

WIRKUNG VON BEWIRTSCHAFTUNGSMASSNAHMEN AUF DIE ENTWICKLUNG DER OBER- UND UNTERIRDISCHEN BIOMASSE EINES DAUERGRÜNLANDÖKOSYSTEMS

Udo Hertstein, Ludger Grünhage, Sabine Schlecht-Pietsch, Susanne Keil
und Hans-Jürgen Jäger

ABSTRACT

Effects of increasing nitrogen fertilization (0, 90, 240 kg N/ha·a) and field irrigation on above- and belowground biomass of a permanent grassland ecosystem (*Lolium-Cynosuretum typicum*) were investigated in a 2-factorial field-trial since 1987. The following biomass fractions have been determined: harvest yield, remaining postharvest aboveground biomass (stubble and straw), root biomass and soil microbial biomass. Treatment effects have been checked for significance by means of analyses of variance. Yield was most affected by both treatments. By using different regression techniques and additional weather data predictive yield models have been calculated and are discussed.

keywords: *permanent grassland, N-fertilization, irrigation, biomass production, soil microbial biomass*

1. EINFÜHRUNG

Seit 1987 werden auf der Versuchsfläche des Institutes für Produktions- und Ökotoxikologie innerhalb des Geländes der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) experimentelle Untersuchungen zur Abschätzung der relativen Bedeutung von Auswirkungen des chemischen Klimas auf die Struktur, Funktion und Entwicklung eines Dauergrünlandökosystems vor dem Hintergrund der Faktorenkomplexe physikalisches Klima, Wasserversorgung und Management durchgeführt (JÄGER et al. 1988; GRÜNHAGE et al. 1991). Unter funktionalem Aspekt kann die Biomasseproduktion als zentrale biologische Zustandsgröße des Ökosystems angesehen werden. Die Wirkungen von Stickstoffdüngung und Wasserversorgung auf die Produktion ober- und unterirdischer Biomasse wurden in einem zweifaktoriellen Untersuchungsansatz untersucht.

2. MATERIAL UND METHODEN

Vegetation und Boden der Versuchsfläche sowie Anlage und Behandlung der einzelnen Untersuchungspartellen wurden von JÄGER et al. (1988) detailliert beschrieben. Die ehemalige Mähweide repräsentiert ein grundwasserunabhängiges *Lolium-Cynosuretum typicum* und stockt auf einer Braunerde aus Sandlöß. Der Bestand wurde während der Untersuchung mit einer Nutzungsfrequenz von 4 Schnitten pro Jahr bewirtschaftet. Die Stickstoffdüngung erfolgte in 4 Gaben verteilt über die Vegetationsperiode in den Stufen 0,90 und 240 kg/ha·a. Alle Flächen erhielten jeweils im November eine Grunddüngung mit Phosphor und Kali. Um Wasserstreßeffekte zu vermeiden, wurde die Hälfte der Partellen mit Deionat beregnet, wenn die Wasserspannung im durchwurzelteten Bodenbereich in 5 cm Tiefe 0,5 bar überstieg. Die unberegneten Partellen erhielten in den Untersuchungsjahren 1987, 1988 und 1989 während der Vegetationsperioden (15.4.-15.10.) 387,4, 265,1 bzw. 239,9 mm, die beregneten 421,2, 419,8 bzw. 427,5 mm Niederschlag. Weitere Wetterdaten (Lufttemperatur, Verdunstung nach Haude, Globalstrahlung, positive und negative Strahlungsbilanz) wurden von der Agrarmeteorologi-

schen Forschungsstelle, Braunschweig-Völkenrode, des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung gestellt.

Zur Ertragsbestimmung wurden an 4 Terminen pro Jahr die Pflanzen von 9 Kleinquadrate (50 cm x 50 cm) pro Variante mit einer Schnitthöhe von ca. 5 cm geerntet und bei 105 °C getrocknet. Im Erntegut wurden die funktionalen Hauptgruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen getrennt erfaßt. Die Erfassung der Ernterückstände (Stoppel und Streu) als Teil der oberirdischen Biomasse erfolgte auf 4 weiteren Kleinquadraten. Im Jahr 1988 wurde darüber hinaus der Biomassezuwachs in 7- bis 14-tägigen Intervallen ermittelt. Bodenproben dienten zur Ermittlung der vertikalen Verteilung der Wurzelmasse und zur Messung der mikrobiellen Biomasse mit der Methode von ANDERSON und DOMSCH (1978).

Die statistische Datenauswertung (Varianz- und Regressionsanalysen) wurde unter Verwendung von Standardsoftware (SPSS PC+ bzw. STSC Statgraphics V. 2.1) an einem IBM AT-kompatiblen PC vorgenommen.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Aus landwirtschaftlicher Sicht besteht die Hauptfunktion des Ökosystems Dauergrünland in der Produktion oberirdischer, als Futtermittel verwertbarer Biomasse. Die Gesamterträge der einzelnen Behandlungsstufen in den Untersuchungsjahren 1987, 1988 und 1989 sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: Einfluß von Stickstoff-Düngung (N) und sommerlicher Zusatzberegnung (B) auf den Jahresgesamt-Ertrag (in dt/ha).

| | N-Düngung (kg/ha · a) | | | | Signifikanz ¹⁾ | | |
|------|--------------------------|----------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|
| | | 0 | 90 | 240 | N | B | N x B |
| 1987 | unberegnnet | 88,8 | 93,8 | 134,6 | 0,000 | 0,191 | 0,009 |
| | beregnnet | 87,1 | 111,4 | 130,6 | *** | | ** |
| | | LSD _{0,05} = 10,3 | | | | | |
| 1988 | unberegnnet | 35,4 | 57,4 | 75,9 | 0,000 | 0,000 | 0,132 |
| | beregnnet | 64,2 | 90,9 | 96,6 | *** | *** | |
| | | LSD _{0,05} = 8,8 | | | | | |
| 1989 | unberegnnet | 26,1 | 52,8 | 72,4 | 0,000 | 0,000 | 0,572 |
| | beregnnet | 68,9 | 93,3 | 108,6 | *** | *** | |
| | | LSD _{0,05} = 8,9 | | | | | |

¹⁾ Ergebnisse 2-faktorieller Varianzanalysen: *, ** bzw. *** = signifikant mit Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,05$, $0,01$ bzw. $0,001$; LSD_{0,05}: kleinste gesicherte Mittelwertdifferenz bei $p < 0,05$

Mittels 2-faktorieller Varianzanalysen wurde geprüft, ob in den beiden Untersuchungsjahren ein signifikanter Einfluß der Faktoren Stickstoffdüngung und Zusatzberegnung auf den jeweiligen Jahresertrag vorlag. Während stets ein hochsignifikanter Effekt der Stickstoffdüngung auf den Ertrag zu verzeichnen war, führte Zusatzberegnung nur in den Jahren 1988 und 1989 zu hochsignifikanten Mehrerträgen. Dies überrascht kaum, da sich die Wasserversorgung der zusatzberegneten und unberegneten Flächen im ersten Untersuchungsjahr (1987) aufgrund relativ hoher Niederschläge während der Sommermonate nur geringfügig unterschied. In den Jahren 1988 und 1989 wirkte sich die Zusatzberegnung bei fehlender bzw. mittlerer N-Düngung besonders ertragsfördernd aus. Mehrerträge resultierten in der Regel aus einer erhöhten Stoffproduktion der funktionalen Hauptgruppe der Gräser. Zunehmende Stickstoffdüngung und bei fehlender Zusatzberegnung unzureichende Wasserversorgung hatte die auch von KLAPP (1971) geschilderte Verringerung des Leguminosenanteils, der auf den untersuchten Parzellen ausschließlich von *Trifolium repens* gebildet wurde, zur Folge. Tab. 2 zeigt neben der in den Untersuchungsjahren 1988 und 1989 zum jeweiligen Schnitzeitpunkt auf den unberegneten Flächen geernteten Biomasse die verbliebenen Ernterückstände (Stoppeln und Streu). Ein signifikanter Effekt der Stickstoffdüngung auf die Stoppel- und Streumasse war lediglich im August 1988 und im Juli 1989 zu verzeichnen. Eine getrennte Erfassung von Stoppel und Streu, wie von SPEIDEL (1986) für eine Goldhaferwiese beschrieben, wurde nicht durchgeführt. Die Summe der dort angegebenen Stoppel- (9 bis 13 dt/ha) und Streumasse (18,8 dt/ha) liegt aber in der Größenordnung der hier ermittelten Durchschnittswerte von 23,9 (0 N) bis 26,1 (240 N). Die Dynamik der Ertragsbildung wird beispielhaft anhand der 1988 wöchentlich ermittelten Zuwachsdaten auf der nicht beregneten, jedoch mit 240 kg N/ha-a gedüngten Fläche deutlich (Abb. 1).

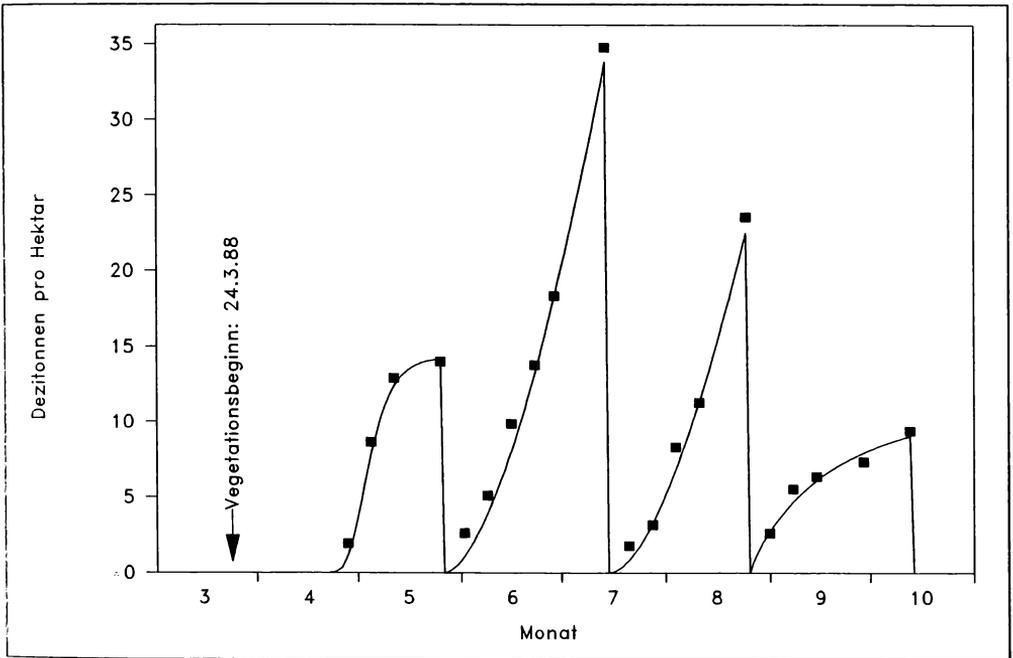


Abb. 1: Dynamik der Ertragsbildung im Untersuchungsjahr 1988.

Tab. 2: Wirkung von Stickstoff-Düngung (N; in kg/ha·a) auf die bei den Haupternten geerntete sowie die jeweils verbliebene oberirdische Biomasse (in dt/ha).

| | | N 0 | N 90 | N 240 | N- Effekt | LSD _{0,05} |
|------------|------------------|------|------|-------|--------------|---------------------|
| 24.05.1988 | Erntegut | 7,6 | 7,3 | 12,0 | * | 3,7 |
| | Stoppeln & Streu | 15,7 | 15,6 | 14,6 | | |
| 14.07.1988 | Erntegut | 15,5 | 29,6 | 33,8 | *** | 4,6 |
| | Stoppeln & Streu | 20,9 | 21,8 | 16,9 | | |
| 26.08.1988 | Erntegut | 11,7 | 19,1 | 22,3 | *** | 2,3 |
| | Stoppeln & Streu | 26,2 | 28,8 | 33,9 | * | |
| 11.10.1988 | Erntegut | 0,6 | 1,5 | 7,9 | *** | 1,4 |
| | Stoppeln & Streu | 24,5 | 22,3 | 24,9 | | |
| 18.05.1989 | Erntegut | 14,1 | 21,9 | 29,5 | *** | 5,0 |
| | Stoppeln & Streu | 23,8 | 24,0 | 24,9 | | |
| 17.07.1989 | Erntegut | 4,4 | 8,9 | 15,1 | *** | 2,6 |
| | Stoppeln & Streu | 15,6 | 17,9 | 25,6 | * | |
| 04.09.1989 | Erntegut | 4,1 | 8,0 | 6,9 | *** | 1,4 |
| | Stoppeln & Streu | 32,5 | 30,7 | 34,2 | | |
| 16.10.1989 | Erntegut | 3,6 | 14,0 | 20,9 | *** | 2,0 |
| | Stoppeln & Streu | 32,0 | 37,1 | 33,2 | | |

1) Ergebnisse einfacher Varianzanalysen: *, ** bzw. *** = signifikant mit Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,05$, $0,01$ bzw. $0,001$; LSD_{0,05}: kleinste gesicherte Mittelwertdifferenz bei $p < 0,05$

Dem zu Beginn der 1., 2. und 3. Aufwuchsperiode relativ geringen Zuwachs folgt eine exponentielle Wachstumsphase, die im 1. Aufwuchszeitraum aufgrund der limitierenden Wirkung des herrschenden Wassermangels atypisch früh in eine Sättigungsphase übergeht. Zum Zeitpunkt des 2. und 3. Schnittes war dagegen der maximale Ertrag noch nicht erreicht. Im 4. Aufwuchs ist keine exponentielle Wachstumsphase erkennbar, das Wachstum erfolgte mit monoton abnehmenden Zuwachsraten.

Die Wurzelbiomasse war - den Angaben von KLAPP (1971) und SPEIDEL (1986) entsprechend - stets in der obersten Bodenschicht am höchsten und nahm mit zunehmender Bodentiefe rasch ab (Abb. 2). Sie änderte sich auf den unberechneten Flächen im Verlauf der Vegetationsperiode 1988 erheblich. Ein Einfluß der Stickstoffdüngung war besonders während der Trockenperiode im Mai 1988 zu verzeichnen. In den tieferen Bodenschichten (5 - 10 und 10 - 20 cm) war die Wurzelbiomasse auf den gedüngten Flächen verglichen mit der ungedüngten erhöht.

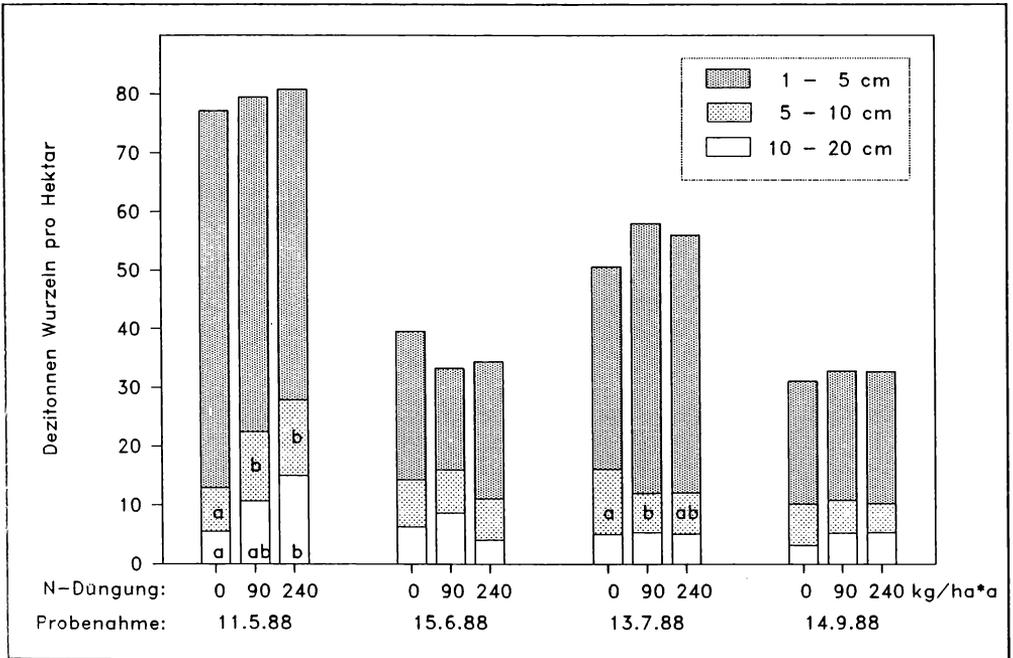


Abb. 2: Wurzelbiomasse unterschiedlich gedüngter Flächen im Untersuchungsjahr 1988. (Statistik: einfache Varianzanalyse und multiple-range-Test. Innerhalb der jeweiligen Schichttiefe sind Wurzelmassen mit gleichen Buchstaben mit $p < 0,05$ statistisch gleich).

Kaum Informationen lagen bisher über Fluktuationen und Oszillationen der mikrobiellen Biomasse in Grünlandböden und deren mögliche Beeinflussung durch den Einsatz von Düngemitteln vor. In Abb. 3 wurde exemplarisch der Jahresgang der mikrobiellen Biomasse in vier Bodenschichttiefen auf der ungedüngten und der mit 240 kg N / ha*a gedüngten, unberechneten Flächen dargestellt. Zu keinem Zeitpunkt waren signifikante Unterschiede der Gesamtmasse in ungedüngtem bzw. gedüngtem Boden zu verzeichnen. In den tieferen Bodenschichten zeigte dagegen die mikrobielle Biomasse bei fehlender N-Düngung einen ausgeprägten Jahresgang mit Minima im Winter (Dezember, Januar) und Maxima im Sommer (Juli, August), der durch Stickstoffdüngung nivelliert wurde.

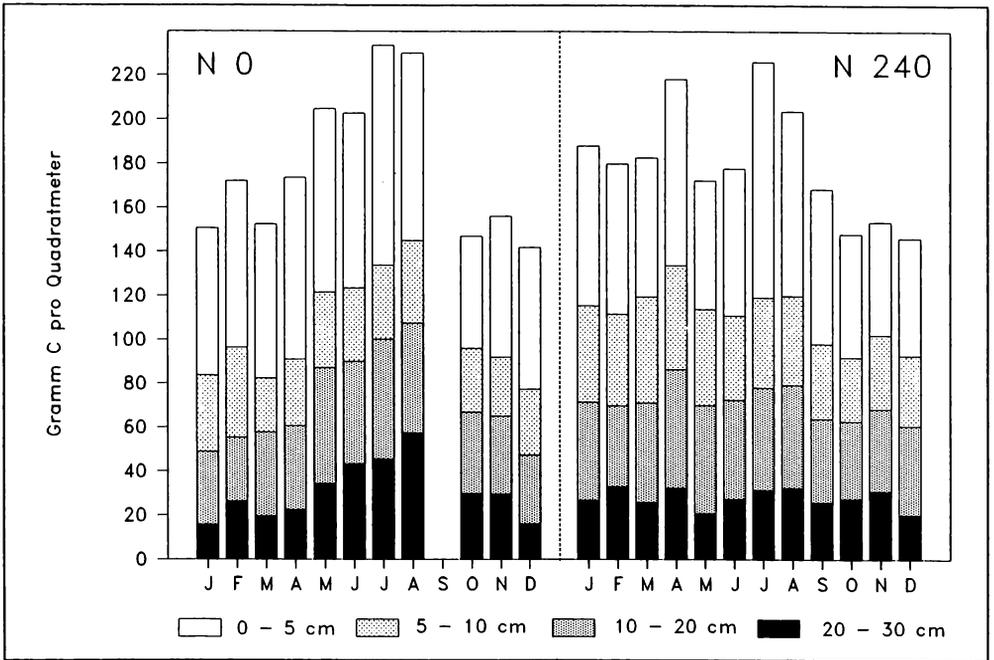


Abb. 3: Entwicklung der mikrobiellen Biomasse auf unterschiedlich gedüngten Flächen im Untersuchungsjahr 1988.

Die experimentell gewonnenen Daten und Ergebnisse sollen die Grundlage für eine modellierende Beschreibung der Entwicklung des Ökosystems unter Berücksichtigung von Düngung, Wettergeschehen und Luftqualität bilden, die durch varianzanalytische Prüfung des qualitativen Effekts von einzelnen oder wenigen experimentell variierten Faktoren auf eine biologische Zustandsgröße (z.B. oberirdische Biomasse) nicht geleistet werden kann. Wie die numerische Datenanalyse unter Anwendung von Regressionsmodellen (multiple lineare und nichtlineare Regression mit der Methode der kleinsten Quadrate, vgl. z.B. FLURY und RIEDWYL 1983, TIMISCHL 1988) zeigte (Tab. 3), konnten z.B. die Jahresgesamt-Erträge bereits relativ gut mit einer einfachen linearen Modellgleichung beschrieben werden, sofern anstelle der mittleren Regenmenge (Gl. (1); $R^2 = 0,8234$) die klimatische Wasserbilanz (Differenz aus Niederschlag und Verdunstung, Gl. (2); $R^2 = 0,9364$) und die eingesetzte N-Düngung als unabhängige Variablen berücksichtigt wurden.

Bei höherer zeitlicher Auflösung der Ertragsbildung (Einzelschnitte) war dagegen die Berücksichtigung von Strahlung und Temperatur unerlässlich (Gl. (6), Gl. (9)). Mit einem maximalen R^2 von 0,789 blieb dennoch ein beträchtlicher Varianzanteil der mittleren Einzelernträge unerklärt, wenn lediglich die N-Düngung und Wetterkenngrößen als ertragsbestimmende Variablen betrachtet wurden. Ob ein signifikanter Teil der mit diesen Modellen unerklärten Variabilität auf die während der einzelnen Aufwuchsperioden unterschiedliche Belastung mit den Schadgasen O_3 , SO_2 und NO_x zurückgeführt werden kann (vgl. GRÜNHAGE et al. 1991), muß noch geprüft werden. Die mit noch höherer zeitlicher Auflösung ermittelten Zuwachsmessungen (z.B. Abb. 1) sollen darüber hinaus für eine Validitätsprüfung von prozessorientierten Modellen dienen.

Tab. 3: Ergebnisse linearer und nichtlinearer Regressionsanalysen zur Beschreibung des Jahres- sowie des Einzelernte-Ertrages des Bestandes am Standort FAL als Funktion externer Variablen.

| Modellgleichung | df _{Fehler} | R ² |
|--|----------------------|----------------|
| 1. lineare Jahresertrags-Modelle | | |
| (1) $Y_J = -1,475 + 0,0093 \cdot N_J + 2,5297 \cdot R_D$ | 15 | 0,8234 |
| (2) $Y_J = 4,605 + 0,0093 \cdot N_J + 1,6650 \cdot W_{B_D}$ | 15 | 0,9364 |
| (3) $Y_J = 84,072 + 0,0093 \cdot N_J + 1,9520 \cdot W_{B_D} + 4,548 \cdot T_D - 0,1871 \cdot P_{S_{B_D}}$ | 13 | 0,9621 |
| 2. lineare Einzelertrags-Modelle | | |
| (4) $Y_E = 3,580 + 0,0379 \cdot N_E + 0,0550 \cdot R_D$ | 69 | 0,1229 |
| (5) $Y_E = 3,910 + 0,0379 \cdot N_E + 0,3406 \cdot W_{B_D}$ | 69 | 0,1413 |
| (6) $Y_E = 8,801 + 0,0379 \cdot N_E + 1,1653 \cdot W_{B_D} - 0,8099 \cdot T_D + 0,0096 \cdot P_{S_{B_D}}$ | 67 | 0,7203 |
| 3. nichtlineare Einzelertrags-Modelle | | |
| (7) $Y_E = 5,088 + 0,0646 \cdot N_E - 1,9569 \cdot R_D - 0,00043 \cdot N_E^2 + 0,4883 \cdot R_D^2 - 0,000045 \cdot N_E \cdot R_D$ | 66 | 0,1440 |
| (8) $Y_E = 3,822 + 0,0664 \cdot N_E - 0,0231 \cdot W_{B_D} - 0,00043 \cdot N_E^2 - 0,1870 \cdot W_{B_D}^2 + 0,00282 \cdot N_E \cdot W_{B_D}$ | 66 | 0,1578 |
| (9) $Y_E = 19,015 + 0,0645 \cdot N_E + 0,7547 \cdot W_{B_D} - 0,00043 \cdot N_E^2 - 0,3011 \cdot W_{B_D}^2 - 2,6723 \cdot T_D + 0,0160 \cdot P_{S_{B_D}} + 0,0686 \cdot T_D^2 - 0,00005 \cdot P_{S_{B_D}}^2$ | 63 | 0,7893 |

Variablen:

Y_J (g/m²·d); Umrechnung in (kg/ha·a) bei einer Vegetationsperiode von 180 Tagen:

$$Y_J \cdot 18;$$

Y_E (g/m²·d); Umrechnung in (kg/ha·Aufwuchs) bei einer Aufwuchszeit von 45 Tagen:

$$Y_E \cdot 4,5;$$

N_J : jährliche Stickstoff-Gabe (kg/ha·a); N_E : Stickstoff-Gabe zu Beginn eines jeden Aufwuchses (kg/ha) = $N_J/4$;

R_D = mittlere tägliche Regenmenge (mm/d); W_{B_D} = mittlere tägliche klimatische Wasserbilanz (mm/d); T_D = mittlere Lufttemperatur (°C); $P_{S_{B_D}}$ = mittlere tägliche positive Strahlungsbilanz (J/cm²·d)

LITERATUR

- ANDERSON J.P.E., DOMSCH K.H., 1978: A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. - Soil Biol. Biochem. 10: 215-221.
- FLURY B., RIEDWYL H., 1983: Angewandte multivariate Statistik. - G. Fischer, Stuttgart-New York.
- GRÜNHAGE L., JÄGER H.-J., DÄMMGEN U., HERTSTEIN U., 1991: Analyse der Wirkungen luftgetragener Stoffe im Ökosystem Dauergrünland. - Verhdlg. Ges. f. Ökologie XIX/III (Osnabrück 1989): 331-340.
- JÄGER H.-J., GRÜNHAGE L., DÄMMGEN U., HERTSTEIN U., FLECKENSTEIN J., 1988: Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf Vegetation und Boden von Grünland-ökosysteme. I. Zusammenhänge, Arbeits- und Messkonzept. - Landbauforschung Völknerode 38: 57-89.
- KLAPP E., 1971: Wiesen und Weiden. - Parey, Berlin-Hamburg.
- SPEIDEL B., 1986: Dynamik und Haushalt der Goldhaferwiese bei verschiedener Düngung. In: ELLENBERG, H., MAYER, R., SCHAUERMANN, J. (Hrsg.): Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966-1986. - Ulmer, Stuttgart: 159-174.
- TIMISCHL W.: Biomathematik. - Springer, Wien-New York.

ADRESSE

Dipl.-Biol. U. Hertstein
Dr. L. Grünhage
Dipl.-Biol. S. Schlecht-Pietsch
S. Keil
Institut für Produktions- und Ökotoxikologie
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Bundesallee 50
D-W-3300 Braunschweig

Prof. Dr. H.-J. Jäger
Institut für Pflanzenökologie
Justus-Liebig-Universität
Heinrich-Buff-Ring 58
D-W-6300 Gießen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [19_3_1991](#)

Autor(en)/Author(s): diverse

Artikel/Article: [Wirkung von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Entwicklung der ober- und unterirdischen Biomasse eines Dauergrünlandökosystems 397-404](#)