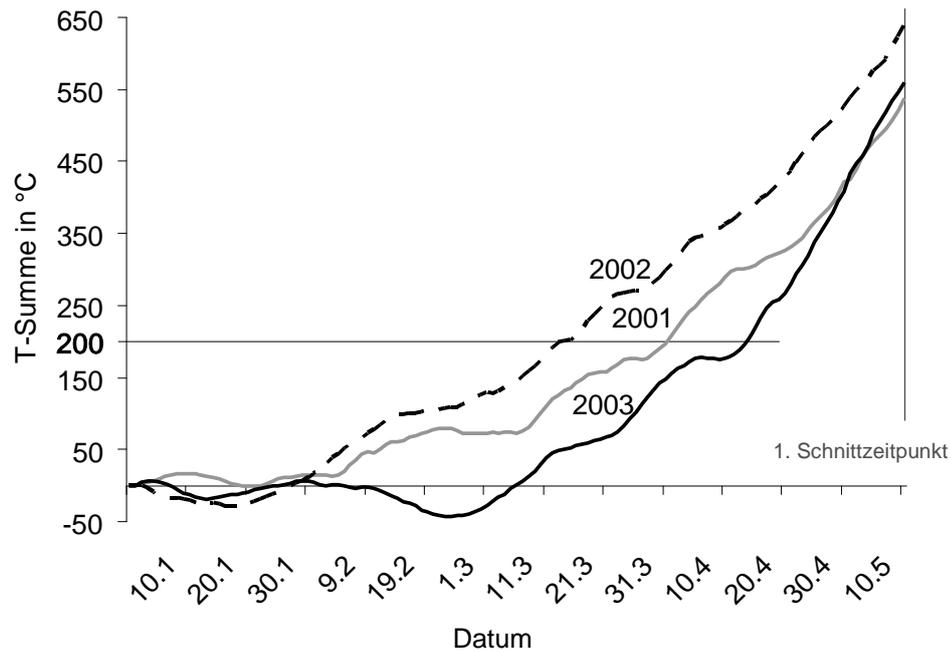


Abb. 12: Temperaturentwicklung (als Temperatursumme) der drei Untersuchungsjahre, jeweils ab 1. Januar bis zum ersten Schnitt. Dargestellt ist auch die Temperaturentwicklung ab 1. Januar bis zum Erreichen der 200 °C-T-Summe.

3.4 Futterqualität

Nachfolgend sind die Parameter der Futterqualitätsuntersuchung der Gesamtfläche für die Untersuchungsjahre 2002 und 2003 zusammengestellt. Rohprotein und Rohfaser werden als Bewertungskriterien genauer diskutiert.

3.4.1 Rohproteingehalt

Der Mittelwert des Rohproteingehalts im ersten Aufwuchs für die Gesamtfläche und beide Untersuchungsjahre betrug $165 \text{ g kg}^{-1} \text{ TS}$. Im Jahr 2002 lag der durchschnittliche Rohproteingehalt bei $164 \text{ g kg}^{-1} \text{ TS}$, in 2003 bei $166 \text{ g kg}^{-1} \text{ TS}$. Einen Überblick über die genauen Werte einschließlich der Minima und Maxima zeigt Tab. 10.

Tab. 10: Durchschnittliche Rohproteingehalte ($\text{g kg}^{-1} \text{ TS}$) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Variationskoeffizient).

Untersuchungsjahr	Rohproteingehalt Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabw.	Variationskoeff.
2002	163.8	137.2	185.1	9.7	6 %
2003	165.6	144.9	189.1	9.2	5.6 %

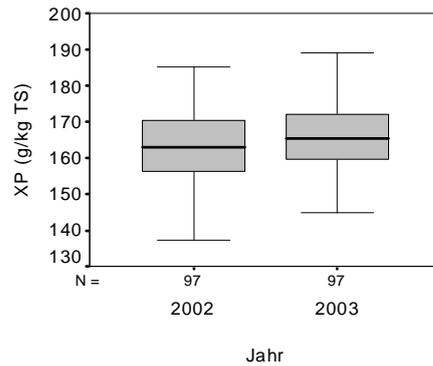


Abb. 13: Rohproteingehalte (XP in g kg^{-1} TS) auf der Gesamtfläche differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt. Die Unterschiede sind nicht signifikant (Mann-Whitney-U-Test).

Die Verteilung des Rohproteingehaltes auf dem Mühlberg wurde für die Jahre 2002 und 2003 in Abb. 14 dargestellt. 2002 zeigten die Pflanzen der flächenmäßig größten Klasse der Mühlbergfläche (56 %) Rohproteingehalte zwischen 161 und 165 g kg^{-1} TS (Tab. A 16). 2003 waren die Rohproteingehalte der flächenmäßig größten Klasse mit Werten von 166 bis 170 g kg^{-1} TS etwas höher als im Vorjahr. Diese Klasse war auf 49 % des Mühlberges verteilt. Die höchsten Rohproteingehalte waren in beiden Untersuchungsjahren hauptsächlich im nord-westlichen und süd-westlichen Bereich zu finden. Dagegen befanden sich die niedrigsten Rohproteingehalte in der nördlichen Spitze des Mühlberges und im süd-östlichen Bereich.

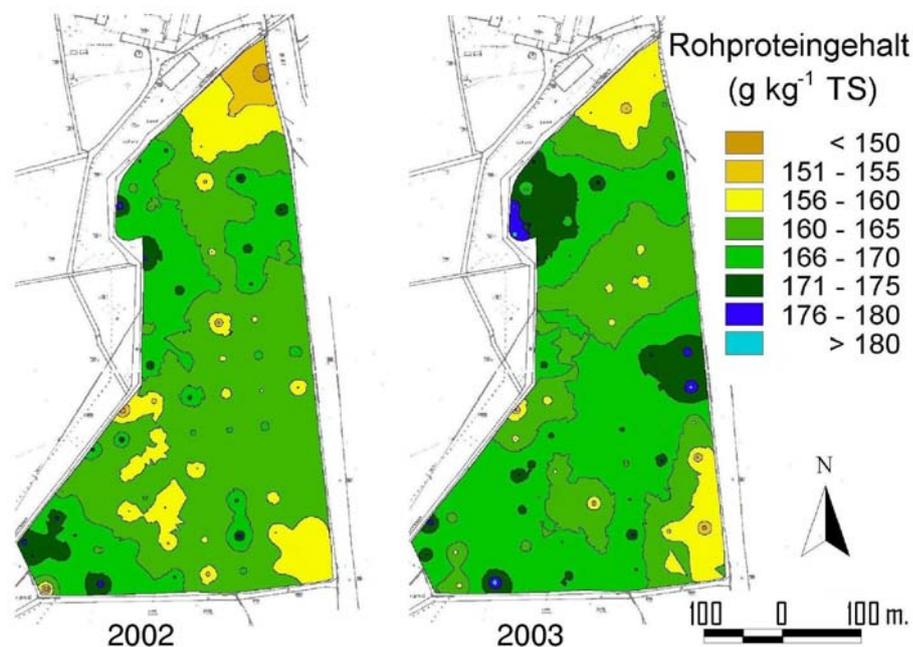


Abb. 14: Darstellung des Rohproteingehaltes (g kg^{-1} TS) auf dem Mühlberg der Jahre 2002 und 2003 zum Zeitpunkt des Schnitttermins ca. am 10. Mai, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

3.4.1.1 Zusammenhänge zwischen Rohproteingehalt und Umweltparameter

Da die gemessenen Rohproteingehalte im Aufwuchs stark von anderen Faktoren, wie

z.B. den Lichtverhältnissen und dem Entwicklungsstadium der Pflanzen abhängen und daher vergleichsweise schnell veränderlich sind, wurde nicht nach Zusammenhängen zwischen Rohproteingehalten und Umweltparametern gesucht.

3.4.2 Rohfasergehalt

Neben dem Rohproteingehalt ist auch der Rohfasergehalt ein wichtiger Faktor zur Kennzeichnung der Futterqualität, da er maßgeblichen Einfluss auf die Verdaulichkeit hat. Der Rohfasergehalt verhält sich zum Rohproteingehalt etwa umgekehrt proportional. Der Mittelwert des Rohfasergehaltes lag für die Gesamtfläche bei 245 g kg⁻¹ TS. Im Jahr 2002 betrug der durchschnittliche Rohfasergehalt 248 g kg⁻¹ TS und im Jahr 2003 244 g kg⁻¹ TS (Tab. 11; Abb. 13).

Tab. 11: Durchschnittliche Rohfasergehalte (g kg⁻¹ TS) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Variationskoeffizient).

Untersuchungsjahr	Rohfasergehalt Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabw.	Variationskoeff.
2002	247.7	202.9	266.6	11	4.5 %
2003	243.9	216.3	263.1	10.6	4.3 %

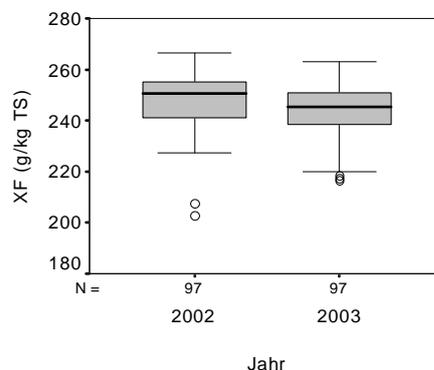


Abb. 15: Rohfasergehalt (XF in g kg⁻¹ TS) auf der Gesamtfläche, differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt. Die Unterschiede sind signifikant (Mann-Whitney-U-Test).

Die Verteilung der Rohfasergehalte auf dem Mühlberg wurde für die Jahre 2002 und 2003 in Abb. 16 dargestellt. 2002 zeigten die Pflanzen der flächenmäßig größten Klasse der Mühlbergfläche (42 %) Rohfasergehalte von 251 bis 255 g kg⁻¹ TS (Tab. A 17). 2003 lagen die Rohfasergehalte der flächenmäßig größten Klasse mit Werten von 246 bis 250 g kg⁻¹ TS niedriger als im Vergleich zum Vorjahr. Diese Klasse war auf 46 % des Mühlberges verteilt. Die höchsten Rohfasergehalte waren im süd-östlichen Bereich und teilweise in der nördlichen Spitze des Mühlberges zu finden. In diesem nördlichen Bereich gab es auch Areale mit mittleren Rohfasergehalten bei gleichzeitig niedrigen Rohproteingehalten; hier waren auch die Rohaschegehalte sehr hoch. Die niedrigsten Rohfasergehalte wurden im nord-westlichen und süd-westlichen Bereich nachgewiesen.

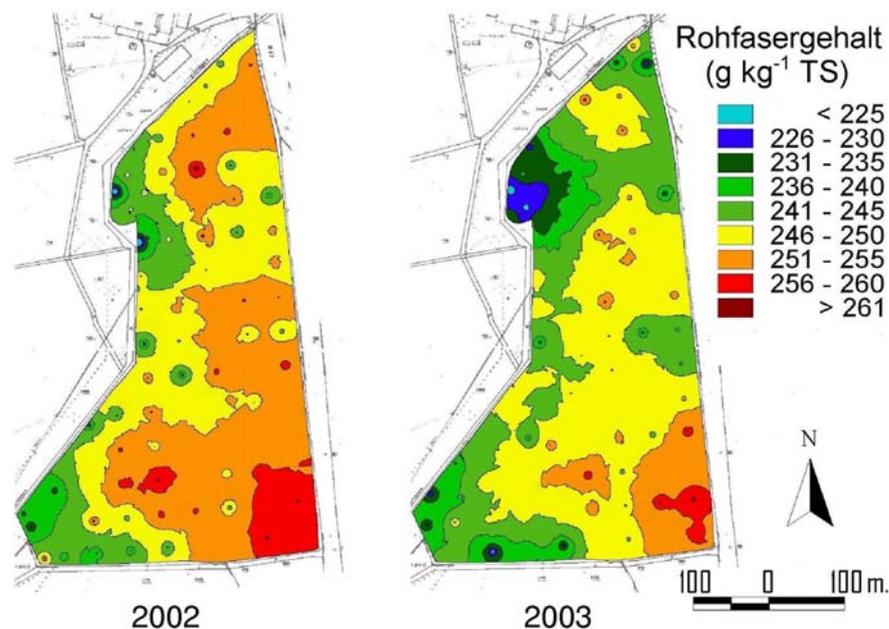


Abb. 16: Darstellung des Rohfasergehaltes (g kg⁻¹ TS) auf dem Mühlberg der Jahre 2002 und 2003 zum Zeitpunkt des Schnitttermins am ca. 10. Mai, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

3.4.2.1 Zusammenhänge zwischen Rohfasergehalt und Pflanzenarten

Die Zusammenhänge zwischen Rohfasergehalt und Ertragsanteilen von Pflanzenarten waren zwar für die Untersuchungsjahre 2002 und 2003 zum Teil signifikant, aber alle durch Korrelationskoeffizienten kleiner als 0,63 gekennzeichnet.

Die Ertragsanteile an *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis* und *Festuca rubra* zeigten in beiden Jahren einen positiven Zusammenhang zum Rohfasergehalt (Tab. A 18). Der Weißkleeanteil hingegen wies einen negativen Zusammenhang mit dem Rohfasergehalt auf. Bei *Poa pratensis* gab es bezüglich des Rohfasergehalts positive Abhängigkeiten (2002), zu *Taraxacum officinale* dagegen negative (2003).

3.4.2.2 Zusammenhänge zwischen Rohfasergehalt und Umweltparameter

- Bodentyp

Betrachtet man die Rohfasergehalte in Abhängigkeit von den Bodentypen, so waren sie auf Parabraunerde und Braunerde-Pelosol am höchsten. Am niedrigsten waren sie auf Braunauenboden und Gley (Tab. A 21).

Die niedrigeren Rohfasergehalte auf Braunauenboden unterschieden sich signifikant von denen auf Kolluvisol (in 2002 und 2003), Braunerde (2002 und 2003) und Braunerde-Pelosol (2002) (nicht parametrischer Tukey-Kramer-Test ($\alpha=0,05$) - multiple Mittelwertvergleiche), siehe Tab. A 13. Weiterhin unterschieden sich die Rohfasergehalte auf Gley (niedrigere Werte) gegenüber von denen auf Kolluvisol (in 2002) signifikant voneinander.

- Bodenart

Im Bezug auf die Bodenart zeigten die Rohfasergehalte keine signifikanten Unterschiede (Tab. A 15).

- weitere Umweltparameter

Zusammenhänge zwischen Rohfasergehalt und den Standortparametern wurden separat für die Jahre 2002 bzw. 2003 untersucht. Sie wiesen Korrelationskoeffizienten von höchstens 0,33** (zwischen Rohfasergehalt und C_t-Gehalt (negativ) in 2003) auf.

3.4.3 Energiegehalt

Für die gesamte Grünlandfläche zeigte sich ein durchschnittlicher Energiegehalt von etwa 7 MJ NEL /kg TS. Dabei lag der durchschnittliche Energiegehalt 2002 bei 7 MJ NEL kg⁻¹ TS, in 2003 geringfügig niedriger mit 6,8 MJ NEL kg⁻¹ TS (Tab. 12; Abb. 17).

Tab. 12: Durchschnittliche Energiegehalte (MJ NEL kg⁻¹ TS) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichung und Variationskoeffizient).

Untersuchungsjahr	Energiegehalt Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabw.	Variationskoeff.
2002	7.0	6.0	7.2	0.2	2.8 %
2003	6.8	5.6	7.1	0.3	4.0 %

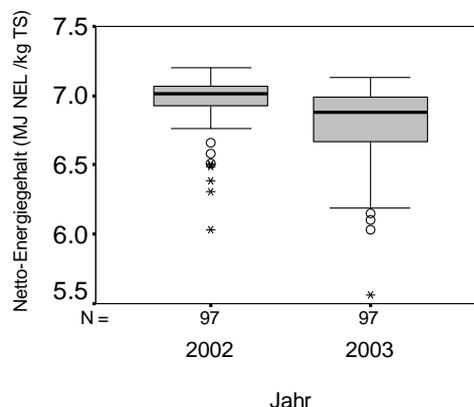


Abb. 17: Energiegehalt (MJ NEL kg⁻¹ TS) der Gesamtfläche, differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt. Die Unterschiede sind signifikant (Mann-Whitney-U-Test; **-Signifikanz p<0,01; *-Signifikanz p<0,05).

Die Verteilung des Energiegehaltes auf dem Mühlberg wurde für die Jahre 2002 und 2003 in Abb. 18 dargestellt. 2002 zeigten die Pflanzen der flächenmäßig größten Klasse der Mühlbergfläche (47 %) Energiegehalte von 6,91 bis 7,00 MJ NEL kg⁻¹ TS (Tab. A 19). 2003 lagen die Energiegehalte der flächenmäßig größten Klasse mit Werten von 6,81 bis 6,90 MJ NEL kg⁻¹ TS niedriger als im Vergleich zum Vorjahr. Diese Klasse war auf 48 % des Mühlberges verteilt.

In beiden Jahren wurden die niedrigsten Energiegehalte in der nördlichen Spitze des Mühlberges und teilweise am süd-westlichen Bereich, besonders am Waldrand, sowie,

ebenfalls im süd-westlichen Bereich, entlang des benachbarten Baches lokalisiert. In 2003 kamen zusätzlich weitere Bereiche hinzu, die in 2002 hohe Energiegehalte zeigten (z.B. im süd-östlichen Bereich).

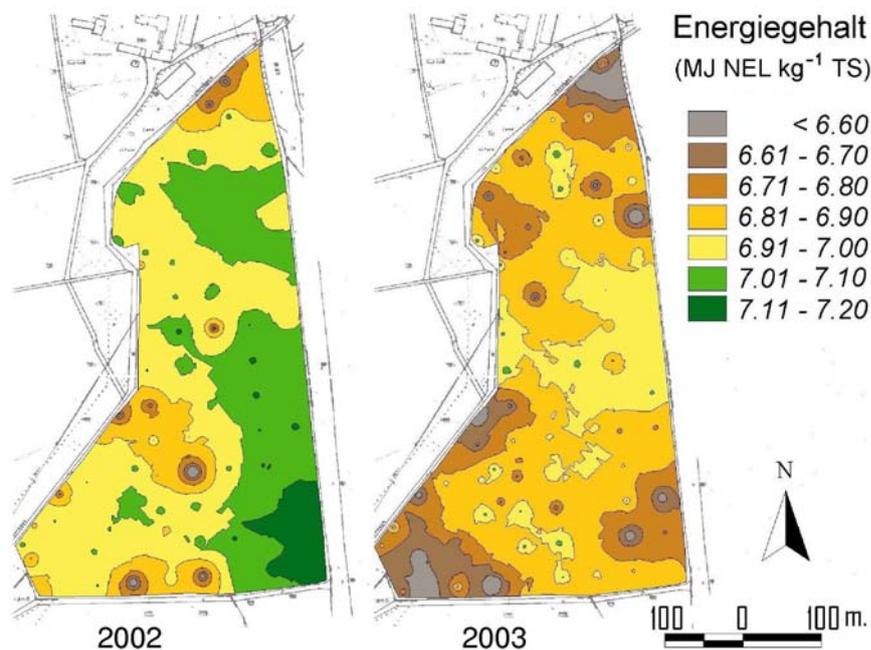


Abb. 18: Darstellung des Energiegehaltes (MJ NEL kg⁻¹ TS) auf dem Mühlberg der Jahre 2002 und 2003 zum Zeitpunkt des Schnitttermins ca. am 10. Mai, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

3.4.3.1 Zusammenhänge zwischen Energiegehalt und Pflanzenarten

Zwischen Ertragsanteil der Arten und Energiegehalt ergab sich kein deutlicher Zusammenhang (maximal $r^2 = 0,1^{**}$ bei *Poa pratensis* und *Festuca rubra* in 2002).

3.4.3.2 Zusammenhänge zwischen Energiegehalt und Umweltparameter

- Bodentyp

Die nach homogenen Bodentypen getrennten Energiegehalte waren in beiden Jahren auf Braunerde-Ranker am höchsten (Tab. A 21). Am niedrigsten waren sie auf Gley. Jedoch nur im Jahr 2002 unterschied sich der niedrigere Energiegehalt auf Gley von dem auf Braunerde-Pelosol, Braunerde und Kolluvisol signifikant (nicht parametrischer Tukey-Kramer-Test ($\alpha=0,05$) - multiple Mittelwertsvergleiche).

- Bodenart

Die Mittelwerte der Energiegehalte für beide Untersuchungsjahre waren, bezogen auf die Bodenarten, relativ homogen (Tab. A 21). Die Gehalte unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

- weitere Umweltparameter

Zusammenhänge zwischen Energiegehalt und den Standortparametern wurden separat

für die Jahre 2002 bzw. 2003 untersucht. Sie wiesen Korrelationskoeffizienten von höchstens 0,49* (zu pH-Wert in 2002) auf.

3.5 Unterschiede zwischen Bestandes- und Bodeneigenschaften

Nach Feststellung der signifikant unterschiedlichen durchschnittlichen Erträge, Inhaltstoffe und Ertragsanteile der Arten auf den verschiedenen Bodentypen und Bodenarten des Mühlberges wird im Folgenden untersucht, ob einzelne Bodentypen oder –arten durch bestimmte Merkmale charakterisiert werden können.

3.5.1 Bodentypen

Die Zusammenstellung aller gleichzeitig vorgefundenen signifikanten Unterschiede bezüglich der Ertragsanteile der Arten, der Trockenmasseerträge und Inhaltstoffe auf den vorhandenen Bodentypen wurde in Tab. 13 aufgeführt. Auf Braunauenboden (AB) konnten in fast allen Untersuchungsjahren signifikant höhere TM-Erträge und Ertragsanteile von nicht angesäten Arten gegenüber denen auf Braunerde-Pelosol (BB-DD), Braunerde (BB) und Kolluvisol (YK) gesichert werden. Diese Ergebnisse waren ebenfalls für Gley (GG) im Vergleich zu Braunerde-Pelosol, Braunerde und Kolluvisol festzustellen, allerdings nur für die Jahre 2001 und 2002. Der Rohfasergehalt hingegen war auf Braunauenboden tendenziell geringer als auf den anderen Bodentypen.

Von den angesäten Arten treten in der Tabelle mehrfach nur *Poa pratensis* und *Dactylis glomerata* hervor. Dabei verhielten sich beide entgegengesetzt zu den TM-Erträgen und Ertragsanteilen von nicht angesäten Arten: auf Braunauenboden und Gley waren sie signifikant niedriger als auf Braunerde-Pelosol, Braunerde und Kolluvisol.

3.5.2 Bodenarten

Eine Prüfung auf Übereinstimmung signifikanter Differenzen zwischen durchschnittlichen Ertragsanteilen der Arten, Produktivitäten und Pflanzeninhaltsstoffgehalten wurde nicht nur für die verschiedenen Bodencharakteristika (Bodentypen) durchgeführt, sondern auch für verschiedene Bodenarten. Ihre Zusammenstellung ist in Tab. 14 dargestellt. Auf mittel tonigem Schluff (Ut3) waren in den Jahren 2001 und 2002 Trockenmasseerträge und Ertragsanteile von nicht angesäten Arten signifikant höher als die auf stark schluffigem Ton (Tu4). Dagegen waren Ertragsanteile von *Trifolium repens* signifikant niedriger.

Gleichermaßen waren auf mittel tonigem Schluff (Ut3) im Vergleich zu mittel schluffigem Ton (Tu3) in 2002 und 2003 Trockenmasseerträge und Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* signifikant höher. Auch hier waren gleichzeitig, allerdings nur in 2003, die Ertragsanteile von *Trifolium repens* signifikant niedriger.

Tab. 13: Zeigt die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile von Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltsstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodentypen. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Ertragsanteilen von Arten bzw. Trockenmasseerträgen bzw. Futterqualitätsparametern. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf den Bodentyp, der links in der Tabelle genannt ist (Bodentyp der Zeile). Beispiel 1: Tab. 2001 (Trockenmasse im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB-DD) Die Trockenmasse auf AB war höher (+) als die Trockenmasse auf BB-DD. Beispiel 2: Tab.2002 (*Poa pratensis* im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB) *Poa pratensis* hatte auf AB niedrigere Ertragsanteile (-) als auf BB. Abkürzungen: n. a. Arten = nicht angesäte Arten. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.

2001	BB-DD		BB		GG		YK	
AB	+	Trockenmasse n. a. Arten	+	Trockenmasse - Trifolium repens				
BB-DD					-	Trockenmasse	-	Trockenmasse
					+	Dactylis glomerata n. a. Arten	+	Poa pratensis
BB					-	Trockenmasse n. a. Arten		
GG					-	Trockenmasse n. a. Arten		

2002	BB-DD		BB		GG		YK	
AB	+	Trockenmasse	-	Rohfasergehalt			-	Rohfasergehalt
	-	Rohfasergehalt	-	Poa pratensis			-	Dactylis glomerata
	-	Poa pratensis	+	n. a. Arten			+	n. a. Arten
	+	n. a. Arten						
BB-DD					-	Trockenmasse		
					+	Energiegehalt		
					+	Dactylis glomerata n. a. Arten		
BB					+	Energiegehalt		
					+	Dactylis glomerata n. a. Arten		
GG							-	Rohfasergehalt
							-	Energiegehalt
							-	Dactylis glomerata
							-	Festuca p.
							+	n. a. Arten

2003	BB-DD		BB		GG		YK	
AB	+	Trockenmasse	+	Trockenmasse			+	Trockenmasse
	-	Poa pratensis	-	Rohfasergehalt			-	Rohfasergehalt
	+	n. a. Arten	+	n. a. Arten			-	Dactylis glomerata
BB-DD							+	n. a. Arten
BB								
GG								

Tab. 14: Zeigt die signifikanten Unterschiede der Produktivität der Arten (Ertragsanteile von Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltsstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodenarten. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Ertragsanteilen von Arten bzw. Trockenmasseerträgen bzw. Futterqualitätsparametern. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf die Bodenart, der links in der Tabelle genannt ist (Bodenart der Zeile). Beispiel: Tab. 2001 (Trockenmasse im Schnittpunkt von Bodenart Tu4 und Ut3). Die Trockenmasse auf Tu4 war niedriger (-) als die Trockenmasse auf Ut3. Abkürzungen: n. a. Arten = nicht angesäte Arten. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.

2001	Tu4	Ut3	Tu2	Tu3
Ut4				
Tu4		- Trockenmasse + Poa pratensis + Trifolium repens - n. a. Arten		
Ut3			+ Trockenmasse - Trifolium repens + n. a. Arten	
Tu2				

2002	Tu4	Ut3	Tu2	Tu3
Ut4	+ Trockenmasse - Poa pratensis - Poa pratensis + n. a. Arten			
Tu4		- Trockenmasse - Dactylis glomerata + Trifolium repens - n. a. Arten		
Ut3				+ Trockenmasse + Dactylis glomerata
Tu2				

2003	Tu4	Ut3	Tu2	Tu3
Ut4				
Tu4				
Ut3				+ Trockenmasse + Dactylis glomerata - Trifolium repens
Tu2				

3.6 Multivariate Zusammenhänge zwischen Standort, Vegetation und Bewirtschaftung

Nach der Betrachtung einzelner Einflüsse auf die Ausprägung der Vegetation wird im Folgenden die floristische Zusammensetzung der untersuchten Parzellen dem Komplex der untersuchten Variablen (Standort- Bestandes- und Bewirtschaftungsparameter) insgesamt gegenübergestellt. Dies erfordert die Anwendung multivariater Verfahren, da diese die Möglichkeit bieten, komplexe Zusammenhänge zwischen verschiedenen Messgrößen zusammen zu erfassen. Bei der vorliegenden Untersuchung wurden zunächst die untersuchten Probenflächen anhand ihrer Artenzusammensetzung mittels Clusteranalyse in Gruppen gegliedert. Anschließend wurde eine Diskriminanzanalyse durchgeführt, um die Bedeutung der untersuchten Variablen für die Zusammensetzung der Gruppen festzustellen.

3.6.1 Clusteranalyse

Für jedes der drei Untersuchungsjahre (2001-2003) wurden die untersuchten Parzellen entsprechend ihrer Artenzusammensetzung mittels einer Clusteranalyse gruppiert (siehe Kap. 2.3.1.4). Das Ergebnis dieser Gruppierung der Probenflächen anhand ihrer Artenzusammensetzung bzw. der ermittelten Pflanzengruppen wurde in Dendrogrammen dargestellt (Abb. A 9). Die Unterteilung der Gruppen erfolgte grafisch anhand des erhaltenen Dendrogramms mit der Festlegung eines Schwellenwertes zur Gruppenbildung bei einem Ähnlichkeitsniveau von 1,20 in 2001, 1,23 in 2002 und 1,14 in 2003. Die daraus gebildeten Gruppen waren während der drei Jahre durch eine ähnliche Artenzusammensetzung charakterisiert (Abb. 19, Abb. 20, Abb. 21, Tab. A 29, Tab. A 30 und Tab. A 31) und wurden daher jeweils mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnet. Die darauf folgende Zahl gibt das Jahr an (z.B. A01 bezeichnet die Gruppe A im Jahr 2001).

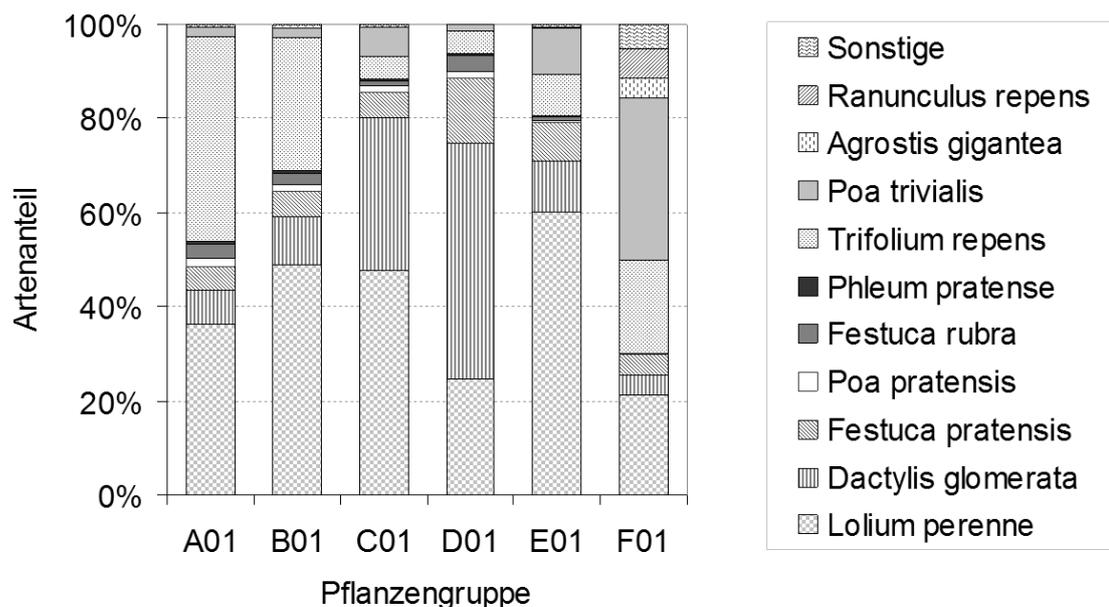


Abb. 19: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sechs nach Clusteranalyse gebildeten Gruppen (2001).

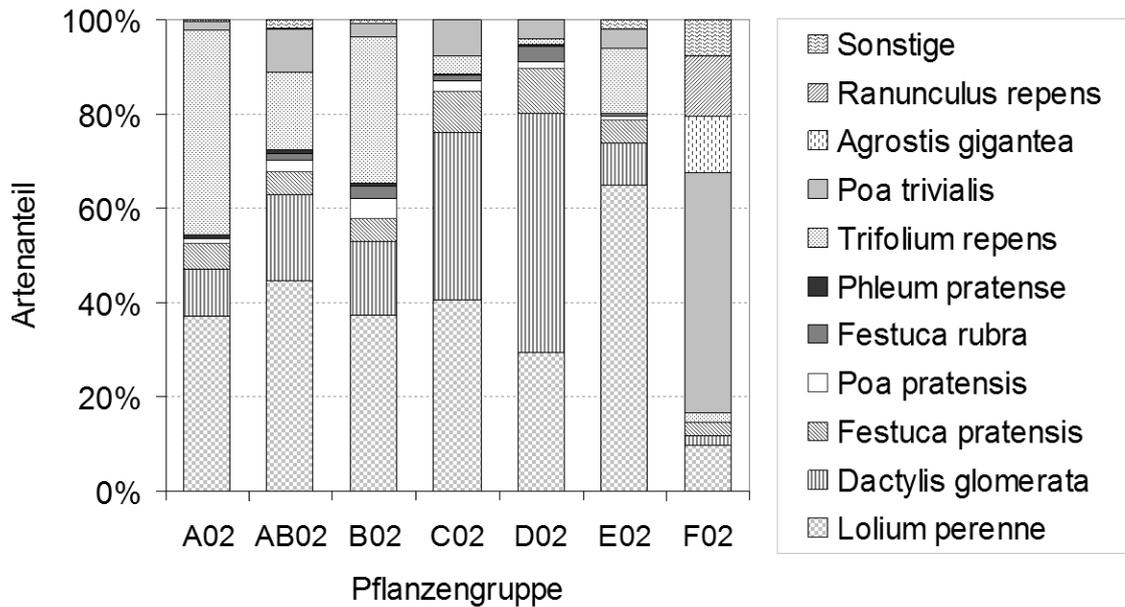


Abb. 20: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sieben nach Clusteranalyse gebildeten Gruppen (2002).

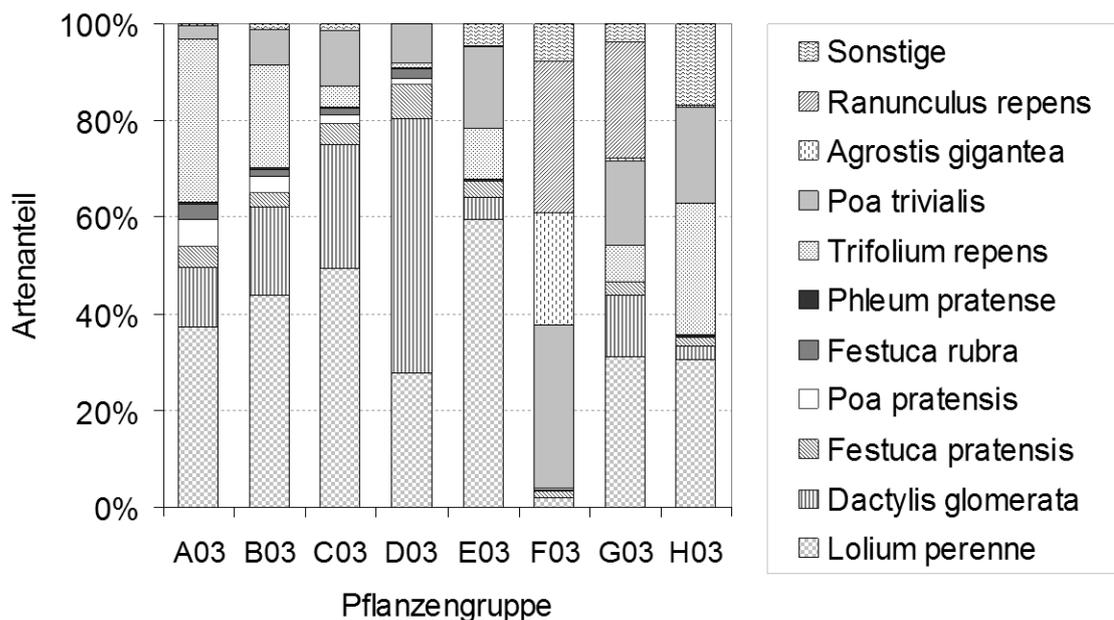


Abb. 21: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den acht nach Clusteranalyse gebildeten Gruppen (2003).

Die Pflanzengruppe **A** war von hohen durchschnittlichen Ertragsanteilen von *Lolium perenne* und *Trifolium repens* charakterisiert. Diese Arten waren die relevantesten Bestandesbildner ebenfalls für die Gruppe **B**, jedoch waren hier die Ertragsanteile von *Trifolium repens* etwas niedriger.

Bei der Gruppe **C** waren *Lolium perenne* und, mit etwas niedrigeren Anteilen, *Dactylis glomerata* die dominierenden Arten. Sie waren ebenfalls bei der Gruppe **D** stark vertreten, wobei hier *Dactylis glomerata* die höheren Anteile zeigte.

Die höchsten durchschnittlichen Ertragsanteile von *Lolium perenne* gegenüber allen

anderen enthielt die Gruppe **E**, während bei der Gruppe **F** *Poa trivialis* am stärksten vertreten war.

Diese Konstellation von Gruppen mit ähnlicher Artenzusammensetzung war innerhalb der einzelnen Jahre mit geringfügigen Abweichungen fortlaufend vorzufinden. Im Jahr 2002 waren z.B. viele Probenflächen, die im Jahr 2001 und 2003 der **A**- und **B**-Gruppe zugeordnet waren, in einer großen Gruppe (genannt **AB**) zu finden, die sich in der Artenzusammensetzung mehr der Gruppe **B** annäherte. Im Jahr 2003 entstanden aus der Clusteranalyse zwei zusätzliche Gruppen (**G** und **H**). In beiden war *Lolium perenne* gleich stark vertreten, wobei in Gruppe **G** *Ranunculus repens* als zweite relevante Art und in Gruppe **H** *Trifolium repens* sowie *Poa trivialis* vorzufinden waren.

Die Betrachtung der räumlichen Verteilung dieser Gruppen auf dem Mühlberg für die drei Untersuchungsjahre zeigte ein ziemlich heterogenes Bild (Abb. 22). Viele Probenflächen wechselten von Jahr zu Jahr „ihre“ Gruppe, allerdings lassen sich in einigen Bereichen wiederkehrende Muster erkennen, die besonders in den Jahren 2001 und 2003 eine deutliche Übereinstimmung ergaben.

In erster Linie waren die Kernbereiche der Gruppen **D** (süd-östlich), **E** (westlich entlang des Baches bis zum Auenbereich) und **F** (nördliche Spitze) besonders deutlich zu identifizieren und veränderten sich mit den Jahren kaum.

Diese Bereiche sowie alle anderen Parzellen, die in 2001 und 2003 zu den gleichen Gruppen zugeordnet wurden (genannt „engere Gruppen“), machten etwa 50 % der Probenflächen aus. Für diese Bereiche wurde eine zusätzliche Diskriminanzanalyse durchgeführt, um die Anpassung der Arten an den frisch angesäten Standort Mühlberg, zu überprüfen. Dabei wurden lediglich die Jahre 2001 und 2003 betrachtet, da sie das Anfangs- und Endstadium der Vegetation für den Untersuchungszeitraum repräsentierten. In allen Gruppen dieser Flächen gab es einen Rückgang der Ertragsanteile von *Festuca pratensis* und eine Zunahme von *Poa trivialis* (außer in Gruppe **F**) (Tab. A 32, Tab. A 33). In den Gruppen **A** und **B** wurde eine relativ starke Zunahme von *Dactylis glomerata* und eine etwas geringere Zunahme von *Poa pratensis* beobachtet. Diese war von einer starken Abnahme von *Trifolium repens* und einer leichten Abnahme von *Festuca rubra* begleitet. In den Gruppen **C**, **D** und **E** zeigte sich eine relativ starke Zunahme von *Poa trivialis* und eine leicht geringeren Abnahme von *Dactylis glomerata* und *Lolium perenne*, außer in der Gruppe **D**, bei der *Lolium perenne* leicht zunahm. Die größte Veränderung innerhalb der Vegetationszusammensetzung wies die Gruppe **F** auf. Hier nahmen sehr stark Arten wie *Ranunculus repens* und *Agrostis gigantea* zu und es gab einen Rückgang aller Arten, die angesät worden waren.

Bei den Parzellen, die von Jahr zu Jahr nach der Clusteranalyse anderen Gruppen zugeordnet worden waren, wurden innerhalb des Untersuchungszeitraums verschiedene Tendenzen festgestellt.

Im Laufe der Jahre sind von Gruppe **A** 66,7 % aller zugeordneten Parzellen teilweise über **AB** (in 2002) in die Gruppe **B** (37 %) gewechselt. Bei dieser gab es eine Abnahme von *Trifolium repens* zu Gunsten von *Lolium perenne* und *Dactylis glomerata*. Fast alle restlichen Parzellen (18,5 %), bei denen sich die Artenzusammensetzung veränderte,

waren am Ende des Untersuchungszeitraums in den Gruppen E, G oder H zu finden. Sie unterschieden sich von der Artenzusammensetzung der Gruppe A in den deutlich höheren Ertragsanteilen von nicht angesäten Arten. Beachtlich war dabei, dass diese Parzellen sich meist am süd-westlichen Rand des Mühlberges befanden. In den Randgebieten war sehr wahrscheinlich die Einwanderung von autochthonen konkurrenzfähigen Arten begünstigt und somit die schnellere Veränderung in der Artenzusammensetzung der dort vorkommenden Pflanzengemeinschaften erklärbar.

Die ursprünglich in Gruppe C enthaltenen Beprobungsflächen (47 %) wurden im dritten Jahr der Gruppe D (29 % aller Parzellen) und der Gruppe B (18 % aller Parzellen) zugeordnet. Dabei gab es bei der Artenzusammensetzung im ersten Fall eine Erhöhung der Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* und im zweiten Fall von *Trifolium repens*.

Die rapide Variation der Ertragsanteile innerhalb eines Bestandes war bei *Trifolium repens* eher erklärbar als bei *Dactylis glomerata*, da diese Pflanzenart sich nahezu flächendeckend etabliert und ihr räumliches Muster (auf Grund von überschüssigen Stickstoffmengen im Boden, die sie selbst fixiert hat) schnell verändern kann (LIEHT, 1960 in TURKINGTON and HARPER, 1979).

Bei der Gruppe D wurde festgestellt, dass die Anzahl der Parzellen während der Jahre sich kaum verändert hat, während bei Gruppe F im Jahr 2003 57 % der Parzellen nicht mehr dieser Gruppe zugeordnet waren, sondern den Gruppen H (43 %) und G (14 %).

In den Gruppen B und E war die Entwicklung sehr heterogen, weshalb bezüglich der Zuordnung der Parzellen (47 % bzw. 63 %), die im dritten Jahr des Untersuchungszeitraumes nicht mehr zu diesen Gruppen gehörten, keine eindeutige Aussage getroffen werden konnte.

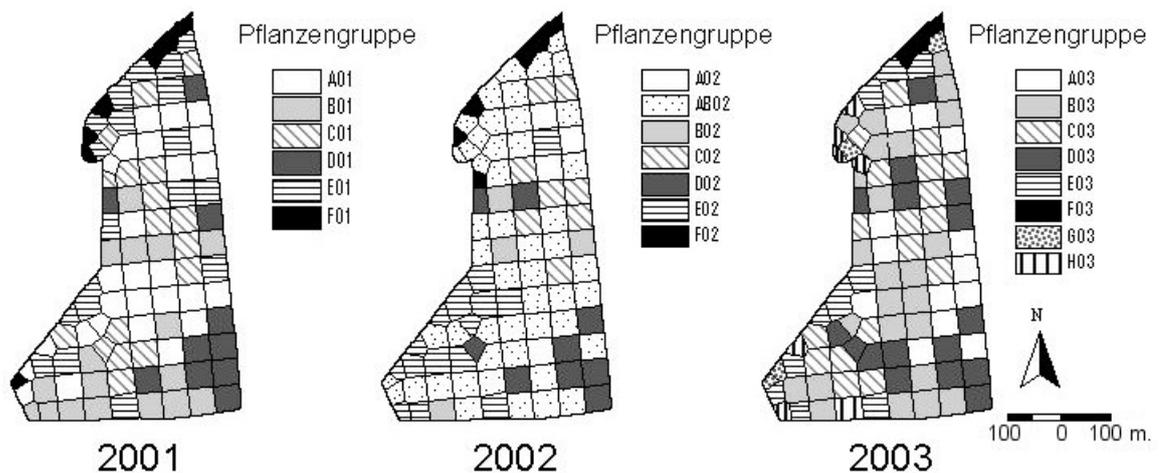


Abb. 22: Ergebnis der Unterteilung in Gruppen durch die Clusteranalyse für die Jahre 2001-2003. Räumliche Verteilung der ermittelten Gruppen auf dem Mühlberg als Thiessenpolygone der 50 m-Rastervegetationskartierung.

3.6.2 Diskriminanzanalyse

Zur Charakterisierung der Unterschiede zwischen den Gruppen von Parzellen, die aus der Clusteranalyse hervorgegangen sind, wurde für jedes Untersuchungs-jahr eine Diskriminanzanalyse durchgeführt. Dazu dienten als Merkmalvariablen Vegetationsdaten (Trockenmasseerträge, Pflanzenarten und die berechneten Wertzahlen und Zeigerwerte jeder Probefläche), Standort- und Bewirtschaftungsdaten (siehe Kap. 2.3.1.5).

Für die optimale Trennung zwischen Gruppen sind die aus der Analyse gewonnenen Diskriminanzfunktionen verantwortlich. Anhand der Anzahl der aus der Clusteranalyse ermittelten Gruppen (G) innerhalb der einzelnen Untersuchungs-jahre waren $G - 1$ Diskriminanzfunktionen (Tab. A 34) zu extrahieren.

Die gewonnenen Diskriminanzfunktionen lieferten durchschnittlich bis zur vierten Funktion einen signifikanten Beitrag ($p < 0,001$) zur Trennung dieser Gruppen. Da jedoch nach der Berechnung der drei ersten Funktionen kaum noch diskriminatorisches Potential verblieb, wurden daher hier nur diese drei weiter untersucht. Dabei wurden sie jeweils mit der gleichen römischen Zahl gekennzeichnet. Die darauf folgende Zahl gibt das Jahr an.

Die zuerst extrahierten Diskriminanzfunktionen (**Diskriminanzfunktionen I**) erklärten im Jahr 2001 32 %, im Jahr 2002 37 % und in 2003 27 % der Gesamtauf-trennung der Gruppen, d.h. der Variabilität in der Artenzusammensetzung auf den Parzellen. Durch die **Diskriminanzfunktionen II** erfolgte die Klärung der Gesamtauf-trennung der Gruppen bis zu 32 % in 2001, bis zu 20 % in 2002 und in 2003 bis zu 17 %. Bei den **Diskriminanzfunktionen III** schwankten diese Werte zwischen 12 und 16 %.

Zur Extraktion der Diskriminanzfunktionen sind die Ausprägungen der den einzelnen Diskriminanzfunktionen zugeordneten Merkmalsvariablen verantwortlich. Als Maß für die Erklärungsbeiträge der einzelnen Variablen dient die Ladung (d.h. Korrelation der Variablen mit einzelnen Diskriminanzfunktionen). Je höher diese Ladung ist, desto größer ist ihr Beitrag zu der Trennung der Gruppen in der Diskriminanzfunktion. Nachfolgend werden die Diskriminanzfunktionen, getrennt nach Funktionszahl, zusammen für die drei Untersuchungs-jahre näher betrachtet (z.B. Diskriminanzfunktion I vom Jahr 2001 bis zum Jahr 2003). Dabei werden nur die wichtigsten Merkmalsvariablen dargestellt, die während der drei Untersuchungs-jahre mit deutlicher Ausprägung regelmäßig auftraten, obwohl die jeweiligen Beiträge zur diskriminatorischen Bedeutung in der Diskriminanzfunktion (gleicher Zahl) in den einzelnen Untersuchungs-jahren zumeist unterschiedlich groß waren.

Mit den **Diskriminanzfunktionen I** waren während der drei Jahre folgende Variablen, hoch positiv korreliert:

- nicht angesäte Arten (wie *Poa trivialis*, *Ranunculus repens*, *Agrostis gigantea*, *Glyceria fluitans*),
- Feuchtigkeit im Boden (Feuchtezahl und nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums),
- P-, C_{org}-Gehalt (C_{org}-Gehalt verlor im dritten Jahr an Bedeutung) und

- Parameter, die horizontale Areale, Wassereinzugsgebiete wie Hangfußbereiche anzeigen.

Auf den Gegenpol wirkten in Form hoch negativer Ladungen

- angesäte Arten (hauptsächlich *Dactylis glomerata* und auch *Lolium perenne*, sowie *Festuca pratensis*),
- Futterqualität (Wertzahl),
- Lagerungsdichte,
- elektrische Leitfähigkeit und
- Hangneigung.

Die durch die Diskriminanzfunktionen I bedingte Trennung der verschiedenen Gruppen voneinander erfolgte mittels der aus der Diskriminanzanalyse berechneten Faktorwerte (Diskriminanzfaktorscores). Sie fassen die diskriminatorische Bedeutung der Variablen jeder Gruppe zusammen, d.h. sie drücken die Stärke der Zugehörigkeit einzelner Probefläche zu den jeweiligen Gruppen aus. Auf diese Weise geben sie darüber Auskunft, wie stark sich eine Gruppe von den anderen anhand einer Diskriminanzfunktion unterscheidet.

Die Übersicht der durchschnittlichen Faktorwerte der Diskriminanzanalyse (Tab. 15) zeigt, dass die Diskriminanzfunktionen I die Trennung der Gruppe F, entweder, von allen anderen Gruppen (in 2002 und 2003) oder, wie in 2001, von A erklären können.

Tab. 15: Durchschnittliche Faktorwerte jeder Gruppe für die ersten drei Diskriminanzfunktionen getrennt nach Untersuchungsjahren. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte, die besonders weit auseinander liegen. Sie weisen auf die Gruppen hin, die am besten durch die Diskriminanzfunktion getrennt werden. Eine Übersicht dieser Werte ist für die restlichen Diskriminanzfunktionen in Tab. A 36, Tab. A 37 und Tab. A 38, zu finden.

Gruppe	Diskriminanzfunktionen								
	I/01	II/01	III/01	I/02	II/02	III/02	I/03	II/03	III/03
Gruppe A	-1.30	0.12	-0.17	-0.45	-0.33	-1.19	-0.17	0.88	-0.88
Gruppe B	-0.53	-0.07	0.48	-0.22	-0.23	-0.41	-0.22	0.63	0.02
Gruppe AB02	-	-	-	-0.18	-0.36	-1.18	-	-	-
Gruppe C	0.56	-0.55	-0.07	-0.24	-0.74	0.63	-0.40	-0.38	-0.03
Gruppe D	0.90	-0.98	-1.87	-0.13	-1.24	1.84	-0.56	-1.71	-0.43
Gruppe E	0.97	-0.17	1.12	-0.34	1.89	0.54	-0.12	-0.06	2.03
Gruppe F	1.02	2.91	-0.70	3.68	0.17	-0.06	4.91	-1.33	0.84
Gruppe H03	-	-	-	-	-	-	1.80	0.21	-2.35
Gruppe G03	-	-	-	-	-	-	0.48	1.58	0.41

Die Diskriminanzfunktionen II korrelierten hoch positiv mit

- der Feuchtigkeit im Boden (nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums und topografischer Wetness-Index),
- dem C_{org}- sowie N_t-Gehalt,
- der Bewirtschaftungsintensität,
- der Ertragsanteile von *Poa trivialis*,
- der Grünlandzahl und

- den Parametern, die horizontale Areale, Wassereinzugsgebiete wie Hangfußbereiche anzeigen.

Dagegen ergaben sich im negativen Pol hohe Ladungen bei

- den Ertragsanteilen von *Trifolium repens*,
- der Lagerungsdichte des Bodens,
- dem Steingehalt,
- der Wertzahl (sie verlor während der Jahre an Bedeutung),
- der Hangneigung und
- der Tonfraktion des Bodens.

Die Übersicht der durchschnittlichen Faktorwerte (Tab. 15) der Diskriminanzanalyse zeigt, dass die Diskriminanzfunktionen II jeweils die Gruppe F in 2001, E in 2002 und H in 2003 von der Gruppe D abgrenzten.

Die **Diskriminanzfunktionen III** wiesen bei folgenden Parametern positive Ladungen auf:

- *Lolium perenne* (*Trifolium repens* nur in 2003),
- ton- und nährstoffreiche Böden (Mg-, C_t- und C_{org}-Gehalt),
- elektrische Leitfähigkeit,
- Zuflussrichtung und
- Wertzahl.

Im negativen Bereich korrelierten Trockenmasseertrag und Schlufffraktion des Bodens.

Die Zuordnung weiterer für die drei Untersuchungsjahre gleich bleibender Merkmalsvariablen zu diesem Pol erfolgte nicht so deutlich wie bei den vorherigen Diskriminanzfunktionen. Hierfür sind Hinweise bei den Faktorwerten zu finden. Ihre Übersicht (Tab. 15) weist darauf hin, dass die Diskriminanzfunktionen III in 2001 für die Trennung der Gruppe E von D, in 2002 der Gruppe D von A und in 2003 der Gruppe E von G geeignet waren.

Die Gruppen, die sich von einer Diskriminanzfunktion trennen lassen, waren für jedes Untersuchungsjahr immer wieder unterschiedlich (besonders im negativen Pol) und deswegen war auch die Anzahl der gemeinsamen Merkmalvariablen, die während der Jahre die entsprechenden Diskriminanzfunktionen charakterisieren, gering.

Zusätzlich wurde eine Diskriminanzanalyse (der zusammengewürfelten Daten aus dem Jahr 2001 und 2003) für eine Auswahl von Parzellen durchgeführt, die in der Clusteranalyse für die Jahre 2001 und 2003 den gleichen Gruppen zugeordnet worden waren („engere Gruppen“, siehe Kap. 3.6.1). Dies hatte zum Ziel, zu prüfen, ob die vorher dargestellten Ergebnisse sich auf den Parzellen mit geringerer Vegetationsdynamik bestätigen, beziehungsweise dort noch deutlicher hervortreten würden.

Die Gesamtauftrennung der Gruppen erfolgte zu 21 % durch die Diskriminanzfunktion I, zu 14 % durch die Diskriminanzfunktion II und zu weiteren 10 % durch die Diskriminanzfunktion III (Tab. A 35).

Die Diskriminanzfunktion I für die „engeren Gruppen“ war überwiegend durch dieselben Merkmalsvariablen charakterisiert, die bereits die zuvor betrachteten Diskriminanzfunktionen I für alle Parzellen kennzeichneten. Gleichzeitig lieferten die

Variablen bei dieser Diskriminanzfunktion und bei den zuvor betrachteten Diskriminanzfunktionen I sehr ähnliche Erklärungsbeiträge an diskriminatorischer Bedeutung.

Insgesamt war die Ähnlichkeit dieser Diskriminanzfunktion zur Diskriminanzfunktion I für das Jahr 2003 am größten. Von 2001 bis 2003 glichen sich also die Ergebnisse für alle Flächen denjenigen für die „engere Gruppe“ an. Zugleich verstärkte sich die Ausprägung bestimmter Merkmalsvariablen in der Diskriminanzfunktion der einzelnen Jahre fortlaufend. Das bedeutet, dass sich die Gruppen im Laufe der Zeit immer deutlicher nur durch bestimmte Merkmalsvariablen charakterisieren lassen und dass ein Differenzierungsprozess von einigen Gruppen (im Fall von Diskriminanzfunktion I die Gruppe F) auf bestimmten Standorten stattfindet.

Die Übersicht der durchschnittlichen Faktorwerte (Tab. A 39) der Diskriminanzanalyse zeigt, dass die Diskriminanzfunktion I für die „engeren Gruppen“, ebenso wie die Diskriminanzfunktion I für alle Parzellen in den einzelnen Untersuchungsjahren, die Abtrennung der Gruppen F von allen anderen Gruppen ermöglichte.

Für die Diskriminanzfunktionen I und II der „engeren Gruppen“ war wie bei der Diskriminanzfunktion I der „engeren Gruppen“ auffallend, dass sie einen Annäherungstrend von 2001 bis 2003 an die Diskriminanzfunktionen für alle Parzellen zeigten. Allerdings waren diese Ähnlichkeiten nicht so deutlich ausgeprägt, wie im Falle der Diskriminanzfunktion I.

Die durchschnittlichen Faktorwerte ergaben für die Trennung der „engeren Gruppen“ weitgehend die gleichen Ergebnisse wie für die Trennung der Gruppen aller Parzellen in den einzelnen Jahren (Trennungen der Gruppe D durch die Diskriminanzfunktion II und der Gruppe E durch die Diskriminanzfunktion III).

Aus der Diskriminanzanalyse der „engeren Gruppen“ werden schließlich die Ergebnisse der einzelnen Jahre bestätigt. In der Diskussion wird erläutert, weshalb dies auf einen Anpassungsprozesses der Gruppen an bestimmte Standortbedingungen auf den einzelnen Parzellen hinweist.

3.7 Quantitative Untersuchung des Einflusses verschiedener Standortfaktoren auf das Vorkommen von Weißklee

Unter den sieben im Herbst 1998 angesäten Arten auf dem Mühlberg wurde *Trifolium repens* näher untersucht. Hervorzuheben ist bei dieser Pflanzenart die biologische Stickstofffixierleistung sowie die hohe Futterqualität in Verbindung mit einem hohen Rohproteingehalt und einer großen Nutzungselastizität. Da sie als natürliche Stickstoffquelle zu sehen ist, und dadurch nicht auf die Zufuhr von Stickstoff über Düngermittel (zusätzliche Stickstoffgabe) angewiesen ist, hat sie auch eine besondere Bedeutung im Ökologischen Landbau.

Mittels multipler Regressionsanalyse wurde unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen (im folgenden durch x dargestellt z.B. Mg-Gehalt x Tonfraktion) untersucht, ob die chemischen Parameter und die Korngröße des Bodens, die Entwicklung der ermittelten Ertragsanteile von *Trifolium repens* auf dem Mühlberg erklären konnten.

Die Daten für 2001 zeigten, dass die berücksichtigten Standortparameter 29,5 % der gesamten Streuung der Weißkleeertragsanteile erklären konnten. Dabei leisteten der pH-Wert, der P-Gehalt und der Anteil der Tonfraktion einen signifikanten Beitrag (Tab. 16). Die Zusammenhänge zwischen Weißklee und pH-Wert ($P < 0,0001$) bzw. der Tonfraktion ($P < 0,005$) des Bodens waren positiv. Der Einfluss der Tonfraktion auf Weißklee war nicht besonders stark ausgebildet. Dagegen war die Beziehung zum P-Gehalt ($P < 0,03$) leicht negativ (Abb. 23).

Tab. 16: Schätzwerte der Parameter für das Modell für *Trifolium repens* im Jahr 2001.

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr > t
Achsenabschnitt	-21.6835	4.25	-5.10	<.0001
pH-Wert	2.8085	0.64	4.39	<.0001
P-Gehalt	- 0.0505	0.02	-2.21	0.03
Tonfraktion	0.0489	0.02	2.88	0.005

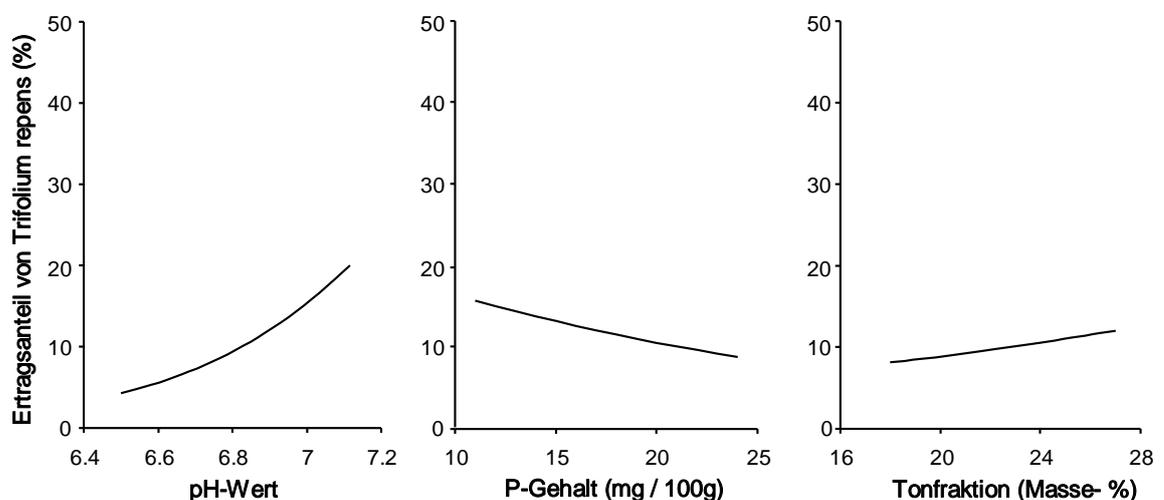


Abb. 23: Einfluss von pH-Wert, P-Gehalt und Tonfraktion auf die Ertragsanteile von *Trifolium repens* (2001).

Für 2002 zeigte die Regressionsanalyse, dass die berücksichtigten Standortparameter 23,5 % der gesamten Streuung der Weißkleeertragsanteile erklären konnten. Dabei lieferten pH-Wert, P-Gehalt, Mg-Gehalt, Tonfraktion, pH-Wert x pH-Wert und Mg-Gehalt x Tonfraktion einen signifikanten Beitrag für die Erklärung der Varianz der Ertragsanteile von *Trifolium repens* (Tab. 17). Auf das Weißkleevorkommen wirkte der pH-Wert x pH-Wert ($P < 0,047$) positiv, der P-Gehalt ($P < 0,028$) und der Mg-Gehalt x Tonfraktion ($P < 0,016$) hingegen negativ (Abb. 24). Bezüglich dieser Interaktion wurde bei niedrigen Niveaus der Tonfraktionswerte kein Einfluss der Mg-Gehalte auf die Ertragsanteile von *Trifolium repens* festgestellt. Bei mittleren und hohen Niveaus der Tonfraktionswerte gab es dagegen eine niedrige bzw. deutlich negative Wirkung der Mg-Gehalte auf den Weißklee.

Tab. 17: Schätzwerte der Parameter für das Modell für *Trifolium repens* im Jahr 2002.

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr > t
Achsenabschnitt	-229.255	104	-2.20	0.030
pH-Wert	62.7914	30.3	2.07	0.041
P-Gehalt	-0.0534	0.02	-2.22	0.029
Mg-Gehalt	0.1444	0.08	1.85	0.068
Tonfraktion	0.2246	0.08	2.69	0.009
pH-Wert x pH-Wert	-4.4074	2.19	-2.01	0.047
Mg-Gehalt x Tonfraktion	-0.0073	0.00	-2.47	0.016

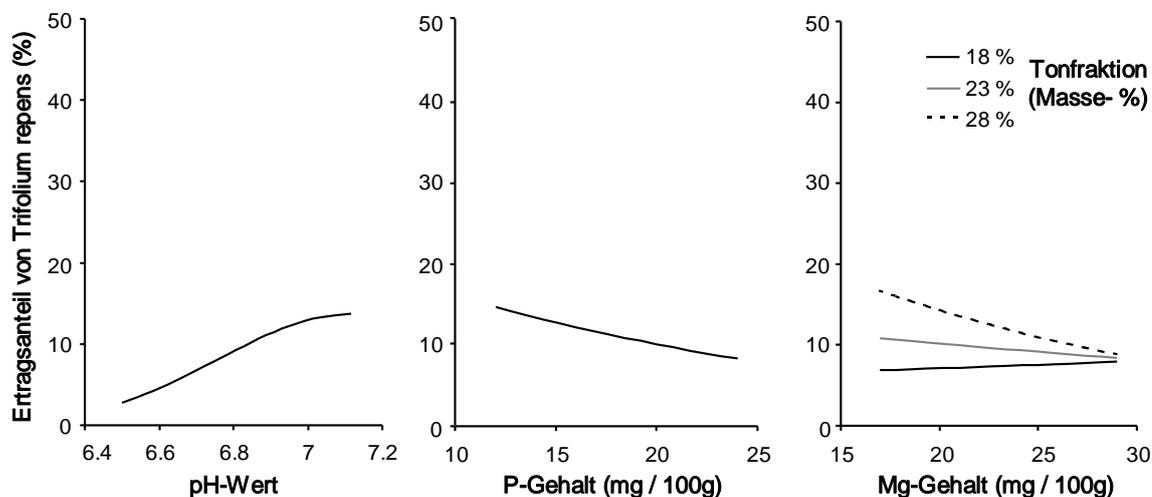


Abb. 24: Einfluss von pH-Wert, P-Gehalt und Mg-Gehalt bzw. Tonfraktion auf die Ertragsanteile von *Trifolium repens* (2002).

2003 erklärt die Regressionsgerade für das aufgestellte Modell 33,7 % der Gesamtvarianz der Weißkleeertragsanteile. Dabei lieferten der pH-Wert, der Mg-Gehalt, die Tonfraktion und der Mg-Gehalt x Tonfraktion einen signifikanten Beitrag (Tab. 18). Die Ertragsanteile an *Trifolium repens* waren vom pH-Wert ($P < 0,003$) wie auch in 2001 und 2002 positiv beeinflusst. Die Interaktion von Mg-Gehalt x Tonfraktion ($P < 0,032$) wirkte im Vergleich zum Jahr davor nicht so stark. Bei niedrigen und mittleren Niveaus der Tonfraktionswerte gab es keinen bzw. einen leicht positiven Einfluss der Mg-Gehalte auf die Weißkleeertragsanteile. Dagegen war sein Einfluss bei hohen Niveaus der

Tonfraktionswerte leicht negativ (Abb. 25).

Tab. 18: Schätzwerte der Parameter für das Modell für *Trifolium repens* im Jahr 2003.

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr > t
Achsenabschnitt	-22.54170	4.64	-4.85	<.0001
pH-Wert	2.00314	0.66	3.04	0.003
Mg-Gehalt	0.15791	0.07	2.16	0.034
Tonfraktion	0.24541	0.08	3.05	0.003
Mg-Gehalt x Tonfraktion	-0.00623	0.00	-2.18	0.032

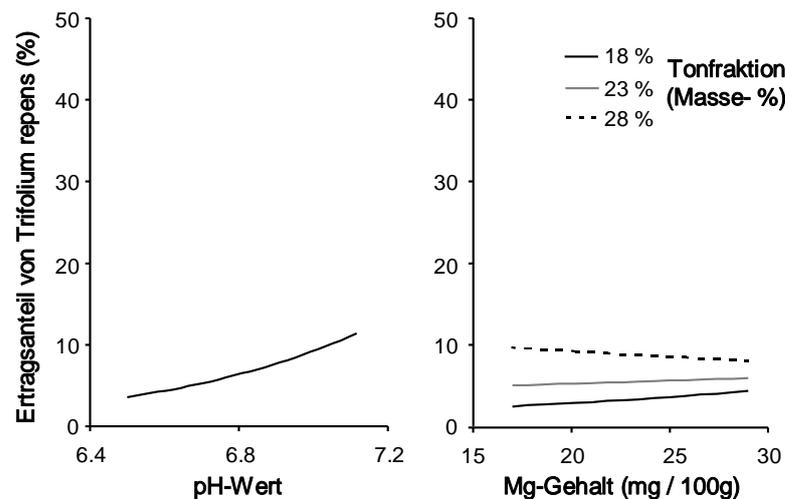


Abb. 25: Einfluss von pH-Wert und Mg-Gehalt bzw. Tonfraktion auf die Ertragsanteile von *Trifolium repens* (2003).

Außerdem wurde für alle drei Untersuchungsjahre überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen Weißkleeertragsanteil und botanischer Artenvielfalt (Artenzahl) gegeben ist, um den Einfluss des Weißkleees auf den Pflanzenbestand ermitteln. Dabei wurde festgestellt, dass ein solcher Zusammenhang bei der vorliegenden Untersuchung nicht besteht.

3.8 Fein gerasterte Teilflächen

3.8.1 Bodencharakteristika der fein gerasterten Teilflächen

Mit der Zielsetzung, die Heterogenität möglichst vieler verschiedener Standorte innerhalb des Mühlberges kleinräumig zu erfassen, wurde in 2001, 2002 und 2003 jeweils eine fein gerasterte Teilfläche für eine Intensivbeprobung ausgewählt (6,25 m-Raster). Wegen des hohen Aufwandes dieser Untersuchungen erfolgte keine parallele Beprobung mehrerer Flächen innerhalb eines Jahres.

In 2001 und 2002 wurden Areale untersucht, die sich im Hinblick auf ihre geomorphographischen Reliefmerkmale und ihre Bodeneigenschaften in der Analyse nach dem groben Raster als sehr heterogen erwiesen hatten, in 2003 wurde zum Vergleich eine unter diesen Aspekten relativ homogene Fläche ausgewählt. Die Auswahl der Fläche des Jahres 2002 erfolgte mit dem Ziel, Gradienten zwischen Auen und Kuppen zu bestimmen und war deshalb größer als die beiden anderen intensiv untersuchten Flächen.

In 2001 war die Teilfläche mit der Bezeichnung I01 relativ steil (durchschnittliche Hangneigung 15 %; Tab. A 41) und von sechs Bodentypen charakterisiert. 51,8 % der Beprobungsstellen (n=81) waren durch Kolluvisol, 19,8 % durch Braunerde, 11,1 % durch Pelosol, 11,1 % durch Pseudogley-Kolluvisol, 5 % durch Gley-Kolluvisol und 1,2 % durch Kolluvisol-Pseudogley charakterisiert.

Die intensiv untersuchte Teilfläche I02 in 2002 war durchschnittlich um 10 % geneigt (Tab. A 42) und ebenfalls von sechs Bodentypen charakterisiert. Auf 49,5 % der Beprobungsfläche (n=101) wurden Kolluvisol, auf 13,9 % Braunerde, auf 13,9 % Pseudogley-Kolluvisol, auf 9,9 % Gley-Kolluvisol, auf 7,8 % Kolluvisol-Pseudogley und auf 5 % Parabraunerde vorgefunden.

Auf der relativ ebenen Fläche I03 des Jahres 2003 (durchschnittliche Hangneigung 5 %; Tab. A 43) wurden ebenfalls sechs Bodentypen angetroffen. 55,6 % der Beprobungsstellen (n=81) wurden als Braunerde, 21 % als Pelosol-Braunerde, 8,6 % als Parabraunerde-Kolluvisol, 6,2 % als Braunerde-Pelosol, 6,1 % als Kolluvisol sowie 2,5 % als Parabraunerde klassifiziert.

Die räumliche Verteilung der Bodentypen auf den drei Intensivflächen ist in Abb. 26 als Thiessen-Polygone im 6,25 m-Raster dargestellt. Die heterogenen Teilflächen der Jahre 2001 (I01) und 2002 (I02) waren überwiegend durch Kolluvisol (auf beiden Flächen etwa zur Hälfte der Beprobungsstellen) und Kolluvisol-Mischformen bestimmt (auf der Fläche I01 zu fast 17 %, auf der Fläche I02 zu fast 24 % der Beprobungsstellen). Fast ein Fünftel der Beprobungsstellen der Fläche I01 bestand aus Braunerde, die bei der Fläche I02 in geringerem Maße, aber zusammen mit der Parabraunerde etwa zum gleichen Anteil vorkam. Pseudogley war auf dieser Fläche im Vergleich zu I01 stark vertreten. Pelosol wurde dagegen auf der Fläche I02 gar nicht gefunden. Ein ganz anderes Bild ergibt ein Blick auf die Zusammensetzung des Bodens des Teilgebietes, das im Jahre 2003 (I03) untersucht wurde: Es wurde eindeutig von Braunerde (mehr als die Hälfte der Beprobungsstellen) sowie Braunerde-Mischformen (zu ca. 21 %) dominiert. Nur auf 6 % der Beprobungsstellen wurden Kolluvisol gefunden, der auch zusammen mit seiner Parabraunerde-Mischform nur bei etwa 15 % der

Beprobungsstellen vorkommt. Außerdem waren hier die Vorkommen von Braunerde-Pelosol und Parabraunerde ziemlich niedrig.

Die Verteilung der Bodenarten, die auf den drei fein gerasterten Teilflächen verschieden stark vertreten waren, zeigt Tab. 19. Auf der Fläche I01 wurde im Vergleich zu den anderen der höchste Anteil der Ton- und Sandfraktion (bei 32 % der Beprobungsstellen) festgestellt, wobei hier 36 % der Beprobungsstellen sehr hohe Anteile der Schlufffraktion und 32 % immer noch hohe Anteile der Schluff- aber auch mittlere der Tonfraktion zeigten. Diese letzte Bodenart (Tu4) wurde auch mit leicht niedrigeren Anteilen auf der Fläche I02 (22 % der Beprobungsstellen) und I03 (27 % der Beprobungsstellen) vorgefunden. Die Fläche I02 war verglichen mit den anderen zwei Teilflächen durch den höchsten Anteil an Schluff und gleichzeitig den niedrigsten an Ton (63 % der Beprobungsstellen) charakterisiert. Auch die Fläche I03 war am stärksten von hohen Anteilen an Schluff (61 % der Beprobungsstellen) bestimmt, dabei war aber die Tonfraktion im Vergleich I02 etwas stärker vertreten.

Tab. 19: Verteilung der Beprobungspunkte der drei Intensivflächen auf Bodenart (angegeben ist die Anzahl der Beprobungsstellen, die Bodenart in den obersten 30 cm und die Abkürzungen der Bodenarten).

Bodenart	Kornfraktionen (Masse- %)						Intensivfläche	Intensivfläche	Intensivfläche
	Ton (%)		Schluff (%)		Sand (%)		in 2001 (I01)	in 2002 (I02)	in 2003 (I03)
	von	bis	von	bis	von	bis	n	n	n
Ut4	17	25	65	83	0	18	20	11	49
Ut3	12	17	65	88	0	23	9	64	9
Tu4	25	35	65	75	0	10	26	22	22
Tu3	30	45	50	65	0	20	15	4	1
Tu2	45	65	30	55	0	25	11		

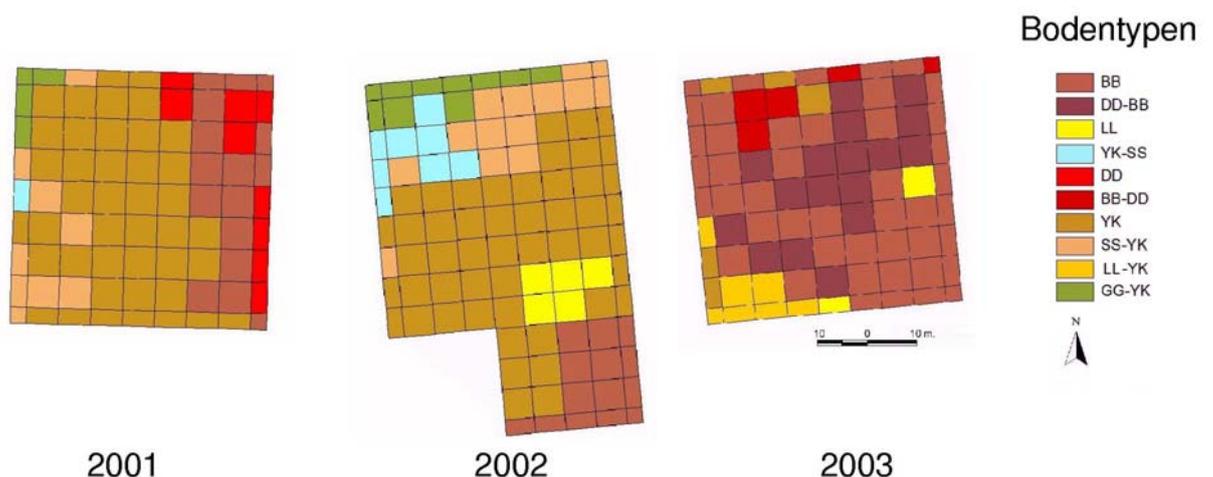


Abb. 26: Leitbodentypen der drei fein gerasterten Teilflächen (2001 - 2003). Darstellung der Karten als Thiessenpolygone mit 6,25 m-Rasterdichte. (Abkürzungen der Bodentypen: BB = Braunerde; DD-BB= Pelosol-Braunerde; DD = Pelosol; BB-DD = Braunerde-Pelosol; LL = Parabraunerde; YK = Kolluvisol; GG-YK = Gley-Kolluvisol; SS-YK = Pseudogley-Kolluvisol; LL- YK = Parabraunerde-Kolluvisol; YK-SS = Kolluvisol-Pseudogley).

3.8.2 Vegetation

Von den sieben im Herbst 1998 angesäten Arten waren auf den drei Intensivflächen *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* und *Trifolium repens* am stärksten vertreten (Tab. A 44). Die durchschnittlichen Ertragsanteile von *Lolium perenne* blieben auf allen Intensivflächen unter 35 % während die von *Dactylis glomerata* zwischen ca. 25 % (auf I01) und 51 % (auf I03) schwankten. Bei *Trifolium repens* erreichten die mittleren Ertragsanteile maximal 19 % und bei den übrigen angesäten Arten (*Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Phleum pratense*) nur sehr niedrige Werte.

Unter den nicht angesäten Arten wurde hier nur *Poa trivialis* berücksichtigt, da die Anteile der anderen natürlich etablierten Arten irrelevant waren. *Poa trivialis* war jedoch mit durchschnittlichen Ertragsanteilen bis 16 % (auf I02) vertreten.

Die Verteilung der Ertragsanteile der dominantesten Arten auf den drei fein gerasterten Teilflächen wird in den Kap 3.8.4.2 näher betrachtet.

3.8.3 Zusammenhänge auf den fein gerasterten Teilflächen

Zur Erfassung von bestehenden Zusammenhängen zwischen den erhobenen Parametern (Standortparameter, Vegetation, Ertrag und Futterqualität) wurden auch bei den intensiv beprobten Flächen, analog zur Vorgehensweise auf der Gesamtuntersuchungsfläche, die Werte zueinander in Beziehung gesetzt. Dazu wurde der Korrelationskoeffizient aller Parameter untereinander errechnet. Die aus der Berechnung signifikant resultierenden Zusammenhänge werden als Hilfsstellung bei der Erklärung der Ergebnisse der Qualität der Interpolation bei verschiedenen Rasterweiten (Kap. 3.8.4 u. 4.8.1.2) und der Variogrammanalyse (Kap. 3.8.5 u. 4.8.1.3) auf den einzelnen Teilflächen beitragen.

Die jeweiligen auch teilweise hoch signifikanten Zusammenhänge zwischen den spezifischen Standortparametern, Ertragsanteilen der Pflanzenarten, Trockenmasseerträgen sowie Futterqualitätsparametern waren nur auf einer der drei Teilflächen bzw. vorwiegend auf der Fläche I02 häufig vorhanden (Tab. A 48, Tab. A 49 und Tab. A 50).

Die Beziehungen zwischen den Standortparametern (Tab. A 45, Tab. A 46 und Tab. A 47) waren deutlich anders ausgeprägt. Hier zeigte sich gleichzeitig auf den Flächen I01 und I02, wie zu erwarten, eine starke Abhängigkeit der chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften, der Reliefattribute sowie der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums von der Korngröße. Insbesondere die Zusammenhänge mit den Reliefattributen deuten auf eine Arealverteilung der Kornfraktionen durch witterungsabhängige Erosionsphänomene (lateralen Transport) von Kuppe und Hangbereich zu Hangfuß hin. Von der Korngröße hingen auch die chemischen Bodeneigenschaften ab, was sich auf der Fläche I01 vor allem am pH-Wert, C_{T} , C_{org} sowie N_{T} -Gehalt zeigte, und auf der Fläche I02 am pH-Wert und N_{T} -Gehalt. Auf den Flächen I01, I02 und I03 wurde dazu der Zusammenhang zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Tonfraktion (positiv), Schlufffraktion (negativ), nutzbarer Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (negativ), sowie Mg-Gehalt (positiv und nur auf I02 und I03)

nachgewiesen.

3.8.4 Vergleiche zwischen verschiedenen Beprobungsdichten

In diesem Teil der vorliegenden Arbeit wurde die Interpolationsgenauigkeit der rasterartig angeordneten Punktdaten, die mit unterschiedlichen Abständen (von 6,25 m bis 50 m) beprobt wurden, untersucht. Es wurde auch nach einer Möglichkeit der Abschätzung des notwendigen Stichprobenumfangs gesucht, damit der Mittelwert von n Messwerten bei einem Stichprobemuster in einem annehmbaren Fehlerrahmen bleibt. Aufgrund des hohen Aufwandes dieser Berechnungen wurden lediglich die wichtigsten Bodenmerkmale (pH-Wert, P-, K-, Mg- und N_t -Gehalt), Trockenmasse und Vegetationsarten (*Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* und *Trifolium repens*) ausgewählt.

Die Interpolation der punktuellen Datensätze der fein gerasterten Untersuchungsflächen wurde mittels „trianguliertem irregulärem Netzwerk (TIN) – Verfahren“ durchgeführt. Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, wurde im Rahmen dieser Fragestellung einer linearen Interpolation anhand der TIN-Struktur zu vergleichsweise komplexeren Verfahren der Vorzug gegeben.

Die Interpolation der Datensätze wurde für die folgenden Rasterweiten bei allen fein gerasterten Untersuchungsflächen durchgeführt: 6,25x6,25 m; 12,5x12,5 m; 25x25 m; 50x50 m (Abb. 27). Die Interpolation des punktuellen Datensatzes als TIN-Struktur für das Raster 6,25x6,25 m wurde als Feldrealität angenommen. Diese Darstellungen der Interpolationsergebnisse der räumlich weiteren Raster wurden jeweils mit der festgelegten Basis (Feldrealität) verglichen und auf ihre Aussagekraft und Anwendbarkeit überprüft. Dies erfolgte sowohl optisch als auch anhand der nachfolgenden Parameter.

Um den Informationsverlust bei der Interpolation der rasterartig angeordneten Punktdaten mit jeweils größeren Abständen festzustellen, wurden der Mittelwert, die Standardabweichung und der Variationskoeffizient berechnet. Es wurden ebenfalls, als Vergleichsmaß der Interpolation zwischen Datensätzen mit dem 6,25x6,25 m-Raster (Feldrealität) und Datensätzen mit unterschiedlicher Rasterweite, Vergleichskoeffizienten (Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler „RMSE“ und Vorhersagbarkeits-Güte „G“) verwendet, um die Genauigkeit eines jeden interpolierten Datensatzes zu ermitteln. Hierzu wurden die Daten, die aus Umwandlung der Triangulation in ein Gitterraster (0,5x0,5 m) entstanden sind, verwendet. Wichtig ist jedoch, dass die RMSE-Ergebnisse der drei Untersuchungsjahre jeweils nur innerhalb eines bestimmten Parameters und nicht zwischen verschiedenen Parametern vergleichbar sind. Der Vergleich zwischen Parametern hingegen erfolgt durch Betrachtung der G-Werte und wird in Prozent ausgedrückt. Außerdem erlauben die hier auf Grundlage der RMSE- und G-Werte vorgestellten Ergebnisse nur eine Vergleichbarkeit einzelner Genauigkeiten. Bei RMSE- und G-Werten wird zur Erklärung raumbezogener Phänomene eine nicht-räumliche Statistik verwendet.

Um den Verlust an Information bei den punktuell erhobenen Datensätzen mit jeweils größeren Abständen im Vergleich zu den „vollständigen“ Datensätzen (6,25x6,25 m-

Raster) festzustellen (Abb. 27), wurden Mittelwert, statistische Streuungsmaßzahl sowie Standardabweichung bzw. Variationskoeffizient verwendet.

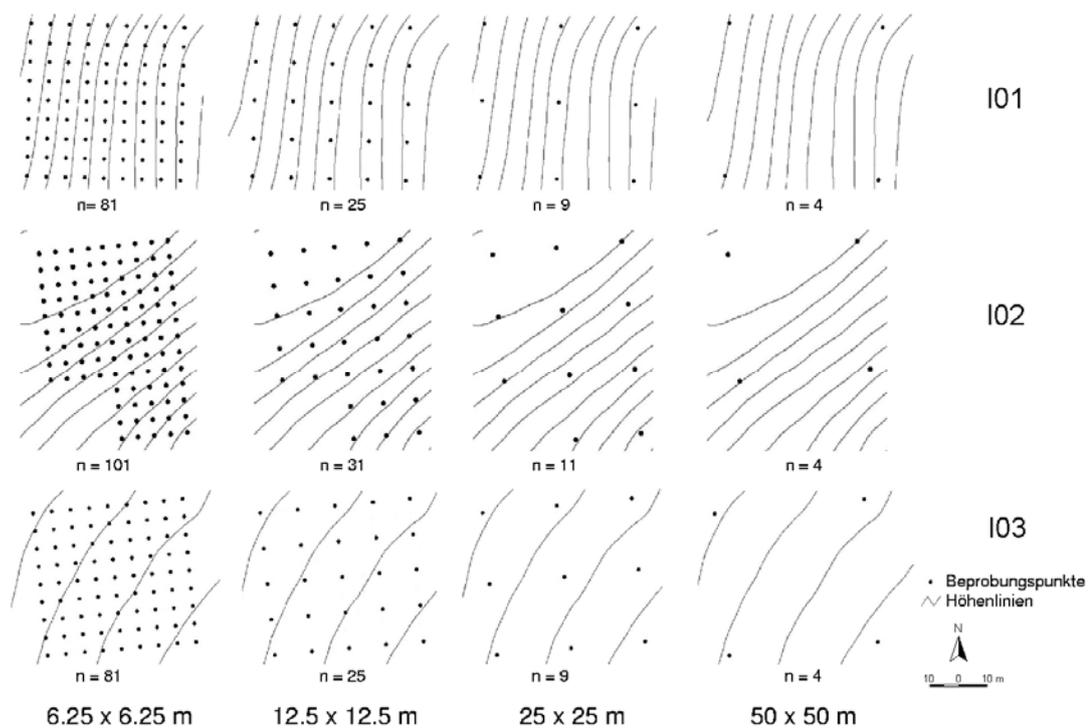


Abb. 27: Rasterbeprobungsdichte mit den jeweils größeren verwendeten Beprobungsabständen für die drei Intensivflächen.

In der vorliegenden Studie wurde ebenfalls nach der optimalen, d.h. minimal zulässigen Stichprobengröße bei zuvor vom Versuchsansteller festgelegten und akzeptablen Genauigkeit gesucht (siehe Kap. 2.3.1.7.2). Vor dieser Analyse wurde die Normalverteilung der Variablen überprüft.

3.8.4.1 Standortparameter

- pH-Wert

Für den pH-Wert auf den Flächen I01, I02 und I03 zeigen Tab. A 51, Tab. A 52 bzw. Tab. A 53 einen Vergleich der direkt gemessenen und interpolierten Messpunkte bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten. Im Vergleich zu den punktuell erhobenen Datensätzen war die statistische Variabilität der interpolierten Datensätze niedriger.

Die Mittelwerte der punktuell erhobenen Datensätze der verschiedenen Rasterweiten weichen nicht wesentlich voneinander ab. Bei den Standardabweichungen war festzustellen, dass mit zunehmender Rasterweite innerhalb der drei Intensivflächen die Variabilität der Datensätze ebenfalls zunimmt. Das Gleiche gilt auch für die Variationskoeffizienten, wobei sich diese nicht so deutlich differenzieren wie im Falle der Standardabweichung. Die größte Variabilität der Daten wurde bei der Intensivfläche I02 festgestellt.

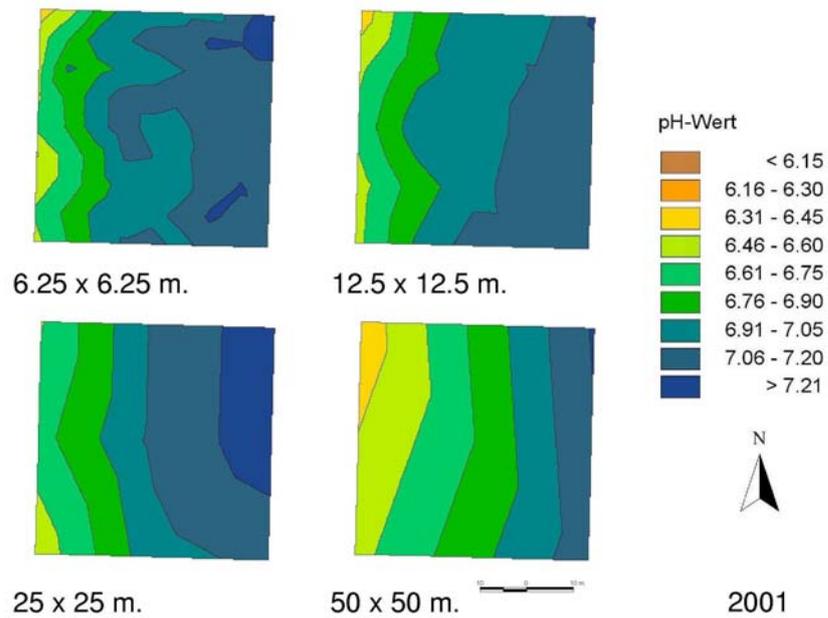


Abb. 28: pH-Wert der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten: 6,25x6,25 m, 12,5x12,5 m, 25x25 m, 50x50 m.

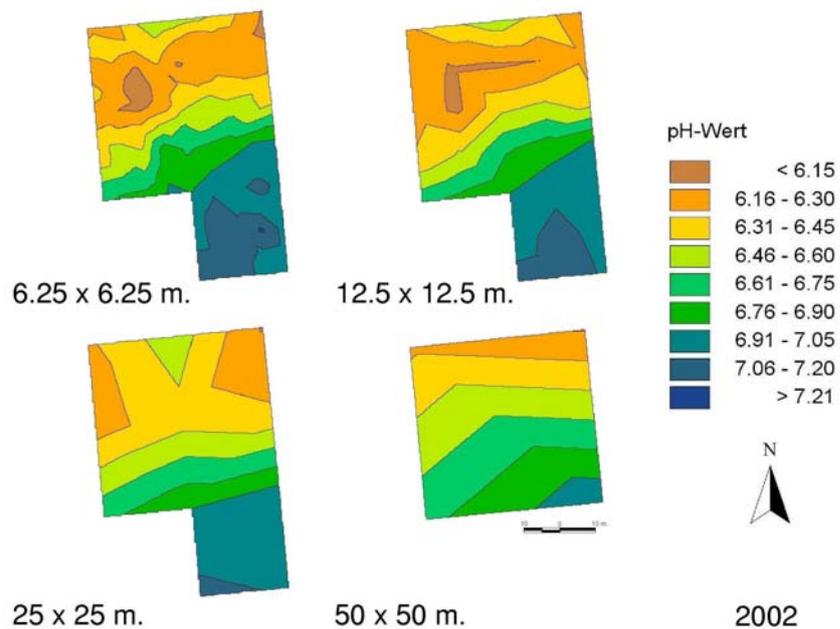


Abb. 29: pH-Wert der Intensivuntersuchungsfläche I02 dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

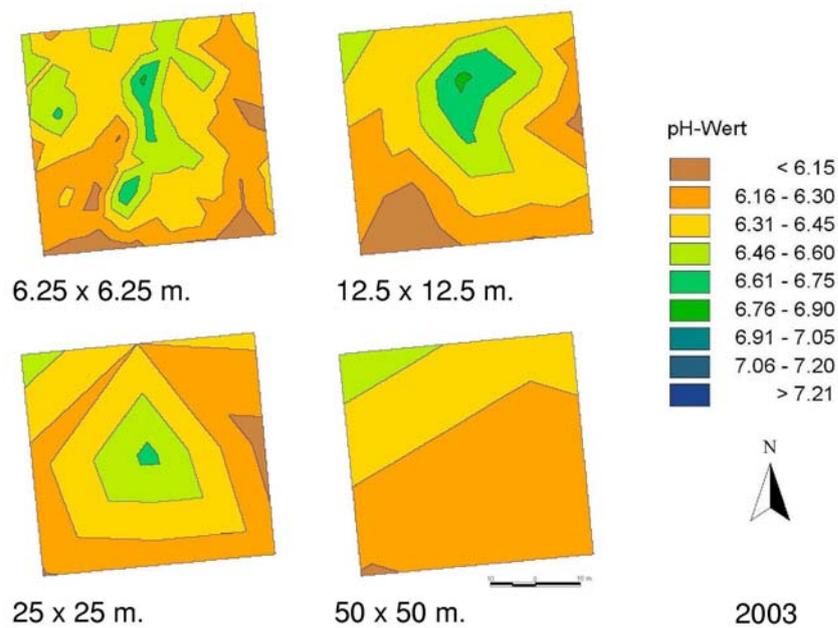


Abb. 30: pH-Wert der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

Die Variabilität der statistischen Werte der interpolierten Datensätze nahm dagegen mit zunehmender Rasterweite nur auf I01 zu. Weiterhin zeigten RMSE und G eine rapide Abnahme der Genauigkeit bei Zunahme der Rasterweite. Die durch die G-Werte ausgedrückte Genauigkeit bei der Interpolation der dichteren Beprobungspunkte (12,5x12,5 m: 87,8 auf der Fläche I01; 97,1 auf I02; 26,7 auf I03) war deutlich größer als die bei weiteren Abständen der Rasterbeprobung (25x25 m: 77,9 auf der Fläche I01; 90,3 auf I02; 10,6 auf I03; 50x50 m: -2,6 auf I01; 65 auf I02; -4,7 auf I03).

Bei der Darstellung der interpolierten Messpunkte der drei Teilflächen (Abb. 28, Abb. 29, Abb. 30) wurde die Abnahme der pH-Werte beim Übergang von der Kuppe zur Senke deutlich (siehe Abb. 28 und Abb. 29). Bei den Karten mit 12,5 m- sowie 25 m-Rasterweite auf der Fläche I01 und I02 wurde die zuvor auch beim G-Wert festgestellte Übereinstimmung mit der 6,25 m-Rasterweitenkarte visualisiert. Auf der Fläche I03 dagegen zeigte die Karte keine deutliche visuelle Übereinstimmung mit der Realitätskarte (6,25x6,25 m Raster).

- P-Gehalt

Die direkt gemessenen und interpolierten P-Gehalte auf den Flächen I01, I02 und I03 bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten zeigen Tab. A 54, Tab. A 55 bzw. Tab. A 56. Bei den Standardabweichungen und Variationskoeffizienten war festzustellen, dass jeweils innerhalb der drei Intensivflächen mit zunehmender Rasterweite die Variabilität des punktuell erhobenen Datensatzes kleiner wurde, außer bei der 12,5 m-Rasterbeprobung auf den Flächen I01 und I02. Auf der Fläche I03 waren die Tendenzen dieser statistischen Werte weitgehend umgekehrt.

Die statistischen Ergebnisse der interpolierten Messpunkte spiegeln, trotz niedriger

Werte, ebenfalls die Ergebnisse der punktuellen Datensätze wider. Die größte Variabilität der Versuchsdaten wurde auf der Fläche I02 festgestellt. Sie zeigte hier jedoch auch höhere Genauigkeiten bei RMSE und G (Rasterpunktdichten 12,5x12,5 m und 25x25 m) als auf den Flächen I01 und I03. Bei der Rasterweite 50x50 m hingegen wurden schlechte RMSE- und G-Werte nachgewiesen. Auf I02 sowie I03 waren die G-Werte sogar stark negativ.

Bei Betrachtung der Karte der interpolierten Messpunkte der P-Gehalte mit unterschiedlichen Rasterweiten für die drei Untersuchungsflächen (Abb. 31, Abb. 32 und Abb. 33) kann man für diesen Parameter bereits bei 12,5x12,5 m keine präzise Wiedergabe des Realitätsmusters mehr feststellen. Es werden somit die Ergebnisse aus den RMSE- und G-Werten bestätigt. Eine Ausnahme ist die Fläche I02. Hier gab es sogar eine relative Genauigkeit bis 25x25 m Rasterweite bei gleichzeitiger Zunahme des Parameters beim Übergang von der Kuppe zur Senke (Auenbereich).

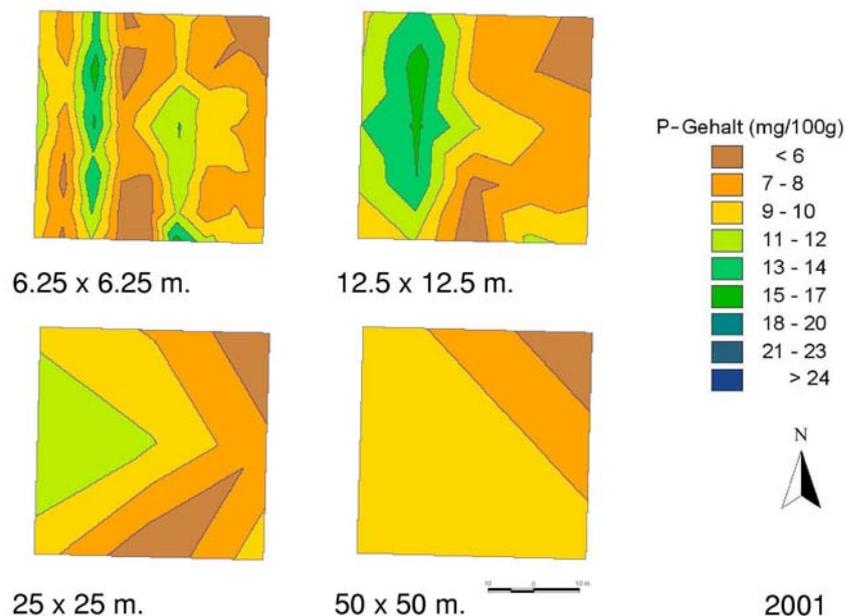


Abb. 31: P-Gehalt (als P_2O_5 in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

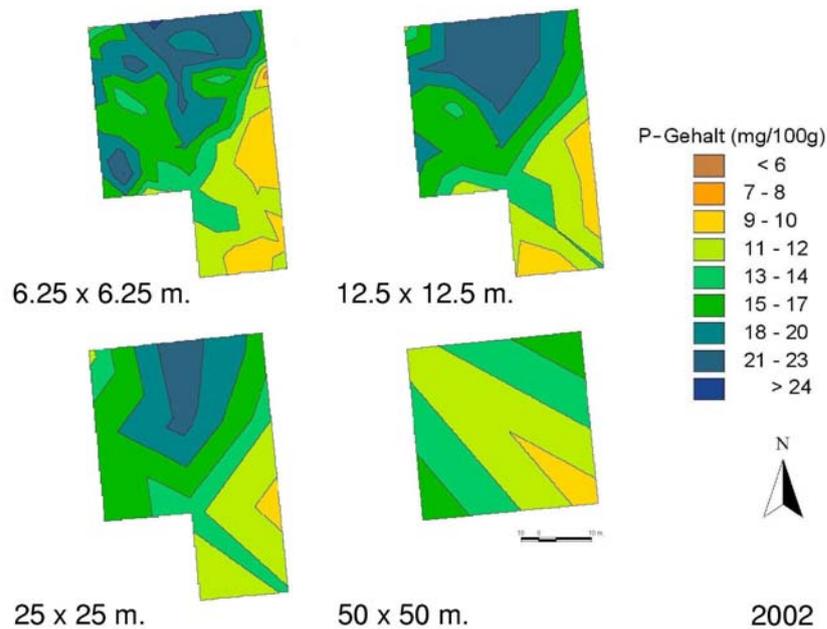


Abb. 32: P-Gehalt (als P_2O_5 in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

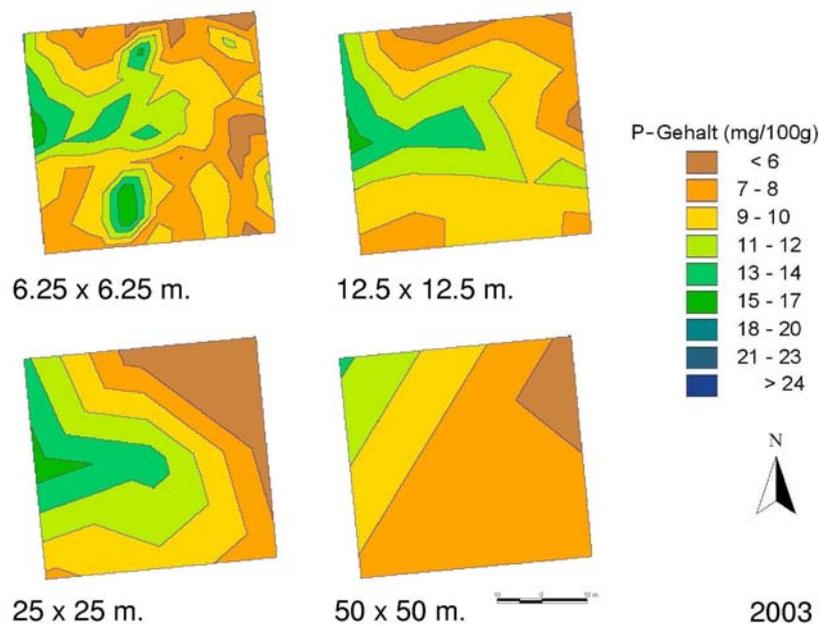


Abb. 33: P-Gehalt (als P_2O_5 in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

Für diesen Parameter war es auf I01 möglich, die optimale Stichprobengröße zu berechnen, da die Normalverteilungsvoraussetzung erfüllt war. Um einen Mittelwert mit einer Fehlertoleranz von $\pm 5\%$ bezogen auf den gesamten Stichprobenmittelwert zu

bekommen, betrug der notwendige Stichprobenumfang 43. Dieses Ergebnis wurde auch durch die G-Werte bestätigt, die schon bei der 12,5 m-Rasterbeprobungsdichte ($n = 25$ Interpolationspunkte) negativ waren. Daraus lässt sich ableiten, dass die für die Interpolation verwendete Anzahl an Beprobungspunkten (d.h. $n = 25$, 12 und 4) zu gering war, um gute Interpolationsergebnisse zu erzielen. Auf der Fläche I02 betrug die optimale Stichprobengröße 23. Hier wurde auch die Normalverteilung der Messwerte dieses Parameters nachgewiesen. Eine gewisse Übereinstimmung dieses Ergebnisses mit den G-Werten lag vor, da sie bis zu 11 interpolierten Stichprobenpunkten noch relativ hoch positiv war. Auf der Fläche I03 lag die optimale Stichprobengröße, wie auch bereits auf I01, bei 43. Sie wurde nach der Feststellung einer Normalverteilung der Messwerte berechnet. In diesem Fall war ebenfalls eine Übereinstimmung zwischen diesem Ergebnis und den entsprechenden G-Werten festzustellen. Bei den interpolierten Werten von 25 Beprobungspunkten waren die G-Werte nur leicht positiv, bei weniger Beprobungspunkten hingegen zuerst leicht, dann stark negativ.

- K-Gehalt

Tab. A 57, Tab. A 58 bzw. Tab. A 59 zeigen die direkt gemessenen und interpolierten K-Gehalte (auf I01, I02 und I03) bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten. Bei den Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der punktuell erhobenen Datensätze war festzustellen, dass mit zunehmender Rasterweite die Variabilität des Datensatzes bis zum 25 m-Raster zunahm. Beim 50x50 m Raster waren diese Werte jedoch in fast allen Jahren sogar niedriger als beim 6,25x6,25 m Raster. Die größte Variabilität der Daten wurde bei der Intensivfläche auf der Fläche I03 festgestellt.

Im Vergleich zu den punktuell erhobenen Datensätzen war die Variabilität der statistischen Werte der interpolierten Datensätze niedriger und kein Trend bei den Ergebnissen der verschiedenen Rasterweiten zu erkennen. RMSE und G zeigten eine rapide Abnahme der Genauigkeit bei Zunahme der Rasterweite. Dieser Trend wurde auf der Fläche I01 beim 50x50 m Raster unterbrochen. Hier gab es unerwartet eine Verbesserung dieser Werte. Insgesamt war die Genauigkeit der mit verschiedenen Rasterweiten interpolierten Datensätze für diesen Parameter in allen Untersuchungsjahren sehr niedrig.

Die Karte (Abb. 34, Abb. 35 bzw. Abb. 36) aus den interpolierten Messpunkten der K-Gehalte bei verschiedenen Rasterweiten für die drei Untersuchungsflächen zeigt, dass ihr Interpolationsmuster für diesen Parameter schon bei 12,5x12,5 m Beprobungsdichte wenig Ähnlichkeit mit dem Interpolationsmuster der Realität (6,25x6,25 m Raster) hatte.

Dieser Parameter erfüllte auf der Fläche I01 die Normalverteilungsvoraussetzung. Die Berechnung der optimalen Stichprobengröße war somit möglich. Sie lag bei 27. Dieses Ergebnis spiegelte sich gewissermaßen bereits in dem berechneten und nur sehr leicht positiven G-Wert aus einer entsprechend ähnlichen Menge an Interpolationspunkten (d.h. 12,5 m-Rasterbeprobungsdichte – $n = 25$) wider. Ab dieser n -Menge wiesen die restlichen G-Werte bei interpolierten Werten von 9 und 4 Beprobungspunkten kein bedeutsames Ergebnis auf, trotz leicht positivem Wert bei $n = 4$. Auf der Fläche I02 wurde für den K-Gehalt ebenfalls eine Normalverteilung nachgewiesen, die eine

Berechnung der optimalen Stichprobengröße erlaubte. Die Menge an Beprobungspunkten betrug, ähnlich wie auf I01, 24. Die G-Werte bestätigten dieses Ergebnis, da sie weiterhin stark negativ waren und nur der Wert bei ähnlicher Anzahl an interpolierten Werten der Beprobungspunkte (d.h. 12,5 m- Rasterbeprobungsdichte – $n = 31$) durchschnittlich positiv war. Auf der Fläche I03 war die Normalverteilung der Messwerte dieses Parameters nicht gesichert. Es wurde daher keine optimale Stichprobengröße berechnet.

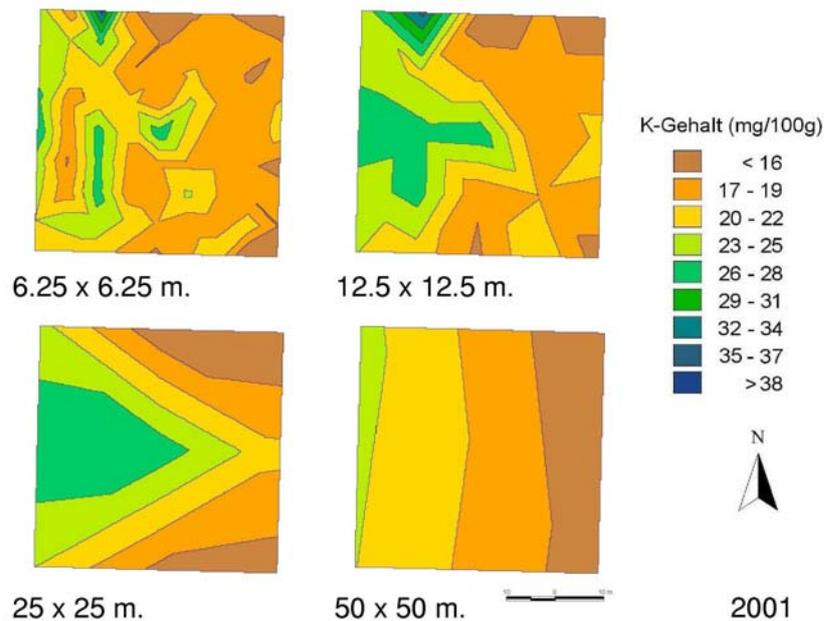


Abb. 34: K-Gehalt (als K_2O in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

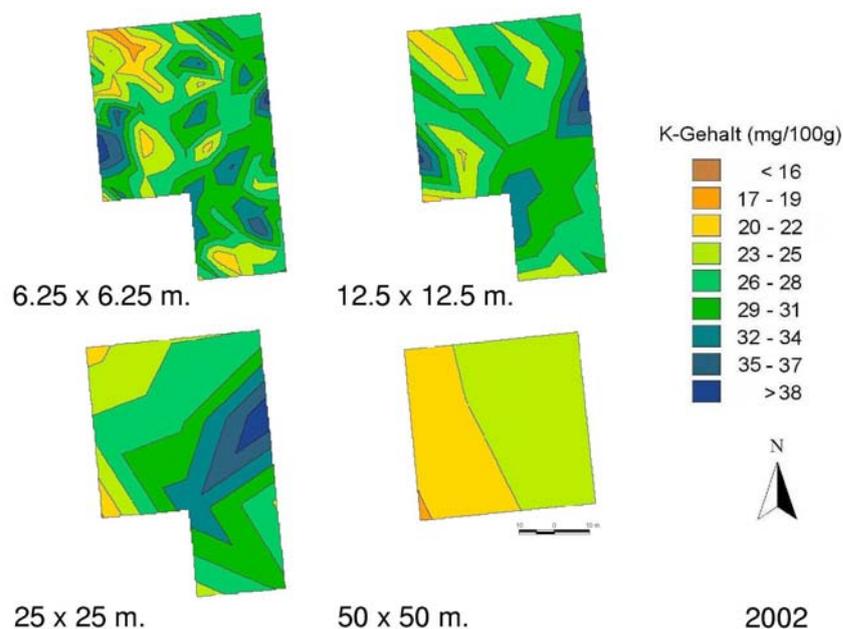


Abb. 35: K-Gehalt (als K_2O in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

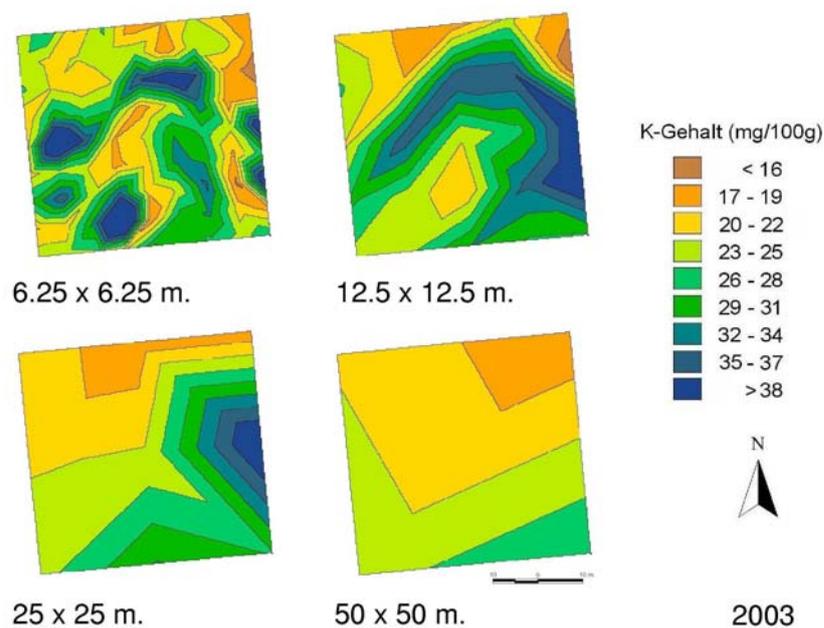


Abb. 36: K-Gehalt (als K_2O in mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

- Mg-Gehalt

Die Zusammenstellung der Mg-Gehalte von den Flächen I01, I02 und I03 bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten für die direkt gemessenen und interpolierten Messpunkte zeigen Tab. A 60, Tab. A 61 bzw. Tab. A 62.

Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der punktuell erhobenen Datensätze der drei Untersuchungen nahmen mit Vergrößerung der Abstände zwischen den Beprobungsdichten ebenfalls zu. Sie folgten dennoch bei der 12,5x12,5 m Rasterweite (I01) sowie der 50x50 m Rasterweite (I02) nicht dem Trend.

Genau umgekehrt war der Trend von Standardabweichungen und Variationskoeffizienten bei den Mg-Gehalten aus den interpolierten Datensätzen. Je größer die Variabilitätskennwerte, desto kleiner waren die Abstände zwischen den Beprobungsdichten. Die größte Variabilität der Daten wurde hier bei der Intensivuntersuchung auf der Fläche I03 festgestellt. Die berechneten RMSE- und G-Kennwerte zeigten in allen Untersuchungsflächen bei der 50x50 m Raster-Beprobungsdichte eine rapide Abnahme der Genauigkeit, während sie bei 25 m- und besonders 12,5 m-Rasterweite ziemlich hoch war.

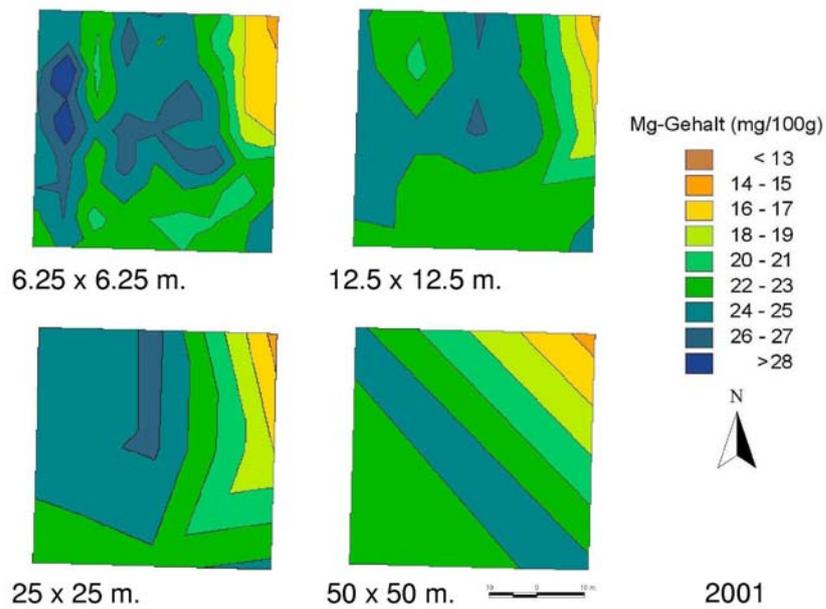


Abb. 37: Mg-Gehalt (mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

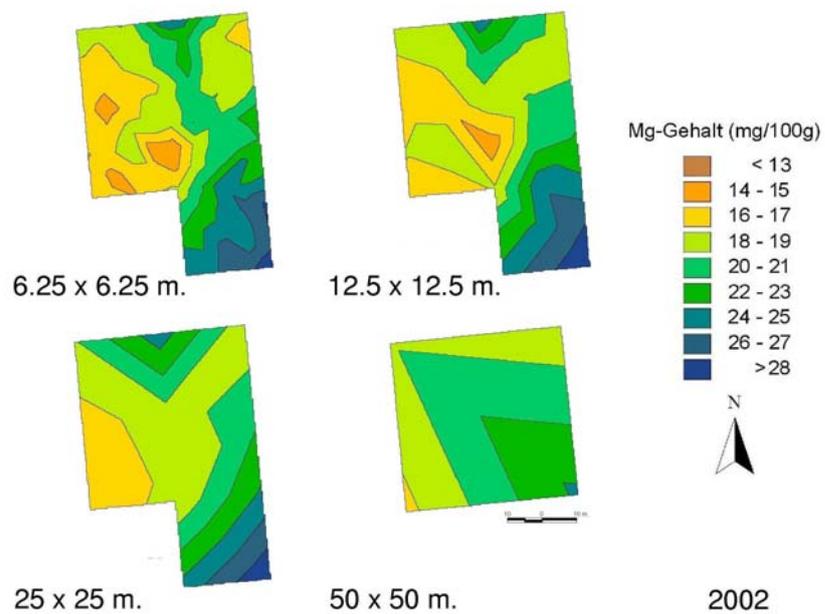


Abb. 38: Mg-Gehalt (mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

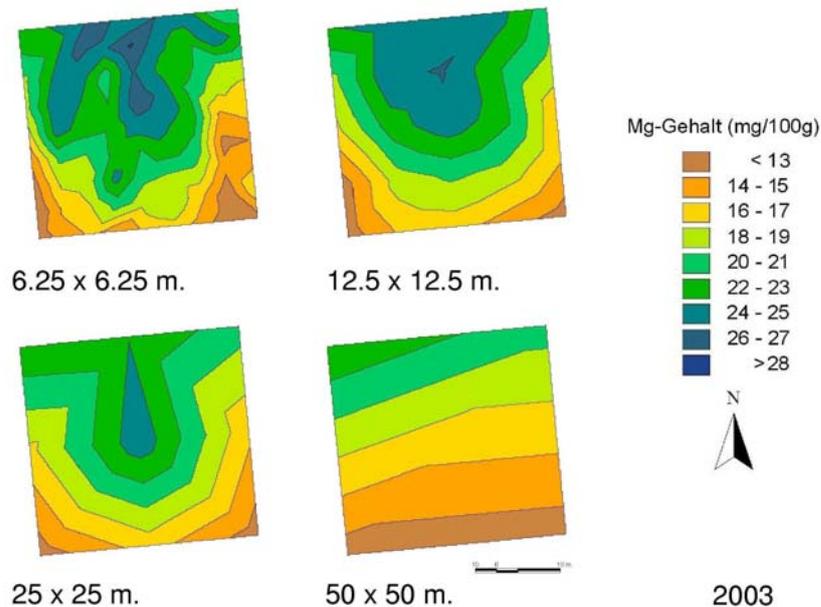


Abb. 39: Mg-Gehalt (mg/100g) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

Abb. 37, Abb. 38 und Abb. 39 stellen die Interpolationen mit unterschiedlichen Punktdichten für den Mg-Gehalt der drei Untersuchungen dar. Hier wurden die vorab beschriebenen RMSE- und G-Ergebnisse aber nur bis 12,5 m-Rasterweite visuell bestätigt. Die Interpolationsmuster der Karten zeigen in allen Untersuchungsflächen bis zum 25 m-Raster ziemlich große Ähnlichkeiten.

Bei diesem Parameter wurde auf I01 die Normalverteilung nachgewiesen und somit die optimale Stichprobengröße berechnet. Sie betrug 15 Beprobungspunkte. Dieses Ergebnis wurde auch durch die G-Werte bestätigt. Sie waren bis 9 zu interpolierenden Beprobungspunkten (d.h. 25 m-Rasterbeprobungsdichte) relativ hoch positiv. Die optimale Stichprobengröße konnte ebenfalls für I02 berechnet werden. Sie lag bei 25 Beprobungspunkten. Dieses Ergebnis stimmte mit den G-Werten relativ gut überein, obwohl der G-Wert bei 11 zu interpolierenden Werten noch sehr hoch war. Für I03 wurde die Normalverteilung der Mg-Gehalte ebenfalls nachgewiesen. Es erfolgte daher auch die Berechnung der optimalen Stichprobengröße. Sie lag bei 30. Die Übereinstimmung zwischen diesem Ergebnis und den G-Werten war nicht so deutlich, da der G-Wert bei 9 zu interpolierenden Werten noch sehr hoch war.

N_t-Gehalt

Die direkt gemessenen und interpolierten N_t-Gehalte auf den drei Intensivflächen bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten zeigen Tab. A 63, Tab. A 64 bzw. Tab. A 65. Auf der Fläche I01 nahm die Variabilität der Messwerte mit Vergrößerung der Abstände zwischen den Beprobungspunkten zu. Auf den Flächen I02 und I03 war diese Tendenz hingegen nicht so deutlich.

Für die Variabilitätskennwerte der interpolierten Messwerte galt stets, dass mit zunehmendem Abstand der Beprobungspunkte die Streuung der Messwerte kleiner wurde (außer bei I01 – mit einer Konstanz in allen Rasterweiten). Die RMSE-Kennwerte

blieben während der drei Untersuchungen und zwischen den verschiedenen Rasterweiten relativ konstant. Anders war es hingegen bei den G-Kennwerten, die auf der Fläche I01 und I02 weitgehend hoch positiv bei allen Rasterweiten und auf I01 beim 50 m-Raster sogar größer als beim 25 m-Raster waren. Dagegen wurden auf der Fläche I03 nur negative G-Kennwerte bei allen Rasterweiten nachgewiesen.

Bei Darstellung der interpolierten N_T -Gehalte in den verschiedenen Rasterweiten (Abb. 40, Abb. 41 und Abb. 42) wurden optisch starke Ähnlichkeiten zwischen den Interpolationsmustern der Realitätskarten und der interpolierten Karten bis zu 12,5 m Rasterweite der Fläche I01 sowie I02 festgestellt. Auch hier wurde ein Gradient des Parameters beobachtet, der von der Kuppe zur Senke verlief. Auf der Fläche I03 gab das Interpolationsmuster die Realitätskarte nicht wieder.

Für diesen Parameter war es auf der Fläche I01 möglich, die optimale Stichprobengröße zu berechnen, da die Normalverteilungsvoraussetzung erfüllt war. Das Ergebnis lag bei 10 Stichprobenpunkten und wurde durch die Ergebnisse der G-Werte bestätigt. Diese G-Werte waren alle relativ hoch positiv, inklusive des aus 4 Beprobungspunkten (d.h. 50 m-Rasterbeprobungsdichte) gewonnenen Wertes bei jedoch fraglicher Ergebnisqualität. Die Normalverteilung der Messwerte des N_T -Gehaltes konnte nochmals auf der Fläche I03 gefunden werden. Dies erlaubte wiederum die Berechnung der optimalen Stichprobengröße, die bei 4 Stichprobenpunkten lag. Jedoch gab es hier keine Übereinstimmung dieses Ergebnisses mit den G-Werten, da letztere bei allen untersuchten Beprobungsdichten deutlich negativ waren.

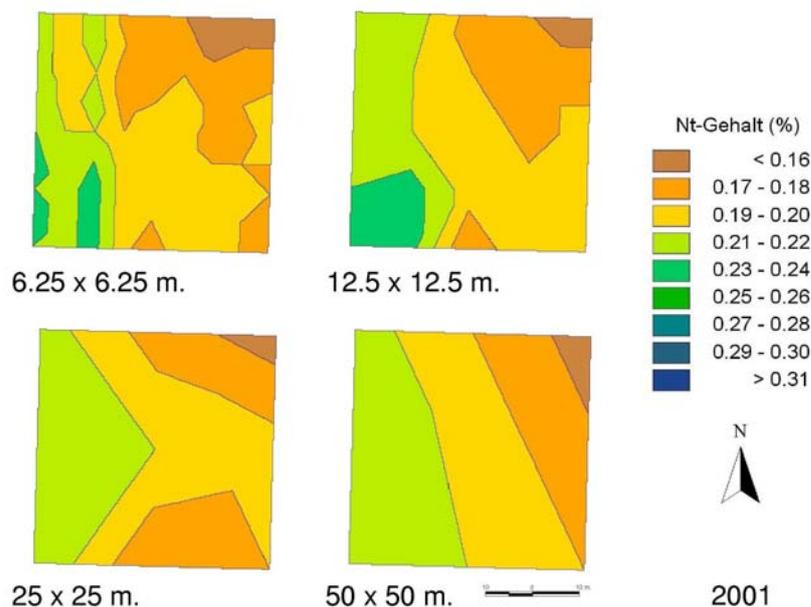


Abb. 40: N_T -Gehalt (%) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

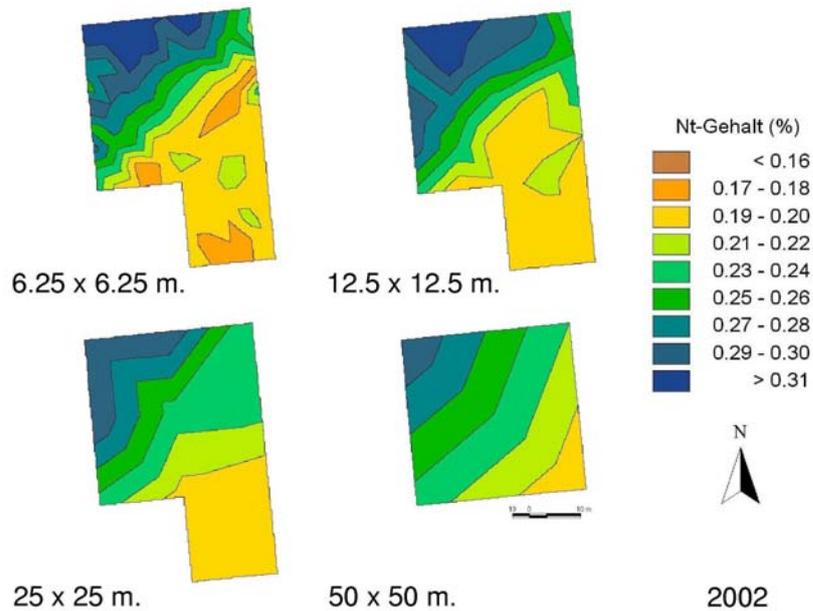


Abb. 41: N_t -Gehalt (%) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten

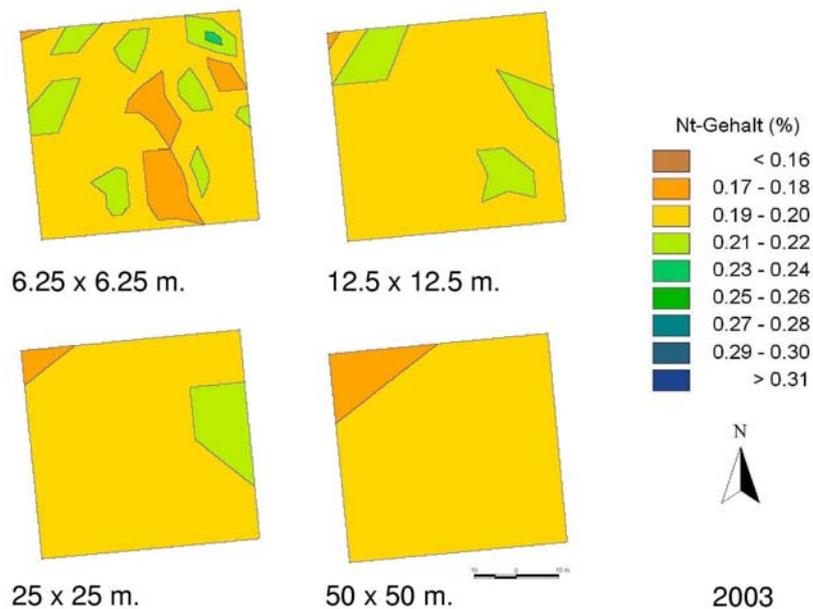


Abb. 42: N_t -Gehalt (%) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

3.8.4.2 Vegetation

- *Lolium perenne*

Den Vergleich der Ertragsanteile an *Lolium perenne* der Flächen I01, I02 sowie I03 bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten für die direkt gemessenen und interpolierten Messpunkte zeigen Tab. A 66, Tab. A 67 bzw. Tab. A 68.

Bei den Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der punktuell erhobenen Datensätze war festzustellen, dass mit zunehmender Rasterweite auch die Variabilität des Datensatzes weitgehend größer wurde, außer bei den Variationskoeffizienten auf der Fläche I03 (hier entgegengesetzter Trend). Entgegengesetzt verhielten sich ebenso die Variabilitätskennwerte auf der Fläche I02. Dabei nahmen sie mit zunehmender Rasterweite ab.

Ebenfalls nahm die Variabilität der statistischen Werte der interpolierten Datensätze mit zunehmender Rasterweite auf allen Untersuchungsflächen ab. Die RMSE- und G-Werte wiesen für alle drei Jahre generell niedrige Genauigkeiten auf. Lediglich auf der Fläche I02 gab es bei der 12,5 m- und 25 m-Rasterweite hohe G-Werte, bei relativ hohen RMSE-Werten, die im Widerspruch zu den Ergebnissen dieser Werte auf den Flächen I01 und I03 stehen.

Abb. 43, Abb. 44 und Abb. 45 zeigen die interpolierten Ertragsanteile von *Lolium perenne* der Flächen I01, I02 sowie I03 bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten. Die kartographischen Darstellungen bei 12,5 m- 25 m- und 50 m-Rasterweite zeigen keine gute anschauliche Übereinstimmung mit der 6,25 m-Rasterweite, außer bei der 12,5 m-Rasterweite auf der Fläche I02.

Da bei den Ertragsanteilen von *Lolium perenne* auf I01 die Normalverteilung nachgewiesen war, wurde auch hier die optimale Stichprobengröße berechnet. Sie ergab 37 Stichprobenpunkte. Dieses Ergebnis stimmte mit dem Ergebnis der G-Werte überein. Die Werte waren bei fast allen Beprobungsdichten stark negativ. Lediglich bei der 12,5 m-Rasterbeprobungsdichte (d.h. 25 zu interpolierenden Beprobungspunkten) waren sie leicht positiv. Die Normalverteilungsvoraussetzung der Ertragsanteile dieser Pflanzenart konnte ebenfalls auf der Fläche I03 nachgewiesen werden. Die infolgedessen berechnete optimale Stichprobengröße betrug 72 Beprobungspunkte. Wie auf der Fläche I01 gab es eine Übereinstimmung zwischen diesem Ergebnis und den G-Werten. Letztere waren bei fast allen Beprobungsdichten stark negativ und lediglich bei der 12,5 m-Rasterbeprobungsdichte (d.h. 25 zu interpolierenden Beprobungspunkten) leicht positiv.

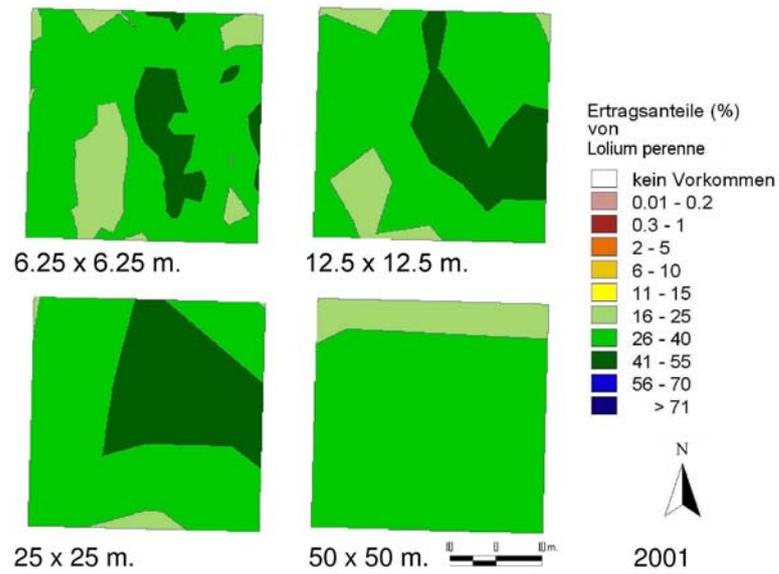


Abb. 43: Ertragsanteile von *Lolium perenne* (%) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

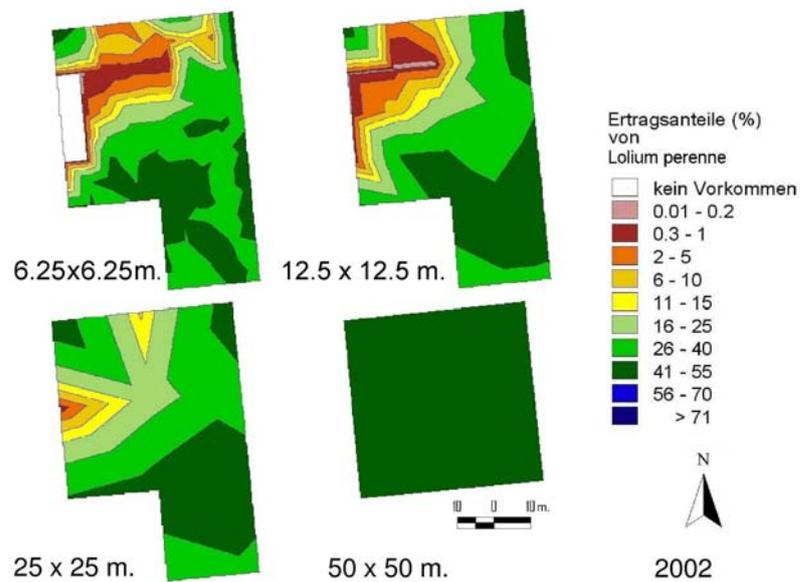


Abb. 44: Ertragsanteile von *Lolium perenne* (%) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

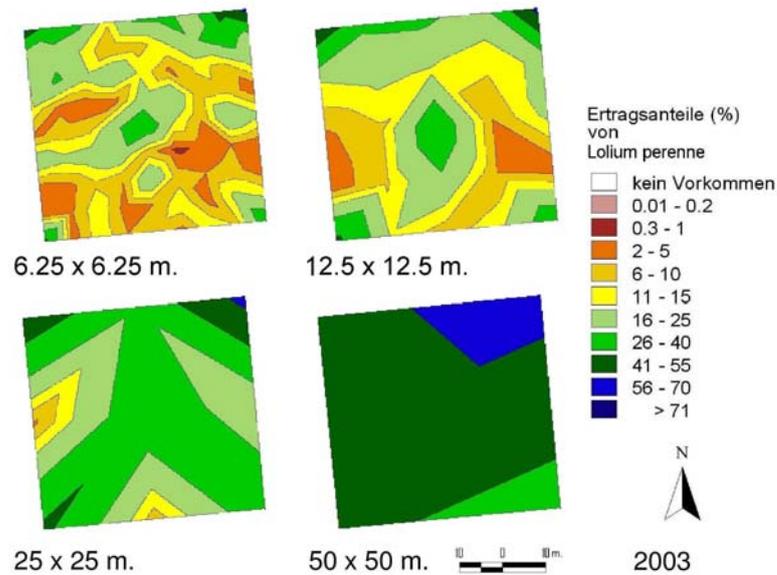


Abb. 45: Ertragsanteile von *Lolium perenne* (%) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

- *Dactylis glomerata*

Tab. A 69, Tab. A 70 bzw. Tab. A 71 zeigen die direkt gemessenen und interpolierten Ertragsanteile an *Dactylis glomerata* der Flächen I01, I02 und I03 bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten.

Bei der Betrachtung der punktuell erhobenen Datensätze war bei der Erweiterung der Beprobungsdichte für Standardabweichung oder Variationskoeffizient (außer auf I03) kein Trend zu beobachten.

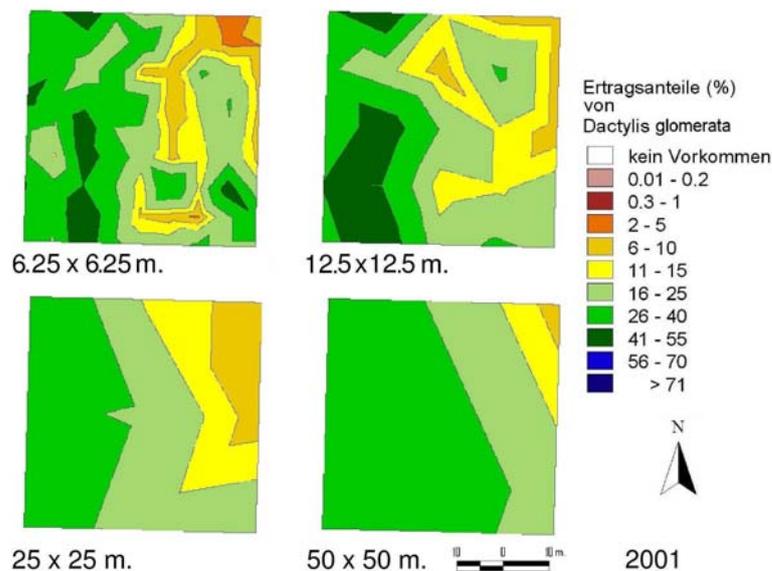


Abb. 46: Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* (%) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

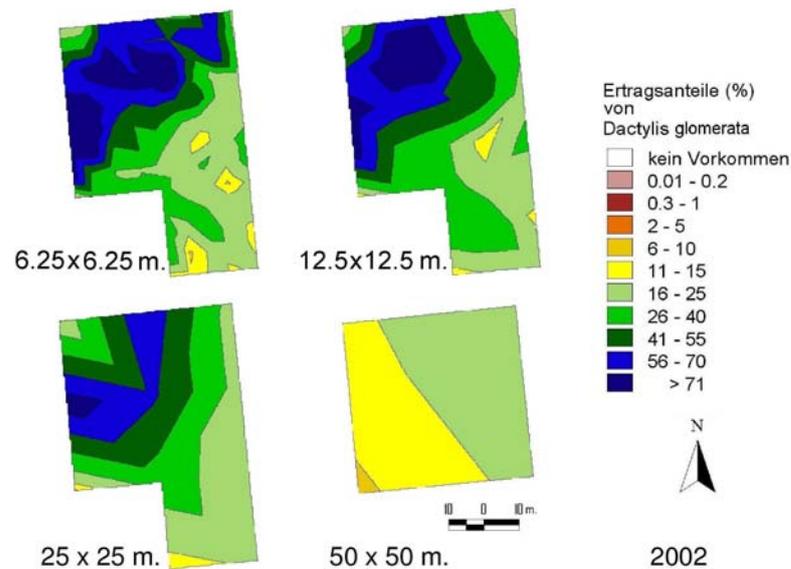


Abb. 47: Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* (%) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

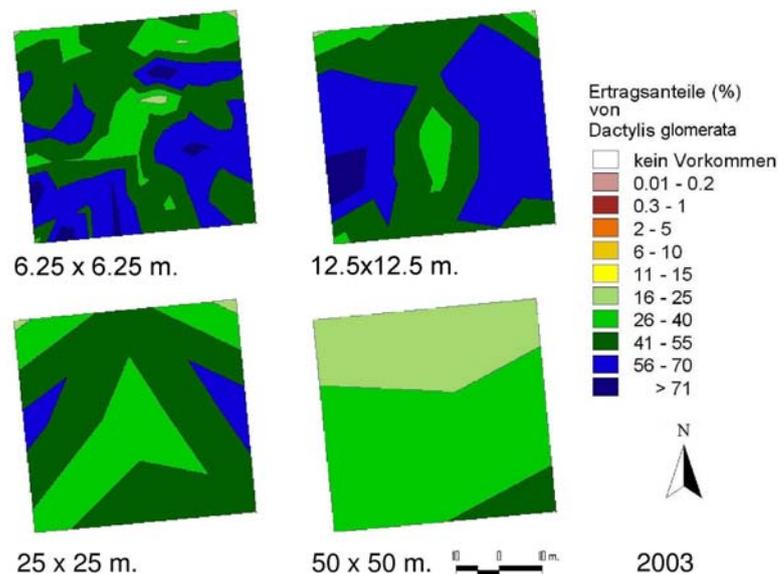


Abb. 48: Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* (%) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

Im Gegensatz dazu zeigte die Variabilität der statistischen Werte der interpolierten Datensätze einen weitgehenden Trend. Auf allen drei Untersuchungsflächen nahm die Variabilität des Datensatzes mit zunehmender Rasterweite weitgehend ab. Entgegengesetzt verhielten sich RMSE und G, die bei größeren Abständen zwischen

den Messpunkten jeweils abnehmende Genauigkeit zeigten. Nur auf der Fläche I02 gab es bei der 12,5 m- und 25 m-Rasterweite ziemlich hohe G-Werte, bei gleichfalls relativ hohen RMSE-Werten.

Die mit verschiedenen Punktdichten interpolierten Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* wurden für die drei Untersuchungsflächen in Abb. 46, Abb. 47 bzw. Abb. 48 dargestellt. Die kartographischen Darstellungen für 12,5 m-, 25 m- und 50 m-Rasterweite zeigten auf allen Flächen keine optisch gute Übereinstimmung mit der 6,25 m-Rasterweitenkarte, außer bei der 12,5 m-Rasterweite auf der Fläche I02.

Die Normalverteilung der Ertragsanteile dieser Pflanzenart war auf der Fläche I01 gesichert. Infolgedessen wurde die optimale Stichprobengröße berechnet, die bei 65 Beprobungspunkten lag. Die Übereinstimmung dieses Ergebnisses mit den G-Werten aus den verschiedenen Rasterweitebeprobungen war in diesem Fall nicht so deutlich, da die G-Werte bei 4 Beprobungspunkten zwar positiv, jedoch ziemlich niedrig waren. Auf der Fläche I03 war ebenfalls die Normalverteilung der Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* gesichert. Es wurde daher auch hier die optimale Stichprobengröße berechnet. Ihre Beprobungspunktmenge betrug 43. Dieses Ergebnis wurde durch die G-Werte bestätigt, da sie bei allen untersuchten Beprobungsdichten (d.h. 25, 9, 4 zu interpolierenden Beprobungspunkten) negativ waren.

- *Trifolium repens*

Die direkt gemessenen und interpolierten Ertragsanteile an *Trifolium repens* (auf I01, I02 und I03) bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten zeigen Tab. A 72, Tab. A 73 bzw. Tab. A 74.

Bei den statistischen Werten der punktuell erhobenen Datensätzen zeigte sich bei zunehmender Rasterweite auch ein weitgehend zunehmender Trend der Standardabweichungen, mit Ausnahme der Fläche I01, hier hatten die Variationskoeffizienten einen weitgehend entgegengesetzten Trend.

Standardabweichung und Variationskoeffizient der interpolierten Messpunkte zeigten auf I02 bei zunehmender Rasterweite einen abnehmenden Trend. In den anderen Untersuchungsflächen war die Trendrichtung nicht deutlich erkennbar. Mit größer werdenden Abständen zwischen den Messpunkten zeigten auch RMSE- und G-Werte abnehmende Genauigkeit, mit Ausnahme der Werte des 50 m-Rasters (I01 und I03), die sich verbesserten. Außerdem war zu beobachten, dass es nur auf der Fläche I02 bei der 12,5 m- und 25 m-Rasterweite relativ hohe G-Werte gab.

In Abb. 49, Abb. 50 bzw. Abb. 51 wurden die mit verschiedenen Punktdichten interpolierten Ertragsanteile von *Trifolium repens* für die drei Untersuchungsflächen dargestellt. Die kartographischen Darstellungen aus I02 zeigten bei 12,5 m- und 25 m-Rasterweite die bessere Übereinstimmung mit der 6,25 m-Rasterweitenkarte. Der Interpolationsmuster für diese Pflanzenart zeigte, bei einer bildlichen Betrachtung, in allen Untersuchungsflächen schon bei 12,5x12,5 m Rasterweite weniger Ähnlichkeiten mit dem Interpolationsmuster der Realität (6,25x6,25 m Raster).

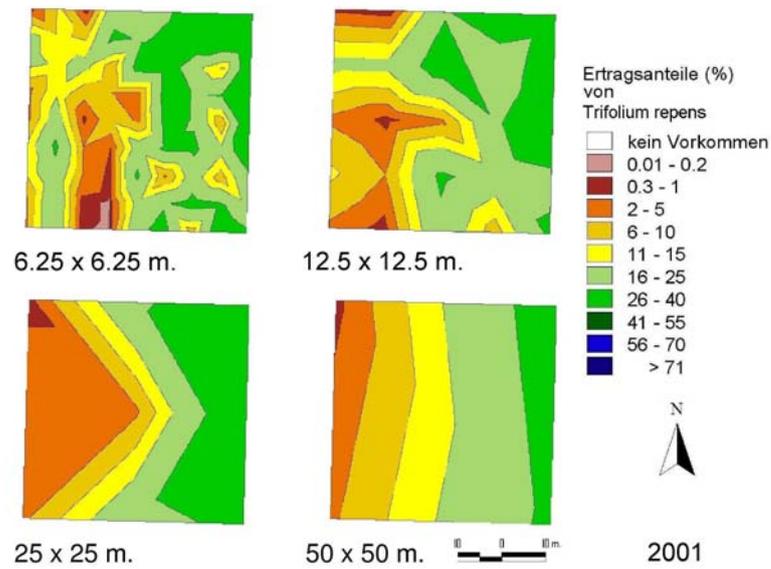


Abb. 49: Ertragsanteile von *Trifolium repens* (%) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

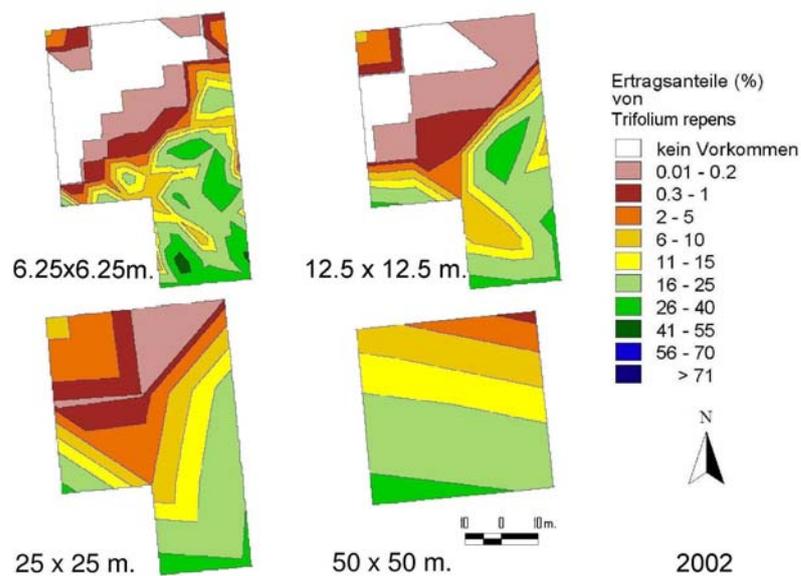


Abb. 50: Ertragsanteile von *Trifolium repens* (%) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

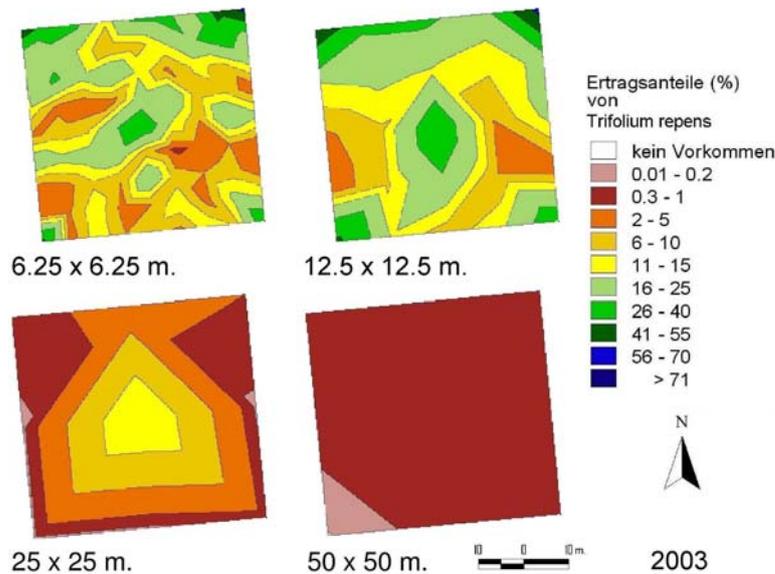


Abb. 51: Ertragsanteile von *Trifolium repens* (%) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

Die Normalverteilung der Ertragsanteile dieser Pflanzenart war auf der Fläche I01 gesichert. Daher wurde auch die optimale Stichprobengröße berechnet, die bei 68 Beprobungspunkten lag. Die niedrigen G-Werte aus den verschiedenen Rasterweitenbeprobungen bestätigen dieses Ergebnis und die Notwendigkeit einer intensiven Beprobung für *Trifolium repens*. Auf den Flächen I02 und I03 war die Normalverteilungsvoraussetzung der Werte dieser Pflanzenart nicht erfüllt. Es wurde daher keine optimale Stichprobengröße berechnet.

3.8.4.3 Trockenmasseertrag

Tab. A 75, Tab. A 76 bzw. Tab. A 77 zeigen die direkt gemessenen und interpolierten Trockenmasseerträge auf den Flächen I01, I02 und I03 bei unterschiedlichen Beprobungspunktdichten.

Bei Abnahme der Beprobungsdichte gab es auf den Intensivflächen (außer auf I03) eine Abnahme von Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der punktuell erhobenen Datensätze.

Die statistischen Werte der interpolierten Messpunkte zeigten weitgehend den gleichen Trend, diesmal auch auf der Fläche I03. Hier waren die Variabilitätswerte niedriger als im Vergleich zuvor. Ein entgegen gesetzter Trend wurde bei den RMSE- und G-Werten festgestellt, die bei jeweils größeren Abständen zwischen den Messpunkten eine rapide Abnahme der Genauigkeit zeigten. Die durch G ausgedrückte Genauigkeit erreichte mittlere Werte nur auf der Fläche I01 bei der 12,5 m-Rasterweite und auf I02 bei der 12,5 m- bzw. 25 m-Rasterweite.

Die mit verschiedenen Punktdichten interpolierten Trockenmasseerträge wurden für die drei Untersuchungsflächen in Abb. 52, Abb. 53 bzw. Abb. 54 dargestellt. Bei diesen kartographischen Darstellungen wurden, wie bei den zuvor festgestellten G-Werten,

kaum optische Übereinstimmungen mit der 6,25 m-Rasterweitenkarte gefunden.

Die Erträge der Trockenmasse galten auf I01 als normal verteilt, daher wurde für diesen Parameter auch die optimale Stichprobengröße berechnet. Sie lag bei 58 Beprobungspunkten. Dies stimmte jedoch mit den G-Werten nicht gut überein, da diese sowohl bei 25 als auch 9 Interpolationsbeprobungspunkten relativ hoch positiv waren. Auf I02 wurde für diesen Parameter ebenfalls eine Normalverteilung der Messwerte bewiesen, die die Berechnung der optimalen Stichprobengröße erlaubte. Die Menge an Beprobungspunkten betrug 20. Die G-Werte bestätigten dieses Ergebnis, da sie bei 31 bis sogar 11 Interpolationsbeprobungspunkten ziemlich hoch positiv waren. Auf der Fläche I03 war die Normalverteilung der Messwerte dieses Parameters ebenfalls gesichert. Daher wurde auch seine optimale Stichprobengröße berechnet, die bei 38 Beprobungspunkten lag. Es war auch hier eine Ähnlichkeit zwischen dem Ergebnis der optimalen Stichprobengröße und den G-Werten festzustellen. Dabei waren die G-Werte meist stark negativ, nur der Wert bei ähnlichen Mengen an Interpolationspunkten ($n=25$, bei 12,5 m-Rasterbeprobungsdichte) zeigte sich leicht positiv.

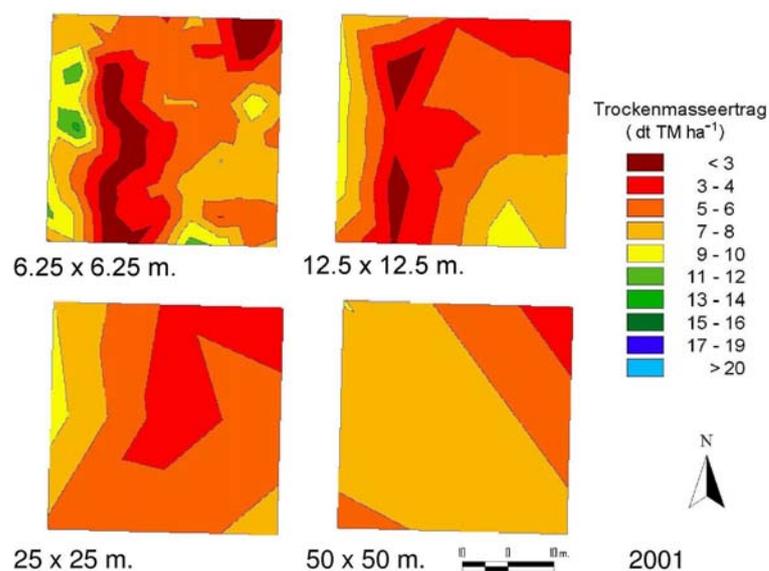


Abb. 52: Trockenmasseertrag (dt TM ha⁻¹) der Intensivuntersuchungsfläche I01, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

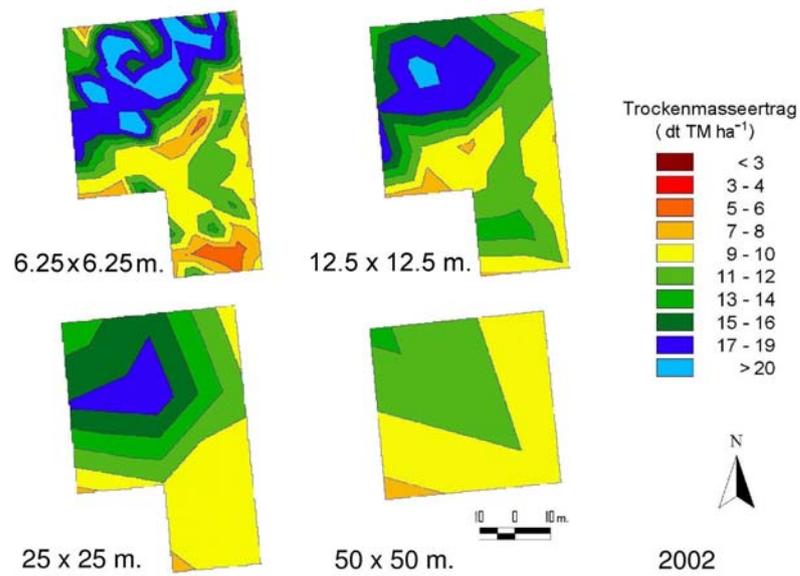


Abb. 53: Trockenmasseertrag (dt TM ha⁻¹) der Intensivuntersuchungsfläche I02, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

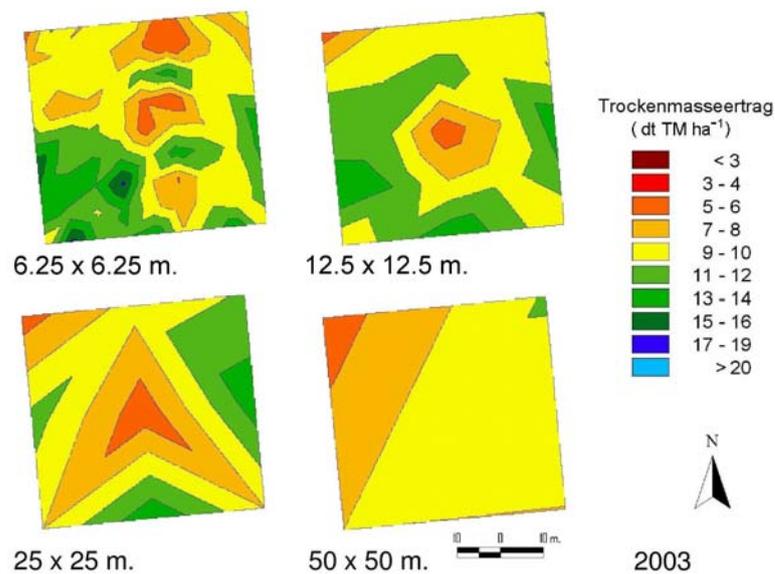


Abb. 54: Trockenmasseertrag (dt TM ha⁻¹) der Intensivuntersuchungsfläche I03, dargestellt als Interpolation (TIN) verschiedener Rasterweiten.

3.8.5 Variogrammanalyse

Zur Feststellung räumlicher Abhängigkeit der erhobenen abiotischen und biotischen Parameter der drei Intensivflächen wurde die Variogrammanalyse für die Parameter durchgeführt, die auch in die einfache Korrelationsanalyse einfließen. Sie ermöglichte aus den Versuchsdaten, Variogramme zur Interpretation raumbezogener Effekte zu gewinnen. Variogramme, die ähnliche räumliche Abhängigkeiten eines Parameters auf allen drei Teilflächen nachweisen und dadurch bestimmte raumbezogene Charakteristika zeigen, können möglicherweise auf dem gesamten Mühlberg übertragen werden.

Da die Variogrammanalyse gleichzeitig als räumliches Stichprobenverfahren anerkannt ist, wurde sie angewandt, um nachzuprüfen, ob eine realitätsnahe Wiedergabe der Verteilung eines Parameters auf der Fläche mit geringst möglicher Anzahl von Stichprobenpunkten erreichbar ist. Das durch die Variogrammanalyse ermittelte Ergebnis wurde mit anderen getesteten Stichprobeverfahren für die Parameter verglichen, die die Qualität der Interpolation berücksichtigten. Somit wird festgestellt, ob das Vorhandensein räumlicher Abhängigkeit in den Daten einen Beitrag zu besserer Interpolationsqualität liefert.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die durch Variogrammanalyse ermittelten Ergebnisse dargestellt. Je nach Untersuchungsziel wird eine klare Trennung im Diskussionsteil stattfinden. Hierbei wird entweder nur die Überprüfung der räumlichen Abhängigkeit berücksichtigt oder zusätzlich auch der Vergleich mit anderen Stichprobenverfahren, die im Rahmen dieser Untersuchung ebenfalls angewandt wurden, stattfinden.

Zur Anpassung der experimentellen Variogramme an eine Modellfunktion stehen verschiedene Modelle zur Verfügung. In dieser Untersuchung kamen das sphärische und das Gauß'sche Modell zum Einsatz. Andere Modelle konnten nicht verwendet werden, da sie sich nicht in ausreichendem Maße an die experimentellen Semivariogramme anpassen ließen.

Bei allen gefundenen unterschiedlich ausgerichteten Semivariogrammen wurde eine zonale Anisotropie festgestellt, da für verschiedene Richtungen sowohl unterschiedliche Schwellenwerte (Sills) als auch unterschiedliche Reichweiten (Ranges) vorlagen. Wenn für die verschiedenen Richtungen gleiche Schwellenwerte und unterschiedliche Reichweiten vorgelegen hätten, hätte es sich um eine geometrische Anisotropie gehandelt, d.h., es gäbe eine räumliche Ausbreitung der untersuchten Parameter entlang einer Vorzugsrichtung. Im Falle der vorliegenden Studie gab es dagegen eine unterschiedlich starke Variabilität in verschiedenen Richtungen ohne erkennbaren räumlichen Trend.

Die im nachfolgenden Abschnitt analysierten aber nicht erwähnten Parameter zeigten bei den experimentellen Semivariogrammen einen Trend, der nicht zu den gewöhnlichen Mustern passte und daher nicht auf eine räumliche Abhängigkeit hindeutete.

- Räumliche Abhängigkeiten für die Intensivflächen

Auf den untersuchten feingerasterten Flächen wiesen die Analysen von Mg-, C_{org} -Gehalt, elektrischer Leitfähigkeit, Lagerungsdichte und nutzbarer Feldkapazität des effektiven Wurzelraums eine räumliche Kontinuität auf. Diese Variablen wurden an zwei unterschiedliche Modelle angepasst. Für Mg-Gehalt (Abb. A 10a), Lagerungsdichte (Abb. A 11b) bzw. nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (Abb. A 20a) konnte das sphärische Modell, für C_{org} -Gehalt (Abb. A 10b) und elektrische Leitfähigkeit (Abb. A 11a) das Gauß'sche Modell verwendet werden.

In 2002 wurde zusätzlich eine räumliche Abhängigkeit von 31 m Reichweite bei der elektrischen Leitfähigkeit nachgewiesen, obwohl dafür keine bekannte klassische Modellanpassung möglich war (Abb. A 16b). In der Tab. 20 werden die Variogrammwerte der Standortparameter der Intensivflächen dargestellt. Als Maß zur Beurteilung der räumlichen Abhängigkeit wurde von Autoren wie CAMBARDELLA et al. (1994), TSEGAYE and HILL (1998) und KRAVCHENKO (2003) zusätzlich der Nugget/Sill (%) Quotient benutzt. Dieses Verhältnis zeigt bei der elektrischen Leitfähigkeit sowie dem Mg-Gehalt eine starke räumliche Abhängigkeit (N/S Quotient < 25 %) an. Bei der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums und dem C_{org} -Gehalt dagegen ist nur eine mäßige (N/S Quotient zwischen 25 und 60 %), bei der Lagerungsdichte sogar nur eine schwache (N/S Quotient > 75 %) räumliche Abhängigkeit erkennbar.

Tab. 20: Werte der Variogramm-Modelle für die Standortparameter der Intensivflächen.

Standortparameter	Intensivfläche	Nugget-Effekt	Schwellenwert	Nug/Sill (%)	Reichweite (m)
Mg-Gehalt	I01	0.18	0.98	18	34.0
C_{org} -Gehalt	I01	0.37	0.96	38	42.0
Elektrische Leitfähigkeit	I01	0.10	1.00	10	25.6
Lagerungsdichte	I01	0.52	0.55	94	26.5
nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums	I03	0.40	0.68	59	23.0

Bei den getesteten Arten wiesen *Lolium perenne* (Abb. A 12a), *Festuca rubra* (Abb. A 12b, Abb. A 17a und Abb. A 21b), *Poa pratensis* (Abb. A 21a) und *Trifolium repens* (Abb. A 22b) eine räumliche Abhängigkeit auf, die in Tab. 21 dargestellt ist. Die Variogramme aller Arten konnten an ein sphärisches Modell angepasst werden. Dabei zeigten nur *Lolium perenne* und *Festuca rubra* auf I01 eine starke räumliche Abhängigkeit.

Tab. 21: Werte der Variogramm-Modelle für die Pflanzenarten der Intensivflächen.

Pflanzenarten	Intensivfläche	Nugget-Effekt	Schwellenwert	Nug/Sill (%)	Reichweite (m)
<i>Lolium perenne</i>	I01	0.09	0.62	14	25.1
<i>Festuca rubra</i>	I01	0.07	0.98	7	18.5
<i>Festuca rubra</i>	I02	0.38	0.60	63	29.5
<i>Festuca rubra</i>	I03	0.52	0.56	92	25.8
<i>Poa pratensis</i>	I03	0.35	0.76	46	27.5
<i>Trifolium repens</i>	I03	0.45	0.63	71	23.3

Die Trockenmasseerträge, bei denen ein sphärisches Modell mit einer Reichweite von 25 m (Nugget-Effekt = 0,28; Schwellenwert = 0,84) angepasst werden konnte (Abb. A 14a), wiesen auf der Intensivfläche I01 eine relativ mäßige räumliche Abhängigkeit auf (Nug/Sill (%) = 33).

Bei den übrigen ausgewerteten abiotischen und biotischen Variablen war eine Anpassung an ein Modell nicht möglich, da ihre experimentellen Semivariogramme in den einzelnen Abstandsklassen entweder einen markant ansteigenden Verlauf oder eine tendenziell starke Schwankung um den Nugget-Effekt zeigten (siehe Abb. A 13a, Abb. A 20b, Abb. A 22b sowie Abb. A 23a u. b). Die Feststellung ihrer räumlichen Kontinuität ist daher ausgeschlossen. Bei Parametern, wo räumliche Kontinuität nachgewiesen werden konnte, kam sie, außer bei *Festuca rubra*, nicht gleichzeitig auf allen Flächen vor und ist daher als Einzelfall zu betrachten.

Die Analyse gerichteter Variogramme einiger an Variogramm-Modelle angepasste Parameter auf der Fläche I01 (elektrische Leitfähigkeit, Lagerungsdichte, *Lolium perenne*, *Festuca rubra* und Trockenmasse (Abb. A 15)) sowie auf der Fläche I02 (*Festuca pratensis* (Abb. A 19) und *Festuca rubra*) deutet auf eine Anisotropie hin, d.h., die Struktur der räumlichen Variabilität ist richtungsabhängig unterschiedlich ausgeprägt. Diese Anisotropie erschwert die genaue Abbildung der Realität und kann deshalb auch zu Ungenauigkeiten bei der weiteren Interpolation punktuell erhobener Daten führen. Die Anwendung von Variogramm-Modellen für diese Parameter ist somit nur mit entsprechenden Einschränkungen möglich. Eine Erklärung für die Anisotropie könnte in den lokalen geomorphographischen Merkmalen (Wölbung, Hangneigungsstärke) zu suchen sein.

Bei der vorliegenden Untersuchung ist der Geltungsbereich der räumlichen Abhängigkeit eines Parameters durchschnittlich bis 29 m gegeben.

4. Diskussion

4.1 Standortparameter

Neben den Kausalbeziehungen der Standortparameter zu Vegetation und Ertragsmustern wurden zusätzlich auf der Grünlandfläche „Mühlberg“ Beziehungen der Standortparameter untereinander untersucht. Damit sollten die Interpretationsmöglichkeiten der Vegetations- und Ertragsmuster auf der Fläche verbessert und die Vergleichbarkeit mit anderen Arbeiten zu diesem Themenkomplex erreicht werden.

Böden mit höherem Tongehalt und höherer scheinbarer elektrischer Leitfähigkeit (ECa) waren durch geringere nutzbare Feldkapazitäten im effektiven Wurzelraum und durch höhere Saugspannungen (pF-Werte) charakterisiert. Auf diesen Zusammenhang weist auch NOBES (1996) in seiner Arbeit hin. Weiterhin wurde auf dem Mühlberg bei hohem Tonanteil und hohen ECa-Werten auch ein hoher Mg-Gehalt gefunden.

Die Gewinnung der geomorphographischen Reliefattribute gibt Aufschluss über die Bodenentwicklung und seine flächenhafte Verbreitung (ODEH et al., 1991). Über mögliche Beziehungen zwischen Reliefattributen und Bodeneigenschaften wurden zahlreiche Studien durchgeführt (MOOR, 1993; BRUBAKER et al., 1994; ODEH et al., 1994; KUZYAKOVA et al., 1997; LARK, 1999). Auf der hier untersuchten Grünlandfläche „Mühlberg“ waren solche Zusammenhänge (aus der Korrelationsmatrix), verglichen mit den Ergebnissen der zuvor genannten Arbeiten, nur in geringem Maß feststellbar.

Folgt man den obengenannten Studien über Zusammenhänge zwischen elektrischer Leitfähigkeit, Ton- und Mg-Gehalt bei zusätzlicher Berücksichtigung der Reliefkennzahlen, sollte es möglich sein, eine Aussage über die Bodenbeschaffenheit zu machen. Allerdings lassen sich die bereits genannten Zusammenhänge mit den Reliefattributen nur vereinzelt (am Beispiel des Zusammenhangs zwischen Wetness-Index und Hangneigung) herstellen.

Für die Grünlandfläche „Mühlberg“ lagen keine deutlichen Beziehungen der Standortparameter zueinander vor, so dass die Standortausprägungen als zufällig angesehen werden können. Es bestätigt sich, dass die flächenhafte Variabilität der Bodeneigenschaften komplexe räumliche Strukturen ergibt, deren Verteilung als zufällig einzustufen ist (WEBSTER, 2000).

4.2 Vegetation – Dynamik der Pflanzenarten

Die wichtigsten Arten der im Herbst 1998 angebauten Saatmischung, also die, die sich am stärksten durchsetzten, waren *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* und *Trifolium repens*. Die restlichen Arten (*Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Phleum pratense*) erreichten im gesamten Untersuchungszeitraum nur geringe Ertragsanteile von maximal 11 bis 15 % (Abb. A 5 - A 3).

Dabei wurden im Laufe der Jahre die Areale, auf denen *Festuca rubra* und *Phleum pratense* nicht oder nur sehr gering (< 0.2 %) auftraten, immer größer. Es handelt sich

hierbei um die feuchten Randbereiche entlang des benachbarten Baches mit besonderer Ausdehnung in der nördlichen Spitze des Mühlberges, die im Frühjahr stellenweise regelmäßig überflutet war.

Andere Teilflächen, auf denen sich *Festuca rubra* wenig etablieren konnte, lagen am süd-westlichen Waldrand, während für *Phleum pratense* diese mehr im süd-östlichen Bereich lagen. Besonders in diesen gerade vorgestellten Arealen, in denen auch *Poa pratensis* kaum zu finden war, konnten sich vor allem eingewanderte Arten gut etablieren (Abb. A 7), am meisten in den sehr feuchten Bereichen. Dabei handelt es sich um Arten wie *Poa trivialis*, *Ranunculus repens* und *Agrostis gigantea*.

Lolium perenne blieb während der Untersuchungsjahre trotz deutlichen Rückgangs im Bestand, mit teilweise hohen Ertragsanteilen (> 40 %), die dominante Art. Ihr wichtigster Bestandespartner auf dem Mühlberg war *Dactylis glomerata*. Die fortlaufende Zunahme der Ertragsanteile dieser Art könnte an der im Frühjahr zu spät ausgeführten Nutzung liegen. Ein zusätzlicher Grund der Knaulgraszunahme liegt möglicherweise in der Meidung durch die weidenden Rinder, die mit selektivem Futteraufnahmeverhalten gezielt qualitativ höherwertiges Futter aufnehmen (HARRIS, 1987; BAILEY, 1995).

So werden Areale höherer Futterqualität häufiger als die mit geringerer Futterqualität aufgesucht. Untersuchungen von TAUBE et al. (2004) stellten auf einer beweideten Fläche, die mit einem Gemenge aus *Dactylis glomerata* und *Trifolium repens* angesät worden war, im Weiderest geringere Anteile von Weißklee als vor dem Weideauftrieb fest. Die höheren Rohfasergehalte knaulgrasreichen Futters (KLÖCKER, 1974) bedingen einen geringeren Verzehr und einen damit verbundenen Konkurrenzvorteil dieser Art.

Bestände mit hohen Knaulgrasanteilen wiesen im gesamten Untersuchungszeitraum geringe Vorkommen von Weißklee auf (Tab. A 4). LEX (1992) und auch LEX und SIMON (1993) bestätigen bei ihren Untersuchungen zu unterschiedlichen Nutzungsintensitäten die Unterdrückung des Weißklee durch Knaulgras. Allerdings schlossen TURKINGTON and HARPER (1979) eine Konkurrenz zwischen diesen zwei Arten aus, da sie durch die unterschiedlichen Nährstoffansprüche auf verschiedenen Standorten eine artspezifische Wachstumsanpassung zeigten.

Bei der Weißklee-Ertragsanteilschätzung zum ersten Schnitttermin besteht immer die Möglichkeit einer Unterschätzung dieser Art in seiner bestandesrelevanten Bedeutung. Der Weißklee ist zu diesem Zeitpunkt, verglichen mit den Gräsern, phänologisch weniger entwickelt. Die Ursache der geringeren Kleeerträge im Frühjahr war nach WOLEDGE et al. (1992), auf die Konkurrenz um den Faktor Licht mit dem höher wachsenden Gras zurückzuführen. Ferner schränken die niedrigen winterlichen Temperaturen das Wachstum von *Trifolium repens* stärker ein als das Wachstum der Gräser (FRAME and BOYD, 1984; LEX, 1992; WACHENDORF et al., 2001).

Die Mechanismen, die während des Untersuchungszeitraums die Bestandeszusammensetzung dieser frisch angesäten Fläche prägten und die dazu nur wenige der ursprünglich sieben angebauten Arten in den Vordergrund brachten, sind schwer zu interpretieren. Außerdem ist bei der vorliegenden Studie zu berücksichtigen, dass auf Grund des nach der Aussaat liegenden Untersuchungszeitraumes die Vegetation auf dem Mühlberg ihre zeitliche Entwicklung noch nicht abgeschlossen hatte.

4.3 Ertrag

Die Analyse von Beziehungen des Trockenmasseertrags zu abiotischen und biotischen Parametern ist ein wesentlicher Faktor in der Entwicklung von Modellen zur Anpassung von Managementmaßnahmen im Zuge einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. Besonders im ökologisch bewirtschafteten Grünland wäre es denkbar, auf den bedingt durch Stickstoffmangel ertragsschwachen Teilflächen, durch die Erhöhung des Weißkleeanteils und damit einer gesteigerten symbiotischen N-Bindung, gegenzusteuern. ELGERSMA and SCHLEPERS (1997) erreichten auf diese Weise Ertragsleistungen, die wenig oder gar nicht unter denen von hoch mit Stickstoff gedüngten reinen Grasbeständen lagen. HAYNES (1980) bestätigte, dass durch verschiedene Bewirtschaftungsmaßnahmen der Beitrag des Weißklees zum Ertrag eines Mischbestandes über einen weiten Bereich gesteuert werden kann.

In der vorliegenden Untersuchung war während der drei Untersuchungsjahre die Variabilität der Trockenmasseerträge auf dem Mühlberg durch abiotische und biotische Parameter weder mit einfachen Korrelationen noch mit multiplen Regressionsanalysen eindeutig zu erklären. Sogar Beziehungen von topographischen Parametern zum Ertrag, wie sie zahlreiche Autoren bei ackerbaulichen Kulturen nachgewiesen haben (AFYUNI et al., 1993; KRAVCHENKO and BULLOCK, 2000; MACHADO et al., 2000; REUTER et al., 2003; KUTCHER et al., 2005); konnten für den als Weide genutzten Mühlberg mit Ausnahme der Intensivfläche in 2002 nicht gefunden werden.

Inwieweit sich Gruppen von Parzellen mit ähnlicher Artenzusammensetzung, die gleichzeitig zu verschiedenen Ertragsmustern auf der gesamten Untersuchungsfläche führen, durch biotische und abiotische Parameter unterscheiden lassen, wurde mit Diskriminanzanalysen untersucht (ausführliche Diskussion in Kap. 4.7).

Die Analysen ergaben, dass eine Unterscheidung von Pflanzengruppen von Jahr zu Jahr durch den Trockenmasseertrag nicht möglich war.

Der Trockenmasseertrag war im Untersuchungsraum kein konstanter Parameter für einzelne Gruppen sondern ließ sich zusammen mit anderen begleitenden Parametern in den einzelnen Jahren mit anderen Gruppen assoziieren. Er konnte z.B. in Verbindung mit Wassergehaltsparemtern des Bodens, mit Parametern, die Hangfußbereiche kennzeichnen, und dem Vorkommen von einigen nicht angesäten Arten mit der Gruppe assoziiert werden, die sich in der nördlichen Spitze des Mühlberges etabliert hatte. Diese Wirkung als differenzierender Parameter ergab sich in den einzelnen Jahren aus Diskriminanzfunktionen unterschiedlicher Zahl. Als Unterstützung dieses Ergebnisses wurde außerdem in diesem Areal, das durch Braunaubenboden oder Gley gekennzeichnet ist, in allen drei Jahren ein statistisch gesicherter Trockenmasseertragsunterschied gegenüber den Erträgen auf Braunerde-Pelosol und Braunerde festgestellt. Dadurch konnte dieser Teilbereich des Mühlberges mit etwas Vorsicht als hochproduktiv eingestuft werden.

Die ausgeprägte Standortheterogenität dieser untersuchten Grünlandfläche, die sowohl Bereiche mit hoher Variabilität als auch homogene Areale aufweist, ließ deutlichere

Beziehungen zur Biomasseproduktivität erwarten. Mit den statistischen Verfahren konnten jedoch nur Tendenzen nachgewiesen werden. Eine Ursache könnte hierfür möglicherweise im methodischen Vorgehen zu finden sein. Es wurden für die drei Untersuchungsjahre einheitliche Nutzungszeitpunkte mit gleichem Datum gewählt. Diese erwiesen sich angesichts der unterschiedlichen Witterungsverläufe als verfrüht. Denn die Pflanzenbestände konnten nicht in jedem Jahr ihre volle Reife erreichen und die Potenziale der oberirdischen Phytomassebildung ausschöpfen.

Beim ersten Aufwuchs nach dem Winter hat die Temperatur im Vergleich zum Bodenfeuchtegehalt in der Regel einen dominanten Einfluss auf das Pflanzenwachstum. Beim zweiten Aufwuchs nach dem ersten Schnitt ist dagegen in den meisten Fällen die Bodenfeuchtigkeit der ertragsbestimmende Faktor (THORVALDSSON and FAGERBERG, 1988). Für diese Untersuchung lagen nur Tagesmittelwerte der Temperatur einer nahegelegenen Wetterstation und keine eigenen Messungen für Teilflächen vor. Sie konnten deshalb nicht in den statistischen Analysen berücksichtigt werden. Die Varianz der Trockenmasseerträge konnte unter anderem auch deshalb nicht mit dem Einfluss der berücksichtigten Standortfaktoren erklärt werden.

Tatsächlich wirkten sich die Niederschlagsmengen in allen Untersuchungsjahren nicht positiv auf die Ertragsbildung aus. Im Jahr 2001 wurden z.B. bei den höchsten Niederschlägen die niedrigsten Produktivitäten erfasst. Eine positive Korrelation zwischen Temperatur und Gräserwachstum im Frühjahr (WILMAN, 1980; NORRIS, 1985; THORVALDSSON and FAGERBERG, 1988) konnte auf der Mühlbergfläche jedoch für alle drei Untersuchungsjahre nachgewiesen werden. In 2002 wurden während des Zeitraumes Februar - Anfang Mai bei den höchsten Temperatur-Summen auch die höchsten Erträge ermittelt. Dieser Temperatureinfluss auf den ersten Aufwuchs war 2003, im Vergleich zu 2001 und 2002, besonders deutlich (vgl. Abb. 12). Im Frühjahr 2003 entwickelte sich die Vegetation gegenüber 2001 und 2002 verzögert, hervorgerufen durch sehr niedrige Temperaturen zwischen Ende Februar und Anfang März. Jedoch stiegen die Temperaturen im Zeitraum 20. April – 10. Mai 2003 vergleichsweise zum entsprechenden Zeitraum in 2001 stärker an und erreichten zum Schnittzeitpunkt sogar einen höheren Temperatur-Summenwert (als in 2001). Dadurch entstanden in 2003 gegenüber dem milderen Jahr 2001 auch höhere Erträge. Die jährlichen Mittelwerte der Trockenmasseerträge entwickeln sich entsprechend der jeweiligen Temperatursummenentwicklung. Im Jahr 2001 wurde ein Ertrag von 6,2 dt TM ha⁻¹ und im Jahr 2003 ein Ertrag von 7,7 dt TM ha⁻¹ erfasst. Das Maximum erreichten die Erträge im wärmsten Jahr 2002 mit 9,9 dt TM ha⁻¹.

Obwohl sich die Temperatursummenentwicklung im Mittelwert der Trockenmasseerträge widerspiegelt, gibt es doch etliche Parzellen in denen nicht dieser Einfluss sich zeigte. Das könnte an den geringen Unterschieden (2001: Temperatursumme = 537°C, 2002: Temperatursumme = 638°C, 2003: Temperatursumme = 559°C) zwischen den Temperatursummen zur Zeit der Probenschnitte gelegen haben. Daher kann vermutet werden, dass sich die Temperaturentwicklung auf den verschiedenen Arealen wahrscheinlich in Wechselwirkung mit Standorteigenschaften wie zum Beispiel der Sonnenexposition oder dem Bodenwassergehalt in unterschiedlicher Weise auf die Phytomasseproduktion

auswirkt. Dies kann Unterschiede im Wachstum der Pflanzen hervorgerufen haben, die nicht durch den direkten Einfluss der untersuchten Standortfaktoren sowie der Temperaturentwicklung innerhalb eines Jahres und im Vergleich der Jahre erklärt werden konnten.

Außerdem wurde bei der vorliegenden Untersuchung nur der erste Aufwuchs der Vegetation auf der Grünlandfläche beprobt. Eine durchlaufende Beprobung aller Parzellen während der Weideperiode konnte bei diesem Versuch angesichts des hohen logistischen Aufwandes und der hohen Anzahl an Beprobungsflächen nicht bewältigt werden.

Darüber hinaus fehlte für diese Grünlandfläche eine Übersicht über den Jahresverlauf des Ertrages, wobei der erste Aufwuchs normalerweise den höchsten Ertragsanteil erreicht.

Bei kontinental beeinflusstem Klima mit gelegentlicher Sommertrockenheit (siehe Kap. 2.1.5) unterliegt der zweite Aufwuchs witterungsbedingt schon stärkeren Ertragsrisiken. Hinzu kommt, dass einzelne Arten, wie z.B. das deutsche Weidelgras durch eine physiologisch bedingte Abnahme des Wachstums von Mai bis Juli gekennzeichnet sind (ANSLOW and GREEN, 1967). Da das Weidelgras auf dem Mühlberg die höchsten durchschnittlichen Ertragsanteile erzielt, ergeben sich für die Interpretation der Trockenmasseerträge zusätzliche, schwer erklärbare Variabilitätsfaktoren.

Außerdem fanden JORDAN et al. (2003) beim ersten Schnitt im Vergleich zu späteren Schnitten in ihrem Grünlandversuch niedrigere Ertragsvariabilitäten (CV%) und deutlichere räumliche Abhängigkeiten. Sie konnten belegen, dass beim ersten Schnitt mit dem größten Abstand zwischen den Beprobungspunkten noch eine gute Interpolationsqualität erzielt werden kann. Bei späteren Schnitten ist eine höhere Anzahl von Beprobungspunkten erforderlich.

Generell lässt sich die Variabilität der Trockenmasseerträge auf der untersuchten Grünlandfläche nur durch Tendenzen belegen. Aussagekräftigere Ergebnisse wurden nur für den Teilbereich in der nördlichen Spitze des Mühlberges, der durch Braunauenboden und Gley gekennzeichnet ist, ermittelt. Dort ergaben sich leichte positive Zusammenhänge zwischen dem Ertrag und den Wassergehaltsparametern des Bodens, den Parametern, die die Hangfußbereiche kennzeichnen, sowie dem Vorkommen von feuchtigkeitsliebenden, nicht angesäten Arten. Für die Bereiche mit Braunauenboden und Gley entlang des Baches insbesondere im nördlichen Bereich konnte jedoch nicht gegenüber allen anderen Bereichen eine hohe Produktivität statistisch abgesichert werden.

4.4 Futterqualität

Der erste Aufwuchs einer Weide erreicht mit der Weidereife das ernährungsphysiologisch günstigste Wuchsstadium. Die Nährwertkonzentrationen des Futters sind dann leistungsangemessen, die physikalische Futterstruktur ist wiederkäuergerecht und das Futterangebot erreicht ein mengenmäßiges Optimum

(VOIGTLÄNDER u. JACOB, 1987).

Die DLG-Futterwerttabelle gibt für häufig genutztes grasreiches Grünland in diesem Reifegrad (siehe Kap 2.2.6.2) Durchschnittswerte des Rohproteingehaltes von 180 g kg⁻¹ TS, des Rohfasergehaltes von 195 g kg⁻¹ TS und des Rohaschegehaltes von 92 g kg⁻¹ TS an (DLG-Futterwerttabellen, 1997). In ökologisch bewirtschafteten Betrieben in Nordrhein-Westfalen werden zum Zeitpunkt der Weidereife im Frühjahr Durchschnittswerte für die Proteinkonzentration des Futters von 189 g kg⁻¹ TS angegeben (LEISEN, 2003).

Verglichen mit den DLG-Tabellen liegen die Rohnährstofffraktionen auf der hier untersuchten Fläche bezüglich des Rohproteins unter den Durchschnittswerten für häufig genutztes grasreiches Grünland zum Zeitpunkt des Schossens. Die Rohfaser- und Rohaschegehalte liegen dagegen über dem Durchschnitt.

Aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums der Vegetation beim ersten Schnittzeitpunkt, der in beiden Jahren nicht dem praxisüblichen Termin entsprach, war ein hoher Rohprotein- und niedriger Rohfasergehalt zu erwarten.

Eine Erklärung für die Abweichungen zwischen den ermittelten Werten und den Inhaltsstoffgehalten in der DLG-Tabelle könnte in der niedrigen Schnitthöhe zu diesem frühen Erntezeitpunkt liegen.

Dadurch gelangt abgestorbenes Pflanzenmaterial aus den Ernterückständen in die untersuchte Schnittprobe, das zu einer erheblichen Erhöhung des Rohfasergehaltes führt. Dazu haben Bestände in der generativen Wachstumsphase (dem jüngeren Entwicklungsstadium) noch nicht Pflanzenteile wie z.B. Blätter entwickelt, die im Vergleich zu Stengeln höhere Rohprotein-Konzentrationen enthalten (TERRY and TILLEY, 1964).

Weiterhin führte die niedrige Schnitthöhe zu einer Erhöhung des Verschmutzungsgrades des Probenmaterials, die sich durch die hohen ermittelten Rohaschegehalte (Tab. A 20) bestätigt. Diese Werte waren in 2003 aufgrund der geringeren Aufwuchsmenge, die auf einen noch früheren Schnittzeitpunkt als in 2002 zurückzuführen sind, besonders hoch. Die höchsten Rohaschegehalte wurden in allen Untersuchungsjahren in der nördlichen Spitze des Mühlberges und teilweise am süd-westlichen Waldrand sowie im süd-westlichen Bereich entlang des benachbarten Baches ermittelt. Diese hohen Werte sind nicht durch das Vorkommen bestimmter Arten erklärbar und können deswegen nur durch die Verschmutzung der Proben begründet werden. Besonders betroffen war der Bereich in der nördlichen Spitze des Mühlberges, der im Frühjahr überflutet worden war. Wie auch von FRANKE (2003) diskutiert wurde, ist anzunehmen, dass sich hohe Aschegehalte von Pflanzengemeinschaften auf partiell überfluteten Standorten beim ersten Schnitt durch eine Mineralienakkumulation auf der Pflanzenoberfläche erklären ließen. Diese Mineralien werden zum Beispiel durch die Niederschläge abgewaschen und sind deshalb zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr vorhanden.

Die gering ausgeprägte Variabilität der Rohfaser- und Rohproteingehalte auf dem Mühlberg konnte durch die Zusammensetzung der Pflanzenarten partiell erklärt werden, wobei *Dactylis glomerata* und *Trifolium repens* besonders dazu beigetragen haben.

Über den positiven Zusammenhang zwischen Rohfasergehalt und das Vorkommen von *Dactylis glomerata* haben u. a. BLATTMANN (1968), DYCKMANS (1989), SCHALITZ u. PÖTZSCH (1990) sowie LEX (1992) berichtet. Bezüglich des Zusammenhangs zwischen Rohproteingehalt und vorhandenem *Trifolium repens* wurden ebenfalls (u. a. KLÖCKER, 1974) repräsentative Ergebnisse vorgelegt. Diese schwachen, dennoch signifikanten Zusammenhänge bestanden in beiden Jahren auch trotz unterschiedlicher Entwicklung der Vegetation zum Schnittzeitpunkt. Ihre Ausprägung wurde durch den unterschiedlich schnell ablaufenden Reifeprozess der Vegetation je nach Pflanzenart und Parzelle deutlich verringert und ist auf den Zusammenhang zwischen Nutzungsstadium und Rohfasergehalt (u. a. WOLF und BRIEMLE, 1989; SÜDEKUM et al., 1990; TAUBE et al., 1990; SPATZ und FRICKE, 1992 sowie KÄDING et al., 1993) zurückzuführen.

Ein weiterer Faktor von dem die Entwicklung der Trockenmasseerträge, Rohfaser- und Rohproteingehalte abhängen ist die Temperatursummenentwicklung (Abb. 12). Bei höheren Temperaturen und fortschreitender Pflanzenentwicklung nehmen die Rohfasergehalte zu und die Rohproteingehalte ab. Dies wurde bei der vorliegenden Untersuchung bestätigt. Daher wurden im Jahr 2002 die höchsten Trockenmasseerträge und Rohfasergehalte und die niedrigsten Rohproteingehalte ermittelt. Dieser direkte Einfluss der Temperatur auf die phänologische Entwicklung und den Rohproteingehalt der Gräser wurde durch Untersuchungen von NEFF und SIMON (1985) bestätigt.

Aufgrund der Zusammenhänge zwischen den pflanzlichen Inhaltsstoffen (Rohfasergehalt und Rohproteingehalt) und dem Auftreten von einigen Pflanzenarten können Vegetationsmuster unterschieden werden. So können Areale in Abhängigkeit von der Qualität des Bestandes sowie der Artenzusammensetzung gebildet werden. Zusätzlich lassen sich Areale unterschiedlichen Rohfasergehaltes in Abhängigkeit vom Bodentyp feststellen. In beiden Jahren waren die Unterschiede im Rohfasergehalt zwischen niedrigen Werten auf Braunaunenboden und höheren Werten auf Kolluvisol und Braunerde signifikant (siehe Tab. A 13). Diese Unterteilung des Grünlandbestandes ermöglicht es, Empfehlungen für die gezielte Steuerung und Verbesserung von Futterqualitäten auf den verschiedenen Arealen zu formulieren. So könnte in einigen knaulgrashaltigen und damit rohfaserreichen Teilflächen die Zunahme der Ertragsanteile von *Trifolium repens* durch eine Erhöhung der Beweidungsintensität und Veränderung der Weideform gefördert werden. Auf diese Weise könnte eine Erhöhung des Proteingehaltes erreicht werden, da beide Bewirtschaftungsgrößen den Weißkleeertragsanteil beeinflussen (WOLTON et al., 1970). Eine intensive Beweidung in Form einer Umtriebsweide in Verbindung mit hohen N-Intensitäten führte bei dem Versuch von INGWERSEN et al. (2001) zu einer vollständigen Verdrängung des Weißkleees. Auf einem Mähweidestandort erhöhten zwei im Vergleich zu einem Schnitttermin im Frühjahr den Kleeanteil und die fixierte N-Menge nachhaltig (TROTT, 2003). Ein anderes Vorgehen wäre die Nachsaat von Weißklee wie sie von zahlreichen Autoren, u. a. SCHALITZ und PÖTZSCH (1990), LEX und SIMON (1995) sowie SÜDEKUM et al. (1990) vorgeschlagen wurde. Dies würde den Rohproteingehalt sowie die Verdaulichkeit verbessern und gleichzeitig den Rohfasergehalt senken. Außerdem führt die Entstehung kleereicher Pflanzenbestände zu einer höheren Nutzungselastizität, die selbst bei extensiver bzw. späterer Nutzung die Ernte einer vergleichsweise guten

Futterqualität zulässt (VERCH und KÜHBAUCH, 1994).

Schließlich geht aus den Ergebnissen der beiden Versuchsjahre hervor, dass Zusammenhänge zwischen der Futterqualität des Bestandes und der Höhe der Biomasseproduktion in den beiden Jahren bestehen. Diese Wechselbeziehung konnte nachgewiesen werden, obwohl die Probennahme, zwar zum gleichen kalendarischen Zeitpunkt, jedoch abhängig vom Witterungsverlauf des Jahres zu einem anderen phänologischen Zeitpunkt, stattfand. Rohfaser- und Rohproteingehalte zeigen, obwohl sie sich mit der Reife des Bestandes dynamisch entwickeln, zeitlich stabile Beziehungen zu vorkommenden Arten, die wiederum eine besondere Bedeutung für die gezielte Steuerung der Futterqualität verschiedener Areale eines Grünlandes haben.

4.5 Unterschiede zwischen Bestandes- und Bodeneigenschaften

- Bodentypen

Während der drei Untersuchungsjahre könnten einigen Bodentypen fortlaufend höhere Produktivitäten zugeschrieben werden.

Braunauenboden wies z.B. gegenüber Braunerde-Pelosol und Braunerde in allen drei Untersuchungsjahren weitgehend höhere Trockenmasseerträge, Ertragsanteile an nicht angesäten Arten und teilweise niedrigere Rohfasergehalte sowie geringere Ertragsanteile an *Poa pratensis* auf. Ebenfalls wurden auf Gley gegenüber Braunerde-Pelosol und Braunerde, jedoch nur in 2001 und 2002, höhere Trockenmasseerträge und Ertragsanteile an nicht angesäten Arten festgestellt. Hier waren dazu häufig auch niedrigere Ertragsanteile an *Dactylis glomerata* sowie niedrigere Energiegehalte vorzufinden. Außerdem zeigten in 2002 Braunauenboden und Gley gegenüber Kolluvisol möglicherweise jahresbedingte höhere gesicherte Mittelwerte von Ertragsanteilen an nicht angesäten Arten sowie niedrigere Ertragsanteile an *Dactylis glomerata* und geringere Rohfasergehalte im Aufwuchs. In 2003 waren die Unterschiede der Mittelwerte gleicher Parameter nur zwischen Braunauenboden und Kolluvisol gesichert; hierzu zählte ebenso der Trockenmasseertrag.

Das kann bedeuten, dass die feuchteren Standorte des Mühlberges entlang des Baches eine größere Artenvielfalt begünstigen, die wiederum zu höheren Erträgen führen kann (TILMAN et al., 1997). Daran gekoppelt ist zumeist auch eine Zunahme des Bedeckungsgrades sowie des Blattflächenindex der Bestände (SPEHN et al., 2000).

- Bodenarten

Eine Differenzierung von Bodenarten mit unterschiedlicher Ertragswirkung, Artenzusammensetzung und Futterqualität kann aus den vorliegenden Daten nicht abgeleitet werden. Zwar kam es zu jahresbedingten signifikanten Ausprägungen der Parameter, ein eindeutiger Trend im Versuchszeitraum war aber nicht nachzuweisen. Erwähnenswert sind die höheren *Trifolium repens* Anteile auf tonigen Bereichen gegenüber schluffigen Bereichen (Tu4 gegenüber Ut3 in den Jahren 2001 und 2002), die allerdings sowohl höhere Trockenmasseerträge als auch höhere Anteile an nicht

angesäten Arten hervorbrachten.

Die Areale der Auenböden des Mühlberges bestehen überwiegend aus der Bodenart mittel tonigem Schluff (Ut3) und wiesen durchgehend ein hohes Ertragsniveau auf. Dass die Bodentextur eine Erklärungsgröße für räumlich variable Biomasseerträge sein kann, wurden von Untersuchungen von BURKE et al. (1997) belegt. Diese Bestände sind allerdings bei der vorliegenden Untersuchung deutlich stärker durch nicht angesäte Arten geprägt als andere Bereiche dieses Standortes. Somit lässt die damit verbundene geringere Futterqualität diese Produktivitätspotenziale nur suboptimal nutzen.

4.6 Multivariate Zusammenhänge zwischen Standort, Vegetation und Bewirtschaftung

SEBASTIÁ (2004) und KAISER et al. (2005) haben untersucht inwieweit die Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften durch abiotische Faktoren mittels Diskriminanzanalyse erklärbar ist. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde mit diesem Verfahren auch die zeitliche Entwicklung der Grünlandfläche in die Interpretation der Ergebnisse einbezogen, da der Anpassungsprozess der angesäten Arten an diesen Standort noch nicht abgeschlossen war.

Nach einer Gruppierung der beprobten Parzellen anhand der Artenzusammensetzung des Grünlandbestandes „Mühlberg“ wurden Gruppenunterschiede unter Einbeziehung aller Parameter (Standort-, Bestands- und Bewirtschaftungsparameter) mittels der Diskriminanzanalyse untersucht und zusätzlich deren dynamische Entwicklung erforscht.

Bei dieser Analyse wurde die optimale Trennung der Gruppen durch die Extraktion von drei Diskriminanzfunktionen je Untersuchungsjahr erzielt, die durch die Ausprägungen der zugeordneten Merkmalvariablen (Standort-, Bestands- und Bewirtschaftungsparameter) charakterisiert waren. Um festzustellen, ob die jeweiligen Diskriminanzfunktionen I, II sowie III aus den drei Untersuchungsjahren während des Untersuchungszeitraums kontinuierlich mit den gleichen Variablen hoch korreliert waren und wie sich die Korrelationsstärke dieser Variable während der Jahre entwickelte, wurden sie paarweise gegeneinander aufgetragen (pragmatische Korrelation der Korrelation = Ladung). Die Übereinstimmung der Ladungen der jährlichen Diskriminanzfunktionen I, II und III wurde durch Korrelationskoeffizienten belegt (Tab. A 40).

Die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse zeigen, dass sich die Gruppe mit hohen Ertragsanteilen an nicht angesäten Arten in der nördlichen Spitze des Mühlberges (Gruppe F) in jedem der drei Untersuchungsjahre am stärksten von allen anderen Gruppen unterschied (Abb. 65). Gleichzeitig hatten die hohen Ertragsanteile dieser Arten (*Agrostis gigantea*, *Glyceria fluitans*, *Ranunculus repens*) eine diskriminatorische Bedeutung, da sie in der Analyse als aufgenommene Variablen mit hoch positiven Ladungen maßgeblich zur Charakterisierung der Gruppe F beitrugen. Zu dieser Charakterisierung zählten auch P-Gehalt, Feuchtigkeit im Boden und Parameter die horizontale Areale anzeigen (siehe Kap. 3.6.2). Insgesamt blieb die diskriminatorische Bedeutung dieses Variablenpools für die drei Jahre konstant. Auch die

Übereinstimmung der Ladungen zwischen den Jahren blieb relativ konstant, wobei die positiven Ladungen der Feuchtigkeit im Boden sowie der Ertragsanteile von *Ranunculus repens* und *Agrostis gigantea* einen leicht zunehmenden Trend aufwiesen.

Außerdem war für diese Gruppe ein kontinuierlich zunehmender Trend der aus den durchschnittlichen Faktorwerten abzuleitenden Trennungsstärke festzustellen.

Daraus lässt sich ein fortschreitender Differenzierungsprozess dieser Parzellengruppe gegenüber allen anderen ableiten. Arten wie *Ranunculus repens* und *Agrostis gigantea*, die allgemein feuchtere Bodenverhältnisse bevorzugen, treten auf jenen Arealen, die durch hohe Feuchtigkeit sowie hohen P-Gehalt des Boden zu charakterisieren sind, im Laufe der Jahre stärker in den Vordergrund.

Die Analyse ergab des weiteren die Trennung der Gruppe D von allen anderen Gruppen im süd-westlichen Bereich des Mühlberges im Laufe der drei Untersuchungsjahre (Abb. 55). Zu ihrer Charakterisierung dienten das Vorkommen von *Trifolium repens*, die Lagerungsdichte, die Hangneigung, die Wertzahl, der Steingehalt sowie die Tonfraktion des Bodens. Die diskriminatorische Bedeutung dieses Variablenpools nahm im Laufe der Zeit ab. Alle dazu gehörigen Merkmalvariablen verloren ebenfalls an Ladungsstärke. Trotzdem war bei einigen Variablen, die am Anfang des Untersuchungsraums niedrige Ladungen zeigten, eine gegenläufige Entwicklung festzustellen. Dies gilt beispielsweise für die Ertragsanteile von *Festuca rubra* und *Poa pratensis*. Diese Dynamik innerhalb der jährlichen Variablenpools bestätigte sich durch den negativen Trend der Korrelationswerte aus den gegeneinander aufgetragenen Diskriminanzfunktionen für die Jahre 2001-2003. Dennoch wurde die Trennung dieser Gruppe von allen anderen durch den kontinuierlich zunehmenden Trend der durchschnittlichen Faktorwerte immer deutlicher. Somit konnte auch hier ein Differenzierungsprozess nachgewiesen werden.

Die diskriminatorische Bedeutung des zur Trennung der D-Gruppe beitragenden Variablenpools bewegte sich im negativen Bereich. Auf Parzellen der Gruppe D mit hohen Anteilen der Schlufffraktion im Boden und geringem Gefälle, bildeten konkurrenzfähige Arten wie *Dactylis glomerata* hohe Ertragsanteile und traten im Laufe der Zeit immer stärker in den Vordergrund. Diese Dynamik war ebenso bei den Ertragsanteilen von *Poa trivialis* zu beobachten, obwohl bei dieser Art nicht derart dominante Ertragsanteile feststellbar waren.

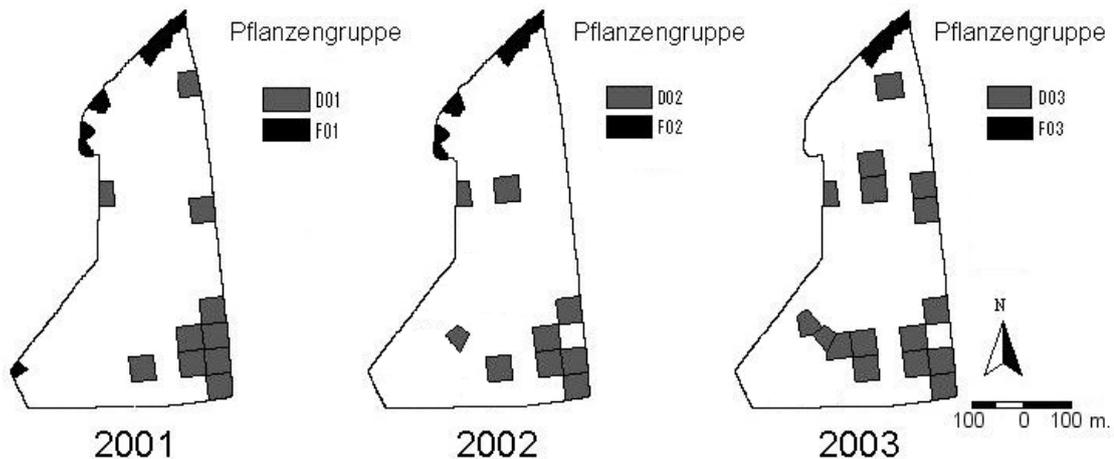


Abb. 55: Räumliche Verteilung der durch Clusteranalyse für die Jahre 2001-2003 ermittelten Gruppen von Parzellen D und F, auf dem Mühlberg als Thiessenpolygone der 50 m-Rastervegetationskartierung. Den Gruppen F und D wurden durch die Clusteranalyse im Laufe der Jahre weitgehend dieselben Parzellen zugeordnet. Durch die dynamische Betrachtung mit Hilfe der Diskriminanzanalyse konnte ein Differenzierungsprozess gegenüber alle anderen Gruppen nachgewiesen werden.

Weitere als stabil zu charakterisierende Gruppen von Parzellen, waren aus der Diskriminanzanalyse der drei Untersuchungsjahre nicht abzuleiten. Die gegeneinander aufgetragenen Diskriminanzfunktionen III zeigen beispielsweise zwischen den Jahren 2002 und 2003 ein relativ ähnliches Trennungspotential. Es ergaben sich jedoch für die einzelnen Jahre unterschiedliche Gegensatzpaare (Gruppen von Parzellen), so dass die Ergebnisse nicht eindeutig interpretierbar waren. Das Vorkommen von sich entwickelnden „Pflanzengemeinschaften“ (Gruppen von Parzellen mit ähnlicher Artenzusammensetzung) sowie die Anpassung der Arten aus der angesäten Mischung an den Standort konnten nicht durch Standortmerkmale erklärt werden.

Die über die Jahre zum großen Teil sehr ähnlichen Ergebnisse der Diskriminanzanalyse zeigen, dass sich unabhängig vom Jahreseinfluss auch auf dem untersuchten kleinen Maßstab innerhalb einer Grünlandfläche bestimmte funktionelle Zusammenhänge zwischen botanischer Zusammensetzung und Standort finden lassen. In Folge der ungünstigen Nutzungszeitpunkte trifft diese Aussage jedoch nur für zwei Areale des Mühlberges zu. Denn einige Parameter waren nicht genügend repräsentativ bzw. haben bei der Analyse Gewichtungen bekommen, die nicht zu erklären waren. Günstigere Nutzungszeitpunkte, die mit der Weiterreife übereinstimmen, hätten wahrscheinlich zu einer differenzierteren Ausprägung des Trockenmasseertrags der Arten geführt.

4.7 Quantitative Untersuchung des Einflusses verschiedener Standortfaktoren auf das Vorkommen von Weißklee

Die Auswertung mittels multipler Regressionsanalyse mit dem Ziel, Einflüsse von Standortfaktoren auf das Vorkommen von *Trifolium repens* zu untersuchen, zeigte in allen Jahren einen positiven Zusammenhang zwischen den Weißkleeertragsanteilen

und einem pH-Wert von 6,5 bis 7,2. Ähnliche Ergebnisse stellte auch SNAYDON (1962) in seinen Untersuchungen fest, jedoch für pH-Werte zwischen 4,1 und 5,6. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden im Widerspruch zu den Erwartungen sowohl in 2001 als auch in 2002 negative Beziehungen zwischen dem P-Gehalt des Bodens und dem Weißkleeanteil festgestellt. Eine der möglichen Erklärungen dafür dürfte in der Konkurrenz mit leistungsfähigeren Gräsern liegen. Bei hohen P-Gehalten des Bodens sind Gräser vermutlich besonders durchsetzungsfähig und treten in den Vordergrund (JANSSENS et al., 1998; ACUÑA and WILMAN, 1993). Offensichtlich konkurrieren diese Gräser mit *Trifolium repens* gerade bei pH-Werten zwischen 6,0 und 6,5, die eine höhere P-Mobilität begünstigen (BERGMANN, 1993). Dagegen konnte *Trifolium repens* bei gleichzeitig niedrigen P-Gehalten und hohen pH-Werten im Vergleich zu den Gräsern in den Vordergrund treten.

Tonreiche Böden begünstigten 2001 eindeutig ebenfalls das Vorkommen des Weißklee. In den folgenden Jahren wurde der Einfluss der Tonfraktion von weiteren Parametern wie z.B. dem Mg-Gehalt überlagert. So wurden bei verschiedenen Tonfraktionsniveaus die Weißkleeanteile durch den Mg-Gehalt unterschiedlich beeinflusst.

Weißklee konnte in diesem Versuch bei gleichzeitig hohem pH-Wert und niedrigem Phosphor-Gehalt besser als die konkurrenzfähigen Gräser in den Vordergrund treten.

Nach wie vor bleiben die Mechanismen der Wirkungsbeziehungen zwischen Standortfaktoren und Weißklee vorkommen ziemlich komplex und daher schwer zu interpretieren.

In einigen auf ökologisch bewirtschafteten Grünlandflächen durchgeführten Studien in Norddeutschland wurde festgestellt, dass mit steigender Produktivität der Bestände, ausgedrückt über Weißkleeertragsanteil im Bestand, die Artenvielfalt deutlich abnimmt (WACHENDORF und TAUBE, 1996; SANDERSON et al., 2002). Bei der vorliegenden Untersuchung wurden jedoch solche Zusammenhänge während der drei Untersuchungsjahre nicht nachgewiesen. Es könnte daran liegen, dass es sich beim Mühlberg um eine Grünlandfläche mit höchstens 14 Pflanzenarten pro Vegetationsaufnahme, darunter im Durchschnitt drei Viertel Gräser, handelt. Außerdem hatte die im Jahr 1998 angesäte Fläche sehr wahrscheinlich ihren Etablierungsprozess noch nicht vollständig beendet d.h. die Anpassung der Arten einer zugegebenen Saatmischung an den Standort war noch nicht soweit ausgeprägt, um Effekte hinsichtlich der Artenvielfalt beobachten zu können.

4.8 Fein gerasterte Teilfläche

4.8.1 Optimale Stichprobenanzahl und Interpolationsqualität bei den Intensivuntersuchungen

In Kapitel 3.8.4 wurden die gewonnenen Interpolationsergebnisse aus den rasterartig angeordneten Punktdaten für die drei Untersuchungsteilflächen vorgestellt. Sie charakterisieren Standort, Vegetation und Ertrag, beprobt in unterschiedlicher Dichte (von 6,25 m bis 50 m). Im folgenden Abschnitt werden diese Ergebnisse diskutiert, um Aussagen über die optimale Stichprobenanzahl und über die Qualität einer Interpolation bei verschiedenen Rasterweiten für die Maximierung der Interpolationsqualität und die Minimierung des Beprobungsaufwandes in der praktischen landwirtschaftlichen Anwendung zu machen. Zunächst wird die aus statistischer Sicht optimale Stichprobenanzahl behandelt, dann wird auf verschiedene Bewertungsmöglichkeiten für die Qualität von Interpolationen eingegangen.

4.8.1.1 Optimale Stichprobenanzahl

Gemäß der Formel nach HALD (1960) zitiert in SHI et al. (2000) wurde für jeden Parameter und für jede Teilfläche der optimale Stichprobenumfang berechnet. Um eine Parallele zwischen Rasterweite und Beprobungsdichte erstellen zu können, ließe sich der Schluss ziehen, dass 31 % der Beprobungspunkte dem Raster 12,5x12,5 m, 11 % der Beprobungspunkte dem Raster 25x25 m und 5 % der Beprobungspunkte dem Raster 50x50 m in etwa entsprechen. Die optimale Stichprobenanzahl betrug für die abiotischen Parameter (Standortparameter) auf der Fläche I01 durchschnittlich 70 %, auf I02 24 % und auf I03 32 % aller gemessenen Stichproben und für die biotischen Parameter (Vegetation und Ertrag) auf der Fläche I01 durchschnittlich 70 %, auf I02 20 % und auf I03 63 % aller gemessenen Stichproben. Allerdings war diese optimale Stichprobenzahl auf derselben Fläche bei den einzelnen Parametern sehr unterschiedlich, wie in Tab. 22 zusammengefasst wurde.

Tab. 22: Optimale Stichprobenzahl in Prozent aller Messpunkte für die einzelnen Parameter auf den Flächen I01-I03; n. n. = nicht berechnet, da die Werte nicht normalverteilt waren.

Parameter	Intensivfläche		
	I01	I02	I03
pH-Wert	n. n.	n. n.	n. n.
P-Gehalt	53 %	23 %	53 %
K-Gehalt	33 %	24 %	37 %
Mg-Gehalt	18 %	25 %	n. n.
Nt-Gehalt	12.3 %	n. n.	5 %
Lolium perenne	46 %	n. n.	89 %
Dactylis glomerata	80.2 %	n. n.	53 %
Trifolium pratense	84 %	n. n.	n. n.
Trockenmasse	72 %	20 %	47 %

Auch die Betrachtung desselben Parameters von Teilfläche zu Teilfläche ergab ein heterogenes Bild. Die einzige Ausnahme bildete der P-Gehalt, für den auf den Flächen

I01 und I03 die optimale Beprobungsmenge ähnlich war. Auf beiden Flächen wurden 53 % aller Beprobungspunkte benötigt, um diese Menge zu erreichen, d.h. eine Rasterweite niedriger als 12,5 m.

Mit einem ähnlichen Analyseverfahren und ähnlicher rasterbeprobter Untersuchung auf Grünland wurde auch von SHI et al. (2000) die optimale Stichprobengröße für den P- und den K-Gehalt des Bodens untersucht. Bei einer Rasterbeprobungsdichte von 50x50 m (d.h. gleiche der hier vorliegenden Untersuchung) stellte er für den P-Gehalt eine optimale Stichprobengröße von 35 % fest. In der eigenen Studie hingegen lag die optimale Stichprobengröße für den P-Gehalt auf zwei Teilflächen bei einer wesentlich höheren Beprobungsdichte (53 %), die einem ca. 9x9 m-Raster entsprach; lediglich auf der Fläche I02 war ein etwas weiteres Raster von ca. 14x14 m erforderlich (entsprechend einer Stichprobengröße von 23 %). Die Ergebnisse von SHI et al. (2000) für den K-Gehalt zeigten eine optimale Stichprobengröße von 53 %, was deutlich größer war als für den P-Gehalt und was in den eigenen Untersuchungen etwa einer Rasterweite von 35,4 m entsprechen würde. In der eigenen Untersuchung lag die ermittelte optimale Stichprobengröße für den K-Gehalt bei einer geringeren Beprobungsdichte von 24 % bis 37 %, was etwa einem Raster zwischen 11,7 m und 15,2 m entsprach.

JORDAN et al. (2003) ermittelten bei ähnlichem Analyseverfahren und ähnlicher rasterbeprobten Untersuchung auf Grünland für die Trockenmasseerträge während einer gesamten Saison eine optimale Stichprobengröße von maximal 50 %, die etwa einer 35,4 m-Netzbeprobungsdichte entsprach. Bei der vorliegenden Studie zeigten die Ergebnisse für die Trockenmasseerträge eine größere Streuung. Die Werte reichten von 20 % bis 72 %, was etwa Rasterweiten zwischen 7,4 m und 17 m entsprechen würde.

Generell zeigten die Ergebnisse, dass für die meisten Parameter eine optimale Stichprobengröße galt, für die bereits das 12,5 m-Raster zu groß war. Die einzige Ausnahme stellten der Mg-Gehalt und der N_t -Gehalt dar, für die auch mit dem 25 m-Raster noch eine optimale Stichprobenanzahl erreicht werden konnte. Dies hing damit zusammen, dass diese beiden Parameter die geringsten Variationskoeffizienten aufwiesen. Allerdings konnte nur für zwei von drei Teilflächen die optimale Stichprobenanzahl berechnet werden, da jeweils auf einer Teilfläche die Daten nicht normalverteilt waren und daher die Berechnung nicht möglich war.

4.8.1.2 Qualität der Interpolation bei verschiedenen Rasterweiten

Wie schon in der Arbeit von GOTWAY et al. (1996), sowie von KRAVCHENKO and BULLOCK (1999) wurde der Variationskoeffizient zur Beurteilung der Qualität der Interpolationen verwendet. Es galt herauszufinden, ob bei einer Reduktion der Rasterpunkte die gemessene Variabilität sowohl im Feld als auch bei der Interpolation erhalten bleibt oder über- bzw. unterschätzt wird. Im vorliegenden Versuch wurde allerdings nur bei vier von neun Parametern (pH-Wert, N_t -Gehalt, *Lolium perenne*, Trockenmasse) und nur auf jeweils einer Teilfläche ein eindeutiges Ergebnis gefunden, dass sich in einmal gleichbleibender, zwei Mal in abnehmender und einmal in zunehmender Variabilität bei Reduktion der Beprobungspunkte auszeichnete. Da diese

Trends unterschiedlich verlaufen und über die Variabilität keine deutliche Aussagen zulassen, ist aus den eigenen Untersuchungen im Gegensatz zu GOTWAY et al. (1996) zu schließen, dass die Streuungsmaßzahlen kein geeignetes Kriterium zur Beurteilung verschiedener Rasterweiten beziehungsweise der Interpolationsergebnisse sind.

Als weiteres Streuungsmaß kommt der mittlere quadratische Fehler (RMSE) als Kriterium zur Beurteilung von Rasterweiten beziehungsweise Interpolationsergebnissen in Betracht (VOLTZ and WEBSTER, 1990; KNOTTERS, et al., 1995; BOURENNANE et al., 2000; MUELLER et al., 2001). Im Vergleich zum 6,25 m-Raster nahm der RMSE mit zunehmendem Abstand der Rasterpunkte in insgesamt 17 von 27 Fällen (9 Parameter * 3 Teilflächen) zu. Auf allen drei Teilflächen traf dieser Befund für drei Parameter zu (pH-Wert, Mg-Gehalt, *Dactylis glomerata*). Beim N_t-Gehalt blieb der RMSE auf zwei von drei Teilflächen bei zunehmendem Abstand der Rasterpunkte gleich. Beim P-Gehalt nahm der RMSE auf zwei von drei Teilflächen ab und jeweils bei einer von drei Teilflächen nahmen N_t- beziehungsweise P-Gehalt zu. Bei vier von neun Parametern und auf sechs Teilflächen blieb der RMSE weder gleich noch war ein Trend festzustellen. Generell zeigten die Ergebnisse dieses Streuungsmaßes, dass in mehr als 60 % der Fälle die real vorhandene räumliche Variabilität mit zunehmendem Rasterpunktabstand weniger gut abgebildet wurde. Allerdings zeigte sich in den anderen Fällen auf einer oder mehreren Teilflächen kein eindeutiges Bild. Nicht in jedem Fall nahm bei einer Vergrößerung der Rasterweite der RMSE zu. Ein weiteres Problem bei der Beurteilung liegt darin, dass die RMSE-Werte keinen Vergleich der Parameter untereinander erlauben, sondern nur bei der Stichprobendichte innerhalb eines Parameters (vergleiche Kapitel 3.8.1.3). Daher kann selbst für die drei Parameter, bei denen in allen drei Teilflächen der RMSE mit zunehmender Rasterweite größer wurde, nicht gesagt werden, bei welchem Parameter eher eine größere Rasterweite verwendet werden kann (als bei einem anderen Parameter). Insofern ist damit keine parameterunabhängige Empfehlung der Rasterweite zu befürworten. Darüber hinaus gibt es in der Literatur keine objektiven Anhaltspunkte für einen Schwellenwert, den ein RMSE unterschreiten müsste, um eine Interpolation als ausreichend gut beurteilen zu können.

Zur Beurteilung von Interpolationen bei unterschiedlichen Rasterweiten wurde zusätzlich schließlich die Vorhersagbarkeitsgüte (G-Wert - GOTWAY et al., 1996; SHI et al., 2000; MUELLER et al., 2001; JORDAN et al., 2003; KRAVCHENKO, 2003) herangezogen. Gegenüber den zuvor genannten Kriterien hat der G-Wert den Vorteil, dass er als relatives Maß bezogen auf den Mittelwert und die Homogenität der Fläche Interpolationen verschiedener Parameter untereinander vergleichbar macht. Ein G-Wert von 100 bedeutet, dass der Ausgangswert der Realitätskarte und der interpolierte Wert (100 %) übereinstimmen. Als objektiver Anhaltspunkt für einen Schwellenwert kann beim G-Wert allerdings nur der Wert 0 herangezogen werden. G-Werte zwischen 0 und 100 zeigen an, dass die Interpolation ein besseres Ergebnis liefert, als wenn jeder Punkt durch den Mittelwert aller Ausgangswerte geschätzt würde. Negative G-Werte zeigen ein schlechteres Ergebnis an als die durch Schätzung anhand des Mittelwertes gewonnenen Zahlen. Zum Vergleich verschiedener Rasterweiten ist dieser Schwellenwert jedoch nur bedingt geeignet, da er immer noch eine große Spanne für die zu beurteilenden Werte (0 bis 100) offen lässt. Bei den Interpolationen wurde für die

G-Werte eine Spannweite von insgesamt -541 bis 97 gefunden (Abb. 56). Die für die drei Teilflächen zusammengefassten G-Werte der Karten zeigten schon bei dem 12,5 m-Raster durchschnittliche G-Werte, die bei 41 lagen. Bei dem 25 m-Raster lagen sie bereits bei -20 und bei dem 50 m-Raster lagen sie bei -65.

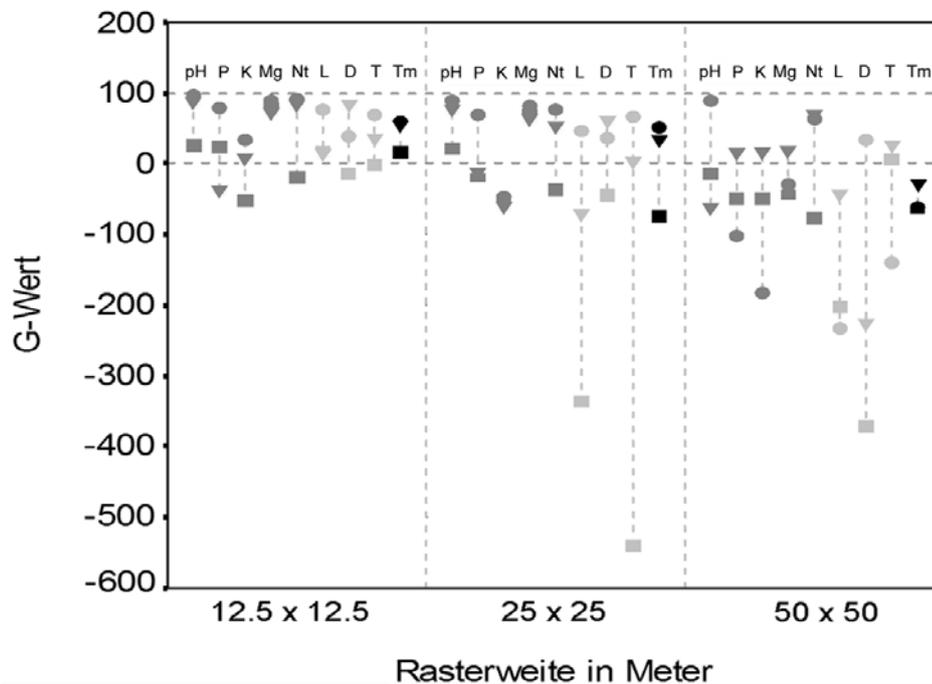


Abb. 56: G-Werte für die Intensivflächen I01 (Dreieck), I02 (Kreis) und I03 (Viereck) getrennt nach untersuchten Parametern und Rasterweite. In Dunkelgrau sind die Umweltfaktoren, in Hellgrau Vegetation und in Schwarz die Trockenmasse dargestellt (Abkürzungen: pH = pH-Wert; P = P-Gehalt; K = K-Gehalt; Mg = Mg-Gehalt; Nt = N_t-Gehalt; L = *Lolium perenne*; D = *Dactylis glomerata*; T = *Trifolium repens*; Tm = Trockenmasse).

Betrachtet man die Fälle (9 Parameter * 3 Teilflächen) im Einzelnen, zeigt sich, dass mit zunehmender Rasterweite der G-Wert in 19 von 27 Fällen abnahm, in einem Fall zunahm und 7 Fällen sich uneinheitlich verhielt. Bei insgesamt 4 Parametern (pH-Wert, Mg-Gehalt, N_t-Gehalt, *Dactylis glomerata*) war auf allen drei Teilflächen ein abnehmender Trend im G-Wert mit zunehmender Rasterweite festzustellen. Bei den anderen Parametern war auf einer oder auf zwei der drei Teilflächen kein einheitlicher Trend zu beobachten. Auf allen Teilflächen, für die bei zunehmender Rasterweite ein abnehmender G-Wert festgestellt wurde, wurde geprüft, bis zu welcher Rasterweite die G-Werte noch positiv waren. In 10 von 27 Fällen war dies noch bei einer Rasterweite von 25 m der Fall. In 5 von 27 Fällen war sogar bei einer Rasterweite von 50 m der G-Wert noch positiv. In 2 von 27 Fällen war nur noch bei einer Rasterweite von 12,5 m der G-Wert noch positiv und in 2 weiteren Fällen waren die G-Werte für alle Rasterweiten negativ. Für die einzelnen Parameter zeigte sich, dass beim pH-Wert und beim Mg-Gehalt mindestens mit einer Rasterweite von 25 m noch positive G-Werte für alle drei Teilflächen vorhanden waren. Bei den zwei weiteren Parametern mit einheitlichem abnehmendem Trend im G-Wert, nämlich N_t-Gehalt und *Dactylis glomerata*, waren zwar auf zwei Teilflächen die G-Werte bis zu einer Rasterweite von 50 beziehungsweise 25 m

noch positiv, allerdings war auf jeweils einer der Teilflächen für jede Rasterweite der G-Wert negativ. Insgesamt zeigte sich also, dass in mehr als 70 % der Fälle die real vorhandene räumliche Variabilität mit zunehmendem Rasterpunktabstand weniger gut abgebildet wurde und in mehr als 55 % der Fälle eine Rasterweite von mindestens 25 m noch positive G-Werte lieferte. In den anderen Fällen waren die Ergebnisse jedoch uneinheitlich.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass unabhängig vom Parameter und von der Rasterweite die höchsten G-Werte auf der Teilfläche I02 gefunden werden konnten. Tatsächlich können zwei Drittel aller höchsten G-Werte der Teilfläche I02 zugeordnet werden, ein weiteres Drittel entfällt auf die Teilfläche I01, während die Teilfläche I03 am schlechtesten abschneidet. Charakteristisch für die Fläche I02 waren die starken Beziehungen einiger betrachteter Standortparameter untereinander (wie z.B. zwischen pH-Wert und P- sowie N_t-Gehalt und zwischen P-Gehalt und N_t-Gehalt), die gleichzeitig auch eine stärkere Beziehung zu den Reliefattributen zeigten (siehe Tab. A 46). Dies weist auf eine reliefabhängige Verteilung dieser Parameter hin, was möglicherweise auch zu besseren Interpolationsergebnissen geführt hat. Tatsächlich wurden auf den Flächen, auf denen die Beziehungen zwischen Standortparametern und Reliefattributen deutlich vorhanden waren, auch bessere Interpolationsergebnisse erzielt. So waren G-Werte der Karten von pH-Wert, P- und N_t-Gehalt auf der Fläche I02 besser gegenüber den Karten derselben Parameter der Flächen I01 und I03. Auch NETTE (2001) fand eine Reliefabhängigkeit von pH-Wert, Kalium-, Humus- und Gesamtstickstoffgehalt für ein Untersuchungsgebiet in der Eifel. Allerdings wurde beim Mg-Gehalt, der ebenfalls gute Interpolationsergebnisse auf der Fläche I02 lieferte, festgestellt, dass er auch auf I03, ohne erkennbare Reliefstruktur dennoch gute Interpolationsergebnisse zeigte. Bei den Karten der Ertragsanteile von Pflanzenarten und der Trockenmasse wurden auf der Fläche I02, im Vergleich zu I01 und I03, ebenfalls bessere Interpolationsergebnisse erzielt. Dabei wurden ebenfalls Korrelationen zwischen den Arten und einigen Standortfaktoren (wie pH-Wert, P- und N_t-Gehalt) sowie den Reliefattributen nachgewiesen, die wiederum auf eine Reliefabhängigkeit hinweisen. Die zuvor gezogenen Schlussfolgerungen für den Zusammenhang zwischen Reliefabhängigkeit und Interpolationsqualität bestätigen sich daher ebenfalls für die Vegetation und - allerdings in deutlich geringerem Maße - für die Trockenmasse.

4.8.1.3 Variogrammanalyse für die interpolierten Parameter

Bei der Berechnung von optimalen Stichprobenmengen, der Untersuchung von Streuungsmaßzahlen sowie bei der Beurteilung der Güte einer Interpolation auf Grundlage des RMSE sowie der der G-Werte werden nur Wertunterschiede zwischen einzelnen Punkten unter rein statistischen Aspekten betrachtet, ohne die räumliche Verteilung der Daten auf der Fläche zu berücksichtigen. Zur statistischen Betrachtung möglicher raumbezogener Effekte wurden ergänzend Variogramm-Analysen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass nur bei fünf von neun interpolierten Parametern, Mg-Gehalt, K-Gehalt, *Lolium perenne*, *Trifolium repens* und Trockenmasse, eine räumliche Abhängigkeit vorhanden war, und dies auch nur auf jeweils einer der

Teilflächen. Zusätzlich war bei *Trifolium repens* und der Trockenmasse die räumliche Abhängigkeit je nach Richtung unterschiedlich ausgeprägt. Die gefundene Reichweite der räumlichen Abhängigkeit bewegte sich insgesamt zwischen 23 m und 34 m.

Auf der Teilfläche, auf der eine räumliche Abhängigkeit für den K-Gehalt von 27,5 m nachgewiesen wurde (was etwa einer Rasterweite von 25 m entspricht), könnte man eine Interpolation mit besseren G-Werten als ohne Vorhandensein von räumlicher Abhängigkeit erwarten. Jedoch zeigte sich auf dieser Teilfläche, dass nur bis zu einer Rasterweite von 12,5 m ein besserer G-Wert erreicht wurde. Bei *Lolium perenne* und beim Trockenmasseertrag waren die G-Werte auf den beiden Teilflächen ohne räumliche Abhängigkeit einmal größer und einmal kleiner als auf der Teilfläche mit räumlicher Abhängigkeit. Beim Mg-Gehalt bzw. bei den Ertragsanteilen von *Trifolium repens* waren die G-Werte auf den beiden anderen Teilflächen ohne räumliche Abhängigkeit beim 12,5 m-Raster und beim 25 m-Raster sogar höher (Tab. A 61 und Tab. A 62 bzw. Tab. A 72 und Tab. A 73) als auf der Teilfläche mit räumlicher Abhängigkeit (Tab. A 60 bzw. Tab. A 74). Daher kann festgestellt werden, dass für die vorliegende Untersuchung das Vorhandensein einer räumlichen Abhängigkeit in den Daten keinen Beitrag zu einer besseren Interpolationsqualität liefert oder eine Vergrößerung der Rasterweite und damit eine Verringerung der Beprobungsdichte ermöglichen würde.

4.8.1.4 Schlussfolgerungen zur optimalen Stichprobenanzahl und Interpolationsqualität

Im Bezug auf den statistisch optimalen Stichprobenumfang zeigte sich, dass sowohl für die einzelnen Parameter als auch für die einzelnen Teilflächen jeweils eine unterschiedliche Anzahl von Stichproben erforderlich war. Für alle bis auf zwei Parameter (Mg-Gehalt und N_t-Gehalt) brachte jedoch bereits das 12,5 m-Raster eine zu geringe Stichprobenzahl.

Neben der Bestimmung der aus statistischer Sicht optimalen Stichprobenanzahl, muss für eine Interpolation auch die Qualität der Ergebnisse geprüft werden. Bei Untersuchungen anderer Autoren (KRAVCHENKO and BULLOCK, 1999; GOTWAY et al., 1996) wurden von den Variationskoeffizienten der zu interpolierenden Parameter Rückschlüsse auf die Qualität der Interpolation gezogen. In der eigenen Untersuchung lieferten Streuungsmaßzahlen (Standardabweichung und Variationskoeffizient) jedoch uneinheitliche Ergebnisse für die verschiedenen Parameter und Teilflächen. Beim RMSE wiederum war die Interpolationsqualität für verschiedene Parameter nicht vergleichbar. Demgegenüber zeigte sich in der vorliegenden Untersuchung, dass der G-Wert am besten geeignet war, um die Qualität einer Interpolation darzustellen. Die Verringerung des G-Werts bei zunehmender Rasterweite in mehr als 70 % der Fälle stellte ein plausibles Ergebnis dar. Des Weiteren wies der G-Wert einen eindeutigen Schwellwert zur Beurteilung der Interpolationsqualität auf. Anhand des G-Wertes wurde festgestellt, dass nur für zwei Parameter, pH-Wert und Mg-Gehalt, eindeutige Ergebnisse für alle drei Teilflächen erzielt wurden. Dabei stellte sich heraus, dass die Rasterweite für eine akzeptable Interpolationsqualität bis auf einen Abstand von 25 m erweitert werden konnte. Auch SCHOELDER et al. (2001) erzielten bei ihren

Untersuchungen sehr gute Interpolationsergebnisse für den pH-Wert. Im Gegensatz zu der Untersuchung von Mg auf einer Grünlandfläche von FROMENT et al. (1996) war eine Rasterweite von 50 m in der eigenen Untersuchung nicht ausreichend. Eine zusätzliche Berücksichtigung der räumlichen Abhängigkeit erbrachte keine Verbesserung der Interpolationsqualität. Einerseits wurde nur bei fünf der neun zu interpolierenden Parametern eine räumliche Abhängigkeit gefunden und dort jeweils auch nur auf einer von drei Teilflächen. Darüber hinaus war die Interpolation nur bei einem Parameter auf der Teilfläche mit räumlicher Abhängigkeit besser als auf den Teilflächen ohne räumliche Abhängigkeit, und dies auch nur bis zu einer Rasterweite, die nur halb so groß war wie die Reichweite der räumlichen Abhängigkeit. Aus der eigenen Untersuchung lässt sich daher nicht ableiten, dass eine räumliche Abhängigkeit des zu interpolierenden Parameters das Ergebnis der Interpolation verbessern oder die anzustrebende Rasterweite für die Beprobung vergrößern könnte.

Wie verschiedene Untersuchungen zeigen, hängt die Qualität einer Interpolation von der statistischen Charakteristik der Daten (KRAVCHENKO and BULLOCK, 1999), von der Beprobungsdichte (BOURENNANE et al., 2000; SCHOELDER et al., 2001) und von einer bestehenden räumlichen Abhängigkeit (BEKELE et al., 2003) ab. Im Vergleich verblieb daher nur der Mg-Gehalt, der auf zwei von drei Teilflächen noch bei einem Raster mit einem 25 m-Abstand sowohl statistischen Anforderungen an die Stichprobengröße genügte als auch ein annehmbares Ergebnis in der Interpolation (positiver G-Wert) ergab. Im Bezug auf die räumliche Abhängigkeit ergab sich jedoch in den wenigen Fällen, wo sie überhaupt festzustellen war, kein eindeutiger Einfluss auf das Interpolationsergebnis.

In der vorliegenden Untersuchung konnte also mit einer Ausnahme (Mg-Gehalt) keine annehmbare Interpolationsqualität für die betrachteten Parameter erzielt werden. Bei einer stufenweisen Verringerung der Stichprobenzahl beziehungsweise Erweiterung des Beprobungsrasters war die Qualität der Ergebnisse im Vergleich zum ursprünglichen hohen und realitätsnahen Beprobungsaufwand von 6,25 m Rasterweite nicht mehr ausreichend.

4.8.2 Variogrammanalyse für die nicht interpolierten Parameter

Die Untersuchung nach räumlichen Abhängigkeiten wurde für die nicht interpolierten Parameter mit dem Ziel durchgeführt, raumbezogene Effekte auf den gesamten Mühlberg zu übertragen, sofern diese auf allen drei Teilflächen vorhanden waren.

Bei einigen der untersuchten Parameter war eine räumliche Abhängigkeit auf jeweils einer der Teilflächen vorhanden. Auf allen drei Flächen zeigt sie allerdings ein zumeist stark voneinander abweichendes räumliches Verhalten.

Auch im Fall einer ausnahmsweise auf allen Intensivflächen vorkommenden räumlichen Abhängigkeit, wie bei *Festuca rubra*, waren die Semivarianzen nur auf den Flächen I02 und I03 relativ ähnlich. Auf der Fläche I01 war das Vorkommen von *Festuca rubra* richtungsabhängig, was die Anwendung des Modells einschränkt, da es richtungsunabhängig ist. Die richtungsabhängigen Variogramme für *Festuca rubra* in Richtung NO-SW und NW-SO zeigen hier einen Locheffekt (das Variogramm fällt nach

dem Erreichen eines Maximums mit zunehmender Schrittweite wieder ab, anstatt bei diesem Maximalwert zu bleiben). Sie sind somit ein Indikator für ein Nebeneinander von Bereichen mit sehr hohen und sehr niedrigen Ertragsanteilen von *Festuca rubra*. Die O-W-Richtung war von einem Variogramm mit absteigendem Verlauf gekennzeichnet, während bei der N-S-Richtung ein „Nugget-Effekt“ auftrat. Trotz richtungsabhängigen Verhaltens dieser Art zeigten die Ergebnisse des omnidirektionalen Variogramms auf der Fläche I01 eine starke räumliche Abhängigkeit von *Festuca rubra*, während sie im Vergleich dazu auf den Flächen I02 mäßig bzw. auf I03 sogar nur schwach war (siehe Kap. 3.8.5).

Für die elektrische Leitfähigkeit wurde auf zwei Intensivflächen eine räumliche Abhängigkeit mit Reichweiten von 25,6 m (auf I01) und von 31 m (auf I02) nachgewiesen. Auf I02 war jedoch eine Modellanpassung dieses Parameters nicht möglich (siehe Kap. 3.8.5). Daher dürfen die Reichweiten nur eingeschränkt miteinander verglichen werden. Bei diesem Parameter wurde außerdem auf I01 eine Anisotropie nachgewiesen. Die richtungsabhängigen Variogramme für die elektrische Leitfähigkeit mit NO-SW und NW-SO Ausrichtung zeigen einen absteigenden Verlauf, während die mit O-W- und N-S-Richtung durch einen Schwellenwert charakterisiert waren. Auf Fläche I01 war ebenfalls eine starke räumliche Abhängigkeit vorhanden.

Aus den vorgefundenen räumlichen Abhängigkeiten der biotischen und abiotischen Parameter waren somit keine zu verallgemeinernden Schlussfolgerungen ableitbar, die auf den gesamten Mühlberg zu übertragen sind.

Für die abiotischen Parameter bestätigte sich erneut, dass die flächige Variabilität der Bodeneigenschaften komplexe räumliche Strukturen ergibt, die vermutlich als zufällige Verteilungen zu interpretieren sind (siehe Kap. 4.1). Diese flächenhafte Variabilität könnte sich vermutlich aber auch an den sehr heterogenen geomorphographischen Reliefattributen orientieren, die sich durch ihre Komplexität jedoch nicht genau erfassen ließen und somit eine deutliche Einschränkung bei der Ermittlung räumlicher Abhängigkeiten darstellen. Auch für die einzelnen Arten und die Trockenmasseerträge wurde festgestellt, dass sie in verschiedenen Vegetationsbeständen unterschiedliche Vorkommensmuster zeigten.

Auf Grund der großen Schwankungen in den Ergebnissen der Teilflächen lassen sich daher für den Geltungsbereich der räumlichen Abhängigkeit der untersuchten Parameter für die Gesamtfläche keine konkreten Aussagen ableiten.

4.9 Bewirtschaftungsrelevante Aspekte der Artenzusammensetzung

Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Standorteigenschaften und der Entwicklung von Grünlandbeständen sind von großer Bedeutung für die Entwicklung praxisorientierter Strategien im Kontext einer teilschlagspezifischen Grünlandbewirtschaftung. Diese zielt darauf ab, die Bewirtschaftung in Abhängigkeit von zuvor erfassten ertragswirksamen Einflussgrößen, die innerhalb eines Schlages variieren, für Teilflächen angepasst zu differenzieren. Damit wird eine optimale Ausnutzung des kulturartenspezifischen Ertragspotenzials bzw. der Ertragserwartung

von abgrenzbaren Teilflächen angestrebt. Bisher wurden Studien zur teilschlagspezifischen Bewirtschaftung vor allem auf Ackerflächen durchgeführt (u. a. FLEMING et al., 2000; MUELLER, 2001; MACHADO et al., 2002). Für Grünland besteht hier noch Forschungsbedarf.

Verglichen mit den jährlich wechselnden Kulturen landwirtschaftlich genutzter Flächen bestehen Grünlandflächen aus einer Gemeinschaft von zahlreichen Pflanzenarten, die als Dauerkulturen über komplexe Systemeigenschaften verfügen. Sie sind halbnatürliche Ökosysteme, die über eine eigene Dynamik verfügen, bestimmte Entwicklungsprozesse durchlaufen und deswegen, insbesondere unter heterogenen Bedingungen, nur schwer zu analysieren sind. Infolgedessen wurde bei der vorgestellten Untersuchung zur Charakterisierung des Standortes ein großes Spektrum von Parametern erfasst (Kap. 3.1) und ausgewertet (Kap. 3.2 – 3.8). Dabei wurden, mit Ausnahme der Düngung, die Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die Vegetationszusammensetzung berücksichtigt. Mögliche Effekte der Düngung blieben wegen der geringen Düngermenge, die auf dem Mühlberg ausgebracht wurde, unberücksichtigt. Durch minimale Düngung bleibt die natürliche, standortbedingte Variabilität der Vegetation erhalten, die sonst infolge der nivellierenden Auswirkungen von höheren Mengen gedüngten Stickstoffs überdeckt worden wäre. Auf den Energiegehalt der Aufwüchse hat das Ausbleiben einer N-Düngung keine direkt erfassbaren Auswirkungen. Dies zeigen auch verschiedene Versuche zur Extensivierung von Grünland (SPATZ und FRICKE, 1992; KÄNDIG et al., 1993; VERCH und KÜHBAUCH, 1994).

Außerdem wurde analysiert, welchen Einfluss die Nutzung auf die Vegetation des frisch angesäten Mühlberges hatte. Dabei konnte weder anhand einer Korrelationsanalyse noch anhand einer Diskriminanzanalyse (Kap. 3.7) festgestellt werden, dass die Nutzung einen Einfluss auf das Vorkommen von Pflanzenarten oder Pflanzengemeinschaften hat.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass auf dieser frisch angesäten Fläche, ohne vollständig abgeschlossenen Etablierungsprozess, die Standortfaktoren und die exogenen Einflussgrößen (Witterung, Krankheiten, Konkurrenz, andere Störeinflüsse) die größte Bedeutung für die Entwicklungsdynamik des untersuchten Grünlandbestandes hatten.

Korrelationsanalysen ergaben, dass keiner der gemessenen Standortparameter für eine Pflanzenart deutlich limitierend war. Daher war es nicht möglich, Strategien zu definieren, die zur Abgrenzung von Arealen mit ähnlichen Wirkungsgefügen geeignet waren. Dass allerdings die komplexe Variabilität von Standort und Kulturpflanze nicht durch einfache lineare Beziehungen erklärt werden kann, wurde auch bei den Ergebnissen zur ackerbaulichen Ertragsvariabilität von KRAVCHENKO und BULLOCK (2000) festgestellt.

Eine weitere Methode zum Auffinden von Wirkungsgefügen bestand in der Durchführung einer Diskriminanzanalyse auf Basis der Unterteilung in Bereiche mit Vegetationsmustern, die eine ähnliche Artenzusammensetzung aufwiesen. Dadurch wurde eine Charakterisierung dieser Areale unter Einbeziehung aller gemessenen

Parameter (Standort, Bestand und Bewirtschaftung) erstellt. Auf diese Weise konnte deren räumliche Verteilung erklärt werden. Die zeitliche Entwicklung wurde ebenfalls berücksichtigt um festzustellen, ob die durch die Analyse ermittelte Einteilung der Flächen während des Untersuchungszeitraums konstant blieb, oder ob von Jahr zu Jahr deutliche Veränderungen stattgefunden haben.

Die zum großen Teil über alle Jahre sehr ähnlichen Ergebnisse der Diskriminanzfunktionen zeigen, dass sich unabhängig vom Jahreseinfluss auch auf dem untersuchten kleinen Maßstab innerhalb einer Grünlandfläche bestimmte funktionale Zusammenhänge zwischen botanischer Zusammensetzung und Standort finden lassen. Diese wurden festgestellt für:

- Das Areal in der nördlichen Spitze des Mühlberges, das von Arten wie *Agrostis gigantea*, *Glyceria fluitans* sowie *Ranunculus repens* charakterisiert war und die Etablierung einer eigenen Pflanzengemeinschaft auf feuchten und phosphorreichen Arealen zeigte.

- Das süd-westliche Areal des Mühlberges mit hohen Anteilen der Schlufffraktion im Boden und geringem Gefälle, auf dem konkurrenzfähige Arten wie *Dactylis glomerata* hohe Ertragsanteile bildeten und im Laufe der Zeit immer stärker in den Vordergrund traten. Dies war auch bei nicht dominanten Arten wie *Poa trivialis* zu beobachten.

Für den Rest der Fläche konnte man lediglich jährlich bedingte Wirkungsgefüge feststellen, die keine Kontinuität über den gesamten Untersuchungszeitraum aufwiesen. Somit war eine Unterteilung in räumlich differenzierte Bewirtschaftungsareale nicht möglich.

Insgesamt lässt sich daraus schließen, dass die Variabilität der Fläche wahrscheinlich zu gering war, um Wirkungsbeziehungen zwischen Standort, Vegetation und Bewirtschaftung zu finden. Eine Ursache hierfür könnte sein, dass die Beprobung der Fläche mit der betrieblichen Bewirtschaftung nicht optimal abzustimmen war. Weiterhin ist nicht auszuschließen, dass die betriebliche Nutzung Unterschiede innerhalb der Fläche teilweise ausgeglichen hat. Die relativ schwachen Zusammenhänge zwischen Grünlandvegetation und Standort können auch darin begründet sein, dass sich die Grünlandvegetation nach der Ansaat im Jahr 1998 noch nicht vollständig an den Standort angepasst hatte. Möglicherweise hat sich die Variabilität der Vegetation erst über mehrere Jahre und nach der Etablierung eines stabilen Grünlandbestandes (nach 2003) ausgebildet. Um gerade diese Differenzierungsprozesse der Grasnarbe und damit potenzielle Ertragsschwächen einzelner Bereiche rechtzeitig zu erkennen, wäre es sinnvoll die Fläche zu späteren Zeitpunkten neu zu beproben.

Aus dem langjährigen Vergleich der Erhebungen könnten Wachstumsdynamiken der Pflanzengemeinschaften wahrscheinlich deutlicher identifiziert und die Beurteilung von ertrags- oder qualitätswirksamen Einflussgrößen erleichtert werden. Dieses Wissen würde es ermöglichen, die Bewirtschaftung schon zu einem frühen Zeitpunkt teilflächenspezifisch an den Standort anzupassen, um so eventuellen räumlichen Ertragsschwächen sowie uneinheitlichen Rohprotein-Rohfaser-Verhältnisse der Grünlandphytozönose entgegenzuwirken.

Die Entwicklung von effektiven und praxistauglichen Erfassungsmethoden der realen

Zustände, die einen gezielten Einsatz von Betriebsmitteln und somit eine ressourcenschonende Wirtschaftsweise ermöglichen, wäre daher nicht nur für den Ackerbau sondern auch für die Bewirtschaftung von Grünland von Bedeutung. Eine schnelle Bewertung der Grünlandflächen könnte z.B. anhand der flächengenauen Ermittlung des Trockenmasseertrags durch die Feldspektroskopie (BIEWER et al., 2006; BIEWER et al., 2007) sowie der Bestandeszusammensetzung durch Einsatz der digitalen Bildanalyse (HIMSTEDT et al., 2006; HIMSTEDT et al., 2007) erfolgen. Die Erfassung des Trockenmasseertrages sowie der Bestandeszusammensetzung durch nicht destruktive Methoden während der Wachstumsperiode würde helfen, Ursachen für schlechtere Wachstumsbedingungen zu erfassen und die Bewirtschaftung gezielt an die jeweiligen Bedingungen anzupassen (EHLERT and ADAMEK, 2005). Zu diesem Zweck können diese Methoden zur raumspezifischen Analyse komplexer Wirkungsbeziehungen zwischen Standort und Pflanzenbestand eingesetzt werden.

Da Grünlandökosysteme über komplexe Wirkungsmechanismen verfügen deren Funktionen, insbesondere unter heterogenen Bedingungen, nur schwer zu analysieren sind und keine deutliche Abtrennung in Bewirtschaftungseinheiten (Teilflächen) zulassen, erscheint es sinnvoll, anstelle räumlich differenzierter größerer Bewirtschaftungsareale den realen Zustand ortsspezifisch zu erfassen und somit durch gezielte Maßnahmen (z.B. Nachsaat mit Leguminosen oder Düngung bei relativ geringer Biomasse aber ausreichender Wasserverfügbarkeit) punktgenau gegenzusteuern.

5. Zusammenfassung

Zur Abbildung heterogener Standorteigenschaften und Ertragspotenziale werden zunehmend flächenhafte Daten nachgefragt. Insbesondere für Grünland, das häufig durch ausgeprägte Standortheterogenität gekennzeichnet ist, ergeben sich hohe Anforderungen an die Wiedergabequalität, denn die realen Verhältnisse sollen in praktikabler Weise möglichst exakt abgebildet werden. Außerdem können flächenhafte Daten genutzt werden, um Zusammenhänge zwischen teilflächenspezifischen Standorteigenschaften und Grünlandaspekten detaillierter zu analysieren und bisher nicht erkannte Wechselbeziehungen nachzuweisen. Für mitteleuropäisches Grünland lagen zu Beginn dieser Arbeit derartige räumliche Untersuchungen nicht oder nur in Teilaspekten vor. Mit der vorliegenden Untersuchung wurden deshalb erstmals in ausführlicher Weise die Wirkungsbeziehungen zwischen Standort- und Grünlandmerkmalen unter Berücksichtigung der Standortheterogenität auf einer Fläche im Bereich der deutschen Mittelgebirge analysiert. Auf dieser Fläche mit hoher Standortvariabilität und weitgehend praxisüblicher Bewirtschaftung wurden Standortfaktoren und Grünlandnarbe in unterschiedlicher und zum Teil sehr hoher Dichte beprobt. Durch räumliche Analysen wurde die Heterogenität der erhobenen Parameter ermittelt. Ergänzend wurden qualitative und quantitative Aussagen zu Methoden der Grünlandbeprobungsdichte hinsichtlich der flächenhaften Wiedergabequalität erarbeitet.

Die Analysen der eigenen, mit hoher Dichte gezogenen Proben wurden zum Vergleich der Beprobung mit geringer Dichte, wie sie häufig praktiziert wird, gegenübergestellt und der damit einhergehende Informationsverlust quantifiziert.

Die zentralen Fragen für die Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Grünlandbeständen waren:

- Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Grünlandbeständen und deren Erfassungsmöglichkeiten innerhalb eines Schlages
- Ermittlung der Flächenheterogenität bezüglich botanischer Artenzusammensetzung, Phytomasse- und Standortparametern schlagbezogen und auf Teilflächen eines Schlages
- Ermittlung räumlicher Muster von Grünlanderträgen, Futterqualität, Artenzusammensetzung und ausgewählten Standortparametern sowie deren zeitliche Dynamik innerhalb eines Schlages
- Analyse der Zusammenhänge zwischen Artenzusammensetzung, Phytomasse- und Standortparametern innerhalb eines Schlages und deren zeitliche Dynamik
- Quantifizierung der Informationsverluste bei der punktuellen Beprobung der Artenzusammensetzung, Phytomasse- und Standortparameter mit unterschiedlicher Rasterweite; Entwicklung und Bewertung von Beprobungsstrategien.

Vor allem sollte die Frage beantwortet werden:

- Lassen sich durch die musterartige Abbildung der Pflanzengemeinschaften auf der Fläche Rückschlüsse auf Standort-, Ertrags- oder Futterqualitätsabhängigkeiten ziehen, die eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung begründen könnten?

Die Untersuchung wurde auf einer 1998 einheitlich angesäten Dauergrünlandfläche im deutschen Mittelgebirge durchgeführt. Ab 2001 wurde sie als extensive Mähweide genutzt. Die 20 ha große Grünlandfläche gehört zum ökologisch bewirtschafteten Versuchsgut „Hessische Staatsdomäne Frankenhausen“ der Universität Kassel und liegt ca. 230 m über NN. Der Jahresniederschlag beträgt durchschnittlich 650 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8,5 °C. Sie ist durch ein Gelände mit Hangneigungen bis zu 20 % gekennzeichnet und vorwiegend in nordwestliche Richtung exponiert. Der obere Buntsandstein (Röt), der vor allem in Senken von Löss und Kolluvien überlagert wird, bildet die geologische Grundlage. Die Heterogenität der geomorphographischen Reliefattribute der Fläche spiegelt ein breites Spektrum unterschiedlicher Bodentypen wider (Hauptbodentypen: Braunauenboden, Gley, Kolluvium, Parabraunerde, Pelosol, Braunerde und Ranker). Die räumliche Erhebung der Grünlandfläche enthält Beprobungsstellen in einem Raster von 50 m mit 97 Punkten bei einer Probenflächengröße von 1 m². Zusätzlich erfolgten jährlich dichtere Beprobungen (im Abstand von 6,25 m zwischen den jeweiligen Punkten) innerhalb dreier Teilbereiche des 50 m-Rasters. An allen Stellen erfolgte seit 2001, jeweils jährlich zur ersten Nutzung, die Erfassung der Bestandeszusammensetzung (Ertragsanteilschätzung) nach der Methode KLAPP/STÄHLIN. Ergänzend wurde die Trockenmasse ermittelt sowie die Futterqualität (nur für 2002 - 2003) bestimmt. Über die Vegetationsaufnahmen wurden Bestandeswertzahlen, Stickstoff- und Feuchtezahlen berechnet. Zusätzlich wurden an denselben Probestellen bis 2003 zahlreiche Parameter zur Charakterisierung des Standortes erhoben (pH-Wert; verfügbares Mg, K, P; C_t-, N_t-, C_{org}-Gehalt im Boden; Bodenprofilansprache; Elektrische Leitfähigkeit; Lagerungsdichte der Hauptwurzelzone; nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums und gravimetrisches Wasservolumen; Topographie; Bodeneigenschaften nach Bodenschätzung; Bewirtschaftungsdaten). Alle zuvor aufgelisteten Standortdaten umfassen einen Zeitraum von drei Jahren (2001-2003), aufgenommen zu jeweils verschiedenen Zeitpunkten. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Von den sieben im Herbst 1998 angesäten Arten traten nur *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* und *Trifolium repens* stark in den Vordergrund. Im Laufe der Jahre zeigten die durchschnittlichen Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* eine kontinuierliche Zunahme, bei *Lolium perenne* blieben sie relativ konstant, während es bei *Trifolium repens* einen starken Rückgang, insbesondere zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungsjahr, gab.

Für die Untersuchung der Verteilungsmuster wurden, mit Hilfe von GIS - Karten der Ertragsanteile, Klassen für jede angesäte Art erstellt. Dies ermöglichte Aussagen über die räumliche Verteilung der Ertragsanteile einzelner Arten und deren unterschiedliche Ausprägung in den einzelnen Untersuchungsjahren.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit war es nicht möglich, mittels einfacher Korrelationsanalyse eindeutige Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Ertragsanteilen der Arten, den Trockenmasseerträgen und den Futterqualitäten, den

gemessenen abiotischen Parametern sowie der Bewirtschaftung nachzuweisen.

Ebenso waren aus den untersuchten räumlichen Abhängigkeiten der Arten, den Standortfaktoren sowie dem Ertrag auf den feingerasterten Teilflächen keine verallgemeinerbaren Schlussfolgerungen ableitbar, die eine Übertragbarkeit der raumbezogenen Charakteristik der Parameter auf den gesamten Mühlberg zugelassen hätten.

Eine weitere Methode zum Auffinden von Wirkungsgefügen bestand in der Durchführung einer Diskriminanzanalyse auf der Basis einer Unterteilung in Bereiche mit Vegetationsmustern, die eine ähnliche Artenzusammensetzung aufwiesen. Dadurch wurden diese Areale mit unterschiedlichen Vegetationsmustern unter Einbeziehung aller gemessenen Parameter (Standort-, Bestands- und Bewirtschaftungsparameter) eingehender charakterisiert und deren räumliche Verteilung erklärt. Ebenfalls wurde die zeitliche Entwicklung berücksichtigt, um festzustellen, ob die Artenzusammensetzung der Teilflächen während des Untersuchungszeitraums konstant blieb oder sich von Jahr zu Jahr deutlich veränderte.

Die Diskriminanzfunktionen lieferten für die drei Untersuchungsjahre meist sehr ähnliche Ergebnisse und ließen, unabhängig vom Jahreseinfluss, bereits bestimmte funktionale Zusammenhänge zwischen botanischer Zusammensetzung und Standort, auch auf dem untersuchten kleinen Maßstab innerhalb einer Grünlandfläche, finden:

- Das Areal in der nördlichen Spitze des Mühlberges war von Arten wie *Agrostis gigantea*, *Glyceria fluitans* sowie *Ranunculus repens* charakterisiert. Es etablierte sich eine eigene Pflanzengemeinschaft auf diesen feuchten und phosphorreichen Arealen.
- Im süd-westlichen Bereich des Mühlberges, der hohe Anteile der Schlufffraktion im Boden und geringes Gefälle aufweist, bildeten konkurrenzfähige Arten wie *Dactylis glomerata* hohe Ertragsanteile und traten im Laufe der Zeit immer stärker in den Vordergrund. Dies war auch bei nicht dominanten Arten wie *Poa trivialis* zu beobachten.

Auf dem Mühlberg wurde *Trifolium repens* näher untersucht, da er hinsichtlich der Stickstofffixierleistung und der Futterqualitätseigenschaften sehr wichtig für den Ökologischen Landbau ist. Die Auswertung mittels multipler Regressionsanalyse mit dem Ziel, Einflüsse von Standortfaktoren auf das Vorkommen von *Trifolium repens* zu untersuchen, zeigte in allen Jahren einen positiven Zusammenhang zwischen den Weißkleeertragsanteilen und einem pH-Wert zwischen 6,5 und 7,2. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden, im Widerspruch zu den Erwartungen, sowohl in 2001 als auch in 2002 negative Beziehungen zwischen P-Gehalt und Weißkleeanteil festgestellt. Tonreiche Böden begünstigten eindeutig, zumindest in 2001, ebenfalls das Vorkommen des Weißkleees. In den folgenden Jahren wurde der Einfluss der Tonfraktion von weiteren Parametern wie z.B. dem Mg-Gehalt überlagert.

Zur Quantifizierung von Informationsverlusten, verursacht durch punktuelle Erfassung der Pflanzenarten, Phytomasse- und Standortparameter in unterschiedlichen Rasterweiten, untersuchte die Versuchsanstellerin zusätzlich drei feingerasterte Teilflächen. Dazu berechnete sie die aus statistischer Sicht optimale Stichprobenanzahl sowie die Qualitätsmaße Variationskoeffizient, RMSE und den G-Wert. Außerdem wurde eine Variogramm-Analyse durchgeführt, um zu prüfen, ob räumliche

Abhängigkeiten nachweisbar sind und ob diese einen Beitrag zur besseren Interpolationsqualität liefern können. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte nur für den Mg-Gehalt bei 25 m-Abständen eine hohe Interpolationsqualität (G-Wert) von 71 bis 89 ermittelt werden. Die Werte für die anderen betrachteten Parameter waren deutlich schlechter, da bei einer stufenweisen Verringerung der Stichprobenzahl, d.h. Erweiterung des Beprobungsrasters, die Qualität der Ergebnisse im Vergleich zur ursprünglichen hohen Beprobungsdichte (Rasterweite von 6,25 m) nicht mehr ausreichend war. Es konnte also nachgewiesen werden, dass die realen Verhältnisse auf der Fläche mit einem 50 m Beprobungsraster nur unzureichend abgebildet werden. Aus der eigenen Untersuchung lässt sich außerdem nicht ableiten, dass eine räumliche Abhängigkeit der untersuchten Parameter das Ergebnis der Interpolation verbessert oder zur Vergrößerung der Rasterweite für die Beprobung genutzt werden kann.

Grünlandökosysteme verfügen über komplexe Wirkungsmechanismen, deren Funktionen, insbesondere unter heterogenen Bedingungen, nur schwer zu analysieren sind. Über die durchgeführten Analysen, unter Einbeziehung von räumlichen und zeitlichen Daten, ließen sich Hinweise auf Beziehungen zwischen Standortfaktoren und Bestandesparametern ableiten. Dabei sind Komplexe erkennbar, die sich aus Kombinationen von Parametereigenschaften wie z. B. der Dominanz der Bestandespartner, der Wasserverfügbarkeit, dem Bodentyp und einiger chemisch-physikalischer Bodeneigenschaften ergeben. Mit diesen können unterschiedliche Areale abgegrenzt und charakterisiert werden. Inwieweit derartige Beziehungen quantitativ genauer beschreibbar sind, bleibt auf Grund der verbliebenen unerklärten Varianz im Datensatz dieser Studie offen.

6. Literaturverzeichnis

- ACUÑA, P. and D. WILMAN, 1993. Some effects of added phosphorus on perennial ryegrass-white clover swards. *Grass and Forage Science*. 48: 416-420.
- ADOLF, G. und HM. BISCHOFF, 1990. Untersuchungen zum Pflanzenbestand und Ertrag in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngerform auf Flussauenstandorten an der mittleren Elbe. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde*. 34, 4: 267-273.
- AFYUNI, M.M., CASSEL, D.K. and W.P. ROBARGE, 1993. Effect of landscape position on soil water and corn silage yield. *Soil Science Society of America Journal*. 57: 1573-1580.
- AG BODENKUNDE DER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER UND DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE IN DER BRD, 1996. *Bodenkundliche Kartieranleitung (KA4, 4. verbesserte und erweiterte Auflage)*, Hannover.
- AGTERBERG, F.P., 1984. Trend surface analysis. In G.L. Gaile and C.J. Willmott (ed.) *Spatial statistics and models*. Reidel, Dordrecht, Netherlands.
- ANSLOW, R. C. and J. O. GREEN, 1967. The seasonal growth of pasture grasses. *Journal of Agricultural Science*. 68: 109–122.
- BAIER, J., BAIEROVA, V. und E. ANDRES, 1995. Einfluss der langjährigen Düngung auf den Ertrag und Nährstoffinhalt der Dauerwiese. Kongressband 1995 Garmisch-Partenkirchen. Vorträge zum Generalthema des 107. VDLUFA-Kongresses vom 18.-23.9.1994 in Garmisch-Partenkirchen: Grünland als Produktionsstandort und Landschaftselement, VDLUFA-Verlag, Darmstadt. 177-180.
- BAILEY, D., 1995. Daily selection of feeding areas by cattle in homogeneous and heterogeneous environments. *Applied Animal Behaviour Science*. 45, 3/4: 183-200.
- BAILEY, J.S., HIGGINS, A. and C. JORDAN, 2000. Empirical models for predicting the dry matter yield of grass silage swards using plant tissue analyses. *Precision Agriculture*. 2: 131-145.
- BANSZKI, T., 1992. Effect of NPK and Ca fertilizer application on grass grown on a solonetz meadow soil. *Agrokemia es Talajtan*. 41, 3/4: 283-298.
- BARTELS, R. und B. SCHEFFER, 1990. Zur Grunddüngung von Dauergrünland. Kongressband 1990 Bayreuth. Vorträge zum Generalthema des 101. VDLUFA-Kongresses vom 18.-23.9.1989 in Bayreuth: Ordnungsgemäße Landwirtschaft, VDLUFA-Verlag, Darmstadt. 30: 255–260.
- BAYER, U. und T. BECK, 1992. Einfluss der Kalkversorgung auf Parameter der Bodenfruchtbarkeit am Beispiel eines langjährigen Dauerdüngungsversuches zu Grünland. *Bayerisches-Landwirtschaftliches-Jahrbuch*. 69, 4: 453-464.
- BEKELE A., DOWNER, R.G., WOLCOTT, M.C., HUDNALL, W.H. and S. H. MOORE, 2003. Comparative evaluation of spatial prediction methods in a field experiment for mapping soil potassium. *Soil Science*. 168: 15–28.
- BENNET, L.T. and M.A. ADAMS, 1998. Indices for characterizing spatial variability of soil nitrogen semi-arid grassland of northwestern Australia. *Soil Biology and Biochemistry*: 31: 735-746.
- BERGMANN, W., 1993. *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen* Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart.
- BIEWER S., ERASMI, S., FRICKE, T., KAPPAS, M. und M. WACHENDORF, 2006. Bestimmung des Trockenmasseertrags von Leguminosen / Gras-Gemengen durch Feldspektroskopische Messungen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*. 18: 178-179.

- BIEWER S., HIMSTEDT., M., FRICKE, T., und M. WACHENDORF, 2007. Bestimmung des Trockenmasseertrags von Weidelgrasbeständen unterschiedlicher Düngestufen und Klee grasgemenge durch hyperspektrale Datensätze. 51. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Göttingen. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau. 8: 140-143.
- BLATTMANN, W., 1968. Frühes und spätes Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) in Reinsaat, im Gemisch mit Weißklee, bei unterschiedlicher Schnitthäufigkeit und Beweidung. Das wirtschaftseigene Futter. 14: 264-277.
- BORGELT, S.C., WIEDA, R.E. and K.A. SUDDUTH, 1997. Geostatistical analysis of soil chemical properties from nested grids. Applied Engineering in Agriculture. 13, 4: 477-483.
- BOURENNANE, H., KING, D. and A. COUTURIER, 2000. Comparison of kriging with external drift and simple linear regression for predicting soil horizon thickness with different sample densities. Geoderma. 97: 255-271.
- BRANDT, M., 2001. Bodenprofile der hessischen Staatsdomäne Frankenhäusen. Arbeitsberichte Nr. 4. Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich 11, Fachgebiet Bodenkunde, Kassel.
- BRANDT, M., WILDHAGEN, H. und J. HEß, 2001a. Bodenmonitoring auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhäusen: Kartier- und Analysenergebnisse. Arbeitsberichte Nr. 5. Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich 11, Fachgebiet Bodenkunde, Kassel.
- BRIEMLE, G., 1997. Zur Anwendbarkeit ökologischer Wertzahlen im Grünland. Journal of Applied Botany - Angewandte Botanik. 71: 219-228.
- BRINGMARK, E. and L. BRINGMARK, 1998. Improved soil monitoring by use of spatial patterns, integrated soil analysis. Ambio. 27, 1: 45-52.
- BRUBAKER, S.C., JONES, A.J., FRANK, K. and D.T. LEWIS, 1994. Regression models for estimating soil properties by landscape position. Soil Science Society of America Journal. 58: 1763-1767.
- CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J. M., PARKIN, T.B., KARLEN, D.L., TURCO, R.F. and A.E. KONOPKA, 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal. 58: 1501-1511.
- CHANG, J., CLAY, D.E., CARLSON, C.G., MALO, D., CLAY, S.A., LEE J. and M. ELLSBURY, 1999. Precision Farming Protocols: Part 1. grid distance and soil nutrient impact on the reproducibility of spatial variability measurements. Precision Agriculture. 1: 277-289.
- CLAY, D.E., CARLSON, C.G., CHANG, J., CLAY, S.A. and D.D. MALO, 1998. Systematic Evaluation of Precision Farming Soil Sampling Requirements. SDSU Precision Farm Project. <http://www.abs.sdstate.edu/abs/precisionfarm/Precfc.html> (31/10/01).
- CONNOLLY, J. and M. WACHENDORF, 2001. Developing multisite dynamic models of mixed species plant communities. Annals of Botany. 88: 703-712.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1997. DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer, 7. erw. überarbeitete Aufl. 212S. DLG Verlag, Frankfurt/M., Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle.
- DURLESSER, H., 1999. Bestimmung der Variation bodenphysikalischer Parameter in Raum und Zeit mit elektromagnetischen Induktionsverfahren. Diss. TU München, FAM-Bericht 35, Shaker Verlag, Aachen.
- DYCKMANS, A., 1989. Die Leistungsfähigkeit von Weißklee - Sein Beitrag zur Ertragsleistung von Dauergrünland-Neuansäen - 1. Mitteilung: Gesamtauswertung über alle Versuchsstandorte. Das wirtschaftseigene Futter. 35, 1: 29-48.
- EHLERT, D. and R. ADAMEK, 2005. Crop variability and resulting management effects. Precision Agriculture (Wageningen Academic Publishers). 193-200.

- ELGERSMA, A. and H. SCHLEPERS, 1997. Performance of white clover/perennial ryegrass mixtures under cutting. *Grass and Forage Science*. 52:134-146.
- ELLENBERG, H. WEBER, H.-E., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. und D. PAULISSEN, 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. Auflage. *Scripta Geobotanica*. 18: 1-258.
- ENGLUND, E., WEBER, D. and N. LEVIANT, 1992. The effects of sampling design parameters on block selection. *Mathematical Geology*. 24, 3: 329-343.
- ERNST, P. und E.-G. LOEPER, 1976. Temperatureentwicklung und Vegetationsbeginn auf dem Grünland. *Das wirtschaftseigene Futter*. 22, 1: 5-12.
- FLEMING, K.L., WESTFALL, D.G., WIENS D.W. and M.C. BRODAHL, 2000. Evaluating farmer defined management zone maps for variable rate fertilizer application. *Precision Agriculture*. 2: 201-215.
- FRAME, J. and G.A. BOYD, 1984. Response of white clover to climatic factors. Proc. 10th general meeting of the European Grassland Federation. 171-175.
- FRANKE, C., 2003. Grünland an der unteren Mittelelbe – Vegetationsökologie und landwirtschaftliche Nutzbarkeit. *Dissertationes Botanicae*, J. Cramer, Stuttgart, Band 370.
- FRANZEN, D.W., HOFMAN V.L., CIHACEK, L.J. and L.J. SEWENSON, 1999. Soil nutrient relationships with topography as influenced by crop. *Precision Agriculture*. 1: 167-183.
- FROMENT, M.A., CHALMERS, A.G., PEEL, S. and C.J. DAWSON. 1996. The use of grid soil sampling to measure soil nutrient variation within intensively managed grass fields in the UK. Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture (ASA/CSSA/SSSA), Madison, WI, USA. 227-236.
- GEYGER, E., 1964. Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Stiftung Rübel. Zürich. 41-112.
- GILLON, D., HOUSSARD, C. and R. JOFFRE, 1999. Using near-infrared reflectance spectroscopy to predict carbon, nitrogen and phosphorus content in heterogeneous plant material. *Oecologia*. 118: 173-182.
- GOTWAY, C.A., FERGUSON, R.B., HERGERT, G.W. and T.A. PETERSON, 1996. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping that lognormal ordinary kriging will be a better choice soil parameters. *Soil Science Society of America Journal*. 60: 1237–1247.
- GRAEFF-HÖNNINGER, S., LINK, J., and W. CLAUPEIN, 2004. Modellierung teilflächenspezifischer Ertragsvariabilität in Mais am Beispiel des Schlages "Hoher Markstein. Tagungsband der 47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Braunschweig. 19: 257-258.
- GRUBBS, F., 1969. Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples, *Technometrics*. 11, 1: 1-21.
- GUPTA, R.K., MOSTAGHIMI, S., MCCLELLAN, P.W., ALLEY, M.M. and D.E. BRANN, 1997. Spatial variability and sampling strategies for NO₃-N, P, and K determinations for site-specific farming. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 40, 2: 337-343.
- GUTSER, R., VOLLRATH, H. und W. KÜHBAUCH, 1978. Wirkung einer K- und Na- Düngung zu einer Dreischnittwiese auf K-fixierendem Boden. *Das wirtschaftseigene Futter*. 24, 3/4: 221-238.
- HALD, A., 1960. *Statistical theory with engineering application*. Wiley, New York, USA.
- HAYNES, R. J., 1980. Competitive aspects of the grass-legume association. *Advances in agronomy*. 33: 227-261.
- HIMSTEDT M., FRICKE, T. und M. WACHENDORF, 2006. Entwicklung einer bildanalytischen Methode zur Abschätzung des Leguminosenanteils in Futterbaugemengen. *Mitteilungen*

- der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. 18: 182-183.
- HIMSTEDT M., FRICKE, T. und M. WACHENDORF, 2007. Einsatz von Farbinformationen bei der Bildanalyse zur Verbesserung der Schätzgenauigkeit von Leguminosenanteilen. 51. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Göttingen. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau. 8: 148-151.
- HOFFMANN, G., 1991. Die Untersuchung von Böden. Methodenbuch, Band 1, 4. Auflage, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- INGWERSEN, B., WACHENDORF, M. und F. TAUBE, 2001. Entwicklung der Weißklee-Anteile von Dauergrünlandbeständen bei differenzierter Nutzungsform (Weide, Mähweide, Schnitt) und N-Düngungsintensität. 45. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Gumpenstein (Österreich). Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau. 3: 95-96.
- ISAAKS, E.H. and R.M. SRIVASTAVA, 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, USA.
- JANSSENS, F., PEETERS, A., TALLOWIN, J., BAKKER, J., BEKKER, R., FILLAT F. and M. OOMES, 1998. Relationship between soil factors and grassland diversity. *Plant and Soil*. 202: 69-78.
- JOHNSTON, A.E., POULTON, P.R., DAWSON, C.J. and M.J. CRAWLEY, 2001. Inputs of nutrients and lime for the maintenance of fertility of grassland soils. *Proceedings-International-Fertiliser-Society*, London, UK. 486: 1–39.
- JORDAN, C., SHI, Z., BAILEY, J. and A. HIGGINS, 2003. Sampling strategies for mapping "within-field" variability in the dry matter yield and mineral nutrient status of forage grass crops in cool temperate climates. *Precision Agriculture*. 4: 69-86.
- JÜRGENS, G., 1993. Welchen Einfluss hat ein natriumhaltiger Stickstoffdünger in Kombination mit Gülle auf das Grünlandwachstum und auf die Futterqualität? 37. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Husum. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau. 88-94.
- KÄDING, H., SCHALITZ, G. und W. LEIPNITZ, 1993. Veränderungen der Gehalte an pflanzlichen Inhaltsstoffen durch extensive Bewirtschaftung von Niedermoorgrünland. *Das wirtschaftseigene Futter*. 39: 157-167.
- KAISER, T., KÄDING, H., KIESEL, J., MÜLLER, L., HIEROLD, W. and A. BEHRENDT, 2005. The derivation of grassland vegetation types on the basis of site and landuse characteristics. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 51, 4: 405 – 416.
- KERSEBAUM, K.C., REUTER, H.I., LORENZ, K. and O. WENDROTH, 2002. Modelling crop growth and nitrogen dynamics for advisory purposes regarding spatial variability. In: *Agricultural System Models in Field Research and Technology Transfer*. CRC Press. Boca Raton, FL. 227-250.
- KLINK, H.-J., 1969. Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 112 - Kassel. *Geographische Landesaufnahme 1:200000: Naturräumliche Gliederung Deutschlands*. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn - Bad Godesberg.
- KLÖCKER, W., 1974. Ertrag und Bestandsentwicklung einer einfach und vielseitig zusammengesetzten Dauerweideansaat. *Das wirtschaftseigene Futter*. 20, 2: 245-249.
- KNOTTERS, M., BRUS, D.J. and J.H. OUDE VOSHAAR, 1995. A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations. *Geoderma*. 67: 227-246.
- KÖHLER, W., SCHACHTEL, G., und P. VOLESKE, 1996. *Biostatistik. Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- KRAVCHENKO, A. and D.G. BULLOCK, 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy Journal*. 91: 393–400.
- KRAVCHENKO, A.N. and D.G. BULLOCK, 2000. Correlation corn and soybean grain yield

- with topography and soil proprieties. *Agronomy Journal*. 92: 75-83.
- KRAVCHENKO, A.N., 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of America Journal*. 67: 1564-1571.
- KULAKOV, V.A., BALAEVA, O., GABORCIK, N., KRAJCOVIC, V. and M. ZIMKOVA, 1990. Effect of lime and mineral fertilizer on the agrochemical indices of soddypodzolic soils and yield of grass pasture in the central region of the non-chernozem zone of the USSR. *Proceedings of 13th General Meeting of the European Grassland Federation, Banska Bystrica, Czechoslovakia*. 249-252.
- KUMAR, S., 1996. *Surface Triangulation: A Survey*. Technical Report. Department of Computer Science, University of North Carolina.
- KÜNTZEL, U., 1996. Einfluss von mineralischer Stickstoffdüngung und Exkrementen der Weidetiere auf den Ertrag und Stickstofffraktionen im Boden unter Grünland. 40. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Markedorf. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau*. 57-59.
- KUTCHER, H.R., MALHI, S.S. and K.S. GILL, 2005. Slope Position, Nitrogen Fertilizer and Fungicide Effects on Diseases and Productivity of Wheat on a Hummocky Landscape *Agronomy Journal*. 97: 1452-1459.
- KUZYAKOVA, I.F., KUZYAKOV, Y.V. und E. THOMAS, 1997. Wirkung des Mikroreliefs auf die räumliche Variabilität des Kohlenstoffgehaltes eines Podzoluvisols in einem Dauerdüngungsversuch. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 160: 555-561.
- LARK, R.M., 1999. Soil-landform relationships at within-field scales: an investigation using continuous classification. *Geoderma*. 92:141-165.
- LASCANO, R.J. and J.L. HATFIELD, 1992. Spatial variability of evaporation along two transects of a bare soil. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 341-346.
- LEHMANN, G., 2002. *Statistik Einführung in die mathematischen Grundlagen für Psychologen, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- LEISEN, E., 2003. Praxisgestützte Reifeprüfung zur Einschätzung der Futterqualität auf Öko-Betrieben. 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Ökologischer Landbau der Zukunft, Wien. 189-192.
- LEX, J. and U. SIMON, 1993. Zum Einfluss der Mischungspartner und der Nutzungsintensität auf Ertragsbildung und Futterwert von Weißklee-Gras-Gemengen 1. Mitteilung: Weißklee-Ertragsanteil und Trockenmasseertrag. *Das wirtschaftseigene Futter*. 39, 1: 69-86.
- LEX, J. und U. SIMON, 1995. Zum Einfluss der Mischungspartner und der Nutzungsintensität auf Ertragsbildung und Futterwert von Weißklee-Gras-Gemengen. 2. Mitteilung: Qualitätsparameter der Erntemasse. *Das wirtschaftseigene Futter*. 41: 81-98.
- LEX, J., 1992. Beitrag des Weißklee (*Trifolium repens* L.) im Gemenge mit Gräsern zur Ertragsbildung des Pflanzenbestands und zum Futterwert der Erntemasse. Diss., Technische Universität München.
- LINSTOW, O.V. und H. BREDDIN, 1928. Erläuterung zu Geologischen Karten von Preußen und benachbarten deutschen Ländern. Blatt 4522 Hofgeismar. Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden.
- LOGAN, K.A.B. and R.J. THOMAS, 1999. Interaction between N supply and N uptake by perennial ryegrass, 15N recovery and soil pH for four acid Scottish soils. *Grass and Forage Science*. 54: 42-51.
- LOTZ, K., 1995. *Einführung in die Geologie des Landes Hessen*. Hitzeroth, Marburg.
- LÜCK, E. und M. EISENREICH, 1999. Geophysikalische Messverfahren zur Ermittlung von Bodenkennwerten für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung. *Mitteilungen der*

- Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 91, 1: 215-218.
- LÜCK, E., EISENREICH, M., DOMSCH, H. und O. BLUMENSTEIN, 2002. Innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft. Arbeitsgruppe Stoffdynamik in Geosystemen im Umweltzentrum der Universität Potsdam, Band 4, Potsdam.
- MACHADO, S., BYNUM, E.D., ARCHER, Jr., T.L., LASCANO, R.J., WILSON, L.T., BORDOVSKY, SEGARRA, J., BRONSON, E., NESMITH, D.M. and W. XU, 2002. Spatial and temporal variability of corn growth and grain yield: implications for site-specific farming. *Crop Science*. 42: 1564-1576.
- MACHADO, S., BYNUM, E.D., LARCHER, T.L., LASCANO, R.J., WILSON, L.T., BORDOVSKY, J., SEGARRA, E., BRONSON, K., NESMITH, D.M. and W. XU, 2000. Spatial and temporal variability of corn grain yield: site-specific relationships of biotic and abiotic factors. *Precision Agriculture*. 2: 359-376.
- MALLARINO, A.P., OYARZABAL E.S. and P.N. HINZ, 1999. Interpreting within-field relationship between crop yields and soil and plant variables using factor analysis. *Precision Agriculture*. 1: 15-25.
- MCBRATNEY, A.B. and M.J. PRINGLE, 1999. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. *Precision Agriculture*. 1: 125-152.
- MCNEILL, J.D., 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers Tech. Note TN-6. Geonics Limited, Mississauga, Ont.
- MOORE, I.D., GESSLER, P.E., NIELSEN, G.A. and G.A. PETERSON, 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 57: 443-452
- MUELLER, T.G., PIERCE, F.J., SCHABENBERGER, O. and D.D. WARNCKE, 2001. Map quality for site-specific fertility management. *Soil Science Society of America Journal*. 65: 1547-1558.
- MÜLLER, A., 1985. Auswirkungen langjähriger PK- und NPK-Düngung auf Pflanzenbestand und Ertrag in Abhängigkeit vom Standort. *Das wirtschaftseigene Futter*. 31, 2: 150-164.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G., 1996. Klimadaten von Deutschland: Zeitraum 1961 - 1990 (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Sonnenschein, Bewölkung). Selbstverlag des Dt. Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- NAUMANN, C. und R. BASSLER, 1976. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. - 2. Ergänzungslieferung (1988), Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) 3. Loseblatt-Ausgabe. VDLUFA-Verlag (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V.), Darmstadt.
- NEFF, R. und U. SIMON, 1985. Zum Einfluss von Entwicklungsstadium und Probenahmetermin auf in vitro-Verdaulichkeit und Rohproteingehalt von Wiesenlieschgrashalmen. *Das wirtschaftseigene Futter*. 31, 2: 93-104.
- NETTE, T., 2001. Geo-Informationssysteme als Instrument des Ressourcenmanagements für Belange des Boden- und Gewässerschutzes. Diss. Fachbereich VI (Geographie/Geowissenschaften) der Universität Trier.
- NEUBAUER, H., 1977. Der Nitrat-N-Gehalt des Grünlandfutters verschiedener Standorte in Abhängigkeit von N-Düngung, Schnitthäufigkeit und Pflanzenbestand. *Das wirtschaftseigene Futter*. 23, 1: 23-36.
- NOBES, D.C., 1996. Troubled waters: Environmental applications of electrical and electromagnetic methods. *Surveys in Geophysics*. 17, 4: 393-454.
- NORRIS, I.B., 1985. Relationship between growth and measured weather factors among contrasting varieties of Lolium, Dactylis and Festuca species. *Grass and Forage*

- Science. 40: 151-159.
- ODEH, I.O.A., CHITTLEBOROUGH, D.J. and A.B. MCBRATNEY, 1991. Elucidation of soil-landform interrelationships by canonical ordination analysis. *Geoderma*. 49: 1-32.
- ODEH, I.O.A., MCBRATNEY, A.B. and D.J. CHITTLEBOROUGH, 1994. Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model. *Geoderma*. 63: 197-214.
- ORLOCI, L., 1967. An agglomerative method for the classification of plant communities. *Journal of Ecology*. 55: 193-206
- PANNATIER, Y., 1996. Variowin – Software for spatial data analysis in 2D. Springer, New York.
- PENNOCK, D.J., ANDERSON, D.W. and E. DE JONG, 1994. Landscape-scale changes in indicators of soil quality due to cultivation in Saskatchewan, Canada. *Geoderma*. 64: 1-19.
- PENNOCK, D.J., ZEBARTH, B.J. and E. DE JONG, 1987. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. *Geoderma*. 40: 297-315.
- RENGER, M. und O. STREBEL, 1980. Berechnungsbedarf landwirtschaftlicher Kulturen in Abhängigkeit vom Boden. *Wasser und Boden*. 12: 572-575.
- REUTER, H.I., WENDROTH, O., KERSEBAUM, K.C. and J. SCHWARZ, 2003. MOSAIC: Can landform stratification improve our understanding of crop yield variability? In: Fourth European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany. 1: 579-584.
- REX, M., 1995. Ecological evaluation of the effects of 40 years of different fertilizer treatments on the grassland vegetation of a meadow in the high Black Forest. Kongressband 1995 Garmisch-Partenkirchen. Vorträge zum Generalthema des 107. VDLUFA-Kongresses vom 18.-23.9.1994 in Garmisch-Partenkirchen: Grünland als Produktionsstandort und Landschaftselement, VDLUFA-Verlag, Darmstadt. 639-642.
- RIEDER, J.B., 1988. Zur langjährigen Wirkung der Stickstoff-, Phosphor- und Kalium-Düngung auf Ertrag, Futterqualität, Pflanzenbestand und Nährstoffstatus des Bodens bei extensiver Nutzung. *Das wirtschaftseigene Futter*. 34, 1: 5-14.
- ROTHMALER, W., 1994. Bd. 4. Gefäßpflanzen: kritischer Band. *Exkursionsflora von Deutschland*, Fischer, Jena.
- SACHS, L., 1990. *Statistische Methoden 2. Planung und Auswertung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- SACHS, L., 1997. *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden*. 8., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer-Verlag, Berlin.
- SADLER, E.J., BUSSCHER, W.J., BAUER, P.J. and D.K. KARLEN, 1998. Spatial scale requirements for precision farming: a case study in the southeastern USA. *Agronomy Journal*. 90: 191-197.
- SANDERSON, M.A., TAUBE, F., TRACY, B. and M. WACHENDORF, 2002. Plant species diversity relationships in grasslands of the northeastern USA and northern Germany. *Grassland Science in Europe*. 7: 842-843.
- SCHALITZ, G. und R. PÖTZSCH, 1990. Zur Bewertung des Weißklee bei Neuansaat von Mittelgebirgsgrünland. *Das wirtschaftseigene Futter*. 36: 3, 222-235.
- SCHAUMBERGER, A., TRNKA, M., EITZINGER, J. und H. FORMAYER, 2005. Implementierung eines Bewertungsmodells für Trockenschäden in einem Geographischen Informationssystem (GIS). Tagungsband der 48. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Wien, Österreich. 277-278.
- SHELLBERG, J., MOSELER, B.M., KÜHBAUCH, W. and I.F. RADEMACHER, 1999. Long-term effects of fertilizer on soil nutrient concentration, yield, forage quality and floristic composition of a hay meadow in the Eifel mountains, Germany. *Grass and Forage*

- Science. 54, 3: 195-207.
- SCHLICHTING, E. BLUME, H.-P. und K. STAR, 1995. Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler. 2. neugearbeitete Aufl. Pareys Studentexte 81, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.
- SCHLOEDER, C.A., ZIMMERMAN, N.E. and M.J. JACOBS, 2001. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. *Soil Science Society of America Journal*. 65: 470-479.
- SCHMIDHALTER, U. und A. ZINZEL, 1999. Schätzung der räumlichen Variation des Ton- und Wassergehaltes mit elektromagnetischer Induktion. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*. 91, 21: 871-874.
- SCHOOP, P., HANUS, H. und P. TREUE, 1999. Modelle und Praxisergebnisse zur Optimierung der Stickstoffdüngung für unterschiedliche Standorte und Teilschläge. Tagungsband der Hochschultagung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel. 82: 49-65.
- SCHÜTZ, U. und H. SCHNYDER, 1998. Die räumliche Heterogenität der Futterqualität und des Verzehrs auf einer extensiv bewirtschafteten Umtriebsweide. 42. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Giessen. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau*. 74-79.
- SEBASTIÁ, M.-T., 2004. Role of topography and soils in grassland structuring at the landscape and community scales. *Basic and Applied Ecology*. 5: 331-346.
- SHI, Z., WANG K., BAILEY, J., JORDAN, C. and A. HIGGINS, 2000. Sampling strategies for mapping soil phosphorus and soil potassium distributions in cool temperate grassland. *Precision Agriculture*. 2: 347-357.
- SNAYDON, B. R., 1962. Micro-distribution of *Trifolium repens* L. and its relation to soil factors. *Journal of Ecology*. 50, 1: 133-143.
- SPATZ, G. und T. FRICKE, 1992. Quantitatives und qualitatives Ertragsverhalten unterschiedlich spät geschnittener Grünlandbestände. *Agribiological Research*. 45: 121-130.
- SPEHN, E.M., JOSHI, J., SCHMID, B., ALPHEI, J. and CH. KÖRBER. 2000. Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. *Plant and Soil*. 224: 217-230.
- STYPINSKI, P. and G. KOCIALKOWSKA, 1989. The effect of soil acidity and nitrogen fertilization on yield of white clover and perennial ryegrass in pure stands and in mixture. *Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nizza, Frankreich*. 71-72.
- SUDDUTH, K.A., KITCHEN, N.R., BOLLERO, G.A., BULLOCK, D.G. and W.J. WIEBOLD, 2003. Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. *Agronomy Journal*. 95: 472-482.
- SÜDEKUM, K.-H., TAUBE, F. und M. WÖRNER, 1990. Einfluss der botanischen Zusammensetzung (Weißkleeanteil) auf die Veränderung des energetischen Futterwertes im Zuwachsverlauf von Dauergrünlandbeständen. *Kongressband 102. Berlin, VDLUFA – Schriftenreihe*. 32: 469-474.
- SWINDELL, J., 1995. Mapping crop yield variations by use of GPS and GIS. In: *Proceedings of the First Joint European Conference on Geographical Information, The Hague (AKM Congress Services, Basel, Switzerland)*. 409-414.
- 'T MANNETJE, L. and R.M. JONES, 2000. *Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. CABI Publishing.
- TAUBE, F., BRZEZINSKI, N., SANDERSON, M. and M. WACHENDORF, 2004. The influence of species composition on productivity, forage quality and herbage disappearance of mixed swards. *Grassland Science in Europe*. 9: 635-637.
- TAUBE, F., WÖRNER, M. und K.-H. SÜDEKUM, 1990. Veränderungen ausgewählter

- Qualitätsparameter im Zuwachsverlauf von Dauergrünlandbeständen in Abhängigkeit von der botanischen Zusammensetzung (Weißkleeanteil). Kongressband 102. Berlin, VDLUFA – Schriftenreihe. 32: 463-468.
- TERRY, R.A. and J.M.A. TILLEY, 1964. The digestibility of the leaves and stems of perennial ryegrass, cocksfoot, timothy, tall fescue, lucerne and sainfoin, as measured by an *in vitro* procedure. *Journal of the British Grassland Society*. 19: 363-372.
- THEIß, H. und W. OPITZ VON BOBERFELD, 1992. Zur N-Ausnutzung verschiedener Futtergräser. *Das wirtschaftseigene Futter*. 38, 1: 75-86.
- THIESSEN, A.H., 1911. Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review*. 39, 7: 1082-1084.
- THORVALDSSON, G. and B. FAGERBERG, 1988. Effects of weather on nutritional value and phenological development of timothy. *Swedish Journal of agricultural Research*. 18: 51-59.
- TILMAN, D., KNOPS, J., WEDIN, D., REICH, P., RITCHIE, M. and E. SIEMANN, 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*. 277: 1300-1302.
- TONN, B. und U. THUMM; 2005 Räumliche Heterogenität einer Umtriebsweide. Tagungsband der 48. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Wien, Österreich. 267-268.
- TOTEV, T., LINGORSKY, V., MIHOVSKY, T., TANKOV, K., ALEXANDROVA, B. and D. GHEORGHIEVA, 1994. Effect of fertilizer nitrogen (with or without phosphorus and potassium) on yield and botanical composition of some grass and legume species. *Proceedings of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation, Wageningen, Netherlands*. 109-112.
- TROTT, H., WACHENDORF, M. und F. TAUBE, 2003. Effekte einer variierten Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterqualität und Weißkleeleistung. 47. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Braunschweig. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau*. 95-98.
- TSEGAYE, T. and R.L. HILL, 1998. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurements. *Soil Science*. 163: 155-165.
- TURKINGTON, R. and J. HARPER, 1979. The growth, distribution and neighbour relationships of *Trifolium repens* in a permanent pasture. *Journal of Ecology*. 67: 201-218.
- VERCH, G. und W. KÜHBAUCH, 1994. Veränderung der botanischen Zusammensetzung und der Futterqualität einer Feuchtwiese unter dem Einfluss extensiver Wiesennutzung. *Das wirtschaftseigene Futter*. 40: 242-251.
- VOIGTLÄNDER, G. und N. VOß, 1979. *Methoden der Grünlanduntersuchung und -bewertung*. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- VOIGTLÄNDER, G. und H. JACOB, 1987. *Grünlandwirtschaft und Futterbau*. Ulmer, Stuttgart.
- VOLTZ, M. and R. WEBSTER, 1990. A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. *Journal of Soil Science*. 41: 473-490.
- WACHENDORF, M. und F. TAUBE, 1996. Agronomische und ökologische Aspekte einer Grünlandbewirtschaftung im Ökologischen Landbau. *Versuchsbericht Ökologischer Landbau 1995*, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein.
- WACHENDORF, M., COLLINS, R.P., CONNOLLY, J., ELGERSMA, A., FOTHERGILL, M., FRANKOW-LINDBERG, B.E., GHESQUIERE, A., GUCKERT, A., GUINCHARD, M.P., HELGADOTTIR, A., LÜSCHER, A., NOLAN, T., NYKÄNEN-KURKI, P., NÖSBERGER, J., PARENTE, G., PUZIO, S., RHODES, I., ROBIN, C., RYAN, A., STÄHELI, B., STOFFEL, S. and F.

- TAUBE, 2001. Overwintering of *Trifolium repens* L. and Succeeding Growth: Results from a Common Protocol carried out at Twelve Sites. *Annals of Botany*. 88: 669-682.
- WALTER, R., 1995. *Geologie von Mitteleuropa*. 6. Auflage, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- WEBSTER, R. and M.A. OLIVER, 1990. *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford Univ. Press, New York.
- WEBSTER, R., 2000. Is soil variation random? *Geoderma*. 97: 149-163.
- WENDROTH, O., JÜRSCHIK, P., KERSEBAUM, K.C., REUTER, H., van KESSEL, C. and D.R. NIELSEN, 2001. Identifying, understanding, and describing spatial processes in agricultural landscapes - four case studies. *Soil & Tillage Research*. 58: 113-128.
- WERNER, A., JARFE, A., KLÖPFER, F. und D. KOTTENRODT, 2002. Forschungskonzept und Projektstruktur von preagro, In: KTBL [Hrsg.], *Precision Agriculture, preagro Zwischenbericht*, Darmstadt. 38: 483-500.
- WESTHOFF V. and E. VAN DER MAAREL, 1978. The Branun-Blanquet approach. In: Whittaker R.H. (Hrsg.), *Classification of plant communities*, Junk, The Hague. 287-399.
- WILDI, O. and L. ORLÓCI, 1996. *Numerical Exploration of Community Patterns. A guide to the use of MULVA-5*. 2nd edition. SPB Academic Publishing b.v., Amsterdam.
- WILMAN, D., 1980. Early spring and late autumn response to applied nitrogen in four grasses. 1. Yield, number of tillers and chemical compositions. *The Journal of Agricultural Science*. 94: 425-442.
- WISSKIRCHEN, R. und H. HAEUPLER, 1998: *Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands*. Ulmer, Stuttgart.
- WOLEDGE, J., REYNERI, A., TEWSON, W. and J. PARSONS, 1992. The effect of cutting on the proportions of perennial ryegrass and white clover in mixtures. *Grass and Forage Science*. 47, 2: 169-179.
- WOLF, R. und G. BRIEMLE, 1989. Landwirtschaftliche Verwertungsmöglichkeiten von Pflanzenaufwüchsen aus extensiviertem Grünland und aus der Biotoppflege. *Das wirtschaftseigene Futter*. 35: 108-125.
- WOLTON, K.M., BROCKMAN, J.S. and P.G. SHAW, 1970. The effect of stage of growth at defoliation on white clover mixed swards. *Journal of the British Grassland Society*. 25: 113-118.

7. Anhang

- Verwendete Formeln
- Standortparameter
- Vegetation
- Ertrag
- Futterqualität
- Unterschiede zwischen Bestandes- und Bodeneigenschaften
- Multivariate Zusammenhänge zwischen Standort, Vegetation und Bewirtschaftung
- Intensivflächen
 - Vergleiche zwischen verschiedenen Beprobungsdichten
 - Variogrammanalyse

- Verwendete Formeln**- Verwendete Formeln zur Berechnung der Energiegehalte**

GfE in DLG 1997

$$GE = 0.0239 * XP + 0.0398 * XL + 0.0201 * XF + 0.0175 * XX$$

$$ME = 0.0312 * (XL * DXL / 100) + 0.0136 * (XF * DXF / 100) + 0.0147 * ((OM * DOM / 100) - (XL * DXL / 100) - (XF * DXF / 100)) + 0.00234 * XP$$

$$NEL = 0.6 * (1 + 0.004 * (ME / GE * 100 - 57)) * ME$$

$$ME = 1.3874 * NEL + 1.807$$

GE = Bruttoenergie

ME = umsetzbare Energie

NEL = Nettoenergie Laktation

XP = Rohprotein

XL = Rohfett

XF = Rohfaser

XX = N-freie Extraktstoffe

OM = Organische Masse

DXL = Verdauliches Rohfett

DXF = Verdauliches Rohfaser

DOM = Verdauliche Organische Masse

- Verwendete Formel zur Berechnung der Besatzleistung

In Anlehnung an VOIGTLÄNDER und JACOB, 1987

$$\text{Jahresbesatzleistung} = \frac{\text{Anzahl aufgetriebener Tiere (Großvieheinheiten)} * \sum_{\text{Beweidungsperiode}} \text{Beweidungstage}}{\text{Schlagfläche} * \left(\sum_{\text{Beweidungsperiode}} \text{Beweidungstage} + \text{Ruhezeiten} \right)}$$

dementsprechend ist die Einheit: Großvieheinheiten pro Hektar und Jahr (GV ha⁻¹ a⁻¹)**- Verwendete Formel zur Berechnung der Ähnlichkeitswerte**

In Anlehnung an WESTHOFF and VAN DER MAAREL, 1978

$$\text{Index nach Van der Maarel} = \frac{\sum xy}{\sum x^2 + \sum y^2 - \sum xy}$$

Dabei ist x bzw. y der Bedeutungswert der Arten in der Aufnahme

- Verwendete Formeln zur Berechnung der RMSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2}$$

RMSE = Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (root mean square error)

z_i = Validierungswertŷ_i = Schätzwert

n = Anzahl der Validierungswerte

- **Verwendete Formeln zur Berechnung der „Vorhersagbarkeits-Güte“ (G)**

$$G = \left(1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n [z_i - \hat{z}_i]^2}{\sum_{i=1}^n [z_i - \bar{z}]^2} \right\} \right) 100$$

G = Vorhersagbarkeit-Güte (goodness-of-prediction)

z_i = Validierungswert

\hat{z}_i = Schätzwert

\bar{z} = Mittelwerte der abgetasteten Werte

- **Verwendete Formel zur Berechnung der optimalen Stichprobengröße**

Formel nach HALD (1960) zitiert in SHI et al. (2000):

$$n = (t_{n, \alpha/2} \cdot s/d)^2$$

t = Wert der Student-t-Verteilung

s = Standardabweichung der gesamten Stichprobe

d = akzeptierte Fehlertoleranz des gesamten Stichprobenmittelwertes

Bei Signifikanzniveau $\alpha/2 = 0,05$ und für 80 bzw. 100 Freiheitsgrade ist $t_{n, \alpha/2}$ gleich 1,664 bzw. 1,660.

Ist n größer als 10 % der gesamten Stichproben N ($n > 0,1N$), so benötigt man nicht n sondern n' Beobachtungen (SACHS, 1997).

$$n' = n / (1 + n/N)$$

Hinweise zu dieser Prozedur sind bei SHI et al. (2000) zu finden.

- **Verwendete Formel zur Berechnung des experimentellen Semivariogrammes (Semivarianz)**

Die mittlere Semivarianz innerhalb jeder Abstandsklasse (h) wird über die Gleichung des experimentellen Semivariogrammes bestimmt (ISAAK and SRIVASTAVA, 1989):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

mit $n(h)$ = Anzahl der Punktepaare mit dem Abstand h

$z(x_i)$ = Messwert am Punkt x_i

$z(x_i+h)$ = Messwert an einem Punkt im Abstand h

- Standortparameter

Tab. A 1: Kennwerte der Korrelationen zwischen Standortparameter (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_P); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$). Dargestellt sind die Beziehungen mit Korrelationskoeffizient $> 0,45$ (d.h. $r^2 > 0,2$); + ausdrückt eine positive Beziehung; - eine negative Beziehung; Abkürzungen: siehe Tab. 8.

Parameter	Mg	Nt	C _{org}	nFk _{we}	Ton	Sand	Slp
Mg					+ 0.47**	- 0.47**	
P		+ 0.47**	+ 0.46**				
Ld		- 0.58**	- 0.49**	- 0.51** r_P	+ 0.61**	- 0.48**	+ 0.51** r_P
EC _a	+ 0.49** r_P			- 0.56** r_P	+ 0.61**	- 0.61**	
C_PRO		+ 0.47**					

Tab. A 2: Vorhandene Bodenarten auf den entsprechenden Bodentypen des Mühlberges. Angegeben ist die Anzahl der Beprobungspunkte.

Bodentyp	Bodenart				
	Tu2	Tu3	Tu4	Ut3	Ut4
Braunauenboden				1	9
Gley- Braunauenboden					2
Braunerde	4	3	12	2	9
Pseudogley-Braunerde				1	1
Braunerde-Pelosol	3	1	3		4
Parabraunerde			1	1	
Kolluvisol			6	8	17
Gley			1	3	
Wechselgley					3
Braunerde-Ranker		1	1		

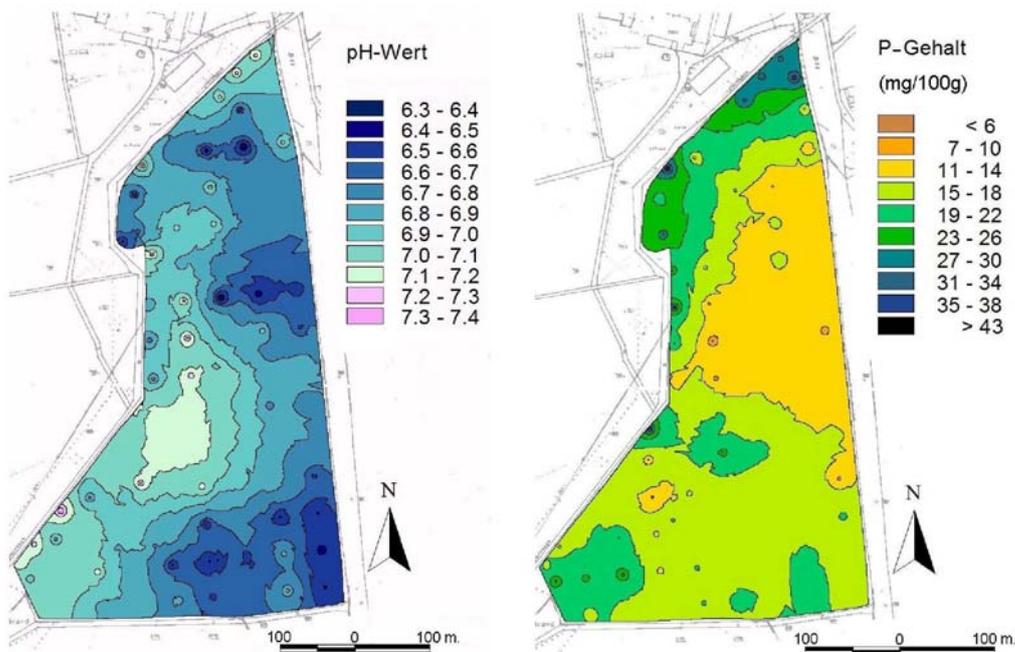


Abb. A 1: Darstellung des pH-Wertes und P-Gehaltes (als P_2O_5 in mg/100g) des Mühlberges, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

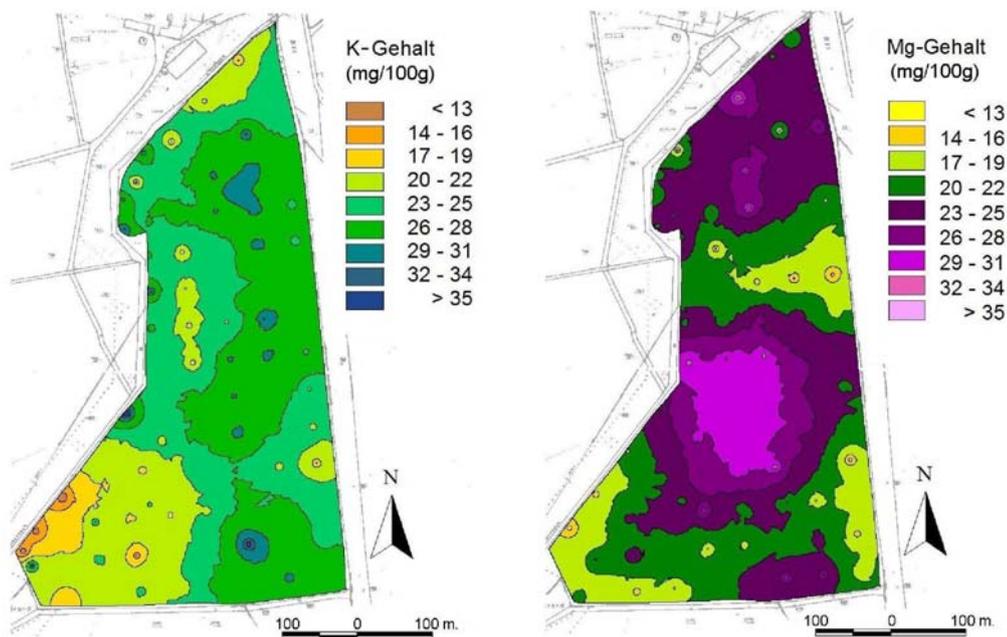


Abb. A 2: Darstellung des K- (als K_2O in mg/100g) und Mg-Gehaltes (mg/100g) des Mühlberges, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

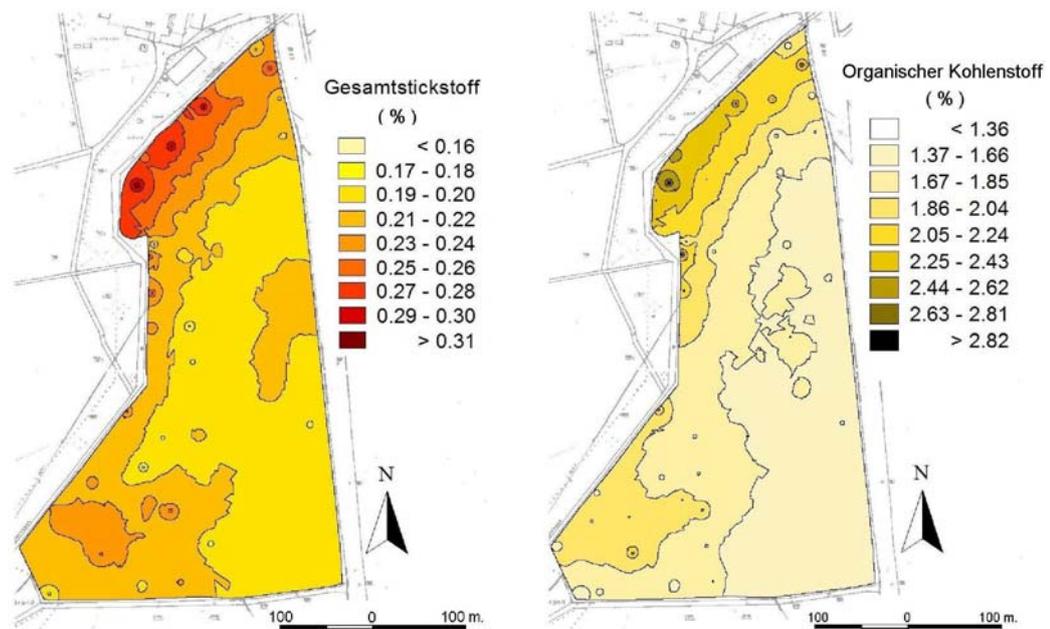


Abb. A 3: Darstellung des Gesamtstickstoffes und organischen Kohlenstoffes des Mühlberges, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

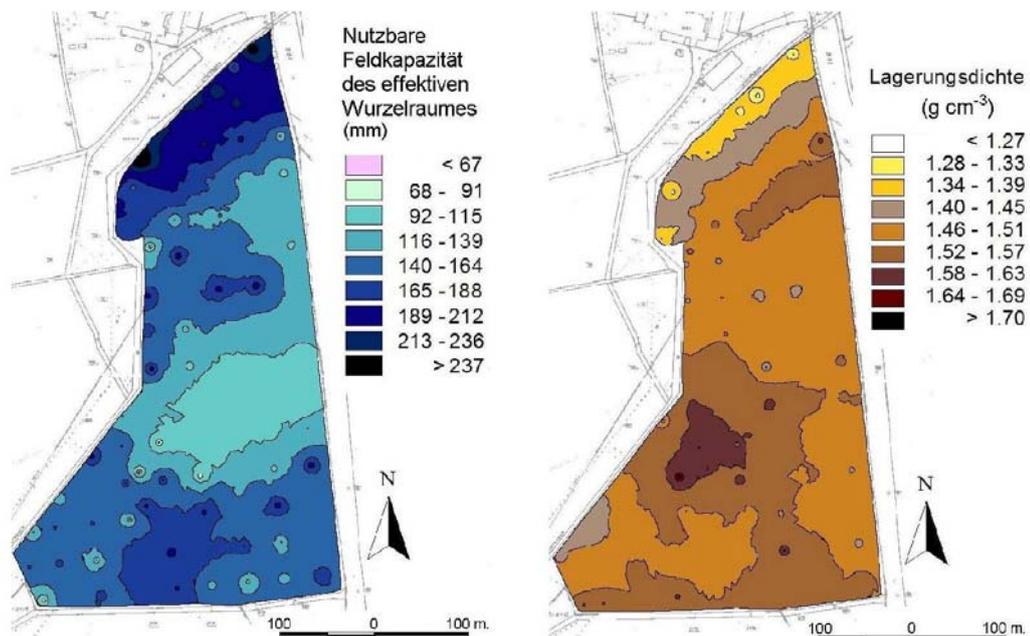


Abb. A 4: Darstellung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes und Lagerungsdichte des Mühlberges, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

- Vegetation

Dynamik der Pflanzenarten (vergl. Kap. 3.2 Vegetation - Dynamik der Pflanzenarten)

Lolium perenne

Obwohl die durchschnittlichen Ertragsanteile von *Lolium perenne* nahezu stabil blieben, zeigten sich Besonderheiten in der flächenmäßigen Verteilung. Areale mit anfangs hohen Ertragsanteilen (> 56 %), die 2001 fast 10 % der Mühlbergfläche bedeckten, gingen zurück über ca. 5 % in 2002 auf 2 % im Jahre 2003. Einen Rückgang gab es außerdem bei Arealen mit Ertragsanteilen zwischen 41 und 55 %. Hier deckte *Lolium perenne* den Mühlberg insgesamt flächenmäßig am stärksten (2001 zu 60 %, 2002 zu 62,8 % und 2003 zu 53,8 %) ab. Dagegen nahmen in der Ertragsanteilkategorie von 26 bis 40 % die Areale von *Lolium perenne* flächenmäßig stark zu (2001 28,7 %, 2002 31,9 % sowie 2003 41,7 %).

Dactylis glomerata

Die Flächenanteile der Areale, in denen diese Art stark vertreten war, nahmen während der drei Untersuchungsjahre zu. Mit Ertragsanteilen zwischen 26 und 40 % wurden 2001 22 %, 2002 33 % und 2003 38 % der Fläche des Mühlberges abgedeckt. Mittlere Ertragsanteile zwischen 41 und 55 % gab es 2001 auf 0,7 %, 2002 auf 0,9 % und 2003 auf 1,6 % des Mühlberges. Areale der Ertragsanteilkategorie von 16 bis 25 % nahmen 2001 32 %, 2002 45 % und 2003 41 % des Mühlberges ein. Dementsprechend gab es in den Ertragsanteilklassen von 11 bis 15 % bzw. 6 bis 10 % im Laufe der Jahre eine Flächenverkleinerung (29 % 2001, 14 % 2002, 15 % 2003 bzw. 17 % 2001, 7 % 2002, 5 % 2003).

Trifolium repens

Der Rückgang von Weißkleeanteilen zeigte sich besonders stark bei Arealen mit Ertragsanteilen > 26 %. Diese Areale deckten 2001 36 %, 2002 5 % und 2003 1,3 % des Mühlberges ab. In der Ertragsanteilkategorie 16 bis 25 % gab es dagegen eine starke Flächenzunahme; diese Areale nahmen 2001 sowie 2002 39 % und 2003 50 % des Mühlberges ein. Bei den Klassen von 11 bis 15 % bzw. 6 bis 10 % war ebenfalls eine weitgehende Vergrößerung der Kleeflächen zu beobachten (19 % in 2001, 34 % in 2002, 26 % in 2003 bzw. 7 % in 2001, 20 % in 2002, 19 % in 2003). Bei Ertragsanteilen von *Trifolium repens* unter 5 % stieg der Flächenanteil von 0,3 % über 1,4 % auf etwa 5 %.

Festuca pratensis

Die durchschnittlichen Ertragsanteile von *Festuca pratensis* sanken von 7 % (2001) über 6 % (2002) auf 4 % (2003). Der Rückgang dieser Art war besonders stark in der Ertragsanteilkategorie von 6 bis 10 % und zeigte sich auch in der Verkleinerung der Areale dieser Klasse von 66 % (2001) auf 51 % (2002) und 32 % (2003) des Mühlberges. Dagegen vergrößerten sich die Areale mit flächenmäßigen Ertragsanteilen zwischen 2 und 5 % ständig von 24 % (2001) über 45 % (2002) bis 68 % (2003).

Festuca rubra, Poa pratensis, Phleum pratense

Bei den restlichen angesäten Arten (*Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Phleum pratense*) erreichten die mittleren Ertragsanteile insgesamt nur sehr niedrige Werte (< 3 %). Bei *Festuca rubra* bzw. *Phleum pratense* nahmen sie ganz geringfügig ab (*Festuca rubra*: 2,9 % (2001), 2,5 % (2002), 2,4 % (2003) bzw. *Phleum pratense*: 0,6 % (2001), 0,4 % (2002 und 2003)), bei *Poa pratensis* nahmen sie dagegen zu (2,1 % (2001), 2,7 % (2002), 3,3 % (2003)). Die stärkste räumliche Verteilung von *Festuca rubra*, mit allerdings abnehmendem Trend während der Jahre, gab es bei Ertragsanteilen zwischen 2 und 5 %. Diese Klasse war 2001 auf 62 %, 2002 auf 54 % und 2003 auf 57 % des Mühlberges zu finden. Während der drei Untersuchungsjahre blieben durchschnittlich 9 % der Untersuchungsfläche frei von *Festuca rubra*.

Phleum pratense war räumlich am stärksten mit Ertragsanteilen von 0,3 bis 1 % vertreten, obwohl es auch hier einen abnehmenden Trend während der Jahre gab. Diese Areale bedeckten 2001 73 %, 2002 39 % und 2003 47 % des Mühlberges. Die Areale mit Ertragsanteilen unter 0,2 % hingegen vergrößerten sich von Jahr zu Jahr (16 %, 39 %, 49 % der Untersuchungsfläche).

Bei *Poa pratensis* wurde, hinsichtlich der räumlichen Verteilung auf dem Mühlberg, während der drei Jahre eine Zunahme im Flächenanteil bei Klassen mit höheren Ertragsanteilen festgestellt. Die Klasse mit Ertragsanteilen von 6 bis 10 % bedeckte 2001 1 %, 2002 9 % und 2003 18 % der Gesamtfläche. Die größten, während der Jahre ziemlich unveränderten Areale (Ø 48 % des Mühlberges), erreichte die Klasse mit Ertragsanteilen von 2 bis 5 %. Im Durchschnitt aller drei Jahre fehlte *Poa pratensis* auf 3 % der Untersuchungsfläche völlig.

Nicht angesäte Arten

Die Areale mit Ertragsanteilklassen nicht angesäter Arten ab 6 % nahmen während des Untersuchungszeitraumes zu. Am stärksten vergrößerten sich die Areale mit Ertragsanteilen zwischen 6 und 10 %. Sie deckten 2001 13 %, 2002 25 % und 2003 35 % des Mühlberges ab. Dagegen verkleinerten sich die Areale mit Ertragsanteilen < 5 %. Am stärksten sank die Flächengröße der Ertragsanteilkategorie von 2 bis 5 %. Sie deckte 2001 54 %, 2002 51 % und 2003 24 % des Mühlberges ab.

Tab. A 3: Flächenanteile (%) von den angesäten und nicht angesäten Arten der Untersuchungsjahre 2001-2003 auf dem Mühlberg.

Pflanzenart	Jahr	Ertragsanteilkategorie (%)										
		0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.3 - 1	2 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 25	26 - 40	41 - 55	56 - 70	>71
Lolium perenne	2001	-	-	-	-	-	0.1	1.4	28.7	60.0	9.7	-
	2002	-	-	-	-	-	-	0.5	31.9	62.9	4.6	0.1
	2003	-	-	-	-	-	0.2	2.0	41.7	53.8	2.3	-
Dactylis glomerata	2001	-	-	-	0.4	16.8	28.6	31.5	21.9	0.7	0.1	-
	2002	-	-	-	0.2	7.3	13.9	45.0	32.6	0.9	0.1	-
	2003	-	-	-	0.3	4.9	14.9	40.6	37.6	1.6	0.1	-
Trifolium repens	2001	-	-	-	0.3	6.5	19.1	38.5	34.7	0.8	-	-
	2002	-	-	-	1.4	20.3	33.8	39.4	5.1	-	-	-
	2003	-	-	-	4.8	18.7	25.6	49.5	1.3	-	-	-
Festuca pratensis	2001	-	-	-	23.8	65.6	9.8	0.7	-	-	-	-
	2002	-	-	-	44.7	51.2	4.1	-	-	-	-	-
	2003	-	-	0.2	67.7	31.6	0.4	-	-	-	-	-
Festuca rubra	2001	5.1	8.1	19.6	61.6	5.6	0.1	-	-	-	-	-
	2002	12.3	6.9	24.8	54.3	1.6	0.1	-	-	-	-	-
	2003	8.7	8.4	24.4	57.1	1.3	0.1	-	-	-	-	-
Poa pratensis	2001	4.5	19.5	31.1	43.8	1.1	-	-	-	-	-	-
	2002	0.9	8.6	28.0	53.6	8.9	-	-	-	-	-	-
	2003	4.5	7.7	22.1	47.4	17.9	0.4	-	-	-	-	-
Phleum pratense	2001	0.3	16.2	72.6	10.9	-	-	-	-	-	-	-
	2002	0.3	39.1	59.9	0.6	-	-	-	-	-	-	-
	2003	2.6	49.4	47.3	0.7	-	-	-	-	-	-	-
n. a. Arten	2001	-	-	17.0	53.9	12.9	4.2	7.1	3.0	1.6	0.2	-
	2002	-	-	0.4	50.8	24.5	5.8	6.5	7.9	2.8	1.2	0.1
	2003	-	-	-	24.3	35.0	16.4	11.6	8.5	2.0	1.7	0.4

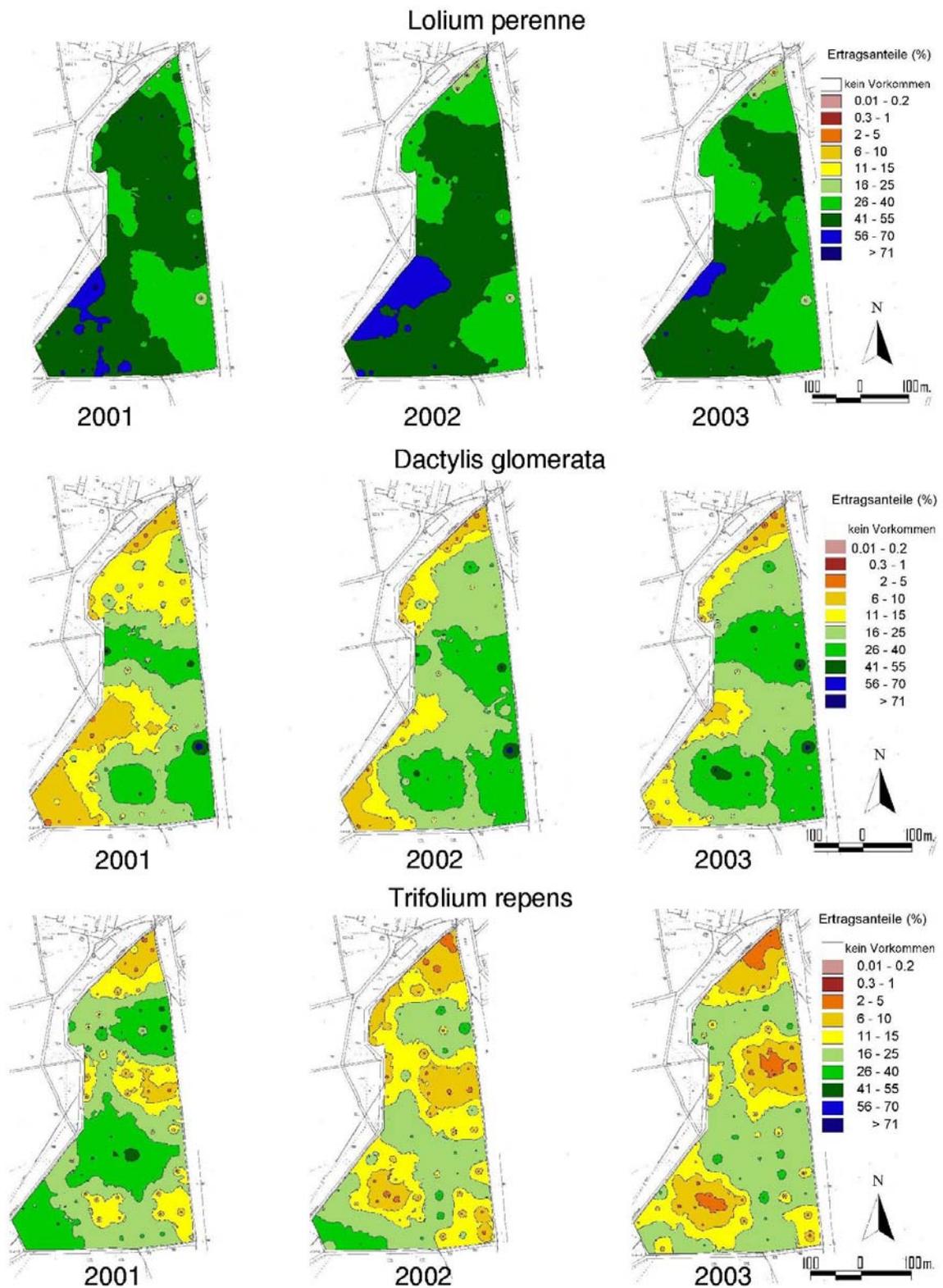


Abb. A 5: Darstellung der Ertragsanteile von *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* und *Trifolium repens* der Jahre 2001 bis 2003, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

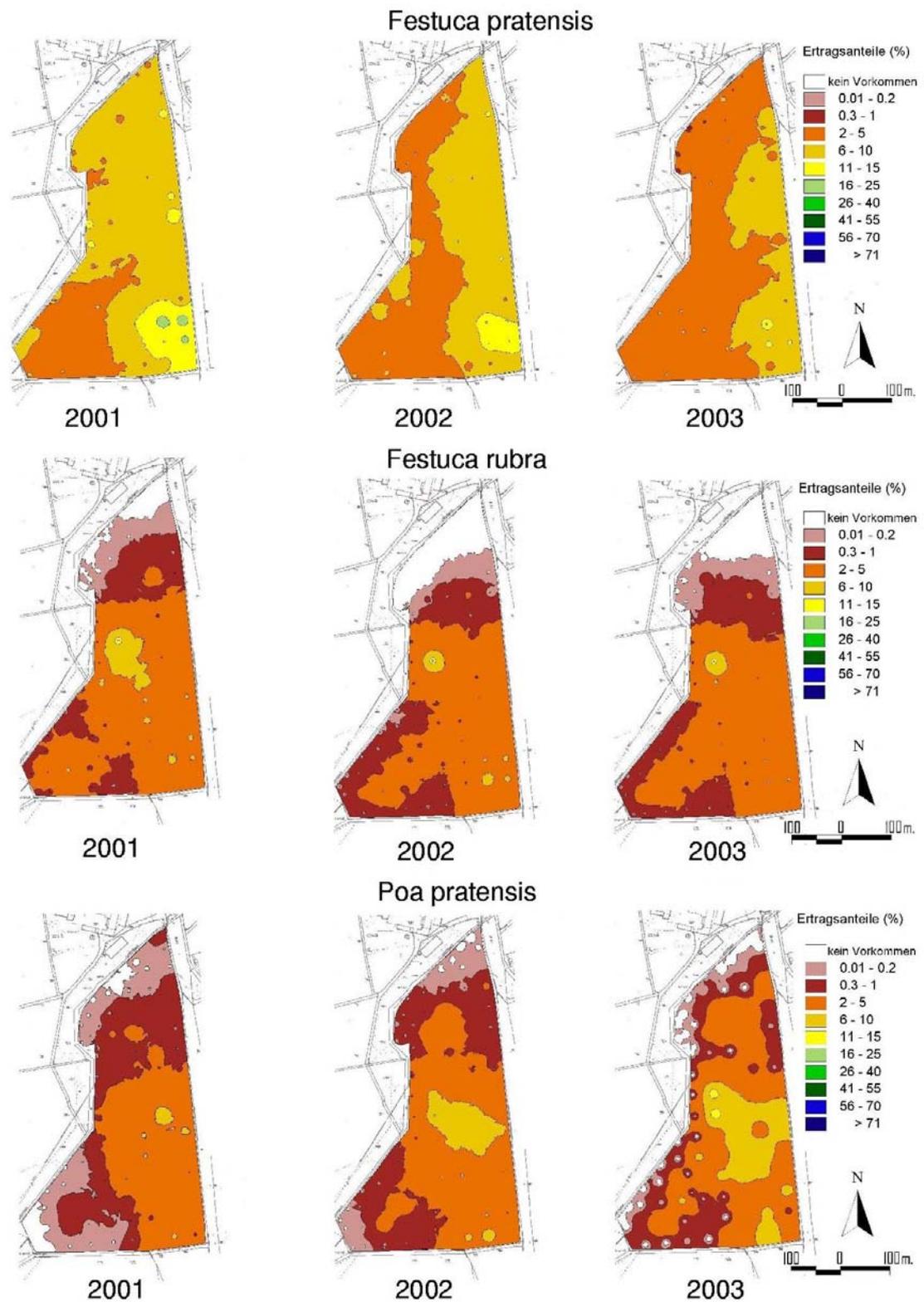


Abb. A 6: Darstellung der Ertragsanteile von *Festuca pratensis*, *Festuca rubra* und *Poa pratensis* der Jahre 2001 bis 2003, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

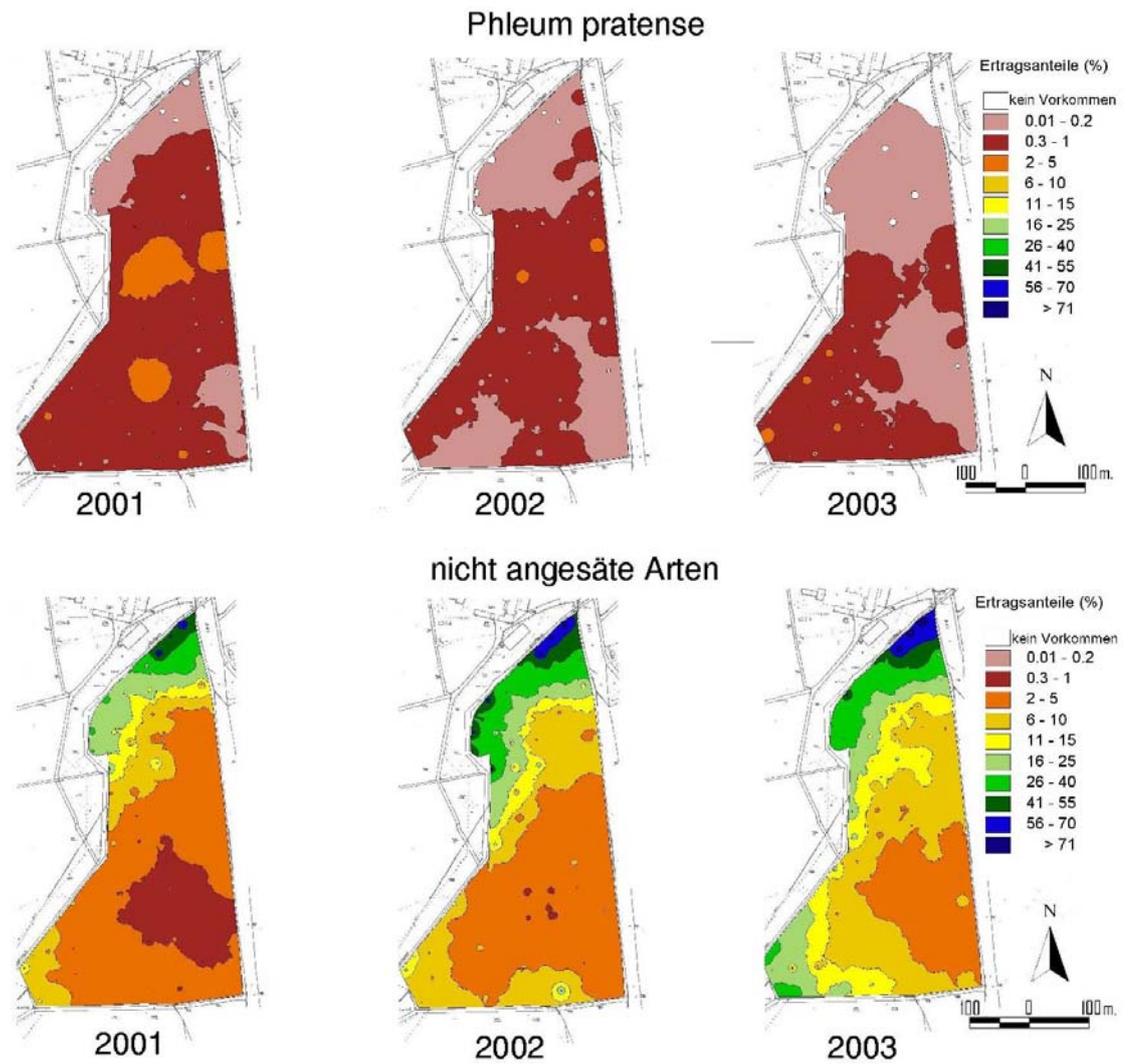


Abb. A 7: Darstellung der Ertragsanteile von *Phleum pratense* und nicht angesäte Arten der Jahre 2001 bis 2003, interpoliert über Inverse-Distance-Weighting.

Tab. A 4: Kennwerte der Korrelationen zwischen Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) für die drei Untersuchungsjahre (Spearman-Korrelationskoeffizient; ** - Signifikanz $p < 0,01$; * - Signifikanz $p < 0,05$). Dargestellt sind die Beziehungen mit Korrelationskoeffizient $> 0,45$ (d.h. $r^2 > 0,2$); + ausdrückt eine positive Beziehung; - eine negative Beziehung.

Jahr	2001	2002	2003
Pflanzenart	Trifolium repens		
Dactylis glomerata	- 0.60**	- 0.49**	- 0.52**
Agrostis gigantea (n. a. Arten)	-	- 0.83*	-
Ranunculus repens (n. a. Arten)	-	-	- 0.84**
	Poa trivialis (n. a. Arten)		
Poa pratensis	- 0.34*	- 0.45**	- 0.61**
Festuca rubra	-	0.56**	-
	Ranunculus repens (n. a. Arten)		
Lolium perenne	-	- 0.79*	-
Festuca pratensis	- 0.87*	-	-
	Cirsium arvense (n. a. Arten)		
Lolium perenne	- 0.60*	-	-
	Poa annua (n. a. Arten)		
Festuca pratensis	-	- 0.47**	-
Poa pratensis	-	- 0.65**	-

Tab. A 5: Durchschnittliche Ertragsanteile der Arten (%) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodentyp. Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima und Anzahl der Flächen mit der entsprechenden Pflanzenart auf dem jeweiligen Bodentyp (siehe Tab. 6).

Bodentyp		Lolium perenne			Dactylis glomerata			Festuca pratensis			Poa pratensis		
		Jahr	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002
AB (n=12)	Mittel.	42.2	37.2	38.5	16.3	12.3	13.2	6.9	3.9	3.0	0.2	0.2	0.2
	Min.	16.0	15.0	22.0	0.2	0.2	0.2	3.0	1.0	0.2	0.2	0.1	0.2
	Max.	69.0	68.0	66.0	67.8	55.8	47.6	15.0	8.0	8.0	0.2	0.2	0.2
BB (n=32)	Mittel.	41.7	47.5	43.9	12.3	17.6	19.6	6.4	6.1	4.6	2.4	2.8	3.5
	Min.	22.0	27.0	15.0	2.0	2.0	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
	Max.	61.0	70.0	64.0	41.1	40.1	61.8	20.0	16.0	14.0	6.0	8.0	8.0
BB-DD (n=11)	Mittel.	45.8	47.6	41.4	15.3	19.1	18.1	5.9	4.8	3.6	3.2	4.6	5.2
	Min.	36.0	35.0	36.0	6.0	10.0	5.0	2.0	2.0	1.0	0.5	1.0	2.0
	Max.	64.0	68.0	52.0	32.0	30.0	33.0	9.0	12.0	8.0	8.0	9.0	10.0
GG (n=7)	Mittel.	29.4	34.7	36.1	3.8	3.8	10.7	6.4	4.9	2.1	0.6	0	0
	Min.	10.0	1.0	6.0	1.0	0.2	0.2	3.0	3.0	1.0	0.1	0	0
	Max.	64.0	74.0	68.0	8.0	10.0	16.0	15.0	10.0	4.0	1.0	0	0
YK (n=31)	Mittel.	49.0	44.4	41.9	23.1	27.0	28.4	7.5	6.1	4.7	1.5	1.6	1.8
	Min.	15.0	17.0	18.0	0.2	1.0	1.0	2.0	2.0	0.2	0.2	0.1	0.1
	Max.	95.0	68.0	73.0	61.8	63.0	66.6	24.0	18.0	18.0	10.0	6.0	6.0
LL (n=2)	Mittel.	17.6	18.0	19.5	67.0	64.3	62.4	9.1	9.0	8.0	0.8	0.4	0.8
	Min.	0.20	1.0	4.0	37.8	40.1	43.8	0.0	2.0	4.0	0.5	0.2	0.5
	Max.	35.0	35.0	35.0	96.1	88.5	81.0	18.0	16.0	12.0	1.0	0.5	1.0
BB-RN (n=2)	Mittel.	32.8	36.9	35.7	7	9.5	8	4	2.5	2	3.5	11	12
	Min.	25.0	36.0	35.0	2.0	4.0	4.0	2.0	2.0	1.0	3.0	10.0	12.0
	Max.	41.0	38.0	36.0	12.0	15.0	12.0	6.0	3.0	3.0	4.0	12.0	12.0

Fortsetzung Tab. A 5

Bodentyp		Festuca rubra			Phleum pratense			Trifolium repens			n. a. Arten		
		Jahr	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002
AB (n=12)	Mittel.	0	0	0	0.4	0.2	0.3	16.7	9.3	15.0	19.0	38.1	32.0
	Min.	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	2.0	3.0	12.7	16.0
	Max.	0	0	0	1.0	0.2	1.0	40.0	26.0	35.0	38.0	79.3	64.8
BB (n=32)	Mittel.	3.0	2.3	2.1	0.7	0.4	0.4	31.5	19.2	18.5	3.1	5.5	9.3
	Min.	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	0.2	0.1	0.2	0.2	1.0
	Max.	10.0	10.0	6.0	5.0	2.0	2.0	57.0	46.0	40.0	20.1	36.4	42.2
BB-DD (n=11)	Mittel.	2.7	1.9	2.3	0.7	0.6	0.4	25.2	17.2	24.2	1.5	5.7	4.8
	Min.	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	3.0	0.4	1.0	2.0
	Max.	6.0	4.0	5.0	2.0	1.0	1.0	48.0	30.0	46.0	5.2	29.4	10.8
GG (n=7)	Mittel.	0	0	0	0.2	0.2	0.2	22.0	11.9	11.0	38.5	46.2	58.3
	Min.	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	5.0	5.2	21.4
	Max.	0	0	0	0.5	0.2	0.2	46.0	30.0	35.0	82.0	95.0	98.8
YK (n=31)	Mittel.	1.5	1.7	1.6	0.5	0.4	0.5	12.9	12.5	10.6	5.8	8.1	13.7
	Min.	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	1.0	2.0
	Max.	4.0	6.0	6.0	3.0	1.0	3.0	48.0	45.0	45.0	32.9	39.4	67.0
LL (n=2)	Mittel.	4.0	4.0	4.0	0.2	0.2	0.2	1.0	0.5	0.5	1.0	4.0	5.0
	Min.	2.0	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
	Max.	6.0	6.0	6.0	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	6.0	8.0
BB-RN (n=2)	Mittel.	14	12	12	2	1.4	0.9	36.3	25	28	0.3	1.7	1.3
	Min.	8.0	4.0	6.0	1.0	0.8	0.8	28.0	25.0	28.0	0.3	1.2	0.7
	Max.	20.0	20.0	18.0	3.0	2.0	1.0	45.0	25.0	28.0	0.4	2.2	2.0

Tab. A 6: Zeigt die signifikanten Unterschiede in den Ertragsanteilen der Arten auf verschiedenen Bodentypen für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodentypen. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Ertragsanteilen. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf den Bodentyp, der links in der Tabelle genannt ist (Bodentyp der Zeile). Beispiel 1: Tab. 2001 (n. a. Arten im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB-DD) Die Ertragsanteile an n. a. Arten auf AB waren höher (+) als die Ertragsanteile an n. a. Arten auf BB-DD. Beispiel 2: Tab. 2002 (*Poa pratensis* im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB) *Poa pratensis* hatte auf AB niedrigere Ertragsanteile (-) als auf BB. Abkürzungen: n. a. Arten = nicht angesäte Arten. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.

2001	BB-DD		BB		GG		YK	
AB	+	n. a. Arten	-	Trifolium repens n. a. Arten			+	n. a. Arten
BB-DD					+	Dactylis glomerata n. a. Arten	+	Poa pratensis
BB					-	n. a. Arten	-	Dactylis glomerata Trifolium repens
GG							-	Dactylis glomerata Lolium perenne n. a. Arten

2002	BB-DD		BB		GG		YK	
AB	-	Poa pratensis n. a. Arten	-	Poa pratensis n. a. Arten			-	Dactylis glomerata n. a. Arten
BB-DD					+	Dactylis glomerata n. a. Arten	+	Poa pratensis
BB					+	Dactylis glomerata n. a. Arten		
GG							-	Dactylis glomerata Festuca pratensis n. a. Arten

2003	BB-DD		BB		GG		YK	
AB	-	Poa pratensis n. a. Arten	+	n. a. Arten			-	Dactylis glomerata n. a. Arten
BB-DD					-	n. a. Arten	+	Trifolium repens
BB							+	Trifolium repens
GG							+	n. a. Arten

Tab. A 7: Durchschnittliche Ertragsanteile der Arten (%) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodenart. Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima und Anzahl der Flächen mit der entsprechenden Pflanzenart auf der jeweiligen Bodenart (Abkürzungen der Bodenart: siehe Tab. 7).

Bodenart	Jahr	Lolium perenne			Dactylis glomerata			Festuca pratensis			Poa pratensis		
		2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003
Tu2 (n=7)	Mittel.	41.4	50.2	43.0	10.6	17.6	16.4	5.1	4.0	2.9	3.2	5.1	5.7
	Min.	30.0	36.0	38.0	6.0	10.0	5.0	2.0	2.0	1.0	0.2	1.0	2.0
	Max.	56.0	68.0	53.0	18.0	25.0	28.0	10.0	6.0	6.0	8.0	9.0	10.0
Tu3 (n=5)	Mittel.	39.3	48.7	39.9	11.0	14.0	13.6	6.4	6.4	4.8	2.7	4.5	5.3
	Min.	25.0	27.0	30.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	0.2	1.0	1.0
	Max.	53.0	70.0	59.0	41.1	40.1	32.8	16.0	16.0	14.0	5.0	10.0	12.0
Tu4 (n=24)	Mittel.	42.3	46.9	45.1	14.1	18.5	18.2	8.0	7.3	5.0	2.6	3.5	4.4
	Min.	22.0	31.0	31.0	1.0	1.0	0.2	3.0	2.0	1.0	0.2	0.1	0.5
	Max.	95.0	74.0	73.0	37.8	40.1	43.8	20.0	16.0	12.0	10.0	12.0	12.0
Ut3 (n=16)	Mittel.	39.7	33.6	34.0	24.3	34.4	37.1	6.2	5.3	4.9	0.7	0.9	0.8
	Min.	0.2	1.0	4.0	2.0	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
	Max.	63.0	60.0	60.0	96.1	88.5	81.0	24.0	18.0	18.0	1.5	2.0	3.0
Ut4 (n=45)	Mittel.	45.2	43.5	41.2	18.0	18.6	21.2	6.6	4.9	3.7	1.7	1.6	2.3
	Min.	15.0	15.0	15.0	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	0.1	0.2	0.1	0.1
	Max.	69.0	68.0	67.0	67.8	63.0	66.6	16.0	12.0	8.0	6.0	8.0	8.0

Fortsetzung Tab. A 7

Bodenart	Jahr	Festuca rubra			Phleum pratense			Trifolium repens			n. a. Arten		
		2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003
Tu2 (n=7)	Mittel.	2.7	2.0	2.3	1.4	0.7	0.5	34.9	17.5	26.5	0.7	5.4	2.7
	Min.	1.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	25.0	4.0	16.0	0.4	0.4	1.0
	Max.	8.0	6.0	6.0	5.0	1.0	1.0	48.0	45.0	46.0	1.5	29.4	6.1
Tu3 (n=5)	Mittel.	6.4	6.7	6.8	0.9	0.6	0.4	30.4	16.3	19.6	3.9	3.7	12.1
	Min.	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	10.0	0.2	0.2	0.7
	Max.	20.0	20.0	18.0	3.0	2.0	1.0	49.0	30.0	28.0	12.2	10.4	42.2
Tu4 (n=24)	Mittel.	3.0	2.1	2.5	0.5	0.3	0.3	28.7	18.2	19.7	1.6	3.9	6.0
	Min.	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	1.0	1.0	1.0	0.2	0.2	1.2
	Max.	8.0	6.0	6.0	1.0	1.0	2.0	57.0	45.0	45.0	5.0	12.1	21.4
Ut3 (n=16)	Mittel.	1.5	2.0	1.6	0.8	0.5	0.4	10.9	5.1	5.7	20.2	26.8	30.4
	Min.	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	2.0
	Max.	4.0	6.0	6.0	3.0	2.0	2.0	42.0	25.0	35.0	82.0	95.0	98.8
Ut4 (n=45)	Mittel.	2.5	2.1	1.7	0.4	0.3	0.4	19.2	16.3	14.0	9.1	15.6	19.3
	Min.	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	1.0	2.0
	Max.	10.0	4.0	4.0	2.0	1.0	3.0	51.0	46.0	40.0	38.0	79.3	67.0

Tab. A 8: Zeigt die signifikanten Unterschiede in den Ertragsanteilen der Arten auf verschiedenen Bodenarten für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodenarten. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Ertragsanteilen. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf die Bodenart, der links in der Tabelle genannt ist (Bodenart der Zeile). Beispiel: Tab. 2001 (n. a. Arten im Schnittpunkt von Bodenart Ut4 und Tu4) Die Ertragsanteile an n. a. Arten auf Ut4 war höher (+) als die n. a. Arten auf Tu4. Abkürzungen: n. a. Arten = nicht angesäte Arten. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.

2001	Tu4		Ut3		Tu2		Tu3	
Ut4	+	n. a. Arten			+	n. a. Arten		
Tu4			+	Poa pratensis				
			+	Trifolium repens				
			-	n. a. Arten				
Ut3					-	Trifolium repens		
					+	n. a. Arten		
Tu2								

2002	Tu4		Ut3		Tu2		Tu3	
Ut4	-	Poa pratensis			-	Poa pratensis		
	-	Festuca pratensis	-	Dactylis glomerata		n. a. Arten		
	+	n. a. Arten	+	Trifolium repens	+	n. a. Arten		
Tu4			-	Dactylis glomerata				
			+	Trifolium repens				
			-	n. a. Arten	+	Festuca pratensis		
Ut3					-	Poa pratensis		
					+	n. a. Arten	+	Dactylis glomerata
Tu2								

2003	Tu4		Ut3		Tu2		Tu3	
Ut4	-	Poa pratensis	-	Dactylis glomerata	-	Poa pratensis		
	+	n. a. Arten			+	n. a. Arten		
Tu4			-	Dactylis glomerata				
			+	Trifolium repens				
			+	Poa pratensis				
			-	n. a. Arten				
Ut3					-	Trifolium repens		
					-	Poa pratensis	+	Dactylis glomerata
					+	n. a. Arten	-	Trifolium repens
Tu2								

Tab. A 9: Kennwerte der Korrelationen zwischen Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) und Standortparametern für die drei Untersuchungsjahre (Spearman-Korrelationskoeffizient; ** - Signifikanz $p < 0,01$; * - Signifikanz $p < 0,05$). Dargestellt sind die Beziehungen mit Korrelationskoeffizient $> 0,45$ (d.h. $r^2 > 0,2$). Korrelationskoeffizienten $< 0,45$ sind nur dann dargestellt, wenn es während der Jahre einen Trend gab. Ein Plus (+) drückt eine positive Beziehung aus, ein Minus (-) eine negative Beziehung; Abkürzungen Standortparameter siehe Tab. 8; J. = Jahr.

Pflanzenart	J.	Standortparameter												
		pH	P	Mg	C _t	C _{org}	N _t	Ld	ECa	Slp	Stein	nFk _{We}	Ton	Schluff
Dactylis glomerata	01	-0.48**												
	02	-0.36**												
	03	-0.35**												
Festuca pratensis	01													
	02				-0.29**									
	03				-0.34**									
Trifolium repens	01											-0.56 *		
	02											-0.23 *		
	03											-0.39**		
Poa pratensis	01								0.47**		0.41**	-0.46**	0.37**	0.37**
	02	0.35**		0.38**				0.38**	0.44**		0.60**	-0.62**	0.50**	-0.50**
	03	0.49**		0.45**				0.48**	0.44**		0.69**	-0.65**	0.56**	-0.56**
Poa trivialis	01					0.40**	0.42**	-0.52**			-0.59**	0.46**	-0.49**	0.49**
	02					0.43**	0.44**	-0.49**			-0.49**	0.40**	-0.43**	0.43**
	03					0.44**	0.47**	-0.46**			-0.54**	0.44**	-0.49**	0.49**
Taraxacum officinale	01								0.54 *					
	02					0.47*	0.45*					0.50 *		
	03			-0.48**										
Poa annua	01							-0.48**		-0.47**				
	02				0.49**	0.52**	0.47**							
	03													
Agrostis gigantea	01												-0.91*	0.91*
	02										-0.89*		-0.88*	0.88*
	03												-0.89*	0.89*
Cirsium arvense	01											0.65 *		
	02			0.89**	0.82 *	0.82 *	0.80 *	-0.71 *						
	03											0.78**		
Ranunc. repens	01									-0.89 *				
	02										0.72 *	-0.89 *	0.89 *	
	03		0.61*									-0.85**	0.85**	

- Ertrag

Tab. A 10: Flächenanteile des Trockenmasseertrages (dt TM ha⁻¹) der Untersuchungsjahre 2001-2003 auf dem Mühlberg.

Trockenmasse-Ertragsklasse	Jahr	Flächenanteile (%)		
		2001	2002	2003
> 3		4.84	–	0.01
3 – 4		37.28	0.12	2.34
5 – 6		41.19	7.01	52.58
7 – 8		14.90	40.86	39.51
9 – 10		1.48	34.41	5.06
11 – 12		0.23	15.75	0.41
13 – 14		0.06	1.57	0.07
15 – 16		0.02	0.23	0.01
17 – 18		0.01	0.04	–
> 19		–	0.01	–

Tab. A 11: Kennwerte der Korrelationen zwischen Trockenmasseerträgen (dt TM ha⁻¹) und Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) für die drei Untersuchungsjahre. (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_P); ** - Signifikanz p<0,01; * - Signifikanz p<0,05). Dargestellt sind alle Arten, die eine Beziehung zu den Trockenmasseerträgen zeigten.

Pflanzenart	Jahr	Trockenmasseertrag		
		2001	2002	2003
Lolium perenne		-0.14 r _P	-0.09 r _P	-0.21 *r _P
Dactylis glomerata		0.31**	0.14	0.10
Trifolium repens		-0.32**	0.01	-0.09
Poa pratensis		-0.20	-0.36**	-0.16
Rumex obtusifolius		0.77 *	0.1	-0.20
Ranunculus repens		0.32	0.73 *	0.23
Taraxacum officinale		0.12	0.28	0.34**
Cirsium arvense		0.04	-0.27	0.59 *

Tab. A 12: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodentypen (Darstellung der Mittelwerte, Minima und Maxima).

Bodentyp		Jahr	2001	2002	2003	3J. Mittelwert
Braunauenboden (n=12)	Mittelwert		8.4	12.5	11.3	10.7
	Minimum		1.6	3.1	7.2	1.6
	Maximum		14.2	23.0	17.3	23.0
Braunerde-Pelosol (n=11)	Mittelwert		3.6	7.5	6.8	5.9
	Minimum		1.30	4.79	4.22	1.30
	Maximum		7.73	11.87	10.02	11.87
Braunerde (n=32)	Mittelwert		4.8	9.2	6.5	6.7
	Minimum		1.0	1.0	2.4	1.0
	Maximum		12.1	18.0	11.8	18.0
Gley (n=7)	Mittelwert		10.0	13.5	9.6	11.0
	Minimum		2.6	8.0	4.9	2.6
	Maximum		21.2	18.5	18.6	21.2
Kolluvisol (n=31)	Mittelwert		6.7	10.2	7.3	8.1
	Minimum		0.6	5.4	2.8	0.6
	Maximum		18.4	17.2	12.1	18.4
Parabraunerde (n=2)	Mittelwert		9.5	8.7	10.6	9.7
	Minimum		5.5	8.2	9.9	5.5
	Maximum		13.4	9.8	11.25	13.4
Braunerde-Ranker (n=2)	Mittelwert		4.8	2.8	6.1	4.6
	Minimum		4.0	2.3	5.2	2.3
	Maximum		5.6	3.2	7.0	7.0

Tab. A 13: Zeigt die signifikanten Unterschiede in der Produktivität (Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltsstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertsvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodentypen. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Trockenmasseerträgen bzw. Futterqualitätsparametern. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf den Bodentyp, der links in der Tabelle genannt ist (Bodentyp der Zeile). Beispiel: Tab. 2001 (Trockenmasse im Schnittpunkt von Bodentyp AB und BB-DD). Die Trockenmasse auf AB war höher (+) als die TM auf BB-DD. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.

2001	BB-DD		BB		GG		YK	
AB	+	Trockenmasse	+	Trockenmasse				
BB-DD					-	Trockenmasse	-	Trockenmasse
BB					-	Trockenmasse		
GG								

2002	BB-DD		BB		GG		YK	
AB	+	Trockenmasse						
	-	Rohfasergehalt	-	Rohfasergehalt	+	Rohproteingehalt	-	Rohfasergehalt
BB-DD					-	Trockenmasse		
					+	Energiegehalt		
BB					+	Energiegehalt		
GG							-	Rohfasergehalt
							-	Energiegehalt

2003	BB-DD		BB		GG		YK	
AB	+	Trockenmasse	+	Trockenmasse			+	Trockenmasse
			-	Rohfasergehalt			-	Rohfasergehalt
BB-DD								
BB								
GG								

Tab. A 14: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodenarten (Darstellung der Mittelwerte, Minima und Maxima) (Abkürzungen der Bodenart: siehe Tab. 7).

Bodenart		Jahr	2001	2002	2003	3J. Mittelwert
Ut4 (n=45)	Mittelwert		6.6	10.9	8.0	8.5
	Minimum		1.1	3.1	2.7	1.1
	Maximum		18.4	23.0	17.3	23.0
Tu4 (n=24)	Mittelwert		4.6	8.2	6.8	6.5
	Minimum		0.6	3.2	2.4	0.6
	Maximum		12.0	17.5	11.2	17.5
Ut3 (n=16)	Mittelwert		8.8	12.0	9.5	10.7
	Minimum		2.6	1.0	2.8	1.0
	Maximum		21.2	18.5	18.6	21.2
Tu2 (n=7)	Mittelwert		4.4	7.7	6.5	6.2
	Minimum		2.1	4.6	4.1	2.1
	Maximum		9.6	11.3	8.4	11.3
Tu3 (n=5)	Mittelwert		4.1	6.5	5.2	5.3
	Minimum		1.3	2.3	2.6	1.3
	Maximum		8.7	11.2	9.7	11.2

Tab. A 15: Zeigt die signifikanten Unterschiede in der Produktivität (Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltsstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für die drei Versuchsjahre. Diese Werte wurden durch den nicht parametrischen Tukey-Kramer-Test (multiple Mittelwertvergleiche; $\alpha = 0,05$) gewonnen und erlauben einen unmittelbaren Vergleich des Auftretens einer Art auf jeweils zwei Bodenarten. Dargestellt sind nur die signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Trockenmasseerträgen bzw. Futterqualitätsparametern. Der höhere Wert wird dabei mit einem Plus (+), der geringere mit einem Minus (-) gekennzeichnet und bezieht sich immer auf die Bodenart, der links in der Tabelle genannt ist (Bodenart der Zeile). Beispiel: Tab. 2001 (Trockenmasse im Schnittpunkt von Bodenart Tu4 und Ut3). Die Trockenmasse auf Tu4 war niedriger (-) als die Trockenmasse auf Ut3. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.

2001	Tu4	Ut3	Tu2	Tu3
Ut4				
Tu4		- Trockenmasse		
Ut3			+ Trockenmasse	
Tu2				

2002	Tu4	Ut3	Tu2	Tu3
Ut4	+ Trockenmasse			+ Rohproteingehalt
Tu4		- Trockenmasse		
Ut3				+ Trockenmasse
Tu2				

2003	Tu4	Ut3	Tu2	Tu3
Ut4				
Tu4				
Ut3				+ Trockenmasse
Tu2				

- FutterqualitätTab. A 16: Flächenanteile des Rohproteingehaltes (g kg^{-1} TS) der Untersuchungsjahre 2002 und 2003 auf dem Mühlberg.

Rohproteingehalt-Klasse	Jahr	Flächenanteile (%)	
		2002	2003
< 150		0.28	0.02
151 – 155		2.43	0.34
156 – 160		13.56	9.98
161 – 165		55.63	30.73
166 – 170		24.83	48.95
171 – 175		3.12	9.08
176 – 180		0.14	0.84
> 180		0.01	0.06

Tab. A 17: Flächenanteile des Rohfasergehaltes (g kg^{-1} TS) der Untersuchungsjahre 2002 und 2003 auf dem Mühlberg.

Rohfasergehalt-Klasse	Jahr	Flächenanteile (%)	
		2002	2003
< 225		0.06	0.11
226 – 230		0.09	1.42
231 – 235		0.37	3.59
236 – 240		3.78	8.74
241 – 245		12.38	27.12
246 – 250		34.26	45.91
251 – 255		41.77	11.19
256 – 260		7.25	1.90
> 261		0.04	0.02

Tab. A 18: Kennwerte der Korrelationen zwischen Rohproteingehalt (g kg^{-1} TS) sowie Rohfasergehalt (g kg^{-1} TS) und Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) für die 2 Untersuchungsjahre (Spearman-Korrelationskoeffizient; **-Signifikanz $p < 0,01$; *-Signifikanz $p < 0,05$). Dargestellt sind die Beziehungen mit Korrelationskoeffizient $> 0,45$ (d.h. $r^2 > 0,2$); + ausdrückt eine positive Beziehung; - eine negative Beziehung.

Art	Jahr	Rohproteingehalt		Rohfasergehalt	
		2002	2003	2002	2003
Dactylis glomerata		-	-	0.58**	0.58**
Trifolium repens		0.53**	0.48**	-0.48**	-

Tab. A 19: Flächenanteile des Energiegehaltes (MJ NEL kg⁻¹ TS) der Untersuchungsjahre 2002 und 2003 auf dem Mühlberg.

Energiegehalt-Klasse	Jahr	Flächenanteile (%)	
		2002	2003
< 6.60		0.19	3.27
6.69 – 6.70		0.50	8.15
6.79 – 6.80		2.53	19.03
6.89 – 6.90		12.38	48.02
6.99 – 7.00		47.36	21.29
7.09 – 7.10		31.72	0.24
7.19 – 7.20		5.32	–

Tab. A 20: Durchschnittliche Rohaschegehalte (g kg⁻¹ TS) für die Gesamtfläche, getrennt nach Untersuchungsjahren (Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung und Variationskoeffizient).

Untersuchungsjahr	Rohaschegehalt	Mittelwert	Minimum	Maximum	Standardabw.	Variationskoeff.
2002		113.2	78.7	230	25.6	22.6 %
2003		134.7	90.9	302.5	35.3	26.2 %

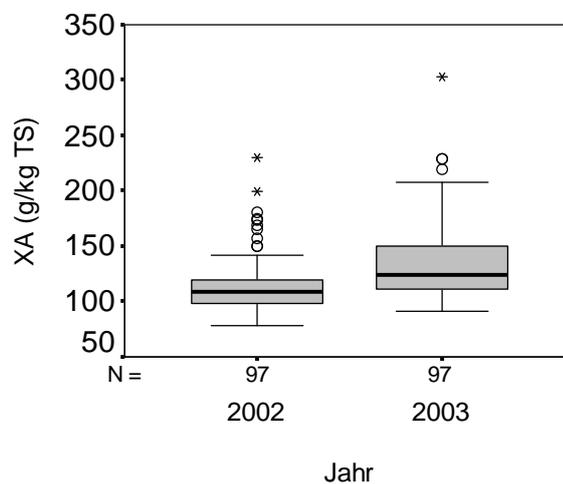


Abb. A 8: Rohaschegehalt (XA in g kg⁻¹ TS) auf der Gesamtfläche, differenziert nach Jahren und als Box-Plots dargestellt. Die Unterschiede sind signifikant (Mann-Whitney-U-Test).

Tab. A 21: Durchschnittliche Rohnährstoff- (g kg^{-1} TS) und Energiegehalte (MJ NEL kg^{-1} TS) für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodentypen (Darstellung der Mittelwerte, Minima und Maxima).

Rohnährstoff- u. Energiegehalt		Rohaschegehalt		Rohproteingehalt		Rohfasergehalt		Energiegehalt	
Jahr		2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Bodentyp									
Braunauenboden (n=12)	Mittelwert	117.55	127.74	170.58	170.82	235.91	235.13	6.95	6.88
	Minimum	95.00	99.45	159.61	154.19	202.90	216.34	6.77	6.49
	Maximum	150.02	173.35	185.07	183.97	250.84	259.32	7.07	7.11
Braunerde-Pelosol (n=11)	Mittelwert	114.49	124.20	161.85	167.63	250.80	245.66	6.94	6.89
	Minimum	84.14	104.68	146.73	155.66	230.10	237.34	6.39	6.48
	Maximum	180.46	175.85	175.37	185.04	261.81	257.27	7.16	7.05
Braunerde (n=32)	Mittelwert	112.83	139.31	163.83	166.24	249.40	244.81	6.96	6.77
	Minimum	87.09	98.19	138.56	151.33	233.14	217.31	6.03	6.03
	Maximum	230.05	229.19	182.78	189.11	266.58	262.18	7.14	7.11
Gley (n=7)	Mittelwert	147.86	156.67	158.97	161.74	241.41	238.77	6.69	6.64
	Minimum	104.88	112.26	141.88	146.57	232.98	223.58	6.49	6.19
	Maximum	174.2	207.09	179.74	181.61	249.71	255.85	7.07	7.02
Kolluvisol (n=31)	Mittelwert	106.62	132.24	163.11	164.42	249.97	245.79	7.01	6.82
	Minimum	78.71	90.94	137.25	148.63	227.52	219.92	6.78	5.56
	Maximum	142.09	302.48	180.22	179.23	262.20	261.32	7.2	7.13
Parabraunerde (n=2)	Mittelwert	93.71	133.66	160.27	145.50	257.55	262.00	7.1	6.78
	Minimum	83.18	120.89	156.76	144.93	253.56	260.88	7.04	6.68
	Maximum	104.24	146.42	163.77	146.06	261.53	263.11	7.17	6.88
Braunerde-Ranker (n=2)	Mittelwert	88.14	125.06	167.75	166.77	252.28	243.72	7.15	6.90
	Minimum	82.40	116.50	166.87	165.04	251.07	240.78	7.11	6.85
	Maximum	93.89	133.63	168.63	168.49	253.49	246.65	7.19	6.95

Tab. A 22: Durchschnittliche Rohnährstoff- und Energiegehalte für den Mühlberg, getrennt nach Untersuchungsjahren und Bodenarten (Darstellung der Mittelwerte, Minima und Maxima). Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.

Rohnährstoff- u. Energiegehalt		Rohaschegehalt		Rohproteingehalt		Rohfasergehalt		Energiegehalt	
Jahr		2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Bodenart									
Ut4 (n=45)	Mittelwert	114.10	138.92	166.40	167.09	244.03	241.41	6.96	6.78
	Minimum	78.71	92.91	137.25	148.63	202.90	216.34	6.31	5.56
	Maximum	199.78	302.48	185.07	189.11	262.20	261.32	7.20	7.11
Tu4 (n=24)	Mittelwert	108.16	136.80	162.98	165.27	250.64	246.11	6.99	6.79
	Minimum	83.18	98.19	141.88	144.93	230.10	230.67	6.50	6.19
	Maximum	169.15	207.09	180.22	179.23	266.58	263.11	7.17	7.11
Ut3 (n=16)	Mittelwert	116.23	127.61	161.18	160.85	249.49	246.17	6.94	6.86
	Minimum	87.49	90.94	152.67	146.06	237.52	222.77	6.49	6.33
	Maximum	174.2	201.83	173.19	177.35	259.96	260.88	7.12	7.13
Tu2 (n=7)	Mittelwert	117.82	117.51	164.33	169.19	252.00	246.37	6.92	6.94
	Minimum	84.14	109.73	154.21	155.66	239.45	239.61	6.03	6.80
	Maximum	230.05	135.77	182.78	179.96	261.81	254.52	7.16	7.00
Tu3 (n=5)	Mittelwert	113.93	134.27	153.26	164.70	255.35	245.32	6.92	6.81
	Minimum	82.4	103.48	138.56	151.33	251.24	231.91	6.39	6.31
	Maximum	180.46	194.3	166.87	174.69	259.97	262.18	7.19	7.09

- Unterschiede zwischen Bestandes- und Bodeneigenschaften

- Bodentyp

Tab. A 23: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹), Ertragsanteile an *Trifolium repens* (%), *Dactylis glomerata* (%), *Poa pratensis* (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodentyp. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für das Versuchsjahr 2001. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.

Parameter	Einheit	Bodentyp				
		AB	BB-DD	BB	GG	YK
Trockenmasse	(dt TM ha ⁻¹)	8.75	3.74	5	10.3	6.95
<i>Trifolium repens</i>	(%)	16.7		31.5		
<i>Dactylis glomerata</i>	(%)		19.1		3.8	
<i>Poa pratensis</i>	(%)		3.1			1.5
nicht angesäte Arten	(%)		1.5	3.1	38.5	

Tab. A 24: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹), Rohfasergehalte (g kg⁻¹ TS), Energiegehalte (MJ NEL kg⁻¹ TS), Ertragsanteile an *Dactylis glomerata* (%), *Poa pratensis* (%), *Festuca pratensis* (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodentyp. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für das Versuchsjahr 2002. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.

Parameter	Einheit	Bodentyp				
		AB	BB-DD	BB	GG	YK
Trockenmasse	(dt TM ha ⁻¹)	12.8	7.7		13.8	
Rohfasergehalt	(g kg ⁻¹ TS)	235.9	250.8	249.4	241.4	250
Energiegehalt	(MJ NEL kg ⁻¹ TS)		6.94	6.96	6.69	7.01
<i>Dactylis glomerata</i>	(%)	12.3	19.1	17.6	3.8	27.2
<i>Festuca pratensis</i>	(%)				4.9	6.1
<i>Poa pratensis</i>	(%)	0.2	4.6	2.8		
nicht angesäte Arten	(%)	38.1	5.7	5.5	46.2	8.1

Tab. A 25: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹), Rohfasergehalte (g kg⁻¹ TS), Ertragsanteile an *Dactylis glomerata* (%), *Poa pratensis* (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodentyp. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodentypen für das Versuchsjahr 2003. Abkürzungen der Bodentypen siehe Tab. 6.

Parameter	Einheit	Bodentyp				
		AB	BB-DD	BB	GG	YK
Trockenmasse	(dt TM ha ⁻¹)	11.6	6.9	6.7		7.5
Rohfasergehalt	(g kg ⁻¹ TS)	235.1		244.8		245.8
<i>Dactylis glomerata</i>	(%)	13.2				28.4
<i>Poa pratensis</i>	(%)	0.2	4.6			
nicht angesäte Arten	(%)	32	4.8	9.2		13.6

- Bodenart

Tab. A 26: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹), Rohfasergehalte (g kg⁻¹ TS), Ertragsanteile an *Trifolium repens* (%), *Poa pratensis* (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodenart. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für das Versuchsjahr 2001. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.

Parameter	Einheit	Bodenart				
		Ut4	Tu4	Ut3	Tu2	Tu3
Trockenmasse	(dt TM ha ⁻¹)		4.8	9.1	4.6	
Rohfasergehalt	(g kg ⁻¹ TS)		2.6			
<i>Trifolium repens</i>	(%)		28.7	10.9	34.9	
<i>Poa pratensis</i>	(%)			0.7		
nicht angesäte Arten	(%)		1.6	20.1	0.7	

Tab. A 27: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹), Ertragsanteile an *Trifolium repens* (%), *Poa pratensis* (%), *Dactylis glomerata* (%) und nicht angesäten Arten (%), getrennt nach Bodenart. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für das Versuchsjahr 2002. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.

Parameter	Einheit	Bodenart				
		Ut4	Tu4	Ut3	Tu2	Tu3
Trockenmasse	(dt TM ha ⁻¹)	11.1	8.4	12.2		
<i>Trifolium repens</i>	(%)		18.2	5.1		
<i>Dactylis glomerata</i>	(%)		18.5	34.4		
<i>Festuca pratensis</i>	(%)	4.9	7.3			
<i>Poa pratensis</i>	(%)	1.6	3.5			
nicht angesäte Arten	(%)	15.6	3.9	26.8		

Tab. A 28: Durchschnittliche Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹), Ertragsanteile an *Trifolium repens* (%) und *Dactylis glomerata* (%), getrennt nach Bodenart. Die Tabelle zeigt nur die signifikanten Unterschiede in der Produktivität der Arten (Ertragsanteile der Arten und Trockenmasseerträge) bzw. Inhaltstoffgehalte auf verschiedenen Bodenarten für das Versuchsjahr 2003. Abkürzungen der Bodenarten siehe Tab. 7.

Parameter	Einheit	Bodenart				
		Ut4	Tu4	Ut3	Tu2	Tu3
Trockenmasse	(dt TM ha ⁻¹)			9.8		5.3
<i>Trifolium repens</i>	(%)			5.7		19.6
<i>Dactylis glomerata</i>	(%)			37.1		13.6

- Multivariate Zusammenhänge zwischen Standort, Vegetation und Bewirtschaftung

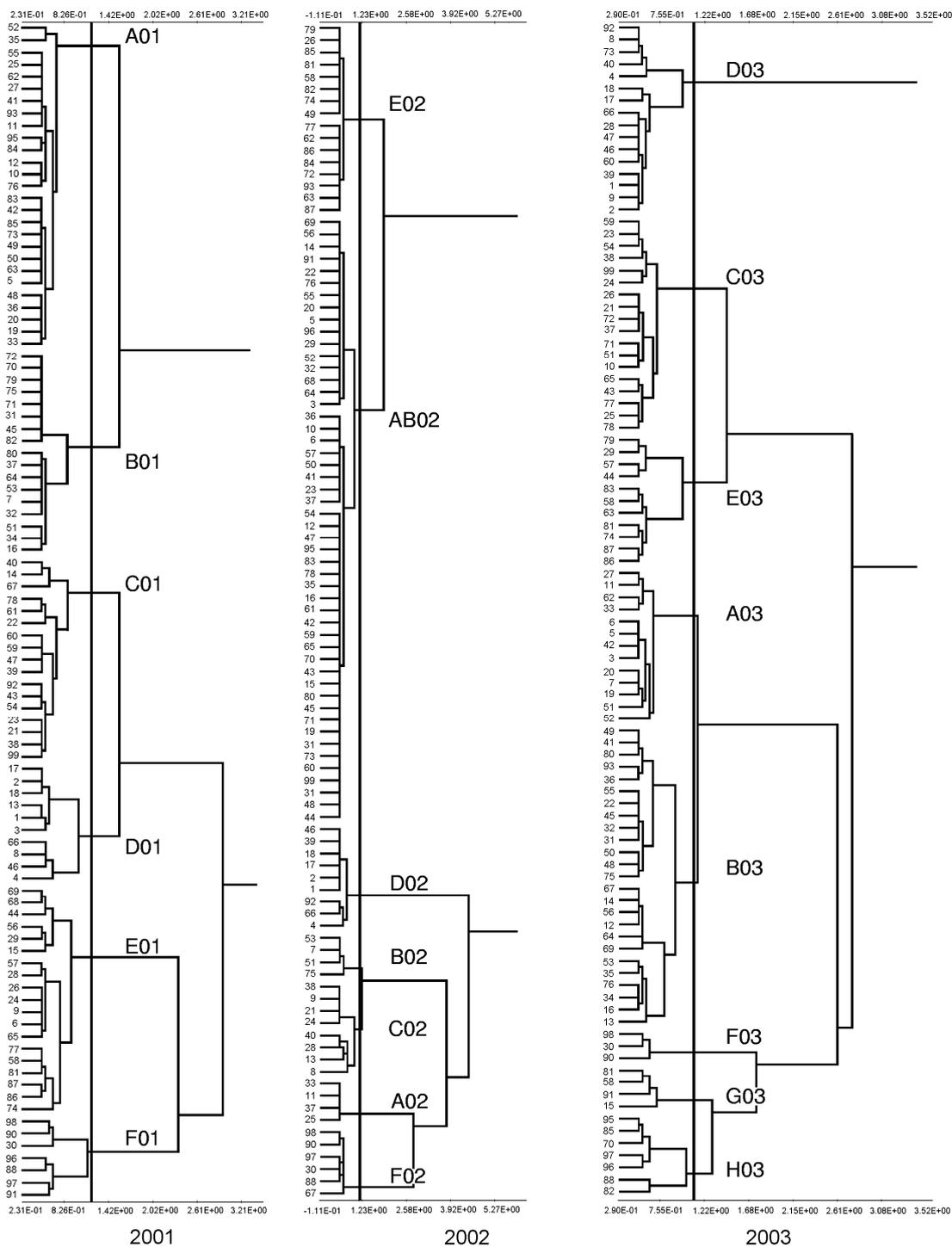


Abb. A 9: Dendrogramme aus der Clusteranalyse für die Jahre 2001-2003.

Tab. A 29: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sechs nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen im Jahr 2001.

Pflanzengruppe	A01	B01	C01	D01	E01	F01
Pflanzenart	n=27	n=17	n=17	n=10	n=19	n=7
Lolium perenne	36.4	48.9	47.9	24.8	60.1	21.4
Dactylis glomerata	6.9	10.2	32.1	49.9	11.0	4.1
Festuca pratensis	5.3	5.4	5.6	13.8	8.1	4.4
Poa pratensis	1.8	1.5	1.3	1.5	0.5	0.2
Festuca rubra	2.9	2.4	1.1	3.3	0.6	-
Phleum pratense	0.8	0.6	0.5	0.3	0.5	0.1
Trifolium repens	43.5	28.1	4.7	4.8	8.7	19.9
Poa trivialis	1.9	2.1	6.3	1.4	9.6	34.2
Agrostis gigantea	-	-	-	-	0.1	4.4
Ranunculus repens	-	-	-	-	0.1	6.3
Sonstige *	1.0	1.0	1.0	-	1.0	5.0

* Sonstige = *Poa annua*, *Capsella bursa pastoris*, *Cirsium arvense*, *Rumex obtusifolius*, *Glyceria fluitans* und *Taraxacum officinale*

Tab. A 30: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sieben nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen im Jahr 2002.

Pflanzengruppe	A02	AB02	B02	C02	D02	E02	F02
Pflanzenart	n=4	n=50	n=4	n=8	n=9	n=16	n=8
Lolium perenne	37.3	44.8	37.3	40.4	29.3	64.7	9.8
Dactylis glomerata	10.0	18.4	15.5	35.4	51.1	9.0	2.0
Festuca pratensis	5.5	5.0	4.8	8.8	9.3	4.8	2.7
Poa pratensis	0.9	2.3	4.5	2.1	1.4	0.8	-
Festuca rubra	0.1	1.5	2.6	1.2	3.2	0.6	-
Phleum pratense	0.3	0.3	0.8	0.7	0.3	0.3	0.1
Trifolium repens	43.8	16.6	31.0	3.8	1.1	13.6	2.0
Poa trivialis	2.1	9.1	2.8	7.6	4.1	4.1	50.9
Agrostis gigantea	-	-	-	-	-	-	12.2
Ranunculus repens	-	0.2	-	-	-	0.1	12.7
Sonstige*	-	2.0	1.0	-	-	2.0	8.0

*Sonstige = *Poa annua*, *Capsella bursa pastoris*, *Cirsium arvense*, *Rumex obtusifolius*, *Glyceria fluitans*, *Taraxacum officinale* und *Bromus sterilis*

Tab. A 31: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den acht nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen im Jahr 2003.

Pflanzengruppe	A03	B03	C03	D03	E03	F03	G03	H03
Pflanzenart	n=13	n=25	n=18	n=16	n=11	n=3	n=4	n=7
Lolium perenne	37.4	43.8	49.3	27.9	59.4	2.0	31.1	30.5
Dactylis glomerata	12.2	18.3	25.6	52.4	4.7	0.0	12.8	2.9
Festuca pratensis	4.2	2.9	4.6	7.4	3.2	1.5	2.8	1.7
Poa pratensis	5.8	3.4	1.8	1.1	-	-	-	0.2
Festuca rubra	3.1	1.5	1.3	1.9	-	-	-	-
Phleum pratense	0.4	0.3	0.4	0.2	0.7	0.1	0.1	0.3
Trifolium repens	33.8	21.5	4.2	0.9	10.3	0.4	7.5	27.2
Poa trivialis	2.9	7.2	11.3	8.1	17.0	33.6	17.4	20.1
Agrostis gigantea	-	-	-	-	-	23.3	0.8	-
Ranunculus repens	-	-	-	-	0.3	31.5	24.0	0.1
Sonstige*	-	1.0	2.0	-	4.0	8.0	4.0	17.0

*Sonstige = *Poa annua*, *Capsella bursa pastoris*, *Cirsium arvense*, *Rumex obtusifolius*, *Glyceria fluitans*, *Taraxacum officinale*, *Bromus sterilis*, *Bromus mollis* und *Agropyron repens*

Tab. A 32: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sechs nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen (2001). Die hier dargestellten Pflanzengruppen enthalten nur jene Probenfläche, die in 2001 und 2003 denselben Pflanzengruppen zugeordnet sind.

Pflanzengruppe	A01	B01	C01	D01	E01	F01
Pflanzenart	n=9	n=9	n=9	n=7	n=8	n=3
Lolium perenne	36.4	46.6	52.1	25.7	64.9	11.7
Dactylis glomerata	6.2	11.8	29.9	53.1	5.9	2.0
Festuca pratensis	6.2	6.3	5.3	12.5	6.8	4.0
Poa pratensis	1.8	1.5	1.2	1.2	0.0	0.4
Festuca rubra	4.1	2.6	1.2	3.3	0.0	-
Phleum pratense	0.8	0.7	0.4	0.2	0.6	-
Trifolium repens	43.6	28.0	5.7	2.5	11.7	6.4
Poa trivialis	0.7	1.7	3.6	1.5	8.9	47.7
Agrostis gigantea	-	-	-	-	-	10.4
Ranunculus repens	-	-	-	-	-	14.7
Sonstige*	0.2	0.8	0.6	-	1.3	2.7

* Sonstige = *Poa annua*, *Capsella bursa pastoris*, *Cirsium arvense*, *Rumex obtusifolius*, *Glyceria fluitans* und *Taraxacum officinale*

Tab. A 33: Mittlere Ertragsanteile der dominanten Arten in den sechs nach Clusteranalyse gebildeten Pflanzengruppen (2003). Die hier dargestellten Pflanzengruppen enthalten nur jene Probenfläche, die in 2001 und 2003 denselben Pflanzengruppen zugeordnet sind.

Pflanzengruppe	A03	B03	C03	D03	E03	F03
Pflanzenart	n=9	n=9	n=9	n=7	n=8	n=3
Lolium perenne	37.9	43.1	46.3	28.6	60.8	2.0
Dactylis glomerata	11.2	18.3	26.7	48.8	4.3	-
Festuca pratensis	3.9	3.3	4.1	9.1	3.4	1.5
Poa pratensis	4.8	3.8	1.6	1.5	0.1	-
Festuca rubra	3.0	1.8	1.1	3.1	0.0	-
Phleum pratense	0.3	0.4	0.4	0.2	0.5	0.1
Trifolium repens	35.8	22.5	6.7	1.6	8.0	0.4
Poa trivialis	2.9	4.8	10.2	7.0	17.8	33.6
Agrostis gigantea	-	-	-	-	-	23.3
Ranunculus repens	-	-	-	-	0.4	31.5
Sonstige*	0.2	1.9	2.9	0.1	4.7	7.5

*Sonstige = *Poa annua*, *Capsella bursa pastoris*, *Cirsium arvense*, *Rumex obtusifolius*, *Glyceria fluitans*, *Taraxacum officinale*, *Bromus sterilis*, *Bromus mollis* und *Agropyron repens*

Tab. A 34: Diskriminanzladungen der Merkmalvariablen für die einzelnen Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalysen der Jahre 2001 - 2003 (Die verwendeten Kürzel für die Variablen werden in Tab. A 35 erläutert).

Variable Nr. Gr.	Diskriminanzfunktionen aus 2001					Diskriminanzfunktionen aus 2002						Diskriminanzfunktionen aus 2003						
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	VII
pH	0.24	-0.23	0.42	0.02	0.33	0.17	-0.14	0.3	-0.06	-0.05	0.07	0.14	-0.06	0.16	-0.16	0.33	0.07	0.3
P	0.51	0.24	0.31	0.11	0.25	0.55	0.43	0.19	0.02	-0.03	0.28	0.49	0.22	0.1	0.09	0.43	0.19	0.01
K	-0.13	-0.02	0.35	-0.03	-0.05	-0.01	0.14	-0.19	-0.03	-0.19	0.3	-0.22	-0.22	0.06	0.07	0.33	0.04	0.04
Mg	0.02	-0.3	0.33	0.23	0.22	-0.07	0.26	0.07	-0.33	0.09	0.07	-0.04	-0.25	0.31	-0.31	0.42	0.04	0.09
Ct	0.32	0.12	0.27	0.23	0.45	0.33	0.41	0.3	-0.1	-0.06	-0.28	0.19	0.23	0.22	-0.1	0.34	0.19	0.06
Corg	0.35	0.36	0.3	0.29	0.49	0.4	0.41	0.2	-0.01	0.08	0.01	0.22	0.38	0.08	-0.02	0.29	0.28	0.11
Nt	0.24	0.48	0.34	0.35	0.44	0.27	0.43	0.07	0.04	0.2	0.23	0.15	0.41	-0.04	-0.01	0.32	0.3	0.15
Ton	-0.11	-0.46	0.49	0.07	-0.29	-0.22	0.23	0.2	-0.1	0	-0.05	-0.19	-0.31	0.42	-0.2	0.58	-0.1	0.18
Schl	0.05	0.39	-0.49	-0.05	0.36	0.15	-0.31	-0.21	0.03	0	0.06	0.13	0.3	-0.33	0.13	-0.63	0.06	-0.09
Sand	0.18	0.2	0.02	-0.03	-0.16	0.22	0.25	0.02	0.17	0.01	-0.02	0.2	0	-0.2	0.19	0.16	0.09	-0.23
Ld	-0.39	-0.62	0.03	-0.01	-0.21	-0.47	-0.26	0.2	-0.12	-0.31	-0.04	-0.4	-0.35	0.25	-0.16	0.07	-0.1	-0.12
Wass	0.03	0.28	0.31	0.24	0.21	0.01	0.21	0.03	-0.09	0.41	-0.01	-0.02	0.37	0.05	0.02	-0.12	0.12	-0.02
Stein	-0.12	-0.64	0.06	-0.14	0.08	-0.16	-0.02	0.17	-0.27	-0.27	-0.4	-0.18	-0.38	0.4	-0.16	0.22	-0.2	-0.09
Slp	-0.33	-0.43	-0.01	0.1	-0.28	-0.27	-0.07	0.01	-0.25	-0.29	-0.04	-0.36	-0.35	0.23	-0.11	-0.12	0.03	-0.29
Asp	-0.22	-0.04	0.01	0.32	0	-0.37	0.09	0.03	-0.17	0.24	0.18	-0.2	-0.15	-0.03	-0.3	-0.1	0.29	-0.18
C_PLA	0.19	-0.27	0.17	-0.04	-0.27	0.04	-0.18	0.22	-0.11	0.07	-0.02	0.04	-0.16	0.29	0.21	-0.12	-0.11	0.07
C_PRO	-0.06	0.25	-0.11	0.09	0.28	0.12	0.44	-0.12	-0.05	-0.16	-0.07	-0.03	0.23	-0.07	-0.15	0.15	0.15	-0.32
MWI	-0.08	0.33	-0.14	0.01	0.36	-0.01	0.15	-0.12	0.32	-0.02	0.09	0.07	0.35	-0.31	-0.02	0.2	-0.05	0.12
FLDI	0.06	0	0.21	0.32	0.09	-0.08	-0.07	0.21	-0.19	0.4	0.03	-0.1	0.28	0.25	0.1	-0.28	0.31	0.05
LF_C	0.39	0.49	-0.05	-0.02	0.28	0.43	0.39	-0.05	0.02	0.27	-0.17	0.31	0.48	-0.11	0.25	0.11	0.18	-0.08
LF_R	0.27	0.41	0.12	-0.03	0.3	0.29	0.32	-0.01	0.01	0.35	-0.15	0.25	0.47	-0.07	0.14	0.12	0.1	-0.12
ECa	-0.35	-0.4	0.23	0.11	0.02	-0.54	-0.02	0.23	0.01	0.12	-0.18	-0.58	0.04	0.36	-0.02	0.26	-0.02	0.33
ZUST	-0.34	-0.54	0.05	-0.18	-0.06	-0.45	-0.6	0.13	0.07	-0.03	-0.12	-0.34	-0.28	0.08	-0.25	-0.06	-0.29	0.37
BODE	-0.49	-0.31	-0.02	-0.1	-0.21	-0.58	-0.54	0.11	0.32	-0.02	0.05	-0.43	-0.08	-0.17	-0.18	-0.01	-0.04	0.37
ACKE	-0.48	-0.29	-0.04	-0.12	-0.17	-0.57	-0.53	0.09	0.33	-0.02	0.03	-0.43	-0.06	-0.19	-0.19	-0.01	-0.05	0.37
GRUE	0.49	0.49	-0.02	0.15	0.17	0.59	0.61	-0.11	-0.2	0.06	0.02	0.46	0.23	0.05	0.24	0.03	0.15	-0.38
TM	0.18	0.49	-0.61	-0.19	-0.1	0.07	0.12	-0.04	0.04	0.17	0.28	0.28	0.01	-0.22	0.27	-0.08	0.26	0.4
Jbes	0.17	0.32	-0.27	0.12	-0.12	0.24	0.17	0.03	0	0	-0.34	0.01	0.47	0.23	0.35	-0.31	-0.05	0.13
Besd	0.26	0.21	-0.19	0.28	0	0.24	0.27	-0.08	-0.36	0	-0.15	0.08	0.22	0.22	0.22	-0.29	0.11	-0.1
Best	0.18	0.32	-0.27	0.11	-0.12	0.25	0.16	0.02	0	0.01	-0.34	0.02	0.46	0.23	0.35	-0.32	-0.06	0.13
Tf	0.28	0.3	0.39	0.3	0.34	0.31	0.68	-0.03	-0.13	0.08	0.24	0.18	0.2	0.13	0	0.48	0.23	0.05
mN	0.54	-0.19	0.01	0.65	0.03	0.14	0.11	0.64	-0.5	0.1	0.25	0.19	0.38	0.6	-0.26	-0.13	0.44	-0.21
mF	0.84	0.42	0.01	-0.1	0.1	0.92	0.18	0.03	-0.11	0.1	0.11	0.91	0.09	-0.15	0.05	-0.09	0.14	-0.17
WZ	-0.52	-0.46	0.2	0.49	0.02	-0.63	-0.24	0.24	-0.24	-0.13	-0.04	-0.87	-0.23	0.26	-0.24	0.03	0.1	0.01
nFK _{ve}	0.19	0.6	0.06	0.03	0.08	0.4	0.07	-0.19	0.24	-0.06	0.34	0.24	0.24	-0.4	0.21	-0.03	0.28	0.04
Lolper	-0.32	0.08	-0.01	0.73	-0.05	-0.6	0.01	0.54	-0.07	0.01	-0.02	-0.49	0.19	0.28	-0.4	0.03	0.38	-0.05
Dacglo	-0.52	0.46	-0.09	-0.54	-0.03	-0.27	-0.1	-0.59	0.58	-0.07	-0.04	-0.4	-0.07	-0.69	0.19	-0.03	-0.34	0.04
Poatri	0.75	0.44	0.08	-0.02	0.1	0.8	0.32	0.02	-0.13	0.03	-0.04	0.53	0.27	-0.1	0.14	-0.11	0.29	-0.33
Fespra	-0.24	0.25	0.08	-0.3	0.05	-0.16	-0.23	-0.35	0.3	0.12	0.05	-0.27	-0.12	-0.47	-0.03	-0.06	-0.18	0.31
Poapra	-0.2	-0.28	0.17	-0.26	-0.09	-0.2	-0.06	-0.19	-0.12	-0.02	-0.33	-0.2	-0.52	0.29	-0.12	0.23	-0.36	0.2
Fesrub	-0.26	-0.31	0.04	-0.31	-0.03	-0.14	-0.03	-0.28	0.16	-0.14	-0.48	-0.19	-0.37	-0.03	-0.02	0.2	-0.28	0.22
Phlpra	-0.15	-0.24	0.02	-0.02	-0.18	-0.19	0.01	-0.04	-0.02	-0.05	-0.42	-0.15	0.05	-0.05	-0.16	-0.03	0.24	0.04
Trirep	0.21	-0.81	0.07	0.07	0.02	-0.28	-0.24	0.19	-0.5	-0.04	0.17	-0.11	-0.25	0.73	-0.09	0.08	-0.08	0.07
Ranrep	0.63	0.19	-0.28	-0.15	-0.03	0.75	0.01	0.01	0.02	0.07	0.17	0.89	0.16	-0.16	-0.14	0.06	-0.2	0
Agrgip	0.62	0.21	-0.01	-0.15	0.13	0.73	-0.03	0.02	0.03	0.1	0.14	0.87	-0.28	-0.24	0.01	-0.01	0.13	-0.02
Taroff	0.3	-0.03	0.11	0.17	-0.12	0.22	0.22	0.16	-0.16	0.17	0	0.1	0.33	0.31	0.61	-0.17	0.15	0.08
Cirarv	0.33	0.05	-0.12	-0.08	-0.07	0.32	0.15	0.08	-0.11	-0.08	-0.07	0	0.19	0.03	-0.02	-0.16	0.36	0.02
Rumobt	0.24	0.08	-0.12	0.07	0.01	0.19	-0.07	0.23	-0.02	0.03	0	0.12	0.33	0.15	0.06	-0.06	0.08	-0.07
Poaann	0.55	0.15	-0.02	-0.08	-0.02	0.25	0.13	0.1	-0.16	-0.1	0.06	-0.03	0.07	0.04	0.03	-0.13	0.12	-0.38
Lolmul	-0.03	0.08	-0.41	0.09	-0.26	-0.03	0.35	-0.07	-0.11	0.01	-0.15	0.01	0.28	0.07	-0.12	0.07	0.26	0.26
Stemed	0.45	0.16	-0.04	-0.07	0.05	0.39	-0.01	0.03	-0.1	0.2	0.13	0	0	0	0	0	0	
Glyflu	0.43	0.12	-0.36	-0.11	-0.11	0.51	-0.02	0.02	0.03	0.15	0.05	0.56	-0.21	-0.14	-0.01	-0.1	0.13	-0.06
Aggrip	0.21	0.1	-0.01	0.05	0.14	0	0.19	0.04	-0.03	0.18	-0.03	0.19	0.42	0.01	-0.27	0.11	-0.06	0.2
Matcha	0	-0.15	-0.03	-0.04	0.34	-0.01	0.07	0.26	0.04	0.23	0.09	-0.02	-0.1	0.1	-0.05	0.16	-0.07	0.09
Tripra	-0.02	-0.13	-0.07	0.05	0.1	-0.09	0.05	0.04	-0.13	-0.25	-0.17	-0.03	-0.1	0.17	0.04	0.04	0.1	-0.09
Ranfic	0.24	0.17	0.17	0.15	0.25	0	0.29	-0.04	-0.19	0.69	0	-0.02	0.21	0.01	-0.22	0.09	0.27	0.29
Hersph	0	0.06	-0.01	0.13	0.05	0.03	-0.13	0.08	-0.06	0.06	-0.08	0.2	0.31	0.03	-0.08	0.01	-0.25	0.04
Capbur	0.37	0.1	-0.07	-0.12	-0.08	0.41	0.22	0.02	-0.05	-0.07	-0.12	0.11	0.36	0.06	0.04	-0.01	0.04	0.22
Brommol	0	0	0	0	0	0.33	0.09	0.03	0.09	0.06	-0.18	0.08	0.18	0.19	0.44	-0.05	0	0.19
Urtdio	0.11	-0.16	-0.01	-0.02	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chabul	0.23	-0.04	-0.07	0.04	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Glehed	0	-0.15	-0.03	-0.04	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verarv	0	0	0	0	0	-0.03	0.39	-0.04	-0.2	-0.2	0.04	-0.01	-0.12	0.23	0.32	-0.02	0.04	0.01
Vioarv	0.02	-0.23	0.04	-0.02														

Tab. A 35: Diskriminanzladungen der Merkmalvariablen für die einzelnen Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalyse für die „engeren Pflanzengruppen“.

Variable	Nr.	Diskriminanzfunktionen aus den "engeren Pflanzengruppen"										XI
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
	Gesamtaufrennung	21%	14%	10%	8%	8%	7%	7%	6%	6%	6%	
pH	pH-Wert	0.15	-0.04	0.15	0.61	0.04	-0.37	0.32	0.22	-0.08	0.2	0
P	Phosphor	0.5	0.23	-0.02	0.2	0.22	-0.36	-0.24	0.2	-0.36	0.15	0.04
K	Kalium	-0.19	-0.02	-0.02	0.19	-0.04	-0.39	-0.06	0.31	-0.3	0.26	-0.07
Mg	Magnesium	0.02	-0.06	0.42	0.38	-0.12	-0.32	-0.21	0.12	-0.27	0.19	-0.08
Ct	Gesamtkohlenstoff	0.17	0.22	0.32	0.51	0.25	-0.27	0.05	0.07	-0.05	0.16	0.38
Corg	Organischer Kohlenstoff	0.2	0.41	0.25	0.44	0.32	-0.36	-0.04	0.22	-0.06	0.08	0.17
Nt	Gesamtsstickstoff	0.11	0.47	0.19	0.45	0.29	-0.36	-0.07	0.28	-0.1	0.04	-0.04
Ton	Tonfraktion	-0.28	-0.3	0.28	0.2	-0.46	-0.17	-0.05	0.03	-0.51	0.36	0.03
Schl	Schlufffraktion	0.2	0.29	-0.2	-0.21	0.46	0.08	0	0.05	0.61	-0.35	-0.03
Sand	Sandfraktion	0.26	0.03	-0.2	0.05	-0.08	0.27	0.11	-0.27	-0.41	0	-0.05
Ld	Lagerungsdichte	-0.49	-0.37	0.16	-0.09	-0.4	0.02	0.21	-0.13	-0.23	0.07	-0.04
Wass	Wassergehalt	-0.14	0.3	0.16	0.03	0.3	0.13	-0.05	0.46	-0.06	0.01	0.06
Stein	Steingehalt	-0.22	-0.52	0.25	0.22	-0.33	-0.13	-0.01	-0.13	-0.07	0.1	0.41
Slp	Hangneigung	-0.4	-0.3	0.16	-0.11	-0.22	0.4	0.1	-0.1	-0.06	0.1	0.09
Asp	Hangrichtung	-0.16	0.35	0.38	0	0.05	0.11	0.07	0.42	0.06	0.23	-0.11
C_PLA	Horizontalkrümmung	0.08	-0.35	0.15	-0.03	-0.18	-0.18	0.27	-0.12	-0.06	-0.06	0.37
C_PRO	Vertikalkrümmung	-0.09	0.49	-0.01	-0.16	0.29	0.24	-0.4	0	-0.3	0.04	0.09
MWI	Topografischer Wetness-Index	0.13	0.33	-0.15	-0.02	0.29	-0.18	-0.28	0.09	-0.05	-0.06	-0.08
FLDI	Zufussrichtung	-0.18	0.43	0.35	-0.11	0.1	0.02	0.1	0.35	0.12	0.12	-0.21
LF_C	Landformelement (komplex)	0.31	0.59	-0.12	-0.05	0.33	0.11	-0.24	-0.08	-0.16	-0.15	-0.15
LF_R	Landformelement	0.18	0.52	-0.09	-0.03	0.28	0.11	-0.14	0.17	-0.37	-0.06	-0.1
Eca	Elektrische Leitfähigkeit	-0.65	0.02	0.26	0.21	-0.17	-0.33	-0.06	0.17	0.03	0.2	0
ZUST	Zustand	-0.36	-0.42	0.23	0.24	-0.25	-0.25	0.26	0.23	0.17	0.18	-0.03
BODE	Bodenzahl	-0.5	-0.04	-0.04	0.1	-0.16	-0.09	0.54	0.25	0.15	0.25	-0.03
ACKE	Ackerzahl	-0.49	-0.01	-0.05	0.08	-0.13	-0.09	0.55	0.24	0.16	0.25	-0.02
GRUE	Grünlandzahl	0.51	0.24	-0.07	-0.2	0.26	0.14	-0.45	-0.26	-0.16	-0.23	0.04
TM	Trockenmasseertrag	0.33	0.41	-0.29	-0.02	-0.03	-0.09	-0.13	-0.56	0.11	-0.24	0.06
Jbes	Jahresbesatzleistung	-0.22	0.34	0.04	-0.58	0.13	-0.09	-0.27	-0.03	0.44	-0.19	0.43
Besd	Besatzdichte	0.04	0.21	0.24	-0.26	0.24	0.14	-0.23	-0.25	0.15	-0.13	0.24
Best	Besatzleistung	-0.21	0.33	0.05	-0.57	0.12	-0.11	-0.25	-0.01	0.46	-0.19	0.43
Tf	Trophiefaktor	0.17	0.36	0.19	0.14	0.27	-0.45	-0.48	0.2	-0.33	0.15	0.01
mN	Stickstoffzahl	0.18	0.27	0.75	-0.22	0.2	0.06	-0.02	0.13	-0.17	-0.12	-0.31
mF	Feuchtezah	0.96	0.13	-0.11	-0.05	0.12	-0.01	-0.09	0.02	-0.03	-0.02	-0.14
WZ	Wertzahl	-0.87	-0.11	0.37	-0.01	0.07	-0.1	0.02	0.16	-0.04	0.06	-0.14
nFK _{W_e}	Nutzbare Feldkapazität des e. Wurzelraums	0.3	0.42	-0.29	0.18	0.27	-0.03	0.25	-0.07	0.04	-0.03	-0.23
Lolper	Lolium perenne	-0.5	0.37	0.54	-0.17	0.13	-0.01	0.05	0.13	0.03	0.03	-0.04
Dacglo	Dactylis glomerata	-0.35	0.03	-0.81	0	-0.07	0.03	0.04	-0.03	0.03	-0.08	-0.02
Poatri	Poa trivialis	0.75	0.24	-0.04	-0.05	0.18	0	-0.13	-0.06	-0.09	-0.13	-0.09
Fespra	Festuca pratensis	-0.24	-0.1	-0.32	0.18	0.2	-0.13	-0.18	0.02	0.16	0	-0.09
Poapra	Poa pratensis	-0.17	-0.39	0.03	0.17	-0.54	-0.26	-0.07	0.04	-0.1	0.06	0.21
Fesrub	Festuca rubra	-0.18	-0.39	-0.1	0.29	-0.2	-0.09	0.12	-0.15	0.17	0.19	0.58
Phlpra	Phleum pratense	-0.18	-0.07	0.35	0.11	0	0.18	0.22	-0.15	0.09	0.23	0.35
Trirep	Trifolium repens	-0.21	-0.49	0.53	0.11	-0.12	-0.01	0.08	0.04	-0.09	0.11	-0.03
Ranrep	Ranunculus repens	0.92	-0.04	-0.12	0	-0.03	-0.07	-0.01	-0.19	0.02	-0.01	-0.03
Agrgig	Agrostis gigantea	0.95	-0.02	-0.13	-0.03	0	0.01	-0.01	0.01	0.03	0.15	-0.02
Taroff	Taraxacum officinale	0.01	0.31	0.14	-0.27	-0.17	0.54	-0.31	-0.12	0.03	-0.22	0.15
Cirarv	Cirsium arvense	-0.01	0.43	0.2	0.16	-0.17	0.62	-0.2	0	0.11	-0.18	0.14
Rumobt	Rumex obtusifolius	0.03	0.28	0.14	-0.23	0.08	-0.12	0.34	-0.06	-0.09	-0.12	0.07
Poaann	Poa annua	0.21	-0.1	0.03	-0.01	0.38	0.03	0.08	0.22	-0.36	-0.65	0.19
Lolmul	Lolium multiflorum	-0.02	0.29	0.15	0.02	0.1	-0.23	-0.33	-0.4	0.17	-0.17	-0.2
Stemed	Stellaria media	0.26	-0.19	0.04	0.11	0.41	0	0.01	0.27	-0.3	-0.57	0.2
Glyflu	Glyceria fluitans	0.53	0.08	-0.09	-0.05	-0.06	0.07	0.01	0.22	0.06	0.3	0.02
Agrrrep	Agropyron repens	0.01	0.34	0.2	0.3	0.08	-0.34	-0.25	-0.31	0.15	-0.13	-0.23
Matcha	Matricaria recutita	-0.03	-0.19	0.29	0.08	0.26	-0.05	-0.19	0.1	-0.05	0.23	-0.04
Tripra	Trifolium pratense	-0.07	0	0.06	-0.01	-0.19	-0.15	-0.11	0.08	-0.02	0.03	0.21
Ranfic	Ranunculus ficaria	0.06	0.18	0.15	0.15	0.25	-0.12	-0.25	0.03	0.07	0.08	-0.13
Hersph	Heracleum sphondylium	-0.03	0.08	0.05	0.01	0.36	-0.12	-0.24	0.1	-0.1	0.17	0.14
Capbur	Capsella bursa-pastoris	0.03	0.37	0.16	0.33	-0.18	0.36	-0.06	0.11	0.16	-0.17	0.17
Brommol	Bromus mollis	-0.01	0.04	-0.02	-0.44	-0.18	0.4	-0.35	-0.18	-0.04	-0.14	0.15
Urtid	Urtica dioica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chabul	Chaerophyllum bulbosum	-0.02	0.19	0.1	-0.16	0.12	-0.13	0.31	-0.08	-0.05	0.01	0.05
Glehed	Glechoma hederacea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verarv	Veronica arvensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vioarv	Viola arvensis	-0.01	-0.21	0.2	0.14	0	0.12	0.01	-0.16	-0.23	0.13	-0.11
Matino	Tripleurospermum perforatum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plamaj	Plantago major	-0.02	0.07	0.15	-0.08	-0.04	0	0.12	-0.01	0.11	0.04	0.02
Galapa	Galium aparine	-0.03	-0.21	0.09	0.17	0.05	0.11	0.19	-0.22	0.12	0.18	0.49
Verhed	Veronica hederifolia	-0.05	0.01	-0.04	-0.05	-0.04	-0.15	-0.07	0.01	-0.09	-0.03	0.08
Verper	Veronica persica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cerhol	Cerastium holosteoides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agrcap	Agrostis capillaris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hollan	Holcus lanatus	-0.05	-0.01	-0.2	0.11	-0.1	-0.02	0.01	-0.03	-0.03	0.01	0.02
n.-Arten	nicht angesäte Arten	0.95	0.18	-0.06	-0.06	0.08	0.06	-0.1	-0.07	-0.04	-0.07	-0.03

Tab. A 36: Durchschnittliche Faktorwerte der Pflanzengruppen für alle Diskriminanzfunktionen im Jahr 2001. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte, die besonders weit auseinander liegen. Sie wiesen auf jene Pflanzengruppen hin, die am besten von der Diskriminanzfunktion getrennt wurden. Hier trugen nur die ersten drei Diskriminanzfunktionen zur Trennung der Pflanzengruppen signifikant bei.

Pflanzengruppe	Diskriminanzfunktionen				
	I/01	II/01	III/01	IV/01	V/01
Gruppe A01	-1.30	0.12	-0.17	0.33	-0.01
Gruppe B01	-0.53	-0.07	0.48	-0.77	0.19
Gruppe C01	0.56	-0.55	-0.07	-0.09	-0.66
Gruppe D01	0.90	-0.98	-1.87	0	0.41
Gruppe E01	0.97	-0.17	1.12	0.34	0.24
Gruppe F01	1.02	2.91	-0.70	-0.09	-0.06

Tab. A 37: Durchschnittliche Faktorwerte der Pflanzengruppen für alle Diskriminanzfunktionen im Jahr 2002. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte, die besonders weit auseinander liegen. Sie wiesen auf jene Pflanzengruppen hin, die am besten von der Diskriminanzfunktion getrennt wurden. Hier trugen nur die ersten drei Diskriminanzfunktionen zur Trennung der Pflanzengruppen signifikant bei.

Pflanzengruppe	Diskriminanzfunktionen					
	I/02	II/02	III/02	IV/02	V/02	VI/02
Gruppe A02	-0.45	-0.33	-1.19	-0.84	1.15	-0.12
Gruppe AB02	-0.22	-0.23	-0.41	0.26	-0.02	0.01
Gruppe B02	-0.18	-0.36	-1.18	-1.01	-0.97	-0.20
Gruppe C02	-0.24	-0.74	0.63	-0.51	-0.06	0.32
Gruppe D02	-0.13	-1.24	1.84	-0.01	0.05	-0.17
Gruppe E02	-0.34	1.89	0.54	-0.09	0	-0.01
Gruppe F02	3.68	0.17	-0.06	-0.04	0.05	0

Tab. A 38: Durchschnittliche Faktorwerte der Pflanzengruppen für alle Diskriminanzfunktionen im Jahr 2003. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte, die besonders weit auseinander liegen. Sie wiesen auf jene Pflanzengruppen hin, die am besten von der Diskriminanzfunktion getrennt wurden. Hier trugen nur die ersten fünf Diskriminanzfunktionen zur Trennung der Pflanzengruppen signifikant bei.

Pflanzengruppe	Diskriminanzfunktionen						
	I/03	II/03	III/03	IV/03	V/03	VI/03	VII/03
Gruppe A03	-0.17	0.88	-0.88	-0.84	-0.49	-0.41	0.40
Gruppe B03	-0.22	0.63	0.02	-0.5	-0.14	0.48	-0.17
Gruppe C03	-0.40	-0.38	-0.03	0.15	-0.17	-0.49	-0.42
Gruppe D03	-0.56	-1.71	-0.43	-0.02	0.63	0.18	0.21
Gruppe E03	-0.12	-0.06	2.03	0.84	-0.80	-0.01	0.27
Gruppe F03	4.91	-1.33	0.84	-1.73	0.10	-0.13	-0.08
Gruppe G03	1.80	0.21	-2.35	2.79	-1.04	0.31	0.01
Gruppe H03	0.48	1.58	0.41	0.84	2.23	-0.19	0.07

Tab. A 39: Durchschnittliche Faktorwerte der Pflanzengruppen für alle Diskriminanzfunktionen der Analyse der „engeren Pflanzengruppen“. Grau untergelegt sind jeweils die Faktorwerte die besonders weit auseinander liegen. Sie wiesen auf jene Pflanzengruppen hin, die am besten von der Diskriminanzfunktion getrennt wurden. Hier trugen nur die ersten fünf Diskriminanzfunktionen zur Trennung der Pflanzengruppen signifikant bei.

Pflanzengruppe	Diskriminanzfunktionen							
	I/e	II/e	III/e	IV/e	V/e	VI/e	VII/e	VIII/e
Gruppe A01	-0.19	0.97	-1.4	0.3	0.27	0.45	0.34	0.12
Gruppe B01	-0.38	0.34	-0.32	-0.09	0.51	-0.72	-0.03	0.28
Gruppe C01	-0.46	-0.38	0.02	0.39	-0.35	0.31	-0.68	-0.15
Gruppe D01	-0.61	-1.96	-0.15	0.42	0.14	0.11	0.5	0.05
Gruppe E01	-0.25	0.67	0.82	1.73	0.66	-0.1	-0.14	-0.19
Gruppe F01	2.78	-0.11	-0.86	1.62	-1.92	-0.94	0.34	0.04
Gruppe A03	-0.13	0.61	-0.96	-0.79	-0.35	0.33	0.12	-0.24
Gruppe B03	-0.23	0.23	0.15	-1.01	0.1	-0.79	-0.11	-0.19
Gruppe C03	-0.15	-0.22	0.27	-0.29	-0.4	0.27	-0.79	0.28
Gruppe D03	-0.37	-1.8	0.26	-0.28	0.03	0.06	0.42	-0.05
Gruppe E03	0.18	1.04	2.04	-0.41	-0.4	0.35	0.59	0.09
Gruppe F03	4.49	-0.75	0.13	-0.75	1.38	0.47	-0.31	-0.04

Tab. A 40: Kennwerte der Korrelationen zwischen Diskriminanzfunktionen gleicher Zahl aus den Untersuchungsjahren, die paarweise gegeneinander aufgetragen worden sind (Pearson-Korrelationskoeffizient ; **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$).

	Korrelationskoeffizient		
	2001/2002	2001/2003	2002/2003
Diskriminanzfunktion I	0.93**	0.90**	0.93**
Diskriminanzfunktion II	0.58**	0.70**	0.49**
Diskriminanzfunktion III	0.27**	0.35**	0.67**

- Intensivfläche

Tab. A 41: Aufgenommene Standortparameter der Intensivfläche I01 (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichungen, Variationskoeffizienten, Anzahl der Beprobungen).

Parameter	Einheit	Abküz.	Mittelw.	Min.	Max.	s.	cv %	n
pH-Wert (0-7cm Tiefe)	-	pH	6.94	6.10	7.35	0.25	3.57	81
pH-Wert (7-15 cm Tiefe)	-	pH_15	7.02	6.50	7.40	0.22	3.12	81
Phosphor (0-7cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	P	8.58	4.00	15.00	2.69	31.35	81
Phosphor (7-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	P_15	10.05	6.00	18.00	2.94	29.25	81
Kalium (0-7cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	K	22.13	14.00	38.00	4.41	19.93	81
Kalium (7-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	K_15	18.85	13.00	34.00	4.01	21.27	81
Magnesium (0-7cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	Mg	21.85	13.00	28.00	3.09	14.14	81
Magnesium (7-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	Mg_15	25.09	17.00	33.00	3.54	14.11	81
Gesamtkohlenstoff (0-7cm Tiefe)	%	Ct	2.58	1.83	3.41	0.36	13.97	81
Gesamtkohlenstoff (7-15 cm Tiefe)	%	Ct_15	2.45	1.71	3.38	0.37	15.17	81
Organischer Kohlenstoff (0-7cm Tiefe)	%	Corg	1.82	1.50	2.40	0.18	9.60	81
Organischer Kohlenstoff (7-15 cm Tiefe)	%	Corg_15	2.45	1.70	3.40	0.37	15.20	81
Gesamtstickstoff (0-7cm Tiefe)	%	Nt	0.21	0.17	0.26	0.02	9.98	81
Gesamtstickstoff (7-15 cm Tiefe)	%	Nt_15	0.19	0.15	0.24	0.02	11.40	81
Trophiefaktor (0-7cm Tiefe)	Kardinalzahl	Tf	10.42	5.00	16.14	2.78	26.66	81
Trophiefaktor (7-15 cm Tiefe)	Kardinalzahl	Tf_15	10.56	5.43	15.95	2.39	22.65	81
Lagerungsdichte	gcm ⁻³	Ld	1.56	1.42	1.66	0.05	3.06	81
Wassergehalt	Vol. %	Wass	38.72	35.34	42.73	1.85	4.78	81
Steingehalt	Gew. %	Stein	11.65	2.25	25.37	5.38	46.21	81
Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (Anrechnung Steingehalt)	mm	nFk _{we}	50.13	29.00	75.40	13.65	27.24	81
Tonfraktion	Masse-%	Ton	30.84	15.00	55.00	11.96	38.78	81
Schlufffraktion	Masse-%	Schl	65.66	43.00	77.00	11.09	16.89	81
Sandfraktion	Masse-%	Sand	8.65	5.00	13.00	2.77	32.02	81
Elektrische Leitfähigkeit	mSm ⁻¹	ECa	16.06	13.60	19.30	1.45	9.00	81
Zustand	Ordinalzahl	ZUST	12.00	1.00	38.00	11.00	91.67	81
Bodenzahl	Ordinalzahl	BODE	31.59	46.00	57.00	20.51	64.93	54
Ackerzahl	Ordinalzahl	ACKE	28.32	41.00	57.00	20.51	72.42	54
Grünlandzahl	Ordinalzahl	GRUE	16.56	49.00	55.00	23.58	142.39	27
Hangneigung	%	Slp	14.72	7.54	20.84	2.98	20.26	81
Hangrichtung	°	Asp	280.39	264.19	320.41	10.81	3.86	81
Horizontalkrümmung	1(100m) ⁻¹	C_PLA	70.65	37.80	98.30	12.55	17.77	81
Vertikalkrümmung	1(100m) ⁻¹	C_PRO	118.52	86.20	201.20	31.12	26.25	81
Topografischer Wetness-Index	-	MWI	47.68	40.90	55.60	3.06	6.41	81
Zuflussrichtung	Ordinalzahl	FLDI	5.06	5.00	6.00	0.24	4.74	81
Landformelement (komplex)	Ordinalzahl	LF_C	4.32	1.00	9.00	2.57	59.49	81
Landformelement	Ordinalzahl	LF_R	1.88	1.00	3.00	0.75	39.89	81

Tab. A 42: Aufgenommene Standortparameter der Intensivfläche I02 (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichungen, Variationskoeffizienten, Anzahl der Beprobungen).

Parameter	Einheit	Abküz.	Mittelv.	Min.	Max.	s.	cv %	n
pH-Wert (0-7cm Tiefe)	-	pH	6.58	5.96	7.17	0.38	5.76	101
pH-Wert (7-15 cm Tiefe)	-	pH_15	6.63	6.10	7.40	0.32	4.81	101
Phosphor (0-7cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	P	15.89	7.00	26.00	4.07	25.61	101
Phosphor (7-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	P_15	15.87	8.00	28.00	5.16	32.51	101
Kalium (0-7cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	K	34.97	16.00	49.00	6.03	17.24	101
Kalium (7-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	K_15	22.58	8.00	35.00	5.64	24.98	101
Magnesium (0-7cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	Mg	20.42	15.00	30.00	3.58	17.53	101
Magnesium (7-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	Mg_15	20.54	13.00	31.00	3.76	18.31	101
Gesamtkohlenstoff (0-7cm Tiefe)	%	Ct	2.44	1.30	3.52	0.42	17.12	101
Gesamtkohlenstoff (7-15 cm Tiefe)	%	Ct_15	2.22	1.47	3.30	0.41	18.52	101
Organischer Kohlenstoff (0-7cm Tiefe)	%	Corg	2.23	0.70	3.40	0.48	21.47	101
Organischer Kohlenstoff (7-15 cm Tiefe)	%	Corg_15	2.22	1.50	3.30	0.41	18.52	101
Gesamtstickstoff (0-7cm Tiefe)	%	Nt	0.25	0.14	0.37	0.05	18.54	101
Gesamtstickstoff (7-15 cm Tiefe)	%	Nt_15	0.22	0.16	0.33	0.05	22.89	101
Trophiefaktor (0-7cm Tiefe)	Kardinalzahl	Tf	17.67	7.48	34.18	4.52	25.58	101
Trophiefaktor (7-15 cm Tiefe)	Kardinalzahl	Tf_15	13.28	8.21	25.36	3.52	26.53	101
Lagerungsdichte	gcm ⁻³	Ld	1.46	1.29	1.65	0.10	6.67	101
Wassergehalt	Vol. %	Wass	42.18	36.84	49.41	3.03	7.18	101
Steingehalt	Gew. %	Stein	6.32	0.38	25.63	5.44	86.13	101
Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (Anrechnung Steingehalt)	mm	nFk _{We}	65.85	34.36	82.72	16.27	24.70	101
Tonfraktion	Masse-%	Ton	19.50	15.00	38.00	7.31	37.49	101
Schlufffraktion	Masse-%	Schl	74.06	58.00	77.00	4.29	5.79	101
Sandfraktion	Masse-%	Sand	9.75	5.00	12.00	2.64	27.08	101
Elektrische Leitfähigkeit	mSm ⁻¹	E _{Ca}	32.41	24.10	36.00	2.36	7.27	101
Zustand	Ordinalzahl	ZUST	11.00	1.00	38.00	11.00	100.00	101
Bodenzahl	Ordinalzahl	BODE	17.17	38.00	63.00	26.48	154.22	101
Ackerzahl	Ordinalzahl	ACKE	15.97	35.00	59.00	24.69	154.60	31
Grünlandzahl	Ordinalzahl	GRUE	36.33	52.00	53.00	24.30	66.89	70
Hangneigung	%	Slp	10.40	1.76	18.47	4.14	39.82	101
Hangrichtung	°	Asp	324.50	284.19	358.47	13.86	4.27	101
Horizontalkrümmung	1(100m) ⁻¹	C_PLA	63.74	45.40	83.20	8.19	12.84	101
Vertikalkrümmung	1(100m) ⁻¹	C_PRO	126.00	100.60	158.10	18.60	14.76	101
Topografischer Wetness-Index	-	MWI	53.00	45.60	68.40	5.02	9.47	101
Zuflussrichtung	Ordinalzahl	FLDI	6.18	6.00	7.00	0.38	6.15	101
Landformelement (komplex)	Ordinalzahl	LF_C	6.37	4.00	10.00	1.71	26.84	101
Landformelement	Ordinalzahl	LF_R	2.47	2.00	4.00	0.52	21.05	101

Tab. A 43: Aufgenommene Standortparameter Intensivfläche I03 (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima, Standardabweichungen, Variationskoeffizienten, Anzahl der Beprobungen).

Parameter	Einheit	Abküz.	Mittelv.	Min.	Max.	s.	cv %	n
pH-Wert (0-7cm Tiefe)	-	pH	6.28	5.90	6.80	0.19	2.99	81
pH-Wert (7-15 cm Tiefe)	-	pH_15	6.39	6.10	6.80	0.15	2.30	81
Phosphor (0-7cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	P	10.67	5.00	20.00	3.11	29.14	81
Phosphor (7-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	P_15	9.44	5.00	17.00	2.76	29.24	81
Kalium (0-7cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	K	32.94	17.00	59.00	8.57	26.02	81
Kalium (7-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	K_15	22.36	13.00	54.00	7.85	35.11	81
Magnesium (0-7cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	Mg	21.54	12.00	32.00	4.77	22.14	81
Magnesium (7-15 cm Tiefe)	mg(100g) ⁻¹	Mg_15	19.44	12.00	25.00	3.97	20.42	81
Gesamtkohlenstoff (0-7cm Tiefe)	%	Ct	2.02	1.46	3.23	0.23	11.40	81
Gesamtkohlenstoff (7-15 cm Tiefe)	%	Ct_15	1.67	1.28	2.43	0.16	9.68	81
Organischer Kohlenstoff (0-7cm Tiefe)	%	Corg	1.93	1.60	3.00	0.20	10.10	81
Organischer Kohlenstoff (7-15 cm Tiefe)	%	Corg_15	1.58	1.40	2.00	0.12	7.73	81
Gesamtstickstoff (0-7cm Tiefe)	%	Nt	0.22	0.17	0.29	0.02	8.61	81
Gesamtstickstoff (7-15 cm Tiefe)	%	Nt_15	0.19	0.15	0.26	0.02	8.13	81
Trophiefaktor (0-7cm Tiefe)	Kardinalzahl	Tf	14.24	8.20	32.06	4.78	33.54	81
Trophiefaktor (7-15 cm Tiefe)	Kardinalzahl	Tf_15	9.65	6.17	18.98	2.50	25.92	81
Lagerungsdichte	gcm ⁻³	Ld	1.51	1.39	1.62	0.05	3.35	81
Wassergehalt	Vol. %	Wass	35.66	32.22	40.24	1.62	4.55	81
Steingehalt	Gew. %	Stein	10.26	1.21	26.01	4.68	45.62	81
Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (Anrechnung Steingehalt)	mm	nFk _{We}	57.00	38.19	81.53	10.32	18.11	81
Tonfraktion	Masse-%	Ton	22.93	15.00	38.00	5.16	22.50	81
Schlufffraktion	Masse-%	Schl	72.99	58.00	77.00	2.73	3.74	81
Sandfraktion	Masse-%	Sand	8.20	5.00	12.00	2.12	25.85	81
Elektrische Leitfähigkeit	mSm ⁻¹	E _{Ca}	32.41	24.10	36.00	2.36	7.27	81
Zustand	Ordinalzahl	ZUST	5.00	5.00	5.00	-	-	81
Bodenzahl	Ordinalzahl	BODE	46.48	45.00	51.00	2.60	5.59	81
Ackerzahl	Ordinalzahl	ACKE	43.73	42.00	49.00	3.04	6.95	81
Grünlandzahl	Ordinalzahl	GRUE	-	-	-	-	-	-
Hangneigung	%	Slp	4.68	2.00	7.02	0.92	19.58	81
Hangrichtung	°	Asp	300.63	281.01	325.59	9.80	3.26	81
Horizontalkrümmung	1(100m) ⁻¹	C_PLA	64.21	56.00	72.20	3.77	5.88	81
Vertikalkrümmung	1(100m) ⁻¹	C_PRO	97.78	89.00	109.90	4.87	4.98	81
Topografischer Wetness-Index	-	MWI	53.89	48.10	58.90	2.36	4.37	81
Zuflussrichtung	Ordinalzahl	FLDI	5.81	5.00	6.00	0.39	6.71	81
Landformelement (komplex)	Ordinalzahl	LF_C	8.59	5.00	11.00	2.37	27.59	81
Landformelement	Ordinalzahl	LF_R	3.32	1.00	4.00	1.03	31.02	81

Tab. A 44: Durchschnittliche Ertragsanteile der Arten (%) für die drei Intensivflächen (Darstellung der Mittelwerte, Minima, Maxima und Anzahl der Beprobungsflächen auf den jeweiligen Intensivflächen).

Pflanzenart		Intensivfläche		
		I01 n=81	I02 n=101	I03 n=81
Lolium perenne	Mittelwert	32.1	28.0	15.6
	Minimum	18.0	-	1.0
	Maximum	48.5	55.6	61.1
	Standardabweichung	7.9	17.8	12.2
Dactylis glomerata	Mittelwert	24.8	41.3	51.1
	Minimum	3.0	10.0	18.0
	Maximum	55.8	90.0	86.6
	Standardabweichung	13.4	24.1	14.7
Trifolium repens	Mittelwert	18.6	9.7	0.9
	Minimum	-	-	-
	Maximum	38.8	50.4	16.0
	Standardabweichung	11.7	13.0	2.4
Festuca pratensis	Mittelwert	6.4	3.4	17.9
	Minimum	0.2	-	4.0
	Maximum	18.0	10.0	35.5
	Standardabweichung	4.6	2.5	7.2
Poa pratensis	Mittelwert	1.6	0.8	1.1
	Minimum	-	-	-
	Maximum	6.0	8.0	6.0
	Standardabweichung	1.8	1.6	1.5
Festuca rubra	Mittelwert	11.7	0.3	2.5
	Minimum	-	-	-
	Maximum	34.0	6.0	10.0
	Standardabweichung	9.3	0.9	2.1
Phleum pratense	Mittelwert	2.1	0.3	1.4
	Minimum	0.1	-	-
	Maximum	10.0	6.0	8.0
	Standardabweichung	1.9	0.7	1.7
Poa trivialis	Mittelwert	2.4	15.6	9.3
	Minimum	-	1.0	-
	Maximum	20.0	41.0	20.0
	Standardabweichung	4.0	9.4	4.8

Tab. A 45: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Standortparametern auf der Fläche I01. (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$) (Abkürzungen der Standortparameter: siehe Tab. A 41. Die Beschriftung bei den chemischen Bodenparametern „_15“ ist Kennzeichnung für die „7-15 cm Tiefe“. Die chemischen Bodenparameter ohne diese Beschriftung kennzeichnen die Tiefe „0-7 cm“).

	pH	pH_15	P	P_15	K	K_15	Mg	Mg_15	Ct	Ct_15	Nt	Nt_15	Corg	Corg15	Ton	Schl	Sand	Ld	MWI	Eca	NFKwe
pH_15	0.55 **																				
P	-0.32 ** r_p	-0.46 **																			
P_15	-0.21 * r_p	-0.19	0.79 **																		
K	-0.38 ** r_p	-0.49 **	0.55 ** r_p	0.35 **																	
K_15	-0.45 **	-0.46 **	0.67 **	0.58 **	0.67 **																
Mg	-0.17	-0.43 **	0.19	0.02	0.14	0.12															
Mg_15	-0.30 ** r_p	-0.29 **	0.04 r_p	0.05	0.12 r_p	0.04	0.57 **														
Ct	0.53 ** r_p	0.76 **	-0.18 r_p	-0.03	-0.38 ** r_p	-0.25 *	-0.43 **	-0.52 ** r_p													
Ct_15	0.56 ** r_p	0.77 **	-0.20 r_p	0.01	-0.40 ** r_p	-0.25 *	-0.47 **	-0.46 ** r_p	0.91 **												
Nt	-0.61 ** r_p	-0.71 **	0.61 **	0.39 **	0.63 ** r_p	0.64 **	0.25 *	0.11 r_p	-0.47 ** r_p	-0.58 ** r_p											
Nt_15	-0.55 ** r_p	-0.74 **	0.66 ** r_p	0.51 **	0.57 ** r_p	0.66 **	0.22 *	0.16 r_p	-0.56 ** r_p	-0.51 ** r_p	0.79 ** r_p										
Corg	-0.50 **	-0.59 **	0.56 **	0.30 **	0.55 **	0.57 **	0.17	-0.02	-0.26 *	-0.42 **	0.82 ** r_p	0.64 ** r_p									
Corg 15	0.56 ** r_p	0.77 **	-0.20 r_p	0.01	-0.40 ** r_p	-0.24 *	-0.48 **	-0.46 ** r_p	0.89 ** r_p	0.90 ** r_p	-0.58 ** r_p	-0.51 ** r_p	-0.42 **								
Ton	0.56 **	0.83 **	-0.38 **	-0.19	-0.45 **	-0.46 **	-0.48 **	-0.35 **	0.82 **	0.80 **	-0.70 **	-0.74 **	-0.50 **	0.80 **							
Schl	-0.56 **	-0.83 **	0.38 **	0.19	0.45 **	0.46 **	0.48 **	0.35 **	-0.82 **	-0.80 **	0.70 **	0.74 **	0.50 **	-0.80 **	-1.00 **						
Sand	-0.02	0.10	-0.11	-0.19	-0.08	-0.13	-0.34 **	-0.33 **	0.25 *	0.22	-0.03	-0.13	0.02	0.22	0.25 *	-0.25 *					
Ld	0.38 * r_p	0.36 **	-0.20 r_p	-0.13	-0.40 ** r_p	-0.27 *	-0.02	0.04 r_p	0.33 ** r_p	0.32 ** r_p	-0.44 ** r_p	-0.47 ** r_p	-0.37 **	0.32 ** r_p	0.34 **	-0.34 **	-0.12				
MWI	-0.31 * r_p	-0.55 **	0.34 ** r_p	0.26 *	0.30 ** r_p	0.35 **	0.24 *	0.17 r_p	-0.40 ** r_p	-0.43 ** r_p	0.48 ** r_p	0.47 ** r_p	0.39 **	-0.43 ** r_p	-0.53 **	0.53 **	-0.16	-0.35 ** r_p			
Eca	0.30 **	0.62 **	-0.16 r_p	0.13	-0.29 * r_p	-0.26 *	-0.30 **	-0.30 * r_p	0.58 ** r_p	0.55 ** r_p	-0.42 ** r_p	-0.39 ** r_p	-0.25 *	0.55 ** r_p	0.65 **	-0.65 **	0.35 **	0.14 r_p	-0.45 ** r_p		
nFK _{We}	-0.60 **	-0.88 **	0.39 **	0.15	0.51 **	0.48 **	0.46 **	0.34 **	-0.87 **	-0.87 **	0.72 **	0.73 **	0.54 **	-0.88 **	-0.94 **	0.94 **	-0.18	-0.36 **	0.55 **	-0.68 **	
slp	0.40 * r_p	0.15	-0.06 r_p	-0.16	-0.17 r_p	-0.14	0.02	0.09 r_p	0.16 r_p	0.17 r_p	-0.25 * r_p	-0.28 * r_p	-0.17	0.17 r_p	0.10	-0.10	-0.32 **	0.31 ** r_p	-0.10 r_p	-0.25 ** r_p	-0.13
asp	-0.36 **	0.00	-0.05	-0.13	0.04	-0.01	-0.22 *	-0.01	0.06	0.04	0.00	-0.12	0.05	0.04	0.18	-0.18	0.48 **	-0.12	-0.27 *	0.08	-0.09
C_PLA	0.35 **	0.72 **	-0.32 **	-0.17	-0.41 **	-0.46 **	-0.43 **	-0.14	0.63 **	0.63 **	-0.63 **	-0.69 **	-0.52 **	0.63 **	0.81 **	-0.81 **	0.16	0.27 *	-0.56 **	0.45 **	-0.78 **
C_PRO	-0.58 **	-0.72 **	0.34 **	0.24 *	0.44 **	0.36 **	0.39 **	0.47 **	-0.71 **	-0.75 **	0.54 **	0.53 **	0.45 **	-0.75 **	-0.72 **	0.72 **	-0.17	-0.37 **	0.42 **	-0.39 **	0.74 **
FLDI	0.07	0.28 *	-0.24 *	-0.21	-0.30 **	-0.28 *	-0.37 **	-0.20	0.35 **	0.35 **	-0.38 **	-0.38 **	-0.21	0.35 **	0.40 **	-0.40 **	0.40 **	0.01	-0.31 **	0.28 *	-0.36 **

Tab. A 46: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Standortparametern auf der Fläche I02. (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$) (Abkürzungen der Standortparameter: siehe Tab. A 42. Die Beschriftung bei den chemischen Bodenparametern „_15“ ist Kennzeichnung für die „7-15 cm Tiefe“. Die chemischen Bodenparameter ohne diese Beschriftung kennzeichnen die Tiefe „0-7 cm“).

	pH	pH_15	P	P_15	K	K_15	Mg	Mg_15	Ct	Ct_15	Nt	Nt_15	Corg	Corg15	Ton	Schl	Sand	Ld	MWI	Eca	NFKwe	
pH_15	0.93 **																					
P	-0.52 **	-0.53 **																				
P_15	-0.65 **	-0.68 **	0.81 **																			
K	-0.14	-0.12	0.33 ** r_p	0.19																		
K_15	0.28 **	0.28 **	-0.07 r_p	-0.32 **	0.35 ** r_p																	
Mg	0.67 **	0.70 **	-0.46 ** r_p	-0.54 **	-0.06 r_p	0.16 r_p																
Mg_15	0.48 **	0.49 **	-0.35 ** r_p	-0.42 **	-0.07 r_p	0.10 r_p	0.86 **															
Ct	-0.28 **	-0.34 **	0.26 * r_p	0.34 **	0.09 r_p	-0.36 ** r_p	-0.03 r_p	0.21 *														
Ct_15	-0.37 **	-0.46 **	0.37 ** r_p	0.52 **	0.09 r_p	-0.35 ** r_p	-0.19 r_p	0.04	0.70 ** r_p													
Nt	-0.63 **	-0.67 **	0.47 **	0.58 **	0.22 *	-0.32 **	-0.35 **	-0.13	0.81 **	0.65 **												
Nt_15	-0.64 **	-0.72 **	0.60 **	0.76 **	0.24 *	-0.38 **	-0.51 **	-0.33 **	0.51 **	0.78 **	0.73 **											
Corg	-0.61 **	-0.66 **	0.47 **	0.60 **	0.18	-0.34 **	-0.35 **	-0.11	0.86 **	0.70 **	0.96 **	0.73 **										
Corg 15	-0.37 **	-0.46 **	0.37 ** r_p	0.52 **	0.10 r_p	-0.35 ** r_p	-0.19 r_p	0.04	0.70 ** r_p	0.90 ** r_p	0.65 **	0.78 **	0.70 **									
Ton	0.80 **	0.77 **	-0.55 **	-0.67 **	-0.02	0.25 *	0.64 **	0.53 **	-0.11	-0.19	-0.49 **	-0.57 **	-0.46 **	-0.19								
Schl	-0.80 **	-0.77 **	0.55 **	0.67 **	0.02	-0.25 *	-0.64 **	-0.53 **	0.11	0.19	0.49 **	0.57 **	0.46 **	0.19	-1.00 **							
Sand	-0.77 **	-0.75 **	0.53 **	0.65 **	0.00	-0.25 *	-0.60 **	-0.48 **	0.14	0.24 *	0.46 **	0.55 **	0.48 **	0.24 *	-0.96 **	0.96 **						
Ld	0.75 **	0.81 **	-0.57 ** r_p	-0.78 **	-0.16 r_p	0.39 ** r_p	0.63 ** r_p	0.42 **	-0.53 ** r_p	-0.75 ** r_p	-0.74 **	-0.88 **	-0.73 **	-0.75 ** r_p	0.68 **	-0.68 **	-0.65 **					
MWI	-0.56 **	-0.60 **	0.41 ** r_p	0.52 **	0.10 r_p	-0.35 ** r_p	-0.41 ** r_p	-0.32 **	0.51 ** r_p	0.57 ** r_p	0.60 **	0.60 **	0.62 **	0.57 ** r_p	-0.48 **	0.48 **	0.46 **	-0.71 ** r_p				
Eca	0.55 **	0.50 **	-0.42 **	-0.40 **	-0.03	-0.03	0.59 **	0.60 **	0.33 **	0.28 **	-0.09	-0.15	-0.05	0.28 **	0.64 **	-0.64 **	-0.59 **	0.26 **	-0.07			
nFkWe	-0.77 **	-0.79 **	0.54 **	0.67 **	0.05	-0.32 **	-0.76 **	-0.59 **	0.28 **	0.42 **	0.60 **	0.71 **	0.59 **	0.42 **	-0.85 **	0.85 **	0.83 **	-0.79 **	0.56 **	-0.51 **		
slp	0.43 **	0.51 **	-0.29 **	-0.43 **	-0.12	0.33 **	0.33 **	0.17	-0.53 **	-0.63 **	-0.58 **	-0.63 **	-0.59 **	-0.63 **	0.34 **	-0.34 **	-0.31 **	0.64 **	-0.61 **	-0.17	-0.49 **	
asp	-0.33 **	-0.38 **	0.40 ** r_p	0.49 **	0.20 * r_p	-0.30 * r_p	-0.39 ** r_p	-0.27 **	0.34 * r_p	0.50 ** r_p	0.39 **	0.56 **	0.38 **	0.50 ** r_p	-0.30 **	0.30 **	0.23 *	-0.66 ** r_p	0.57 ** r_p	-0.04	0.43 **	
C_PLA	0.55 **	0.57 **	-0.46 **	-0.51 **	-0.17	0.17	0.40 **	0.31 **	-0.17	-0.32 **	-0.46 **	-0.58 **	-0.45 **	-0.32 **	0.54 **	-0.54 **	-0.49 **	0.59 **	-0.49 **	0.42 **	-0.57 **	
C_PRO	-0.67 **	-0.70 **	0.60 **	0.65 **	0.23 *	-0.18	-0.46 **	-0.25 *	0.44 **	0.58 **	0.63 **	0.69 **	0.64 **	0.58 **	-0.53 **	0.53 **	0.52 **	-0.73 **	0.57 **	-0.34 **	0.62 **	
FLDI	-0.35 **	-0.39 **	0.26 **	0.44 **	0.03	-0.45 **	-0.29 **	-0.14	0.52 **	0.60 **	0.54 **	0.63 **	0.56 **	0.60 **	-0.31 **	0.31 **	0.30 **	-0.61 **	0.57 **	0.19	0.45 **	

Tab. A 47: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Standortparametern auf der Fläche I03. (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$) (Abkürzungen der Standortparameter: siehe Tab. A 43. Die Beschriftung bei den chemischen Bodenparametern „_15“ ist Kennzeichnung für die „7-15 cm Tiefe“. Die chemischen Bodenparameter ohne diese Beschriftung kennzeichnen die Tiefe „0-7 cm“).

	pH	pH_15	P	P_15	K	K_15	Mg	Mg_15	Ct	Ct_15	Nt	Nt_15	Corg	Corg15	Ton	Schl	Sand	Ld	MWI	Eca	NFKwe	
pH_15	0.82 **																					
P	0.33 **	0.27 *																				
P_15	0.38 **	0.30 **	0.81 **																			
K	0.18	-0.01	0.35 **	0.13																		
K_15	0.17	-0.09	0.37 **	0.26 *	0.78 **																	
Mg	0.73 ** r_p	0.75 **	0.27 *	0.30 **	0.08	-0.05																
Mg_15	0.62 ** r_p	0.65 **	0.21	0.26 *	0.03	-0.06	0.94 ** r_p															
Ct	0.23 * r_p	0.29 **	0.35 **	0.20	0.22	0.14	0.34 ** r_p	0.20														
Ct_15	0.12 r_p	-0.11	0.21	0.16	0.26 *	0.39 **	-0.02 r_p	0.05 r_p	0.24 * r_p													
Nt	0.20 * r_p	0.25 *	0.35 **	0.20	0.21	0.21	0.32 ** r_p	0.19 r_p	0.89 ** r_p	0.21 ** r_p												
Nt_15	0.03 r_p	0.04	0.30 **	0.29 **	0.30 **	0.36 **	0.12 r_p	0.22 ** r_p	0.10 * r_p	0.92 ** r_p	0.23 * r_p											
Corg	0.19	0.25 *	0.23 *	0.14	0.19	0.15	0.33 **	0.21	0.76 **	0.16	0.64 **	0.17										
Corg 15	0.09	-0.08	0.39 **	0.42 **	0.24 *	0.41 **	0.10	0.09	0.31 **	0.51 **	0.33 **	0.52 **	0.28 *									
Ton	0.43 **	0.46 **	-0.10	-0.10	0.04	0.06	0.52 **	0.55 **	-0.12	-0.21	-0.09	-0.07	-0.02	-0.16								
Schl	-0.43 **	-0.46 **	0.10	0.10	-0.04	-0.06	-0.52 **	-0.55 **	0.12	0.21	0.09	0.07	0.02	0.16	-1.00 ** r_p							
Sand	-0.38 **	-0.40 **	0.04	0.03	-0.07	-0.13	-0.47 **	-0.49 **	0.13	0.21	0.12	0.04	-0.03	0.13	-0.92 **	0.92 **						
Ld	-0.10 r_p	0.10	0.02	0.05	-0.03	-0.17	0.28 * r_p	0.32 ** r_p	0.05 r_p	-0.10 r_p	0.02 r_p	-0.02 r_p	-0.06 r_p	-0.13	0.19	-0.19	-0.12					
MWI	0.07 r_p	0.01	0.04	-0.08	0.12	0.08	0.12 r_p	0.04 r_p	0.10 r_p	-0.03 r_p	0.06 r_p	-0.04 r_p	0.10	0.04	0.17	-0.17	-0.14	-0.10 r_p				
Eca	0.47 **	0.46 **	-0.03	0.08	-0.01	-0.09	0.68 **	0.73 **	-0.02	-0.11	-0.08	0.12	0.08	-0.11	0.59 **	-0.59 **	-0.56 **	0.29 **	0.01			
nFkWe	-0.53 **	-0.50 **	0.02	-0.07	-0.07	-0.06	-0.64 **	-0.69 **	0.07	0.15	0.04	-0.05	0.04	0.07	-0.85 **	0.85 **	0.80 **	-0.17	-0.12	-0.71 **		
slp	-0.04	-0.10	0.12	0.20	0.04	0.11	-0.10	-0.04	-0.13	0.15	-0.09	0.20	-0.19	0.16	-0.05	0.05	0.04	-0.09	-0.15	-0.21	0.02	
asp	0.35 ** r_p	0.36 **	-0.25 *	-0.21	-0.11	-0.20	0.43 ** r_p	0.38 ** r_p	0.10 r_p	-0.03 r_p	0.10 r_p	0.08 r_p	0.08 r_p	-0.23 *	0.38 **	-0.38 **	-0.33 **	0.02 r_p	-0.04 r_p	0.40 **	-0.33 **	
C_PLA	0.19 r_p	0.10	0.19	0.19	0.16	0.20	-0.04 r_p	-0.06 r_p	0.05 r_p	0.03 r_p	0.05 r_p	0.04 r_p	0.01	0.16	-0.04	0.04	-0.02	0.04 r_p	-0.17 r_p	-0.07	0.07	
C_PRO	-0.05 r_p	-0.03	-0.24 *	-0.21	-0.09	-0.16	0.16 r_p	0.17 r_p	-0.02 r_p	-0.07 r_p	-0.06 r_p	-0.05 r_p	0.09	-0.14	0.28 *	-0.28 *	-0.24 *	0.01 r_p	0.26 * r_p	0.37 **	-0.32 **	
FLDI	0.21	0.19	-0.22 *	-0.20	-0.02	-0.12	0.39 **	0.42 **	-0.06	-0.18	-0.10	-0.07	-0.04	-0.14	0.44 **	-0.44 **	-0.42 **	0.20	0.24 *	0.56 **	-0.40 **	

Tab. A 48: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) und Umweltfaktoren (Tab. A 41, Tab. A 42 u. Tab. A 43) auf den Intensivflächen (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_p); **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$) (Abkürzungen: Lolium peren. = Lolium perenne; Poa pratens. = Poa pratensis).

Intensivfläche	Lolium peren.	Dactylis glomerata	Trifolium repens	Poa pratens.	Festuca rubra	Poa trivialis	
	I02	I01 I02	I02	I02	I02	I01	I02
Parameter							
pH-Wert (0-7 cm Tiefe)		-0.63**	0.77**	0.84**	0.72**	-0.63**	-0.76***
pH-Wert (7-15 cm Tiefe)		-0.65**	0.79**	0.84**	0.73**	-0.72**	-0.76***
Phosphor (0-7 cm Tiefe)		0.67**	-0.76**				
Phosphor (7-15 cm Tiefe)		0.68**	-0.79**	-0.75**	-0.65**		0.64***
Magnesium (0-7 cm Tiefe)				0.68**			
Magnesium (7-15 cm Tiefe)							
Org. Kohlenstoff (0-7 cm Tiefe)			-0.66**				
Org. Kohlenstoff (7-15 cm Tiefe)							
Gesamtstickstoff (0-7 cm Tiefe)			-0.67**	-0.64**			
Gesamtstickstoff (7-15 cm Tiefe)		0.69**	-0.81**	-0.73**			0.67*** r_p
Tonfraktion			0.69**	0.82**	0.78**	-0.63**	-0.79***
Schlufffraktion			-0.69**	-0.82**	-0.78**	0.63**	0.79***
Sandfraktion			-0.66**	-0.77**	-0.72**		0.76***
Lagerungsdichte		-0.73**	0.85**	0.79**	0.66**		-0.74*** r_p
Nutzbare Feldkapazität We		0.63**	-0.75**	-0.78**	-0.71**	0.68**	0.79***
Horizontalkrümmung				0.65**	0.63**		
Vertikalkrümmung	-0.73**	0.88**	-0.81**	-0.75**			

Tab. A 49: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Trockenmasseertrag (dt TM ha⁻¹) sowie Energiegehalt (MJ NEL kg⁻¹ TS) und Standortparametern auf der Intensivfläche (Spearman-Korrelationskoeffizient; **-Signifikanz $p < 0,01$, *-Signifikanz $p < 0,05$).

Intensivfläche	Trockenmasseertrag (dt TM ha ⁻¹)	Energiegehalt (MJ NEL kg ⁻¹ TS)
	I02	I02
Parameter		
pH-Wert (0-7 cm Tiefe)		0.64**
pH-Wert (7-15 cm Tiefe)		0.67**
Gesamtstickstoff (0-7 cm Tiefe)		
Gesamtstickstoff (7-15 cm Tiefe)	0.65**	
Tonfraktion		0.67**
Schlufffraktion		-0.67**
Sandfraktion		-0.64**
Lagerungsdichte		0.65**
Vertikalkrümmung	0.72**	

Tab. A 50: Kennwerte der Korrelationskoeffizienten zwischen Trockenmasseertrag (dt TM ha⁻¹) und Ertragsanteilen von Pflanzenarten (%) auf der Intensivfläche (Spearman-Korrelationskoeffizient und Pearson-Korrelationskoeffizient (r_P)); **-Signifikanz p<0,01, *-Signifikanz p<0,05).

Pflanzenart	Intensivfläche	Trockenmasseertrag (dt TM ha ⁻¹)		
		I01	I02	I03
Lolium perenne			-0.65**	
Dactylis glomerata			0.74**	0.63** r _P
Trifolium repens			-0.72**	-0.63**
Festuca rubra		-0.63** r _P		
Poa pratensis			-0.63**	

Vergleiche zwischen verschiedenen Beprobungsdichten

- pH-Wert

Tab. A 51: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den pH-Wert aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	6.98	6.94	6.92	6.83
Minimum	6.37	6.37	6.37	6.37
Maximum	7.28	7.23	7.23	7.23
Standardabweichung	0.21	0.24	0.31	0.43
Variationskoeffizient	0.03	0.03	0.04	0.06
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	7.00	6.97	7.00	6.80
Minimum	6.37	6.37	6.37	6.37
Maximum	7.28	7.23	7.23	7.23
Standardabweichung	0.17	0.17	0.19	0.21
Variationskoeffizient	0.02	0.02	0.03	0.03
Anzahl Beprobungspunkte	9998	9998	9998	9998
RMSE		0.06	0.08	0.22
G		87.82	77.88	-63.43

Tab. A 52: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den pH-Wert aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	6.61	6.60	6.61	6.54
Minimum	6.05	6.13	6.15	6.15
Maximum	7.23	7.13	7.11	7.03
Standardabweichung	0.34	0.36	0.36	0.41
Variationskoeffizient	0.05	0.05	0.05	0.06
Anzahl Beprobungspunkte	101	31	11	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	6.60	6.58	6.59	6.58
Minimum	6.05	6.13	6.15	6.15
Maximum	7.23	7.13	7.11	7.03
Standardabweichung	0.33	0.32	0.27	0.20
Variationskoeffizient	0.05	0.05	0.04	0.03
Anzahl Beprobungspunkte	12126	12126	12126	9637
RMSE		0.06	0.10	0.17
G		97.07	90.12	89.66

Tab. A 53: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den pH-Wert aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	6.34	6.33	6.31	6.32
Minimum	6.01	6.01	6.10	6.15
Maximum	6.80	6.80	6.65	6.55
Standardabweichung	0.16	0.18	0.18	0.18
Variationskoeffizient	0.03	0.03	0.03	0.03
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	6.36	6.37	6.34	6.29
Minimum	6.01	6.01	6.10	6.15
Maximum	6.80	6.80	6.65	6.55
Standardabweichung	0.13	0.15	0.11	0.09
Variationskoeffizient	0.02	0.02	0.02	0.01
Anzahl Beprobungspunkte	10284	10284	10284	10284
RMSE		0.11	0.11	0.14
G		26.66	20.42	-13.56

- P-Gehalt

Tab. A 54: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den P-Gehalt (als P₂O₅ in mg/100g) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	9.36	9.96	9.06	9.00
Minimum	5.20	5.20	5.20	5.23
Maximum	16.14	16.14	12.98	10.44
Standardabweichung	2.70	3.04	2.66	2.52
Variationskoeffizient	0.29	0.31	0.29	0.28
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	9.42	10.15	9.22	9.47
Minimum	5.20	5.20	5.20	5.23
Maximum	16.14	16.14	12.98	10.44
Standardabweichung	2.00	2.59	1.79	1.17
Variationskoeffizient	0.21	0.26	0.19	0.12
Anzahl Beprobungspunkte	9998	9998	9998	9998
RMSE		2.36	2.14	1.84
G		-38.99	-14.54	14.85

Tab. A 55: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den P-Gehalt (als P_2O_5 in mg/100g) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Ergebnisse aus Messpunkten				
Mittelwert	15.88	15.85	15.33	13.97
Minimum	7.72	9.20	10.00	10.00
Maximum	25.01	23.13	23.13	16.94
Standardabweichung	4.40	4.53	4.26	3.47
Variationskoeffizient	0.28	0.29	0.28	0.25
Anzahl Beprobungspunkte	101	31	11	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	16.05	16.32	16.00	13.00
Minimum	7.72	9.20	10.00	10.00
Maximum	25.01	23.13	23.13	16.94
Standardabweichung	3.95	3.90	3.17	1.44
Variationskoeffizient	0.25	0.24	0.20	0.11
Anzahl Beprobungspunkte	12126	12126	12126	9637
RMSE		1.78	2.19	5.27
G		79.58	69.16	-101.39

Tab. A 56: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den P-Gehalt (als P_2O_5 in mg/100g) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Ergebnisse aus Messpunkten				
Mittelwert	9.81	10.05	9.74	8.97
Minimum	5.00	5.53	5.53	6.47
Maximum	17.47	16.00	16.00	13.47
Standardabweichung	2.80	2.80	3.88	3.11
Variationskoeffizient	0.29	0.28	0.40	0.35
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	9.98	10.41	10.18	8.47
Minimum	5.00	5.53	5.53	6.47
Maximum	17.47	16.00	16.00	13.47
Standardabweichung	2.15	1.90	2.66	1.47
Variationskoeffizient	0.22	0.18	0.26	0.17
Anzahl Beprobungspunkte	10284	10284	10284	10284
RMSE		1.88	2.30	2.64
G		23.55	-15.14	-49.76

- K-Gehalt

Tab. A 57: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den K-Gehalt (als K₂O in mg/100g) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	20.38	21.58	20.51	19.09
Minimum	13.47	14.01	14.01	14.01
Maximum	35.90	35.90	28.61	23.92
Standardabweichung	3.91	5.18	5.67	5.14
Variationskoeffizient	0.19	0.24	0.28	0.27
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	20.42	21.51	21.81	19.27
Minimum	13.47	14.01	14.01	14.01
Maximum	35.90	35.90	28.61	23.92
Standardabweichung	2.70	3.58	3.98	2.56
Variationskoeffizient	0.13	0.17	0.18	0.13
Anzahl Beprobungspunkte	9998	9998	9998	9998
RMSE		2.61	3.47	2.50
G		6.59	-64.59	13.90

Tab. A 58: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den K-Gehalt (als K₂O in mg/100g) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	28.36	28.22	27.55	23.25
Minimum	17.42	19.6	19.6	19.6
Maximum	40.9	40.9	40.9	26.04
Standardabweichung	4.78	4.91	5.83	3.07
Variationskoeffizient	0.17	0.17	0.21	0.13
Anzahl Beprobungspunkte	101	31	11	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	28.37	28.52	29.36	23.37
Minimum	17.42	19.6	19.6	19.6
Maximum	40.9	40.9	40.9	26.04
Standardabweichung	3.61	2.99	3.73	1.52
Variationskoeffizient	0.13	0.10	0.13	0.07
Anzahl Beprobungspunkte	12126	12126	12126	9637
RMSE		2.96	4.38	6.15
G		32.95	-47.18	-181.79

Tab. A 59: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den K-Gehalt (als K₂O in mg/100g) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	26.25	27.49	25.87	23.48
Minimum	14.87	14.87	17.67	17.67
Maximum	54.00	43.73	43.00	28.8
Standardabweichung	7.74	7.96	7.94	4.64
Variationskoeffizient	0.29	0.29	0.31	0.20
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	26.69	28.47	25.82	22.73
Minimum	14.87	14.87	17.67	17.67
Maximum	54.00	43.73	43.00	28.8
Standardabweichung	5.62	5.79	4.84	2.19
Variationskoeffizient	0.21	0.20	0.19	0.10
Anzahl Beprobungspunkte	10284	10284	10284	10284
RMSE		6.89	6.96	6.86
G		-50.36	-53.39	-48.73

- Mg-Gehalt

Tab. A 60: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den Mg-Gehalt (mg/100g) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	23.57	23.09	22.88	21.64
Minimum	15.06	15.06	15.06	15.06
Maximum	30.71	26.32	26.32	24.64
Standardabweichung	3.07	2.77	3.88	4.50
Variationskoeffizient	0.13	0.12	0.17	0.21
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	23.77	23.41	23.46	22.60
Minimum	15.06	15.06	15.06	15.06
Maximum	30.71	26.32	26.32	24.64
Standardabweichung	2.59	1.85	2.31	2.03
Variationskoeffizient	0.11	0.08	0.10	0.09
Anzahl Beprobungspunkte	9998	9998	9998	9998
RMSE		1.39	1.61	2.38
G		71.18	61.11	15.57

Tab. A 61: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den Mg-Gehalt (mg/100g) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	20.49	20.82	21.46	20.08
Minimum	14.73	14.75	17.11	17.47
Maximum	30.14	30.14	30.14	24.37
Standardabweichung	3.57	3.85	4.13	3.02
Variationskoeffizient	0.17	0.18	0.19	0.15
Anzahl Beprobungspunkte	101	31	11	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	20.30	20.49	20.60	20.76
Minimum	14.73	14.75	17.11	17.47
Maximum	30.14	30.14	30.14	24.37
Standardabweichung	3.22	3.18	2.64	1.35
Variationskoeffizient	0.16	0.16	0.13	0.06
Anzahl Beprobungspunkte	12126	12126	12126	9637
RMSE		1.01	1.41	2.50
G		90.12	80.88	-29.42

Tab. A 62: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den Mg-Gehalt (mg/100g) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	20.42	19.97	18.98	17.63
Minimum	12.00	12.93	12.93	12.93
Maximum	28.27	26.20	25.40	23.80
Standardabweichung	4.28	4.28	4.72	5.56
Variationskoeffizient	0.21	0.21	0.25	0.32
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	20.97	20.94	20.02	17.39
Minimum	12.00	12.93	12.93	12.93
Maximum	28.27	26.20	25.40	23.80
Standardabweichung	3.70	3.34	2.74	2.77
Variationskoeffizient	0.18	0.16	0.14	0.16
Anzahl Beprobungspunkte	10284	10284	10284	10284
RMSE		1.53	1.96	4.40
G		82.90	71.91	-41.45

- N_t-GehaltTab. A 63: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für N_t-Gehalt (%) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	0.20	0.20	0.20	0.20
Minimum	0.16	0.16	0.16	0.16
Maximum	0.24	0.24	0.23	0.23
Standardabweichung	0.02	0.02	0.03	0.03
Variationskoeffizient	0.10	0.11	0.13	0.17
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	0.20	0.20	0.20	0.20
Minimum	0.16	0.16	0.16	0.16
Maximum	0.24	0.24	0.23	0.23
Standardabweichung	0.02	0.02	0.02	0.02
Variationskoeffizient	0.08	0.09	0.08	0.08
Anzahl Beprobungspunkte	9998	9998	9998	9998
RMSE		0.01	0.01	0.01
G		81.56	51.50	67.82

Tab. A 64: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den N_t-Gehalt (%) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	0.24	0.24	0.24	0.24
Minimum	0.18	0.19	0.19	0.19
Maximum	0.34	0.33	0.31	0.31
Standardabweichung	0.05	0.05	0.05	0.05
Variationskoeffizient	0.20	0.19	0.20	0.21
Anzahl Beprobungspunkte	101	31	11	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	0.24	0.24	0.24	0.24
Minimum	0.18	0.19	0.19	0.19
Maximum	0.34	0.33	0.31	0.31
Standardabweichung	0.04	0.04	0.03	0.02
Variationskoeffizient	0.19	0.18	0.14	0.10
Anzahl Beprobungspunkte	12126	12126	12126	9637
RMSE		0.01	0.02	0.03
G		92.54	77.13	64.80

Tab. A 65: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für den N_t-Gehalt (%) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	0.20	0.20	0.20	0.20
Minimum	0.17	0.18	0.18	0.18
Maximum	0.24	0.22	0.22	0.21
Standardabweichung	0.01	0.01	0.01	0.01
Variationskoeffizient	0.06	0.04	0.05	0.06
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	0.20	0.21	0.20	0.20
Minimum	0.17	0.18	0.18	0.18
Maximum	0.24	0.22	0.22	0.21
Standardabweichung	0.01	0.01	0.01	0.01
Variationskoeffizient	0.05	0.03	0.03	0.03
Anzahl Beprobungspunkte	10284	10284	10284	10284
RMSE		0.01	0.01	0.01
G		-19.38	-35.82	-76.02

Vegetation

- *Lolium perenne*

Tab. A 66: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von *Lolium perenne* (%) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	32.1	32.8	33.4	28.1
Minimum	18.0	20.0	22.0	24.8
Maximum	48.5	47.6	47.6	32.7
Standardabweichung	7.90	8.42	10.10	3.88
Variationskoeffizient	0.24	0.26	0.30	0.14
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	32.4	34.5	37.3	28.4
Minimum	18.0	20.0	22.0	24.8
Maximum	48.5	47.6	47.6	32.7
Standardabweichung	6.53	6.64	6.30	1.92
Variationskoeffizient	0.20	0.19	0.17	0.07
Anzahl Beprobungspunkte	9998	9998	9998	9998
RMSE		6.01	8.58	7.81
G		15.10	-72.74	-43.16

Tab. A 67: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von *Lolium perenne* (%) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	27.9	30.0	34.1	47.0
Minimum	0	0	0	42.4
Maximum	55.6	52.4	52.4	52.4
Standardabweichung	17.84	18.08	17.19	4.42
Variationskoeffizient	0.64	0.60	0.50	0.09
Anzahl Beprobungspunkte	101	31	11	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	27.3	29.3	33.3	47.5
Minimum	0	0	0	42.4
Maximum	55.6	52.4	52.4	52.4
Standardabweichung	15.85	14.97	10.69	2.15
Variationskoeffizient	0.58	0.51	0.32	0.05
Anzahl Beprobungspunkte	12126	12126	12126	9637
RMSE		7.57	11.54	29.33
G		77.15	46.98	-232.60

Tab. A 68: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von *Lolium perenne* (%) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	15.6	20.3	32.0	48.2
Minimum	1.0	2.0	5.0	35.0
Maximum	61.1	61.1	61.1	61.1
Standardabweichung	12.20	15.41	19.21	11.15
Variationskoeffizient	0.78	0.76	0.60	0.23
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	14.2	16.8	28.5	49.7
Minimum	1.0	2.0	5.0	35.0
Maximum	61.1	61.1	61.1	61.1
Standardabweichung	7.88	8.07	8.04	5.36
Variationskoeffizient	0.56	0.48	0.28	0.11
Anzahl Beprobungspunkte	10284	10284	10284	10284
RMSE		7.15	16.45	36.22
G		17.61	-335.67	-2011.97

- *Dactylis glomerata*

Tab. A 69: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* (%) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	24.8	25.2	22.3	26.2
Minimum	3.0	8.0	8.0	8.0
Maximum	55.8	53.8	38.8	38.8
Standardabweichung	13.36	14.66	10.49	13.88
Variationskoeffizient	0.54	0.58	0.46	0.53
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	24.9	25.0	21.7	27.8
Minimum	3.0	8.0	8.0	8.0
Maximum	55.8	53.8	38.8	38.8
Standardabweichung	10.56	11.32	7.65	6.76
Variationskoeffizient	0.42	0.45	0.35	0.24
Anzahl Beprobungspunkte	9998	9998	9998	9998
RMSE		8.31	8.37	8.56
G		38.11	37.12	34.27

Tab. A 70: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* (%) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	41.3	39.1	32.0	15.7
Minimum	10.0	10.0	10.0	10.0
Maximum	90.0	86.0	79.8	20.0
Standardabweichung	24.07	23.80	26.92	4.35
Variationskoeffizient	0.58	0.61	0.78	0.28
Anzahl Beprobungspunkte	101	31	11	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	42.4	42.1	38.0	16.0
Minimum	10.0	10.0	10.0	10.0
Maximum	90.0	86.0	79.8	20.0
Standardabweichung	21.88	19.33	15.63	21.88
Variationskoeffizient	0.52	0.46	0.41	0.52
Anzahl Beprobungspunkte	12126	12126	12126	9637
RMSE		9.56	14.06	38.54
G		80.891	58.69	-227.73

Tab. A 71: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von *Dactylis glomerata* (%) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	51.1	53.1	42.6	30.9
Minimum	18.0	20.0	20.0	20.0
Maximum	86.6	86.6	63.8	46.8
Standardabweichung	14.74	15.47	16.22	12.49
Variationskoeffizient	0.29	0.29	0.38	0.40
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	51.3	55.4	44.7	29.8
Minimum	18.0	20.0	20.0	20.0
Maximum	86.6	86.6	63.8	46.8
Standardabweichung	10.54	9.23	7.18	6.13
Variationskoeffizient	0.21	0.17	0.16	0.21
Anzahl Beprobungspunkte	10284	10284	10284	10284
RMSE		11.27	12.67	23.50
G		-14.28	-44.51	-396.85

- *Trifolium repens*

Tab. A 72: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von *Trifolium repens* (%) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	18.6	17.7	18.0	16.5
Minimum	0	0.2	1.0	1.0
Maximum	38.8	38.0	38.0	32.0
Standardabweichung	11.67	12.52	13.99	15.76
Variationskoeffizient	0.63	0.71	0.78	0.96
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	18.2	17.7	17.0	15.8
Minimum	0	0.20	1.0	1.0
Maximum	38.8	38.0	38.0	32.0
Standardabweichung	8.94	8.90	11.12	7.85
Variationskoeffizient	0.49	0.50	0.65	0.50
Anzahl Beprobungspunkte	9998	9998	9998	9998
RMSE		7.27	8.83	7.80
G		33.83	2.21	23.92

Tab. A 73: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von *Trifolium repens* (%) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	9.7	10.3	13.6	15.8
Minimum	0	0	0	0.2
Maximum	50.4	38.8	32.6	30.0
Standardabweichung	12.96	12.90	13.51	14.03
Variationskoeffizient	1.34	1.25	0.99	0.89
Anzahl Beprobungspunkte	101	31	11	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	9.4	8.5	9.5	16.0
Minimum	0	0	0	0.2
Maximum	50.4	38.8	32.6	30.0
Standardabweichung	11.45	9.96	8.59	7.01
Variationskoeffizient	1.21	1.17	0.90	0.44
Anzahl Beprobungspunkte	12126	12126	12126	9637
RMSE		6.33	6.54	13.42
G		69.44	67.39	-140.13

Tab. A 74: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Ertragsanteile von *Trifolium repens* (%) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	0.9	1.0	2.6	1.00
Minimum	0	0	0	0
Maximum	16.0	16.0	16.0	2.00
Standardabweichung	2.37	3.21	5.15	0.82
Variationskoeffizient	2.70	3.21	2.02	0.82
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	1.0	1.3	4.7	1.0
Minimum	0	0	0	0
Maximum	16.0	16.0	16.0	2.00
Standardabweichung	1.93	2.63	3.69	0.41
Variationskoeffizient	1.98	2.07	0.78	0.41
Anzahl Beprobungspunkte	10284	10284	10284	10284
RMSE		1.95	4.87	1.86
G		-2.22	-540.52	6.29

- Trockenmasseertrag

Tab. A 75: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Trockenmasse (dt TM ha⁻¹) aus der Intensivfläche I01 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	6.43	6.29	6.44	6.81
Minimum	0.75	1.56	3.75	3.75
Maximum	13.74	10.68	9.91	9.06
Standardabweichung	2.77	2.66	2.16	2.27
Variationskoeffizient	0.43	0.42	0.33	0.33
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	5.9	6.2	6.0	7.4
Minimum	0.75	1.56	3.75	3.75
Maximum	13.74	10.68	9.91	9.06
Standardabweichung	1.81	2.31	1.25	1.00
Variationskoeffizient	0.31	0.37	0.21	0.14
Anzahl Beprobungspunkte	9998	9998	9998	9998
RMSE		1.57	1.92	2.65
G		53.74	30.93	-30.64

Tab. A 76: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Trockenmasse (dt TM ha⁻¹) aus der Intensivfläche I02 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	13.37	12.85	12.26	10.41
Minimum	5.39	7.02	8.31	8.31
Maximum	25.84	21.44	18.52	13.51
Standardabweichung	5.09	3.85	3.62	2.23
Variationskoeffizient	0.38	0.30	0.30	0.21
Anzahl Beprobungspunkte	101	31	11	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	13.7	13.4	13.2	10.9
Minimum	5.39	7.02	8.31	8.31
Maximum	25.84	21.44	18.52	13.51
Standardabweichung	4.47	3.16	2.67	0.99
Variationskoeffizient	0.33	0.24	0.20	0.09
Anzahl Beprobungspunkte	12126	12126	12126	9637
RMSE		2.86	3.11	5.52
G		59.05	51.44	-60.68

Tab. A 77: Statistische Ergebnisse und Vergleichsmaßresultate für die Trockenmasse (dt TM ha⁻¹) aus der Intensivfläche I03 bei unterschiedlichen punktuellen und interpolierten Beprobungsdichten.

Ergebnisse aus Messpunkten	Rasterweite in Meter			
	6.25 x 6.25	12.5 x 12.5	25 x 25	50 x 50
Mittelwert	10.56	10.69	10.16	8.79
Minimum	5.10	5.70	5.70	5.96
Maximum	17.58	14.88	14.69	11.20
Standardabweichung	2.69	2.34	3.20	2.15
Variationskoeffizient	0.25	0.22	0.32	0.24
Anzahl Beprobungspunkte	81	25	9	4
Ergebnisse aus interpolierten Messpunkten				
Mittelwert	10.4	10.7	9.8	9.2
Minimum	5.10	5.70	5.70	5.96
Maximum	17.58	14.88	14.69	11.20
Standardabweichung	2.06	1.52	1.75	0.98
Variationskoeffizient	0.20	0.14	0.18	0.11
Anzahl Beprobungspunkte	10284	10284	10284	10284
RMSE		1.89	2.72	2.62
G		16.08	-74.19	-62.03

Variogrammanalyse

Beispiele für die vorgefundenen Semivariogramme einiger Parameter auf den drei Intensivflächen

- intensiv beprobte Teilfläche I01

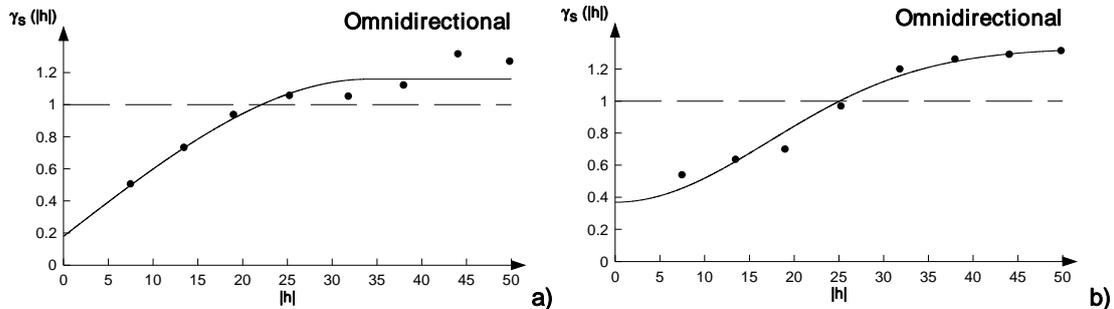


Abb. A 10: Variogramm-Modelle für a) Mg-Gehalt (mg/100g) (sphärisches Modell) und b) C_{org} -Gehalt (%) (Gauß'sches Modell) auf der Fläche I01. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$.

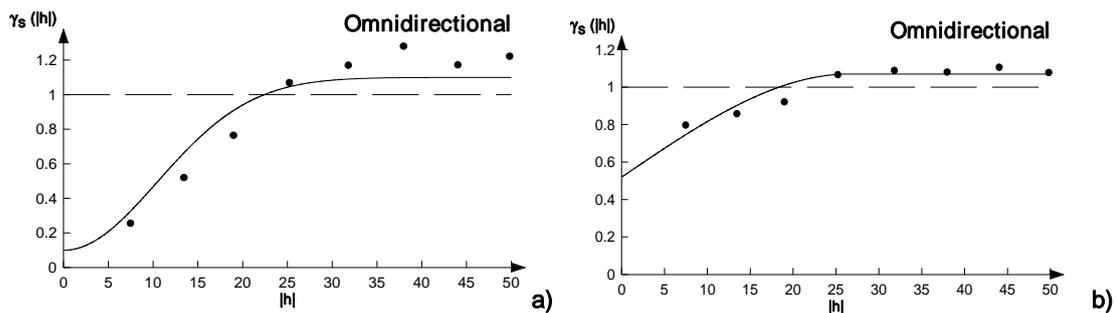


Abb. A 11: Variogramm-Modelle für a) elektrische Leitfähigkeit (mSm^{-1}) (Gauß'sches Modell) und b) Lagerungsdichte ($g\ cm^{-3}$) (sphärisches Modell) auf der Fläche I01. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$.

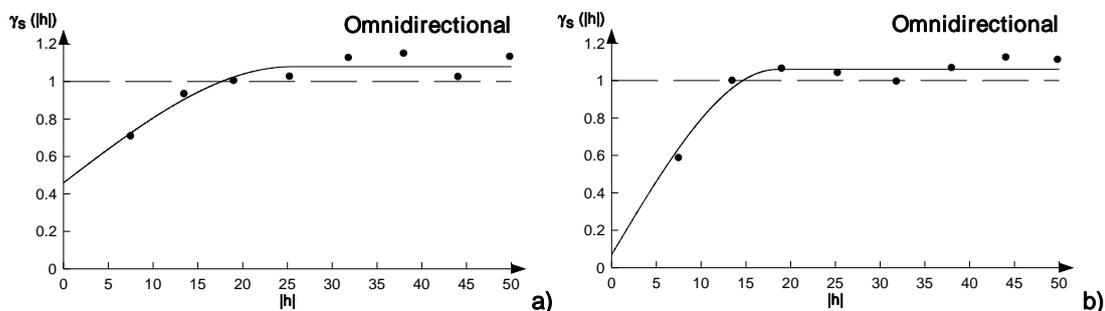


Abb. A 12: Sphärische Variogramm-Modelle für a) *Lolium perenne* (%) und b) *Festuca rubra* (%) auf der Fläche I01. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$.

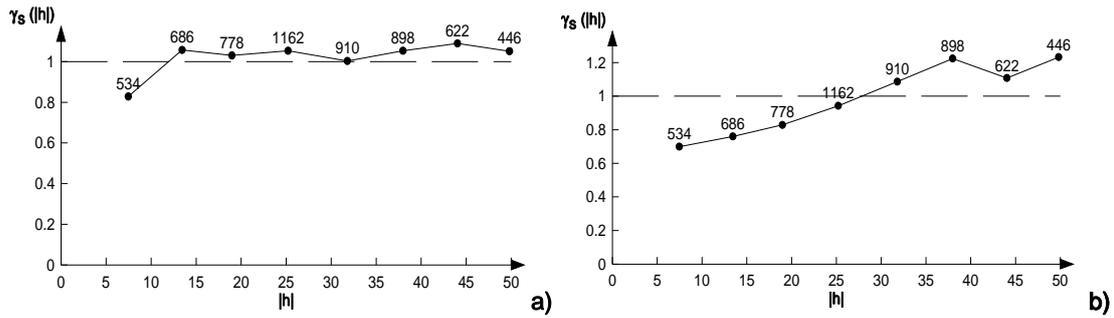


Abb. A 13: Experimentelle Variogramme für a) *Poa pratensis* (%) und b) *Trifolium repens* (%) auf der Fläche I01. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$. \bullet^{534} ist die Anzahl der Wertpaare.

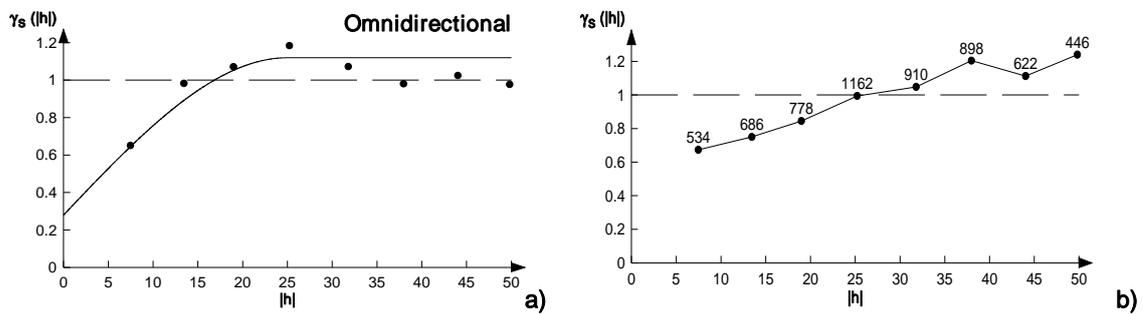


Abb. A 14: Sphärisches Variogramm-Modell für a) Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) und experimentelles Variogramm für b) *Dactylis glomerata* auf der Fläche I01. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$. \bullet^{534} ist die Anzahl der Wertpaare.

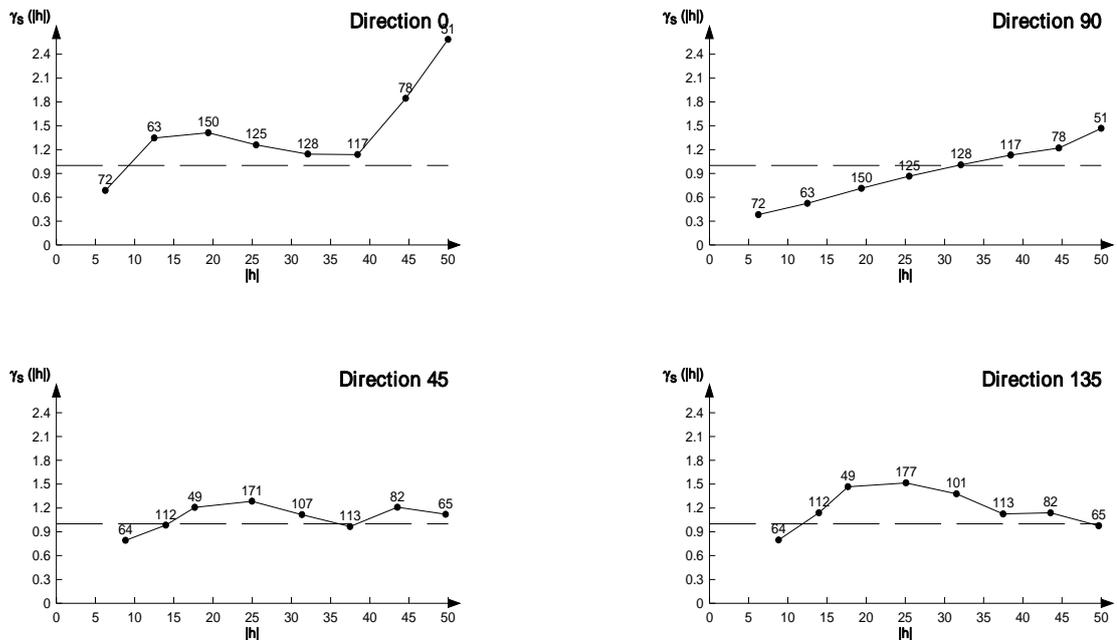


Abb. A 15: Richtungsabhängige Experimentelle Variogramme für Trockenmasse (dt TM ha⁻¹) auf der Fläche I01. (Direction 0 = N-S-Richtung; Direction 45 = NO-SW-Richtung; Direction 90 = O-W-Richtung; Direction 135 = NW-SO-Richtung) $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$. \bullet^{72} ist die Anzahl der Wertpaare.

- intensiv beprobte Teilfläche I02

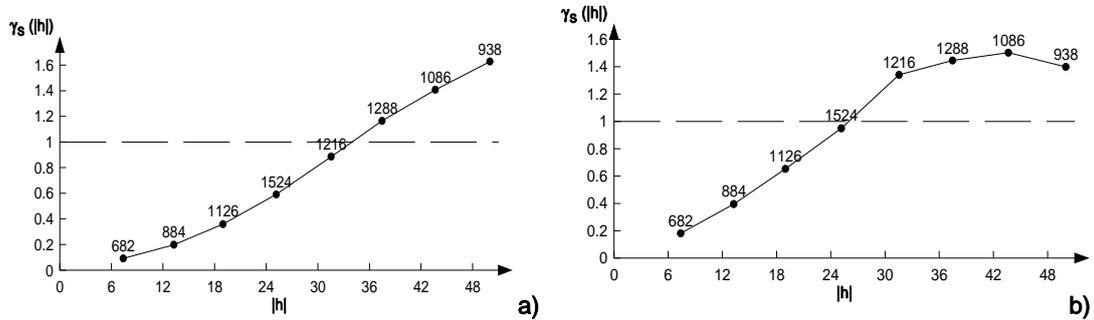


Abb. A 16: Experimentelle Variogramme für a) pH-Wert und b) elektrische Leitfähigkeit (mSm^{-1}) auf der Fläche I02. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$. \bullet^{682} ist die Anzahl der Wertpaare.

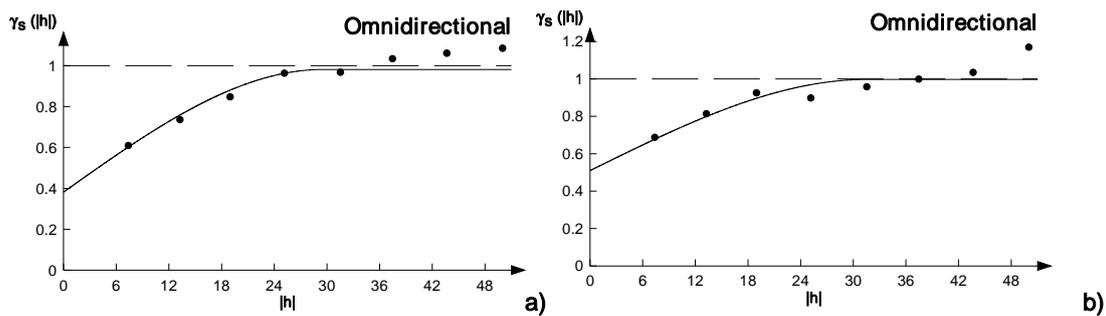


Abb. A 17: Sphärisches Variogramm-Modell für a) *Festuca rubra* (%) und experimentelles Variogramm für b) *Festuca pratensis* (%) auf der Fläche I02. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$.

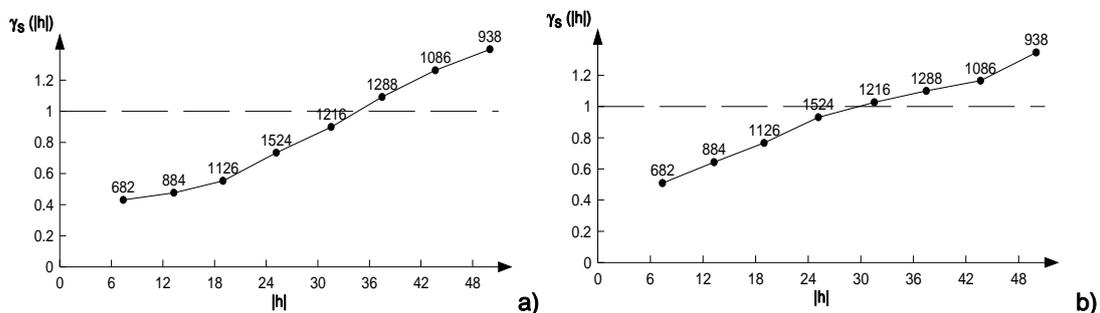


Abb. A 18: Experimentelle Variogramme für a) *Trifolium repens* (%) und b) Trockenmasse (dt TM ha^{-1}) auf der Fläche I02. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$. \bullet^{682} ist die Anzahl der Wertpaare.

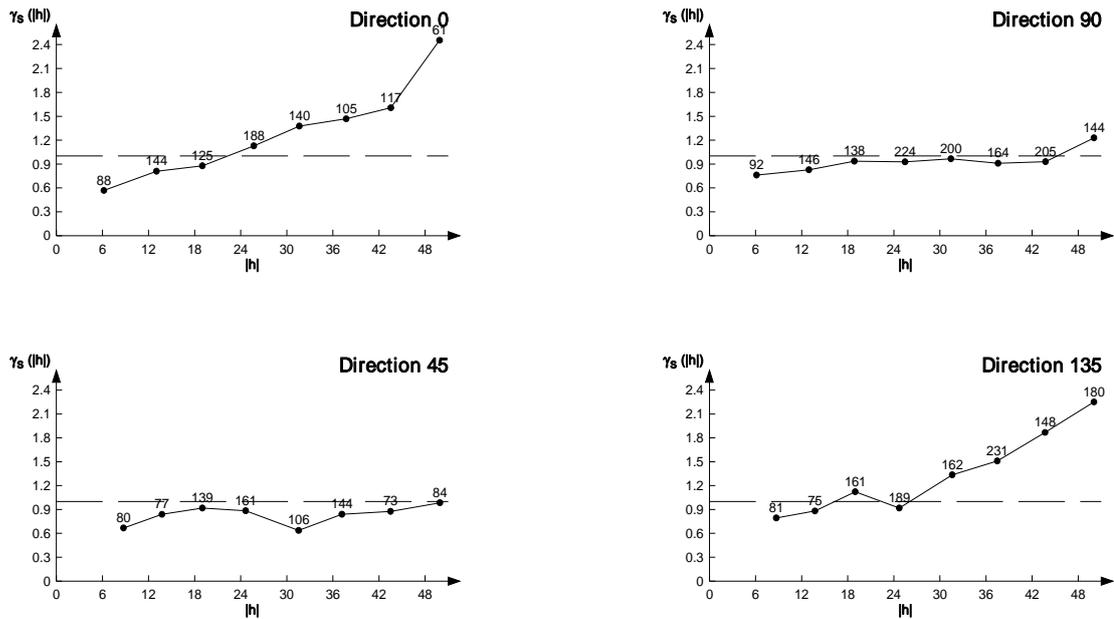


Abb. A 19: Richtungsabhängig Experimentelle Variogramme für *Festuca pratensis* (%) auf der Fläche I02. (Direction 0 = N-S-Richtung; Direction 45 = NO-SW-Richtung; Direction 90 = O-W-Richtung; Direction 135 = NW-SO-Richtung). |h| ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand |h|. ●⁸⁸ ist die Anzahl der Wertpaare.

- intensiv beprobte Teilfläche I03

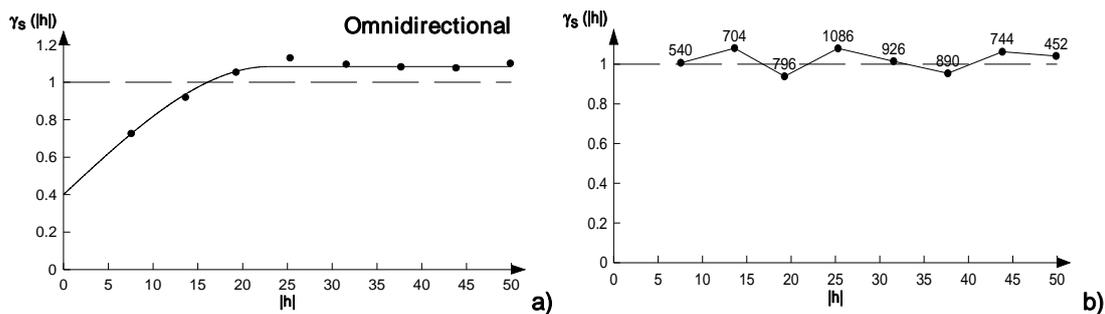


Abb. A 20: Sphärisches Variogramm-Modell für a) nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (mm) und experimentelles Variogramm für b) P-Gehalt (mg/100g) auf der Fläche I03. |h| ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand |h|. ●⁵⁴⁰ ist die Anzahl der Wertpaare.

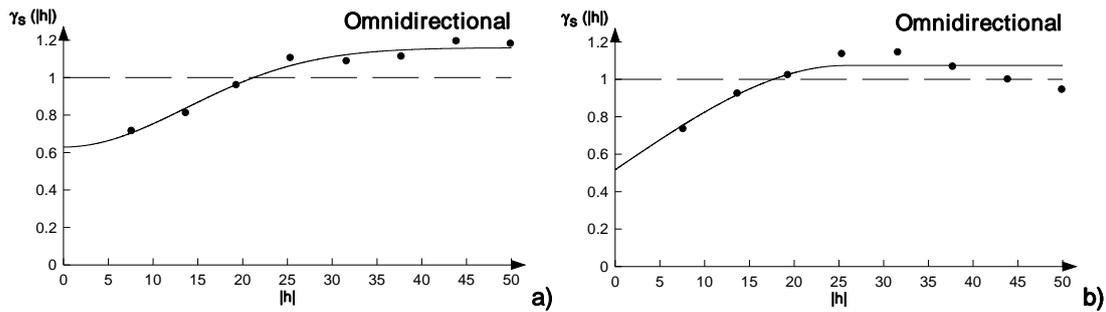


Abb. A 21: SphärischeVariogramm-Modelle für a) *Poa pratensis* (%) und b) *Festuca rubra* (%) auf der Fläche I03. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$.

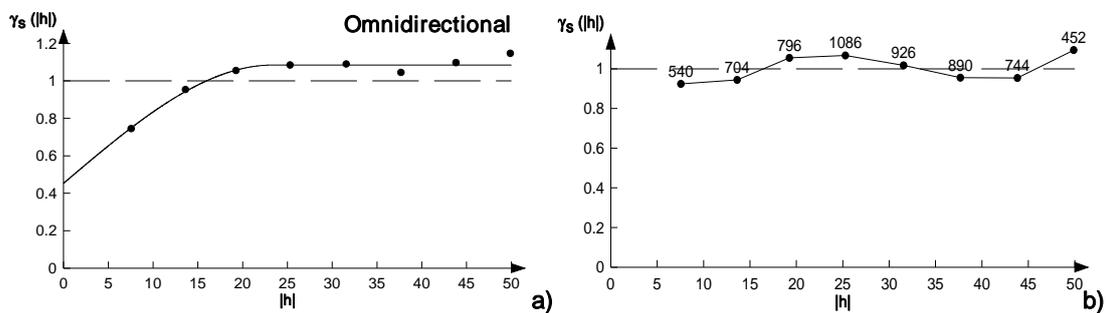


Abb. A 22: Sphärisches Variogramm-Modell für a) *Trifolium repens* (%) und experimentelles Variogramm für b) *Dactylis glomerata* (%) auf der Fläche I03. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$. \bullet^{540} ist die Anzahl der Wertpaare.

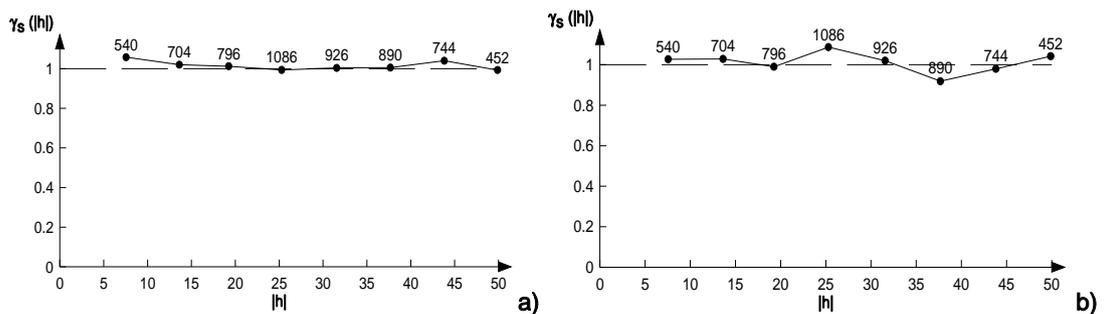


Abb. A 23: Experimentelle Variogramme für a) *Lolium perenne* (%) und b) *Festuca pratensis* (%) auf der Fläche I03. $|h|$ ist der Abstand zwischen den Wertpaaren in m; $\gamma_s(|h|)$ ist die standardisierte Semivarianz in Abhängigkeit vom Abstand $|h|$. \bullet^{540} ist die Anzahl der Wertpaare.

Nachwort

Die Durchführung dieser Arbeit wurde durch das Zusammenwirken vieler Personen ermöglicht.

An erster Stelle bin ich Herrn Prof. G. Spatz zu besonderem Dank verpflichtet, der mir die Ausarbeitung des Themas überlassen hat. Herrn Prof. M. Wachendorf bin ich dankbar, der nach seiner Übernahme des Fachgebiets mich im Team integriert und meine Arbeit weiter betreut hat.

Bei Herrn Thomas Fricke möchte ich mich an dieser Stelle für seine konstruktive Kritik, Anregungen, und Ratschlägen besonders bedanken.

Der praktische Teil dieser Arbeit konnte nur durch den unermüdbaren Einsatz von Mitarbeitern vom Fachgebiet durchgeführt werden. An dieser Stelle spreche ich Frau M. Rode und Herrn W. Funke für ihre tatkräftige Mitarbeit bei der Durchführung der Versuchsarbeiten und Datenerhebung meinen Dank aus. Bei den studentischen Kräften, die mir geholfen haben, bedanke ich mich bei M. Bell, C. Brandau, M. Karl, M. Hammer-Weiß, M. Himstedt und M. Schöningh auch. Nicht zu vergessen sind die Mitarbeiter des Versuchsbetriebes M. Tamm, J. Anthes, J. Decker und die Mitarbeiter des Fachgebietes Ökologischer Land- und Pflanzenbau E. Kölsch, A. Mindermann, D. Türk bei denen ich mich auch bedanke.

Bei Frau C. Jatsch vom Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit der Universität Kassel bedanke ich mich für die Unterstützung bei den Untersuchungen der Futterqualität. Für die Bodenprobenanalysen am Fachgebiet Bodenkunde gilt mein Dank an die Mitarbeiter des Labors und besonders Prof. H. Wildhagen, Herrn M. Quintern und Frau R. Spinger.

Für die Bereitschaft Herrn J. Benz und Herrn J. Heß, mich weiterhin die Räumlichkeiten in der Grünen Schachtel benutzen zu lassen, darf ich hier Danke sagen.

Für fachliche Austausche waren viele Kollegen und Mitarbeiter des Fachgebiets immer bereit mit mir über meine Arbeit zu diskutieren. Bei Allen bedanke ich mich herzlich und besonders T. Fricke, K.-H. Walter, C. Franke, A. Butz, G. Peratoner und D. Werren. Für die technische und EDV Unterstützung bei K.H. Walter, Y. Bicos, U. Schmidt, M. Szerencsits, Herr J. Heß und natürlich Herr J. Benz. Die Wetterdaten waren bei Herrn G. Kellner immer abrufbar und dafür bedanke ich mich bei ihm.

Unter Allen, die kostbare Zeit mit dem Korrekturlesen des Manuskripts opferten, möchte ich mich ganz besonders bei Frau M. Arp und Frau M. Rode, Herr C. Franke für die zahlreiche Durchsichten des Manuskripts sowie Herr M. Szerencsits und Frau S. Ahlers danken. Verbesserung des Manuskripts wurden auch von Frau S. Bieber, Frau A. Gerke, Frau D. Riekschnitz und Herr D. Pierre eingefügt und bei denen bedanke ich mich. Meinen Eltern danke ich für ihre unendliche Liebe.