ARCHIVIERUNGSEXEMPLAR

HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ

Dissertation 01/2007

Untersuchungen zum Wasserhaushalt und Stickstoffumsatz von Rekultivierungsschichten aus Klärschlammkomposten

Sebastian Joachim Tauchnitz

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
00251969

ISSN 1860-0387

Institut für Agrartechnik und Landeskultur
der Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

„Untersuchungen zum Wasserhaushalt und Stickstoffumsatz von Rekultivierungsschichten aus Klärschlammkomposten“

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor agriculturarum (Dr. agr.)

vorgelegt von

Diplomagraringenieur Sebastian Joachim Tauchnitz
geb. am 22.01.1976 in Leipzig

Gutachter: Prof. Dr. R. Meissner
Prof. Dr. G. Guggenberger
Prof. Dr. D. Orzessek

Verteidigung am:

Halle/Saale 2006

Inhalt

Zusammenfassung ... 3
Summary ... 6
Abkürzungsverzeichnis ... 9
Abbildungsverzeichnis ... 10
Tabellenverzeichnis ... 12
1 Einleitung und Problemstellung ... 14
2 Literaturübersicht ... 18
3 Material und Methoden ... 25
3.1 Gefäßversuch ... 25
3.1.1 Versuchsaufbau ... 25
3.1.2 Untersuchungen ... 27
3.1.2.1 Bodenphysikalische Parameter ... 27
3.1.2.2 Wasserhaushaltsparameter ... 29
3.1.2.3 Chemische Parameter ... 30
3.2 Freilandversuch ... 31
3.2.1 Versuchsaufbau ... 31
3.2.2 Untersuchungen ... 32
3.2.2.1 Bodenphysikalische Parameter ... 32
3.2.2.2 Wasserhaushaltsparameter ... 33
3.2.2.3 Chemische Parameter ... 34
3.2.2.4 Stickstoffmineralisierung ... 35
3.2.2.5 Mikrobiologische Parameter ... 36
3.3 Datenaufbereitung und statistische Auswertung ... 37
4 Ergebnisse und Diskussion ... 38
4.1 Bodenphysikalische Parameter ... 38
4.1.1 Nutzbare Feldkapazität nach DIN ISO 11274 (Drucktopfmethode) ... 38
4.1.2 Nutzbare Feldkapazität nach Vegetationstest ... 39
4.1.3 Diskussion ... 40
4.2 Wasserhaushaltsparameter ... 42
4.2.1 Niederschlag ... 42
4.2.2 Versickerung ... 42
4.2.3 Bodenwassergehalt ... 47
4.2.4 Verdunstung ... 49
4.2.5 Modellierung der Sickerwassermenge ... 52
4.2.6 Diskussion ... 54

4.3 Chemische Parameter 60
4.3.1 Rekultivierungsmaterial 60
4.3.1.1 Gesamtstickstoff 60
4.3.1.2 Mineralischer Stickstoff 64
4.3.1.3 Organisch gebundener Stickstoff 73
4.3.2 Sickerwasser 74
4.3.2.1 Nitratstickstoff 74
4.3.2.2 Ammoniumstickstoff 84
4.3.3 Pflanze 93
4.3.4 Stickstoffmineralisierung 94
4.3.5 Mikrobiologische Parameter 96
4.3.5.1 Mikrobielle Biomasse 96
4.3.5.2 Metabolischer Quotient 98
4.3.6 Diskussion 100
5 Schlussfolgerungen 115
Literatur 118
Anlagenverzeichnis 132

Zusammenfassung

Der Mitteldeutsche Raum ist durch den Bergbau mit entsprechenden Folgelandschaften, zahlreichen Deponie- und Altlastenstandorten geprägt. Mit dem Ziel der Begrünung und der Rekultivierung dieser Standorte wird der hohe Bedarf an geeignetem Substrat deutlich. Die Aufgabe der Arbeit bestand darin, wissenschaftliche Grundlagen zum Einsatz von Klärschlammkompost im Landschaftsbau zu erarbeiten und Schlussfolgerungen für die praktische Umsetzung abzuleiten. Schwerpunkte der Arbeit waren Untersuchungen zum Wasser- und Stickstoffhaushalt von klärschlammkomposthaltigen Rekultivierungsschichten unter den klimatischen Bedingungen Sachsen-Anhalts. Die Parameter des Wasser- und Stickstoffhaushaltes wurden aufgrund der vielfältigen Herstellungsmöglichkeiten von Klärschlammkompost erstmals an einem definierten Modellkompost (MK1, 50 Vol.% kommunaler Klärschlamm + 50 Vol.% Strukturmaterialgemisch) in einem Freiland- und Gefäßversuch ermittelt. Die Zusammensetzung des Modellkompostes ermöglicht eine Herstellung in jeder Region und die materialbezogene Übertragbarkeit der vorliegenden Ergebnisse. Neben dem reinen Modellkompost wurden verschiedene Mischungsvarianten mit schwach tonigem Schluff (Ut2) und schwach tonigem Sand (St2) sowie unterschiedliche Mächtigkeiten (50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm) der Rekultivierungsschichten untersucht. Um einen Einfluss der Vegetation auf die Sickerwasserereignisse und den Wasserhaushalt in Rekultivierungsschichten nachzuweisen, wurden die genannten Varianten mit und ohne Begrünung angelegt. Die Versuche wurden von Juni 2003 bis April 2005 durchgeführt.

Grundlage der Wasserhaushaltsuntersuchungen waren die Messung von Sickerwassermenge, Bodenwasserspeicherung und Niederschlag. Das Sickerwasser wurde im Gefäß- und Freilandversuch in Sickerwassersammlern mit entsprechender Mächtigkeit erfasst. Der Bodenwassergehalt wurde im Gefäßversuch mittels Wägung der Sickerwassersammler und im Freilandversuch auf Grundlage der Trockenmassebestimmung ermittelt. Die bodenphysikalischen Parameter nutzbare Feldkapazität, Feldkapazität und permanenter Welkepunkt wurden nach DIN ISO 11274 und parallel unter Anwendung eines eigens für klärschlammkomposthaltige Materialien entwickelten Vegetationstests mit Hilfe von Sonnenblumen bestimmt. Grundlage der Quantifizierung des auswaschungsgefährdeten Stickstoffs (N) war die Bestimmung von Nitrat-/ Nitrit- (NO_3-N/ NO_2-N) und Ammoniumstickstoff (NH_4-N)–Konzentrationen im Sickerwasser. In Kombination mit der Sickerwassermenge wurden die N-Auswaschungen als Fracht quantifiziert.

Monatliche Untersuchungen der NO_3-N/ (NO_2-N), NH_4-N und Gesamtstickstoff (N_t) -gehalte im Rekultivierungsmaterial stellten unter Berücksichtigung der Auswaschung und des pflanzlichen Entzuges die Basis zur Bestimmung von Mineralisierungs- bzw. Immobilisierungsprozessen in den Varianten dar. Für den Zeitraum der Untersuchungen wurden die Veränderungen der Vorräte von N_t, organisch gebundenem Stickstoff (N_{org}) und mineralischem Stickstoff (N_{min}) der Rekultivierungsschichten dargestellt.

Anhand der Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen mittels Vegetationstest wiesen die Rekultivierungsmaterialien MK1 (100 Vol.% Modellkompost), MK1+Ut2 (50 Vol.% Modellkompost + 50 Vol.% schwach toniger Schluff) und MK1+St2 (50 Vol.% Modellkompost + 50 Vol.% schwach toniger Sand) eine nutzbare Feldkapazität von 39, 33 und 37 Vol.% auf. Mit dieser Eigenschaft können 100 cm mächtige Rekultivierungsschichten aus diesen Materialien etwa 390, 330 und 370 mm

Niederschlagswasser speichern und an die Vegetation oder durch Verdunstung in die Atmosphäre abgeben. Mit einer Mächtigkeit von 200 cm können aus diesen Materialien aufgebaute, einschichtige Rekultivierungsschichten etwa doppelt so hohe Wassermengen als 100 cm mächtige speichern, wodurch das Risiko der Sickerwasserentstehung zusätzlich verringert wird. Die in der Rekultivierungsschicht gespeicherten Niederschlagsmengen unterliegen der jahreszeitlichen Wasserhaushaltsdynamik. Das gesamte für die Pflanze verfügbare Bodenwasser wurde nach Etablierung der Vegetation innerhalb von zwei bis drei Monaten durch Begrünung aus dem Boden entzogen. In den Wintermonaten stieg der Wassergehalt aufgrund der Vegetationspause wieder an. In dieser Zeit fielen in Sachsen-Anhalt nach dem langjährigen Mittel von 1970 bis 2001 Niederschlagsmengen von durchschnittlich 147 mm und im Extremjahr 2002 von 210 mm. Unter der Vorraussetzung einer ausreichend hohen nutzbaren Feldkapazität von >21 Vol.% zur Speicherung der Niederschläge in der auswaschungsgefährdeten Zeit sowie einer von der Durchwurzelungstiefe bestimmten Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht, ist unter den klimatischen Bedingungen von Sachsen-Anhalt nicht mit Sickerwasserereignissen zu rechnen.

Unterschiede in der Sickerwassermenge zwischen unbegrünten und begrünten Varianten verdeutlichten den Einfluss der Vegetationsschicht. Bei den 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 des Gefäßversuches wurde die Sickerwassermenge durch Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum Lam.*) um 83, 88 und 91 % verringert. Das entsprach einer Versickerung von etwa 3 bis 9 % der gesamten Niederschlagsmenge. Bei den 100 cm mächtigen begrünten Varianten des Freilandversuches wurden bei MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 etwa 77, 89 und 86 % geringere Sickerwassermengen als bei den unbegrünten Varianten ermittelt. Die Sickerwassermenge betrug bei diesen Varianten etwa 3, 1 und 2 % des Niederschlages. Bei Mächtigkeiten von 200 cm wurde bei den Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 etwa 1 % der Niederschlagsmenge als Sickerwasser gemessen.

Die Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen zu Beginn der Untersuchungen je nach Untersuchungstiefe Gehalte an mineralischem Stickstoff (N_{min}) zwischen 243 bis 364 mg/100 g Trockenmasse (TM), 39 bis 48 mg/100 g TM und 21 bis 35 mg/100g TM auf. Die 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 enthielten zu diesem Zeitpunkt N_{min} – Vorräte von etwa 10710, 3860 und 3060 kg/ha. Die auswaschungsgefährdeten NO_3-N- (NO_2-N-) und NH_4-N–Gehalte im Rekultivierungsmaterial unterlagen dem jahreszeitlichen Verlauf der mikrobiologischen N–Mineralisierung und Immobilisierung. Unmittelbar nach dem Aufbau der Rekultivierungsschichten folgten bei den unbegrünten und begrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 kurzzeitige Steigerungen der N_{min}–Gehalte von etwa 70 bis 170 %, 34 bis 44 % und 41 bis 50 %. Nach der gesamten Untersuchungszeit wurden bei diesen Varianten durchschnittliche Verringerungen der N_{min}–Gehalte von etwa 37 – 41 %, 57 – 69 % und 65 - 73 % bilanziert. In den Varianten MK1 und MK1+Ut2 bzw. MK1+St2 lagen zu Beginn der Untersuchungen N_t–Gehalte zwischen 1,5 bis 1,7 % und 0,2 bis 0,4 % der Trockenmasse vor. Daraus resultierten bei 100 cm mächtigen Rekultivierungsschichten aus diesen Materialien N_t–Vorräte von etwa 56000 und 35000 kg/ha. Aufgund der hohen Abnahme des N_{min} bei konstantem N_t können steigende Gehalte an organisch gebundenem N (N_{org}) durch Immobilisierungsprozesse angenommen werden.

Die Untersuchungen der mikrobiellen Biomasse (C_{mik}) bestätigten diesen Befund durch leicht steigende, nicht signifikante Tendenzen. Bei den unbegrünten und begrünten Varianten MK1 wurde in der Untersuchungstiefe 0 - 40 cm ein Anstieg von 36 bzw. 48 % festgestellt. In der Untersuchungstiefe 40-80 cm sanken die Gehalte um 53 und um 34 %. Die unbegrünten bzw. begrünten Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen in beiden Bereichen durchschnittliche Erhöhungen der C_{mik}–Gehalte von etwa 23 - 50 % und 13 - 30 % auf.

Die N_t–Gehalte der Pflanzen gaben Hinweise auf die Menge des aus den Rekultivierungsschichten entzogenen N_{min}. Im Freilandversuch wurden bei den Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 je nach Mächtigkeit N_{min}–Entzüge zwischen 169 bis 246 kg/ha, 229 bis 287 kg/ha und 207 bis 349 kg/ha ermittelt. Vergleichbare Ergebnisse liegen für den Gefäßversuch vor.

Das Sickerwasser der geprüften Varianten wies bei den ersten Ereignissen die höchsten NO_3-N- (NO_2-N-) und NH_4-N-Konzentrationen auf. Bis zum Abschluss der Untersuchungen sanken die Werte auf Konzentrationen unterhalb 100 mg/l. Unterschiede zwischen der anorganischen Stickstoffkonzentration (min-N) unbegrünter und begrünter Varianten und zwischen den verschiedenen Mächtigkeiten einer Variante wurden nicht festgestellt. Signifikante Unterschiede resultierten aus den min-N–Frachten im Sickerwasser begrünter und unbegrünter Varianten. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes traten am Beispiel der 100 cm mächtigen begrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 des Gefäßversuches mit 21 bis 37 kg N_{min} pro ha und Jahr etwa 89, 99 und 98 % weniger min-N aus dem Rekultivierungsmaterial als bei den unbegrünten Varianten aus. Vergleichbare Reduzierungen um 89, 88 und 96 % der NO_3-N- (NO_2-N-) und NH_4-N-Fracht im Sickerwasser bei Begrünung lieferten die Untersuchungen der 100 cm mächtigen Varianten des Freilandversuches. Bei sehr hohen N_{min}–Vorräten und Gehalten in den Rekultivierungsschichten waren die min-N–Konzentrationen und Frachten im Sickerwasser nach Abschluss der Untersuchungen mit der Beschaffenheit von Sickerwasser ackerbaulich bewirtschafteter Böden vergleichbar.

Auf Grundlage der Ergebnisse wurden schlussfolgernd bezüglich der Mächtigkeit, der Mischungsvarianten und der Begrünung praxisrelevante Hinweise für den Aufbau klärschlammkomposthaltiger Rekultivierungsschichten zur Reduzierung bzw. Verhinderung von Sickerwasser und Stickstoffausträgen abgeleitet.

Summary

In the past, the Central German region was coined by open-cast coal mining, numerous landfills and contaminated sites. Measures towards the revegetation of such sites involved a tremendous demand for suitable soil material. The thesis has the aim to elaborate the scientific basis for the use of composted sewage sludge in landscaping and to formulate conclusions for practical extension. The activities focused on the water and nitrogen budget of recultivation layers containing composted sewage sludge under the conditions of Saxony-Anhalt. In view of the manifold techniques for composting sewage sludge, for the first time a defined model compost (MK1, 50 vol.-% municipal sewage sludge + 50 vol.-% tree loppings) was used in an open-field trial and in a pot experiment for determining the parameters of the water and nitrogen budget. The composition of the model compost allows its preparation in any region with a material-specific application of the results presented in this paper. Beside the pure model compost different mixing variants were tested including low-clay silt and low-clay sand as well as different thickness parameters (50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm) of the revegetated layers. To document the influence of vegetation on the dynamics of leachate and the water budget in recultivated layers, each variant was tested with and without grass cover. The investigations were carried out between June 2003 and April 2005.

The studies of the water budget focused on surveys of leachate quantity, storage of water in the soil and measurements of precipitation. Both in pot experiments and in field trials, the percolation water was collected in leachate collectors of corresponding thickness. In the pot experiments, the soil water content was determined by weighing the collectors, in the field trials by dry matter analysis. The soil-physical parameters *available field water capacity, field capacity* and *permanent wilting point* were determined according to DIN ISO 11274 and parallel to this by use of a special vegetation test with sunflowers developed for substances containing sewage sludge.

The quantification of nitrogen endangered by leaching was based on the determination of the nitrate-/ nitrite- (NO_3-N /NO_2-N) and ammonium nitrogen (NH_4-N) levels in the leachate. Thus, the N load in the leachate was calculated.

Monthly records of NO_3-N (NO_2-N), NH_4-N and the total nitrogen quantities (N_t) in the recultivation material provided the basis for the determination of mineralization and/or immobilization processes in the different variants, taking into consideration also N leaching and removal by plants. Changes in the load of N_t, organically fixed nitrogen (N_{org}) and mineral nitrogen (N_{min}) in the restored layers were juxtaposed and compared throughout the entire observation time.

The soil-physical results obtained in vegetation tests on the revegetation substrates MK1 (100 vol.% model compost, MK1+Ut2 (50 vol.% model compost + 50 vol.% low-clay silt) and MK1+St2 (50 vol.% model compost + 50 Vol.% low-clay sand) showed an available field capacity of 39 vol.%, 33 vol.% and 37 vol.%, respectively. This means that revegetation layers with a thickness of 100 cm consisting of these substrates are able to hold back approx. 390 mm, 330 mm and 370 mm precipitation and to release it to vegetation or the atmosphere by evaporation. In case of larger thickness (200 cm), homogenous layers consisting of this material may hold water quantities nearly double as high, which of course decreases the risk of leachate formation further. Precipitation water hold back in the revegetated layer underlies the seasonal dynamics of the water budget. The total quantity of plant-available soil water was removed by vegetation within two to three months after plant establishment.

During the winter months, the water level rose again due to the vegetative rest. In this time, Saxony-Anhalt usually records 147 mm rainfall on average; in the extreme year 2002 210 mm were recorded. Provided that the available field water capacity is high enough (>21 vol.%) for holding back precipitation in the time when leaching must be reckoned with and that the optimal thickness of the revegetation layer corresponds to the effective rooting depth, leaching should not occur under the climatic conditions of Saxony-Anhalt.

Differences in the leachate quantity between the variants with or without grassing elucidate the influence of the plant cover. In the 100 cm pot variants MK1, MK1+Ut2 and MK1+St2, Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) reduced leachate occurrence by 83 %, 88 % and 91 % resp. This means that about 3 % to 9 % of the total precipitation quantity percolated into the soil. In the open-field trial with grassing of the 100 cm variants, the treatments MK1, MK1+Ut2 and MK1+St2 produced leachate quantities that were approx. 77 %, 89 % and 86 % lower than those of the variants without grass cover. Here, leaching reached approx. 3 %, 1 % and 2 % of the recorded precipitation. In variants MK1, MK1+Ut2 and MK1+St2 of 200 cm layer thickness, about 1 % of the precipitation was measured as leachate.

In dependence on the depth of sampling at the beginning of the studies, variants MK1, MK1+Ut2 and MK1+St2 contained quantities of mineral nitrogen (N_{min}) between 243 and 364 mg/100 g dry matter (DM), 39 to 48 mg/100 g DM and 21 to 35 m g/100g DM, resp. At the same time, the 100 cm variants MK1, MK1+Ut2 and MK1+St2 contained N_{min} -loads of about 10710 kg/ha, 3860 kg/ha and 3060 kg/ha. The leaching-relevant NO_3-N (NO_2-N) and NH_4-N levels in the recultivation substrate are subject to the seasonal pattern of microbiological N mineralization and immobilization. Immediately after the setup of the revegetation strata, short-term increases in the N_{min} – levels by about 70 to 170 %, 34 to 44 % and 41 to 50 % were measured in variants MK1, MK1+Ut2 and MK1+St2, both with and without grassing. After the observation period, the mean N_{min} – levels in these variants had decreased by about 37-41 %, 57-69 % and 65-73 %. In variants MK1 and MK1+Ut2 and MK1+St2, the initial N_t – levels ranked between 1.56 and 1.67 % and 0.24 and 0.39 % of dry matter. In the 100 cm revegetation layers of the described substrates, this has led to N_t–resources of approx. 56000 kg/ha and 35000 kg/ha. The high decline of N_{min} at constant N_t gave rise to assume that immobilization processes are responsible for the increasing levels of organically fixed N (N_{org}).

This observation was underlined by studies of the bicrobial biomass (C_{mik}), i. e. by a slightly rising, non-significant tendency. In the MK1 variants without/with grassing an increase by 36 and 48 % resp. was recorded in 0-40 cm observation depth. In the depth of 40-80 cm the levels sank by 53 and 34 %, resp. The non-grassed and the grassed treatments MK1+Ut2 and MK1+St2 had increased C_{mik} levels in both ranges (by approx. 23-50 % and 13-30 % resp.).

The N_t levels in the grassed variants pointed out to the quantity of N_{min} removed from the restored layer. In open-field trials, N_{min} removal in the variants MK1, MK1+Ut2 and MK1+St2 was found to reach 169 to 246 kg/ha, 229 to 287 kg/ha and 207 to 349 kg/ha, depending on the thickness of the layer. Comparable results have been obtained in the pot experiment.

In the first measurements of leachate occurrence, NO_3-N (NO_2-N) and NH_4-N maximum concentrations in the percolation water of the tested variants amounted up to 3000 mg/l and 4000

mg/l. By the end of the studies, the concentrations had declined to values below 100 mg/l. No differences were found between the anorganic nitrogen concentration (min-N) in non-grassed and grassed variants as well as between the different thickness parameters of a variant. Significant differences resulted from min-N loads in the leachate of grassed and non-grassed treatments. Throughout the entire observation period, min-N removal from the revegetated substrate in the 100 cm pot variants MK1, MK1+Ut2 and MK1+St2 was 89 %, 99 % and 98 % lower in the grassed treatments than in the non-grassed ones. Comparable reductions by 89 %, 88 % and 96 % of the NO_3-N (NO_2-N) and NH_4-N load in the percolation water after grassing were obtained in the observations of the 100 cm variants in the open field. Where N_{min} loads and contents in the recultivation layers were very high, min-N levels and loads in the leachate at the end of the observations were comparable to values of arable soils.

On the basis of the obtained results, practice-related recommendations have been formulated for establishing revegetation layers by use of composted sewage sludge with the aim to reduce or avoid water and nitrogen issue.

Abkürzungsverzeichnis

µg	Mikrogramm
a	Jahr
C/N	Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis
C_{mik}	Mikrobiell gebundener Kohlenstoff
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DWD	Deutscher Wetterdienst
E_A	Aktuelle Evaporation
ET_A	Aktuelle Evapotranspiration
Fa	Firma
FK	Feldkapazität
I	Interzeption
KSK	Klärschlammkompost
LD	Lagerungsdichte
M%	Masseprozent
MK	Modellkompost
MW	Mittelwert
nFK	Nutzbare Feldkapazität
NH_4-N	Ammoniumstickstoff
N_{min}	Mineralstickstoff
NO_3-N	Nitratstickstoff
N_{org}	Organisch gebundener Stickstoff
N_t	Gesamtstickstoff
PWP	Permanenter Welkepunkt
qCO_2	Metabolischer Quotient
RM	Rekultivierungsmaterial
RS	Rekultivierungsschicht
SM	Schwermetall
St2	schwach toniger Sand
StAbw	Standardabweichung
t(0)	Zeitpunkt
TM	Trockenmasse
ü.	über
Ut2	schwach toniger Schluff
Vol.%	Volumenprozent

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Aufbau des Freilandversuches 32
Abb. 2.: Nutzbare Feldkapazität der Varianten (Vegetationstest mit Sonnenblume und Welschem Weidelgras) 40
Abb. 3: Sickerwassermengen der 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten (Gefäßversuch 2) 43
Abb. 4: Kumulierte Sickerwassermengen der 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten (Gefäßversuch 2) ..43
Abb. 5: Kumulierte Sickerwassermengen der 50 cm, 100 cm, 150 cm und 200 cm mächtigen, unbegrünten Varianten MK1 (Gefäßversuch 2) 45
Abb. 6: Kumulierte Sickerwassermenge von unbegrünten und begrünten MK1 bei 50 cm, 100 cm, 150 cm und 200 cm Mächtigkeit während des Untersuchungszeitraumes vom 19.07.03 bis 28.04.2005 (Freilandversuch) 46
Abb. 7: Verlauf des Bodenwassergehaltes von 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 (Gefäßversuch 2) 48
Abb. 8: Verlauf des Bodenwassergehaltes der Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 in der Untersuchungstiefe 0-40 cm und 80-120 cm (Freilandversuch) 49
Abb. 9: Kumulierte aktuelle Evapotranspiration und Evaporation von 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 (Gefäßversuch 2) 50
Abb. 10: Durchschnittliche tägliche Evapotranspiration und Evaporation der 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 für die Zeitspannen April bis Oktober 2004 und November 2003 bis März 2004 (Gefäßversuch 2) 50
Abb. 11: Niederschlagssummen verschiedener Standorte Deutschlands 54
Abb. 12: N-Komponenten der eingesetzten Rekultivierungsmaterialien (Gefäßversuch) 60
Abb. 13: N-Komponenten der eingesetzten Rekultivierungsmaterialien (Freilandversuch) 61
Abb. 14: Durchschnittliche N_t-Gehalte der gesamten Rekultivierungsschichten im Untersuchungszeitraum (Freilandversuch) .63
Abb. 15: Durchschnittliche NO_3-N–Gehalte der Rekultivierungsmaterialien in unterschiedlicher Bodentiefe während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 66
Abb. 16: Durchschnittliche NH_4-N–Gehalte der Rekultivierungsmaterialien während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 69
Abb. 17: Durchschnittliche N_{min}–Gehalte der Rekultivierungsmaterialien in unterschiedlicher Untersuchungstiefe während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 71
Abb. 18: Verhältnis zwischen NO_3-N und NH_4-N der Rekultivierungsmaterialien während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 72
Abb. 19: Verlauf der mittleren N_{org}–Gehalte in den Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 73
Abb. 20: Verlauf der durchschnittlichen NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten während des Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2) 75
Abb. 21: Durchschnittliche NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2) 76
Abb. 22: NO_3-N–Fracht im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten des gesamten Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2) 78
Abb. 23: Verlauf der NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 81
Abb. 24: Durchschnittliche NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser von 100 cm mächtigen MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 82
Abb. 25: NO_3-N–Fracht im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 83
Abb. 26: Verlauf der NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigem, unbegrünten und begrünten Varianten im Untersuchungszeitraum (Gefäßversuch 2) 85
Abb. 27: Durchschnittliche NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten des gesamten Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2) 87
Abb. 28: NH_4-N–Fracht im Sickerwasser aller 100 cm mächtigen Varianten im gesamten Untersuchungszeitraum (Gefäßversuch 2) 88

Abb. 29: Verlauf der NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 90
Abb. 30: Durchschnittliche NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten im gesamten Untersuchungszeitraum (Freilandversuch) 90
Abb. 31: NH_4-N–Fracht im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 im gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 92
Abb. 32: N-Entzug durch oberirdische Biomasse nach Ernte am 12.09.03, 17.06.04 und 03.08.04 (Gefäßversuch 2) 93
Abb. 33: Verlauf mittlerer C_{mik}–Gehalte der Rekultivierungsmaterialien in Untersuchungstiefen von 0-40 cm und 40-80 cm während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 98
Abb. 34: Mittlerer Metabolischer Quotient der Rekultivierungsmaterialien in Untersuchungstiefen 0 - 40 cm und 40 - 80 cm während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 99

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Varianten des Gefäßversuch 1 26
Tab. 2: Varianten des Gefäßversuch 2 27
Tab: 3: Füllmengen und Lagerungsdichten der Rekultivierungsmaterialien für die Bestimmung der nFK (Vegetationstest) ... 28
Tab. 4: Durchgeführte Analysenmethoden zur Sickerwasseruntersuchung 30
Tab. 5: Durchgeführte Analysenmethoden zur Untersuchung der KSK-Varianten 31
Tab. 6: Varianten des Freilandversuches 32
Tab. 7: Untersuchungstiefen im Freilandversuch 35
Tab. 8: Nutzbare Feldkapazität der Varianten bei unterschiedlicher Lagerungsdichte (Drucktopfmethode, Gefäßversuch 2) 39
Tab. 9: Nutzbare Feldkapazität, permanenter Welkepunkt und Feldkapazität verschiedener Rekultivierungsmaterialien (Literaturangaben) 41
Tab. 10: Durchschnittliche Sickerwassermenge der 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten während des Untersuchungszeitraumes vom 04.06.2003 - 08.06.2005 (Gefäßversuch 2) 44
Tab. 11: Sickerwassermenge unterschiedlich mächtiger, unbegrünter Varianten während der Zeit vom 04.06.2003 bis 30.03.2004 (a) und 04.06.2003 bis 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2) 45
Tab. 12: Sickerwassermengen aller Varianten während des Untersuchungszeitraumes vom 19.07.03 bis 22.07.04 (a) und vom 19.07.2003 bis 28.04.2005 (b) (Freilandversuch) 46
Tab. 13: Durchschnittliche Sickerwassermenge pro Ereignis der 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes vom 19.07.03 bis 28.04.2005 (Freilandversuch) 47
Tab. 14: Evapotranspiration und Evaporation der 100 cm mächtigen Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2) 51
Tab. 15: Evapotranspiration und Evaporation von 50 cm, 100 cm, 150 cm und 200 cm mächtigen Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 52
Tab. 16: Modellierte Sickerwassermenge unter Annahme des Niederschlages der Jahre 2002, 2003 und des langjährigen Mittels (1970-2001) bei unterschiedlicher nFK, 100cm Mächtigkeit und Grasvegetation 52
Tab. 17: Sickerwassermenge der 100 cm mächtigen, begrünten Varianten (a) und Ergebnisse der Modellierung des Versuchsjahres 2004 (b) (Freilandversuch) 53
Tab. 18: N_t-Gehalte der Varianten im Juli 2005 (Freilandversuch) 62
Tab. 19: N_t-, NO_3-N- und NH_4-N-Vorrat der Varianten im Juli 2003 (Freilandversuch) 62
Tab. 20: Mittlere N_t-Gehalte der Varianten im Juli 2003 und März 2005 (Freilandversuch) 64
Tab. 21: Mittlere NO_3-N-Gehalte der Varianten im Juli 2003 (Freilandversuch) 64
Tab. 22: Mittlere NO_3-N-Gehalte der Varianten im März 2005 (Freilandversuch) 65
Tab. 23: Differenzen der NO_3-N – Gehalte (Juli 2003 und März 2005) der Varianten in unterschiedlichen Untersuchungstiefen (Freilandversuch) 65
Tab. 24: Mittlere NH_4-N-Gehalte der Rekultivierungsmaterialien im Juli 2003 (Freilandversuch) 67
Tab. 25: Differenzen der NH_4-N–Gehalte (Juli 2003 und März 2005) der Varianten in unterschiedlichen Untersuchungstiefen (Freilandversuch) 68
Tab. 26: Mittlere N_{min}-Gehalte der Varianten im Juli 2003 (Freilandversuch) 70
Tab. 27: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.06.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2) 76
Tab. 28: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und 22.06.2004 – 26.04.2005 (Gefäßversuch 2) 77
Tab. 29: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Fracht im Sickerwasser der 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten zwischen den Zeiträumen vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.06.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2) 79
Tab. 30: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Frachten pro Sickerwasserereignis zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und 22.06.2004 – 26.04.2005 (Gefäßversuch 2) 80

Tab. 31: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 19.07.2003 – 22.07.2004 (a) und 29.07.2004 – 28.04.2005 (b) (Freilandversuch) 81
Tab. 32: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Frachten im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum von 19.07.2003 – 22.07.2004 (a) und 29.07.2004 – 28.04.2005 (b) (Freilandversuch) 82
Tab. 33: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Frachten im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 83
Tab. 34: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.07.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2) 86
Tab. 35: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.06.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2) 86
Tab. 36: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Fracht im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.07.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2) 88
Tab. 37: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Fracht im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und 22.06.2004 – 26.04.2005 (Gefäßversuch 2) 89
Tab. 38: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 19.07.2003 – 22.07.2004 (a) und 29.07.2004 – 28.04.2005 (b) (Freilandversuch) 91
Tab. 39: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten im gesamten Untersuchungszeitraum (Freilandversuch) 91
Tab. 40: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Frachten im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 19.07.2003 – 22.07.2004 (a) und 29.07.2004 – 28.04.2005 (b) (Freilandversuch) 92
Tab. 41: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Frachten im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten im gesamten Untersuchungszeitraum (Freilandversuch) 93
Tab. 42: Veränderung der N-Komponenten im Zeitraum Juli 2003 bis März 2005 (Freilandversuch) 95
Tab. 43: Mittlere C_{mik}-Gehalte [µg Cmik/g TM] der Varianten im September 2003 und November 2004 (Freilandversuch) 97
Tab. 44: Mittlerer Metabolischer Quotient der Varianten im September 2003 und November 2004 (Freilandversuch) 100
Tab. 45: N_t–Vorrat verschiedener Waldstandorte nach Muttergesteinsgruppe (Emberger 1965) 102
Tab. 46: NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser unterschiedlich genutzter Böden 110
Tab. 47: Kriterien des Wasserhaushalts und Stickstoffgehalts für Rekultivierungsschichten zur Minimierung der Sickerwasserbildung 116

1 Einleitung und Problemstellung

In der Zeitspanne von 1990 bis 2002 stieg der Anschlussgrad Sachsen-Anhaltinischer Haushalte an die öffentliche Kanalisation um etwa 16 % auf über 83 % an (MFLU 2003). Mit dem Neubau von Kläranlagen und der Anwendung moderner Behandlungsverfahren nahm im gleichen Zeitraum die anfallende Klärschlammenge von 28569 t auf 64927 t TM/a kontinuierlich zu. Mit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KRW-/ABFG 1994) müssen auch bei der Entsorgung des kommunalen Klärschlammes die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft eingehalten werden. Nach KRW-/ABFG (1994) muss Abfall möglichst vermieden, nicht vermeidbare Abfälle möglichst stofflich ansonsten energetisch verwertet werden. In Sachsen-Anhalt wurden im Jahr 2002 etwa 2 % Klärschlamm (KS) thermisch und 92 % stofflich verwertet. 47 % des Klärschlammes wurden direkt in der Landwirtschaft eingesetzt, 29 % kompostiert, 11 % direkt im Landschaftsbau und etwa 3 % in sonstigen Bereichen stofflich verwertet (MFLU 2003, STALA 2003, LAU 2004a). Der kompostierte Klärschlamm fand mit 70 % im Landschaftsbau, 12 % in der Landwirtschaft und mit 18 % in differenzierten Bereichen Anwendung und stellte somit eine tragende Rolle bei der Klärschlammverwertung dar.

Große Teile der Landschaft des Mitteldeutschen Raumes wurden durch den Abbau von Kohle und durch die oberirdische Deponierung von Abfällen geprägt und devastiert. Nach DUMBECK (1996) besteht im gesamten Gebiet von Ostdeutschland ein Rekultivierungsbedarf von ca. 62100 ha in Bergbaufolgelandschaften. Zusätzlich sind zahlreiche Deponie- und Altlastenstandorte vorhanden. Nach Angaben des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt existieren in Sachsen-Anhalt ca. 3035 ha an Deponien, die im Jahre 2006 geschlossen werden und danach in das Landschaftsbild zu integrieren sind (LAU 2004b). Gemäß dem Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (BNATSCHG 2002) müssen unvermeidbare Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes durch geeignete Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege innerhalb gegebener Fristen ausgeglichen werden. Diese Eingriffe sind ausgeglichen, wenn nach deren Beendigung keine erheblichen oder nachhaltigen Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes zurückbleiben und das Landschaftsbild landschaftsgerecht wiederhergestellt oder neu gestaltet ist. Anhand dieser Forderung lässt sich die Wiederherstellung der Begrünungsfähigkeit als wichtige Aufgabe von Rekultivierungs- bzw. Renaturierungsmaßnahmen ableiten.

Devastierte Standorte sind durch fehlende Oberbodenauflagen geprägt und eignen sich unzureichend für Begrünungszwecke. Hauptursachen sind ungünstige Standorteigenschaften, wie geringes pflanzenverfügbares Bodenwasser, unzureichende Durchlüftung, geringe Durchwurzelungstiefe und fehlende Nährstoff- und Humusvorräte (PFLUG 1998; KLEBER ET AL. 1999; TAUCHNITZ, BERNSDORF UND MEISSNER 2004).

Neben den Forderungen des BNatSchG gelten derzeit für Maßnahmen im Landschaftsbau und bei der Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften die Bedingungen des Bundesbodenschutzgesetzes (BbodSchG 1998), der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999) und des Bundesberggesetzes (BBergG 1980). Für Begrünungsmaßnahmen bzw. die Schließung von Deponien gilt seit 2002 zusätzlich die Deponieverordnung (DepV 2002).

Nach der BBodSchV gilt es, die Nährstoffzufuhr durch das Auf- und Einbringen von Materialien auf und in den Boden nach Menge und Verfügbarkeit dem Pflanzenbedarf der Folgevegetation anzupassen, um Nährstoffeinträge in Gewässer zu vermeiden (§12, Satz 7 BBodSchV). Für Einzelheiten zur Durchführung weist die BBodSchV auf die DIN 18919 hin. Die DepV gibt im Anhang 5 Hinweise über die Anforderungen hinsichtlich Dimensionierung, Qualität und Schadstoffgehalte für Rekultivierungsschichten auf oberirdischen Deponien. Darin wurden die Forderungen an die Dimensionierung und Qualität von Rekultivierungsschichten festgelegt. Die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht wird nach DepV Anhang 5 an der Durchwurzelungstiefe der Vegetation, der erforderlichen Höhe des pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrats und besonderen Schutzerfordernissen der Rekultivierungsschicht nach Einzelfallentscheidungen bemessen. Außerdem ist die Rekultivierungsschicht so zu dimensionieren, dass unter Berücksichtigung der vegetationsspezifischen Durchwurzelungstiefe und der Materialeigenschaften eine Durchwurzelung, Frosteinwirkungen und Austrocknungserscheinungen der Entwässerungsschicht vermieden werden. Aus diesen Gründen wurde eine Mindestmächtigkeit von einem Meter vorgeschrieben. Nach DepV Anhang 5/2 sind für Rekultivierungsschichten Bodenmaterialien oder Gemische von Bodenmaterial mit Abfällen, die den Qualitätsanforderungen des § 8 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes sowie der Klärschlammverordnung erfüllen, einsetzbar. Die zulässigen Höchstgrenzen der Schadstoffgehalte verwendeter Materialien regelt die BBodSchV (Anhang 2 Nr. 4) und die DepV (Anhang 5). Für Rekultivierungsschichten auf Deponien wurden in der DepV (Anhang 5) Grenzwerte der Stoffkonzentration für die sich bildenden Eluate festgelegt. Nach DepV sind langfristige Funktionsfähigkeit und ausreichende Durchlüftung weitere Kriterien für Rekultivierungsschichten.
Rekultivierungsmaßnahmen in Bergbaufolgelandschaften und im Deponiebau haben nach dem genannten Rechtsrahmen die Gemeinsamkeiten, dass eine optimale Entwicklung der Folgevegetation ohne eine Umweltgefährdung durch die eingebrachten Nährstoffe realisiert werden muss. Weiterhin sollen Funktionen des Bodens, wie die Regulationswirkung für Filter-, Puffer- und Transformationsprozesse im Boden (BBodSchG 1998) und die Habitat- einschließlich Wasser- und Nährstoffspeicherfunktion hergestellt werden.
Mit der Zielstellung einer Wiederbegrünung genannter Standorte wird das Defizit an geeignetem Bodenmaterial deutlich. Die Vielzahl bislang unbegrünter Standorte weist darauf hin, dass insbesondere Betreiber kleiner Deponien weder in der Vergangenheit Rekultivierungsmaßnahmen durchführen konnten, noch in Zukunft ökonomisch tragen können (LAU 2004b). Organische Reststoffe bzw. Produkte wie kompostierter Klärschlamm bieten die Möglichkeit, Nachteile für die Begrünung an solchen Standorten auszugleichen (SOPPER 1993). Mit der Verarbeitung von Klärschlamm zu neuen Produkten und deren Verwertung im Landschaftsbau als Bodenersatzmaterial wird den Forderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes entsprochen.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit bestand darin, wissenschaftliche Grundlagen zum Einsatz von Klärschlammkompost für den Landschaftsbau zu erarbeiten und entsprechende praxisrelevante Schlussfolgerungen abzuleiten. In der Arbeit wurden Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt mit Fragestellungen zum Stickstoffumsatz kombiniert, so dass Aussagen über Stickstoffverlagerungen

möglich sind. In vorliegenden Untersuchungen wurden erstmals Rekultivierungsschichten aus definiertem Klärschlammkompost (KSK) im mitteldeutschen Trockengebiet untersucht.
Schwerpunkte der Untersuchungen waren Kriterien für die Bemessung von Rekultivierungsschichten zur Reduzierung bzw. Verhinderung von Sickerwasserereignissen. Mit diesem Ziel wurde die Wirksamkeit der Evapotranspiration einer rekultivierungsrelevanten Begrünung und die Erhöhung des gesamten Speichervolumens bei unterschiedlichen Rekultivierungsmaterialien untersucht. Wichtige Grundlage der Wasserhaushaltsuntersuchungen ist die nutzbare Feldkapazität (nFK). Nach den Angaben der KA 5 (2005) kann die nFK für mineralische Böden mit Humusanteilen über 15 % nicht mehr bestimmt werden. Klärschlammkomposte und deren Boden–Gemischvarianten sind aufgrund höherer Humusanteile nach bisheriger Vorgehensweise nicht einzuschätzen. Aus diesem Grund war die Bestimmung der nFK mit einer geeigneten Methode ein Ziel der Arbeit. Die nFK ist ein wichtiges Kriterium für die Verhinderung von Sickerwasserereignissen und der damit verbundenen Stoffauswaschung.
Die Sickerwasserqualität hängt unmittelbar von der stofflichen Beschaffenheit des Rekultivierungsmaterials ab. Nährstoffentzug durch Begrünung, Herstellung von Kompost–Boden–Gemischvarianten und mikrobielle Umsetzungsprozesse verändern die stoffliche Zusammensetzung des Rekultivierungsmaterials und sind Kriterien einer möglichen Erhöhung oder Reduzierung der Stoffauswaschung. Der Arbeit lagen folgende detaillierte Forschungsziele zugrunde:

1) Einfluss von:
- Begrünung mit Welschem Weidelgras,
- unterschiedlicher Mächtigkeiten der Rekultivierungsschichten,
- Kompost–Boden–Gemischvarianten

auf die Sickerwassermenge.

2) Entwicklung geeigneter Methoden zur Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität.

3) Einfluss von:
- Stickstoffentzug durch die Vegetation
- Kompost–Boden–Gemischvarianten
- chemischer Veränderung infolge Mineralisierung bzw- Immobilisierung des Stickstoffs

auf die stofflichen Eigenschaften der Rekultivierungsmaterialien und der Sickerwasserqualität

Die Untersuchungen der Wasser- und Stickstoffhaushaltsparameter wurden im Gefäß- und im Freilandversuch durchgeführt. Die Erfassung der Sickerwassermenge und –qualität erfolgte in beiden Versuchsanlagen mit Hilfe von Sickerwassersammlern. Für die Prüfung der Sickerwassermenge und -qualität unterschiedlich mächtiger Rekultivierungsschichten wurden Sickerwassersammler mit Längen von 50, 100, 150 und 200 cm aufgebaut. Der Gefäßversuch wurde in Halle/ Saale, der Freilandversuch bei Etzdorf im Mansfelder Land und somit im Mitteldeutschen Trockengebiet mit einem langjährigen Niederschlagsmittel von unter 550 mm errichtet. Die N-Dynamik wurde im Freilandversuch in unterschiedlichen Untersuchungstiefen nachgewiesen. Ergänzend wurden die Gehalte an Schwermetallen im Rekultivierungsmaterial und deren Auswaschung ermittelt. Mit den

Ergebnissen von Schwermetallgehalten im Boden, in der Pflanze und im Sickerwasser kann die Relevanz möglicher Schwermetallverlagerungen in Klärschlammkomposten eingeschätzt werden. Die Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen sind nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit und wurden im Anhang dargestellt. Die erzielten Ergebnisse können als Entscheidungshilfe bei geplanten Rekultivierungsmaßnahmen im mitteldeutschen Trockengebiet dienen.

2 Literaturübersicht

Im folgenden werden die für die Bearbeitung der Thematik notwendigen theoretischen Grundlagen und Zusammenhänge des Wasser- und Stickstoffhaushaltes in Rekultivierungsschichten betrachtet und die auf dem Gebiet vorliegenden aktuellen Forschungsarbeiten und bestehenden Defizite genannt. Aufgrund der primären Fragestellung zum N-Austrag bzw. einer möglichen Belastung des Sickerwassers mit Stickstoff aus Rekultivierungsschichten mit Klärschlammkompost (KSK) werden vordergründig diesbezügliche Forschungsarbeiten zitiert und hinsichtlich der Zielstellung der Arbeit bewertet.

ZUCCONI UND DE BERTOLDI (1987) BILITEWSKI, HÄRDTLE UND MAREK (1990) UND THOME-KOZMIENSKY (1998) beschreiben Komposte als Abbauprodukte der Stoffwechselaktivität aerob lebender Mikroorganismen aus organischer Substanz unter kontrollierten Bedingungen. Ferner wird der Rotteprozess als ein kontrollierter biologischer Oxidationsprozess gesehen (DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1990). Die wichtigsten Mikroorganismen während der Kompostierung sind Bakterien, Aktinomyzeten, Hefen, Pilze, Algen und Protozoen (THOME-KOZMIENSKY 1998; STEINBÜCHEL UND OPPERMANN-SANIO 2003). Die bedeutendste Abbauleistung wird von Bakterien realisiert. Die vollständige Umsetzung organischer Substanz zu CO_2 und H_2O beschreibt folgende Gleichung:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O\ (-2826kJ/mol) \qquad \text{Gl.: 1}$$

Die sich stets ändernden Temperaturen und Lebensbedingungen bewirken einen Wechsel von Bakterienpopulationen. CHEFETZ ET AL. (1996) UND THOME-KOZMIENSKY (1998) berichteten von Temperaturentwicklungen bis über 72°C und 65°C während der Verrottung von städtischen Abfällen bzw. Klärschlamm. Die am Rotteprozess beteiligten Mikroorganismen werden hinsichtlich ihrer Temperaturtoleranzen in Kategorien eingeteilt (psychrophile, -4°C bis 30°C; mesophile, 10°C bis 45°C; thermophile, 45°C bis 65°C; BILITEWSKI, HÄRDTLE UND MAREK 1990; STEINBÜCHEL UND OPPERMANN-SANIO 2003). Die Artenzusammensetzung ist temperaturabhängig und wird vom Rotteprozess bestimmt. Einige Bakterienarten bilden Dauersporen, die es ihnen ermöglichen, unter ungünstigen Bedingungen zu überleben (SCHLEGEL 1992). Pilze sind befähigt, schwer zersetzbare Verbindungen, wie das Lignin, zu zersetzen (GLATHE UND FARKASDI 1995). Der Rotteverlauf wird je nach Temperaturentwicklung in 3 Phasen unterteilt. So erreicht die Abbauphase Temperaturen bis etwa 70°C, danach erfolgt die Umbauphase mit Temperaturen zwischen ca. 45°C bis 20°C und abschließend die Aufbauphase mit Temperaturen unter 20°C (BILITEWSKI, HÄRDTLE UND MAREK 1990). Für den mikrobiellen Abbau der organischen Stoffe müssen Nährstoffe in einem ausgewogenen Verhältnis zur Verfügung stehen (DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1990). Die organische Substanz lässt sich durch folgende Funktionen charakterisieren:

-Nährstofflieferant
-Lieferant von Spurenelementen für Mikroorganismen und Pflanzen
-alkalisches Puffermedium zur Neutralisation von CO_2 und organischen Säuren
-Adsorptionsfläche für die bei der Rotte entstehenden Zwischen- und Endprodukte

Mit dem Abbau der organischen Stoffe werden stabile Humusformen geschaffen. GAUL ET AL. (1975) und KRANERT (1989) stellten Abbauraten der organischen Stoffe von 11 – 55 % fest. Der größtmögliche Abbau der organischen Stoffe tritt ein, wenn die Verhältnisse der vorliegenden Nährstoffe, bezogen auf das Kohlenstoffangebot, dem Bedarf der Mikroorganismen entsprechen. Eine zentrale Bedeutung erhält aus diesem Grund das C/N-Verhältnis im Rotteprozess. Das optimale C/N-Verhältnis für den mikrobiellen Abbau liegt bei 35 (DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1990; MEYER 1994). Während ein weites C/N-Verhältnis zur Verlängerung des Rotteprozesses führt, verursachen enge C/N-Verhältnisse zu niedrige Temperaturen im Rotteverlauf, die eine Hygienisierung des Materials verhindern (THOME-KOZMIENSKY 1998; STEINBÜCHEL UND OPPERMANN-SANIO 2003). Ein zu großes Angebot von Stickstoff im Rottegut kann durch die Entstehung von NH_3^+ zu gasförmigen Verlusten führen. Durch Kombination von Materialien mit entsprechendem C/N-Verhältnis lassen sich ideale Nährstoffbedingungen einstellen (SCHEFFER ET AL. 1960; BILITEWSKI, HÄRDTLE UND MAREK 1990; TELLER, PÜSCHEL UND WITTCHEN 1994; WERTHER, OGADA UND PHILLIPEK 1994;). AMLINGER UND GÖTZ (2000) empfehlen für Komposte C/N-Verhältnisse, die etwa der Nährstoffzusammensetzung von Kulturböden entsprechen. Komposte mit zu engem C/N-Verhältnis können zu einer Überversorgung und mit zu weitem C/N-Verhältnis zum Entzug von Stickstoff aus dem Boden führen (BILITEWSKI, HÄRDTLE UND MAREK 1990). MÜLLER (1980), VINTHER ET AL. (1988), BEYER ET AL. (1988), SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) und RIEHL (2001) geben für Dauergrünland C/N-Verhältnisse in Höhe von 8-12, für Waldböden 16-25, für Acker 9-15 und Schwarzerden und Mull-Rendzinen 10-12 an. Aufgrund dieser natürlichen Hintergrundwerte wird für das auszubringende Endprodukt der Kompostierung ein C/N-Verhältnis von etwa 15-20 empfohlen.

Neben dem N-Angebot sind pH-Wert, Temperatur und Wassergehalt die wesentlichsten Faktoren für die Qualität des Rotteprozesses (BILITEWSKI, HÄRDTLE UND MAREK 1990; THOME-KOZMIENSKY 1998). PH-Werte im Bereich zwischen 6-8 haben sich für die Kompostierung als ideal erwiesen (BILITEWSKI, HÄRDTLE UND MAREK 1990; MEYER 1994). BARGSTEN ET AL. (1994), THOME-KOZMIENSKY (1998) und GOMISCEK (1999) geben für fertige Komposte pH-Werte zwischen 6,7 bis 8,0 an.

Der optimale Temperaturbereich für mikrobielle Abbauprozesse liegt zwischen 15 und 50°C. Unter 15°C laufen die Prozesse nur noch sehr langsam ab und bei einer Temperatur von ca. 75-85°C können nur geringe Umsetzungsleistungen festgestellt werden (THOME-KOZMIENSKY 1998). Für mikrobielle Umsatzprozesse ist eine gewisse Grundfeuchte notwendig. Unterhalb einer Feuchte von 20 % (THOME-KOZMIENSKY 1998) bzw. 25-30 % (BILITEWSKI, HÄRDTLE UND MAREK 1990) kommen die biologischen Aktivitäten zum Stillstand. Ein zu großes Wasserangebot kann die Durchlüftung mindern und anaerobe Bedingungen schaffen. Für die Kompostierung empfiehlt THOME-KOZMIENSKY (1998) einen Wassergehalt von 65 Vol.%. Beim aeroben Prozess der Kompostierung muss eine optimale Belüftung gewährleistet bleiben. Strukturverbessernde Mittel, wie Rinden- oder Holzabfälle, wirken sich positiv auf das Porenvolumen des Rottegutes aus. Aufgrund unterschiedlicher Wassergehalte der Mischungskomponenten ist das Verhältnis von Gesamttrockensubstanz zu Schlammtrockensubstanz von Bedeutung. Untersuchungen von BIDLINGMEIER (1980) erwiesen ein optimales Verhältnis von 3,5:1. Das optimale Luftporenvolumen bei der Klärschlammkompostierung liegt bei ca. 30-50 % (MEYER 1994).

Die wichtigsten wertgebenden Eigenschaften von Komposten lassen sich je nach Verwendungszweck auf die organische Substanz und ihre Nährstoffwirkung zurückführen. SCANLON, DUGGAN UND BEAN (1973), GONZÁLEZ-PRIETO (1993), FISCHER (1994), THOME-KOZMIENSKY (1998) UND HAUBOLD-ROSAR, GAST UND KATZUR (2003) geben für ausgerottete Komposte Anteile von organischer Substanz von 37 – 44 M%, 42 – 61 M%, 60 – 70 M% und 80 M% an. Aufgrund des in der Rotte abgegebenen CO_2 steigt mit Abnahme des organischen Kohlenstoffs der Stickstoffanteil an. Resultat der CO_2-Abgabe ist die Verringerung des C/N-Verhältnisses. Der größte Teil des Stickstoffes wird während der Rotte in organische Bindungen überführt, in denen er für die Pflanzen nicht mehr verfügbar ist (SCHLEGEL 1992, VILLAR ET AL. 1993; AMLINGER UND GÖTZ 2000). Die Gesamtstickstoffvorräte der in der Literatur angegebenen Komposte variieren zwischen 1,17 – 1,85 M% (THOME-KOZMIENSKY 1998; EMMERLING ET AL. 2000). Untersuchungen von FRICKE ET AL. (1991), GONZÁLEZ (1993), GUTSER (1996), THOME-KOZMIENSKY (1998) geben pflanzenverfügbare NO_3-N- und NH_4-N-Mengen zwischen 5 und 17 M% des N_t an.

Neben der Nährstoffwirkung in Klärschlammkomposten konnten DEBRUCK (1974) sowie HAMBLIN UND DAVIES (1977) in zahlreichen Untersuchungen nach Ausbringung von organischen Materialien einen positiven Einfluss auf bodenphysikalische Parameter in Böden ermitteln. Organische Materialien weisen je nach Zersetzungsgrad Wasserspeicherkapazitäten von 59 bis 83 Vol.% auf (KA 5 2005). AMLINGER (1993) sowie RICHTER, LAVES UND SUNTHEIM (2002) stellten bei Kompoststeigerungsversuchen neben der Erhöhung des Gesamtporenvolumens eine Zunahme der maximalen Wasserkapazität fest. Aufgrund der organischen Anteile sind reine Komposte fähig, hohe Wassermengen zu speichern. BARGSTEN ET AL. (1994), GOMISCEK (1999) UND BENDLER (2005) geben Wasserspeichervermögen von Rekultivierungsmaterialien mit Anteilen von 50 Vol.% Klärschlammkompost in Höhe von 36 bis 68 Vol.% an. Die Spannweite der Werte resultierte aus der Zusammensetzung der einzelnen Rekultivierungsmaterialien.

Neben den wertgebenden Eigenschaften können Klärschlammkomposte Stoffe enthalten, die für die Verwendung im Landbau oder bei Rekultivierungsmaßnahmen einschränkend sind. Mit Inkrafttreten der Klärschlammverordnung (ABFKLÄRV 1992) wurden die Schwermetallgehalte und Gehalte an organischen Schadstoffen begrenzt. In zahlreichen Untersuchungen wurden Gehalte an Schwermetallen und organischen Schadstoffen in Klärschlämmen ausgewiesen (KUNKLE ET AL. 1980, BAKER 1985, KLOKE 1991, EIKMANN UND KLOKE 1993, THOME-KOZMIENSKY 1998). Neben der Einfuhr von Schwermetallen durch den Klärschlamm besteht die Möglichkeit, dass bei Verwertung von behandeltem Holz (chemische Konservierungsstoffe aus Holzbehandlungsmitteln) Schwermetalle in den Prozess der Verrottung eingebracht werden (KGS 2003). Die Qualität von Klärschlämmen aus kommunalen Kläranlagen wird durch das Abwasserabgabengesetz, die Abwasserverordnungen und insbesondere durch die Indirekteinleiterverordnung positiv beeinflusst.

Aufgrund bodenähnlicher bzw. bodenverbessernder Eigenschaften von Klärschlammkomposten fanden sie bundesweit bevorzugt als Sekundärrohstoffdünger oder als Bodenersatzmaterial in Maßnahmen der Wiedernutzbarmachung, Rekultivierung bzw. Begrünung von devastierten Flächen Anwendung. Bei diesen Maßnahmen handelte es sich unter anderem um Wiederbegrünungsversuche von Bergehalden, Bergbaufolgelandschaften und Oberflächen von Deponieanlagen (PIETZ ET AL. 1989, BARGSTEN, HARSFELD UND STYPEREK 1995, GALLENKEMPER UND FLAMME 1996a, KLEBER ET AL.

1999, GOMISCEK 1999, HAUBOLD-ROSAR, GAST UND KATZUR 2001). Ein Ziel der Begrünungsversuche zur Wiedereingliederung solcher Standorte in die Landschaft war die Sickerwasserreduzierung. Zur Realisierung wurden in wenigen Fällen Rekultivierungsschichten aus Gemischen mit Klärschlammkompost und in der Region vorliegender Abraummaterialien, Kraftwerksaschen, Bauschutt und sonstigen möglicherweise geeigneten Abfällen hergestellt und in Mächtigkeiten bis über 200 cm aufgebaut (KLEBER 1999, KGS 2003). Die vielfältigen Erkenntnisse und Erfahrungen in der Verwendung von organischen Produkten bzw. von KSK lassen sich aufgrund der Materialdiversität und der klimatischen Standortunterschiede nur eingeschränkt auf die heutigen Bedingungen in den Regionen Sachsen-Anhalts übertragen.

Mineralstickstoff (N_{min}) stellt den pflanzenverfügbaren Anteil des Stickstoffvorrates im Boden dar, der gleichzeitig durch entstehendes Sickerwasser auswaschungsgefährdet ist. Wasserhaushalt und Stickstoffauswaschung stehen aus diesem Grund in engem Zusammenhang.

Unter Mineralisierung bzw. Ammonifizierung ist die mikrobielle Umwandlung von organisch gebundenem Stickstoff zu Ammonium zu verstehen. Der Mineralisierungsprozess in Rekultivierungsmaterialien kann durch folgende Gleichung zusammengefasst werden (SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997):

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_3 + R\text{-}OH$$
$$NH_3 + H^+ \longleftrightarrow NH_4^+ \qquad \text{Gl.: 2}$$

R organisches Radikal

An der Mineralisierung sind zahlreiche aerobe und anaerobe Zersetzer beteiligt. Zeitgleich zur Mineralisierung findet die N-Immobilisierung statt, da Bodenorganismen anorganische N-Verbindungen assimilieren und in körpereigene Eiweiße für den Aufbau ihrer Zellen umwandeln. Aus diesem Grund lässt sich nicht die gesamte Stickstoffmineralisierung, sondern nur die Netto-Mineralisierung durch N_{min}-Probenahme mit Ausschluss von Auswaschungen und pflanzlichem Entzug (RUNGE 1970) ermitteln (SCHLICHTING, BLUME UND STAHR 1995).

Netto-N-Mineralisierung = Brutto-N-Mineralisierung – N-Verbrauch der Mikroorganismen

Unter durchlüfteten Bedingungen in Rekultivierungsschichten treten unmittelbar nach der Entstehung von Ammonium (NH_4^+) Nitrifikationen auf. Die mikrobielle Umwandlung von NH_4^+ zu Nitrit (NO_2^-) und Nitrat (NO_3^-) erfolgt in zwei Schritten und wird durch folgende Gleichungen dargestellt:

$$NH_4^+ + 3/2O_2 \longrightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+ + 325kJ \qquad \text{Gl.: 3}$$
$$NO_2^- + 1/2O_2 \longrightarrow NO_3^- + 74{,}5kJ \qquad \text{Gl.: 4}$$

Diese exothermen Reaktionen sind an die Anwesenheit von Luftsauerstoff gebunden und werden den aerob lebenden autotrophen Bakterien *Nitrosomonas* (Gleichung 3) und *Nitrobacter* (Gleichung 4) zugeschrieben. Der aus Nitrifikationsprozessen hervorgehende NO_3–N gilt als sehr mobil und auswaschungsgefährdet und ist somit über den Sickerwasserpfad grundwasserrelevant.

In der Literatur werden zahlreiche Untersuchungen zur Mineralisierung des organischen N-Pools von Rekultivierungsmaterialien beschrieben. Bioabfall- bzw. Klärschlammkomposte wurden dabei häufig als Bodenverbesserungsmittel in geringen Mengen bzw. als geringmächtige Oberbodenauflage bei Rekultivierungsmaßnahmen verwendet. Unter der Annahme einer Stickstoffmineralisierung von ca. 10 % nach Kompostanwendung (KEHRES 1992) stellten SIEBERT, LEITFELD UND KÖGEL-KNABNER (1998) in einem Gefäßversuch N-Mineralisierungsraten in Kompost-Bodengemischen von ca. 5-7 % fest. BELOSO ET AL. (1993) wies in Inkubationsversuchen nach Düngemaßnahmen auf einem Cambisol über Granit zunächst negative N-Nettomineralisierungsraten nach. Erst nach zwei Wochen war ein Ansteigen des N_{min}-Gehaltes im Boden erkennbar. Ab der zweiten bis zur sechsten Versuchswoche ergaben sich Nettomineralisierungsraten in Höhe von 1,4 und 2,7 %, die für gleiche Böden und die gleiche Temperaturklimazone von VLASSAK (1970) und GONZALEZ-PRIETO ET AL. (1991) bestätigt werden. Nach Zugabe von Kompostmengen mit einem N-Äquivalent von 300 kgN/ha konnte INSAM (1998) nur unbeträchtliche N-Freisetzungen nachweisen. Praxisnahe Untersuchungen führten NIKLAUS, KLEBER UND STAHR (1999) bei der Rekultivierung einer Hochhalde durch. Nach Verwendung von Rekultivierungsmaterial mit den Komponenten Holzkompost, Klärschlamm und Bergematerial in einem Verhältnis von 1:1:8 wurden nach dem ersten Jahr N_{min}-Gehalte in Höhe von 4 % festgestellt, die im weiteren Versuchszeitraum rückläufig waren. Anhand der Untersuchungsbeispiele wird deutlich, dass Kompostmaterialien meist als Bodenverbesserungsmittel und in relativ geringen Mengen Verwendung fanden. Außerdem sind die untersuchten Kompostmaterialien durch ihre unterschiedliche Zusammensetzung und durch die Anteile der Einzelkomponenten nicht miteinander vergleichbar. Aus diesem Grund lassen sich die Ergebnisse der Untersuchungen nur bedingt auf andere Kompost- bzw. Rekultivierungsmaterialien und ihren Einsatzort übertragen.

Mit der Netto-N-Mineralisierung steht die mineralische N-Konzentration (min-N) im Bodenwasser und -Auswaschung in engem Zusammenhang. Die Höhe der min-N - Konzentration im Bodenwasser wird meist durch NO_3-N dominiert und ist abhängig von der jahreszeitlich unterschiedlich verlaufenden Mineralisierung, Immobilisierung und Denitrifikation (SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997). In der Literatur werden für die Auswaschungen von min-N aus Rekultivierungsschichten mit Klärschlammkomposten häufig nur Nitratfrachten oder – konzentrationen angegeben. INSAM (1996), GALLENKEMPER UND FLAMME (1996b) UND GOMISCEK (1999) prüften im Gefäßversuch den Einfluss von Klärschlammkomposten als Rekultivierungsmaterial. Dabei wurden Klärschlammkomposte in unterschiedlichen Mengen oder Mächtigkeiten bis max. 80 cm eingesetzt. Angaben über Nitratauswaschungen aus mit Klärschlammkomposten verbesserten Böden machen GUTSER (1996), LI ET AL. (1997) und EMMERLING ET AL. (2000). Hierbei wurde der KSK als Bodenverbesserungsmittel in düngungsrelevanten Mengen und in Steigerungsversuchen eingesetzt. Angaben über Nitratkonzentrationen im Sickerwasser aus Rekultivierungsschichten (RS) bis zu einer Mächtigkeit von 200 cm sind häufig nur in firmeninternen unveröffentlichten Untersuchungen zu finden (BARGSTEN, STYPEREK UND LEGAT 1994; NIKLAUS, KLEBER UND STAHR 1997; KRD GMBH 2002). Die untersuchten Rekultivierungsschichten wiesen 30, 150 und 200 cm Mächtigkeit auf, enthielten hohe Kompost- und Klärschlammanteile bzw. bestanden aus 100 % Klärschlammkompost. Angaben über die Vegetation und die Verringerung von Nitrat im Sickerwasser wurden durch die Autoren nicht gemacht. Es besteht

auch das Problem der Übertragbarkeit von Ergebnissen aufgrund der unterschiedlichen Herstellung der Rekultivierungsmaterialien.

NH_4-N-Auswaschungen aus Rekultivierungsschichten in das Grundwasser sind aufgrund der geringen Mobilität von untergeordneter Bedeutung. Ergebnisse von BARGSTEN, STYPEREK UND LEGAT (1994), INSAM (1996), GALLENKEMPER UND FLAMME (1996b), NIKLAUS, KLEBER UND STAHR (1997) und KRD GMBH (2002) zeigten dies anhand geringer Konzentrationen im Sickerwasser.

Eine Gefährdung des Grundwassers durch Stoffauswaschung aus Rekultivierungsschichten besteht nur bei Sickerwasserbildung (SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997). Grundwasserneubildung bzw. Sickerwasserverlagerungen sind Bestandteil der Wasserhaushaltsbilanz (DYCK UND PESCHKE 1989). Die Wirkungsweise von Rekultivierungs- bzw. Oberflächenabdeckschichten steht mit den lokalen Klimabedingungen in unmittelbarem Zusammenhang. Nach GÄTH (2003) lässt sich die mittlere Jahres-Wasserbilanz für Rekultivierungs- bzw. Deponieabdeckschichten in folgender Gleichung formulieren:

$$P = ET + R_S + R_I + R_O + I \pm ÄS \quad [mm] \qquad \text{Gl. : 5}$$

$$ET = E + T \qquad \text{Gl. : 6}$$

P	Niederschlag	E	Evaporation
ET	Evapotranspiration	T	Transpiration
R_S	Abfluß (Sickerwasser)	I	Interzeption
R_I	Abfluß (Interflow)	ÄS	Veränderung der Bodenfeuchte
R_O	Abfluß (Oberfläche)		

Evapotranspiration enthält als Summenparameter Evaporation und Transpiration. Für Rekultivierungsschichten ohne oder mit geringer Sickerwasserbildung müssen sich Niederschlag und Evapotranspiration bei ausreichender Wasserspeicherfähigkeit ausgleichen. Bei gleichzeitig ausreichender nutzbarer Feldkapazität der Rekultivierungsschichten ist nach o. g. Gleichung mit keinem Sickerwasser zu rechnen. In der Region von Sachsen-Anhalt ist im langjährigen Mittel mit Niederschlägen von unter 600 mm/a auszugehen (DWD 2003). Mit standorttypischer Vegetation besteht nach den Angaben des BMU (2001) in Sachsen-Anhalt eine negative Wasserbilanz. Die Evapotranspirationsleistung ist nach DYCK UND PESCHKE (1989) von Temperatur und Dampfdruckgradient zwischen Verdunstungsoberfläche und der Außenluft abhängig. Mit den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen weisen die Sommermonate in Sachsen-Anhalt eine Evapotranspiration von bis zu 57 mm/Monat und die Wintermonate von ca. 9 mm/Monat auf (DOMMERMUTH UND TRAMPF 1995). Die insbesondere im Winter fallenden Niederschläge müssen zur Reduzierung des Sickerwassers durch ausreichende Wasserspeicherkapazitäten der Rekultivierungsschicht vor der Versickerung abgefangen werden. Das Speicherpotential von Rekultivierungsschichten kann nach GÄTH (2003) anhand folgender Gleichung optimiert werden:

$$h = nFK_{eff} / nFK \qquad \text{Gl.: 7}$$

h	Höhe der Rekultivierungs-/ Abdeckschicht
nFK_{eff}	nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum
nFK	nutzbare Feldkapazität des Materials

Mit dem Ziel, Sickerwassermengen aus Rekultivierungsschichten zu ermitteln, wurden neben firmeninternen Datenerfassungen zur Überwachung von Deponien u. a. von GOMISCEK (1999), HAUBOLD-ROSAR, GAST UND KATZUR (2001), KRD GMBH (2002), SCHNEIDER UND KLEIN (2005), BENDLER, (2005), PACALLAJ (2005), ARLT UND WOLSFELD (2005) Lysimeter-, Freiland-, und Gefäßversuche bei Verwendung unterschiedlicher Rekultivierungsmaterialien an verschiedenen Standorten durchgeführt.

Aus der Literaturrecherche wird deutlich, dass zahlreiche Untersuchungen zur stofflichen Verwertung von Komposten vorliegen. In diesem Zusammenhang existieren Versuche zur Wiederbegrünung und Bodenverbesserung landwirtschaftlicher Böden bzw. von Kippböden. Darüber hinaus werden Angaben zum Wasserhaushalt in Abdeck- und Rekultivierungsschichten unterschiedlicher Zusammensetzung getroffen. Auf die Stickstoffauswaschung wurde in den genannten Untersuchungen teilweise eingegangen. Ganzheitliche Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Rekultivierungsschichten mit einer Zusammensetzung bis 50 Vol.% Klärschlammkompost sind aus der Literatur nicht ersichtlich. Bislang eingesetzte Klärschlammkomposte enthielten unterschiedliche und meist unbekannte Komponenten. Diese Inhomogenität der Klärschlammkomposte schlug sich in den genannten Materialeigenschaften nieder. Hinweise auf homogen aufgeschichtete Rekultivierungsmaterialien in Kombination mit geeigneter Begrünung als alleiniges Abdichtelement für Deponien und Bergbaufolgelandschaften werden nicht gegeben. Bisher vorliegende Ergebnisse wurden an verschiedenen Standorten, mit differenzierten Materialkombinationen und Mächtigkeiten erhoben, so dass die Ergebnisse standortgebunden, materialbezogen und somit nicht auf die Bedingungen Sachsen-Anhalts übertragbar sind.

3 Material und Methoden

3.1 Gefäßversuch

3.1.1 Versuchsaufbau

Die Gefäßversuche wurden im Stadtgebiet Halle (Saale) auf dem Gelände der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg angelegt (Anlage 1). Der Untersuchungszeitraum umfasste die Zeitspanne vom 04.06.2003 bis 26.04.2005. Die Gefäßstation bot die Möglichkeit, Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen durchzuführen, die im Freiland nur mit sehr hohem Aufwand möglich sind. Um unterschiedliche Mächtigkeiten von Rekultivierungsschichten im Gefäßversuch zu prüfen, wurden Sickerwassersammler aus PVC-Rohrmaterial mit einem Innendurchmesser von 19 cm in Längen von 50 cm, 100 cm, 150 cm und 200 cm zur Erfassung der Sickerwassermenge und –qualität eingesetzt.
Der Versuch wurde in Gefäßversuch 1 und 2 gegliedert. Beide Versuche unterlagen den natürlichen Niederschlagsbedingungen. Um Wassermangel an der Vegetation zu vermeiden, wurden die Gefäße bei Bedarf bewässert. Die Befüllung der Gefäße erfolgte mit geringer Verdichtung. Geringe Lagerungsdichten gewährleisten nach KA 5 (2005) hohe nutzbare Feldkapazitäten (nFK) der Materialien. Setzungserscheinungen am Material wurden nach dem Untersuchungszeitraum ermittelt. Um Zusammenhänge zwischen bodenphysikalischen Eigenschaften der Materialien (4.1.2) und den Ergebnissen der Untersuchungen des Wasserhaushaltes (4.2) feststellen zu können, wurden in allen Gefäßen einer Materialvariante bei unterschiedlichen Mächtigkeiten gleiche Lagerungsdichten (LD) eingestellt. Eine anschließende Trockenmassebestimmung gab Hinweise auf die LD der Materialien.

Gefäßversuch 1

Im Gefäßversuch 1 wurden 7 Klärschlammkompost (KSK)-Varianten unterschiedlicher Zusammensetzung untersucht. Der Gefäßversuch 1 ermöglichte eine erste Einschätzung von marktüblichen KSK-Produkten verschiedener Hersteller aus dem Bundesgebiet. Die Unterschiede bezüglich der Zusammensetzung resultierten aus den im Kompostierungsvorgang eingesetzten Einzelkomponenten und ihrer Mengenanteile. Der Einsatz der Einzelkomponenten ist entweder vom regionalen Anfall und deren Entsorgungsnotwendigkeit oder firmeninternen Kompostierungsstrategien abhängig. In Tabelle 1 sind die mengenmäßigen Einzelbestandteile der eingesetzten KSK aufgelistet. Um die Auswirkungen einer Begrünung auf Sickerwasserereignisse nachzuweisen, wurden im Gefäßversuch 1 die 50 cm hohen Sickerwassersammler sowohl ohne Vegetation als auch mit Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum Lam.*) angelegt.

Tab. 1: Varianten des Gefäßversuch 1

Klärschlammkompost	Anteile [Vol.%]	Bestandteile
A	66	Klärschlammkompost
	17	Sand
	17	Biokompost
B, C	50	kommunaler Klärschlamm
	50	Strukturmaterialgemisch*
D	60	Asche
	35-35	Klärschlamm
	5-10	Klärschlammkompost
E	35	kommunaler Klärschlamm
	35	Holz
	20	Grünschnitt
	5	Biomasse
	5	Fleischknochenmehl
F	50	kommunaler Klärschlamm
	50	Altholz
G	50	angelieferter Klärschlammkompost
	50	Bodenaushub

*Strukturmaterialgemisch (Holz, Grünschnitt, Rinde, Siebrückstände der Kompostierung)

Gefäßversuch 2

Aufgrund der herstellerabhängigen Unterschiede hinsichtlich Zusammensetzung und Mengenanteile wurde im Rahmen des Gefäßversuches 2 ein Modellkompost (MK) definiert. Der MK besteht aus 50 Vol.% kommunalem Klärschlamm und 50 Vol.% Strukturmaterialgemisch. Der MK wurde in zwei unterschiedlichen Rottegraden und in Mischungsvarianten mit zwei Bodenmaterialien (schwach toniger Schluff = Ut2; schwach toniger Sand = St2) aus Bergbaufolgelandschaften des mitteldeutschen Raumes verwendet. Für die Untersuchungen wurde MK1 als ausgerottetes Material (Rottegrad V) und MK2 als dem Rotteprozess vorzeitig entnommenes Material (Rottegrad III) eingesetzt. Die Untersuchungsvarianten sind zusammenfassend in Tabelle 2 dargestellt. Für die Quantifizierung des Einflusses von Welschem Weidelgras auf den Wasser- und Stickstoffhaushalt wurden bei Versuchsbeginn parallel zu den unbegrünten 100 cm mächtigen Sickerwassersammler begrünte Varianten angelegt. Der Einfluss unterschiedlicher Mächtigkeit wurde ab März 2003 an unbegrünten Varianten untersucht. Ab dem 30.03.04 wurden alle bislang unbegrünten Gefäße mit Welschem Weidelgras begrünt, um den Einfluss der Vegetation zu prüfen. Jede der Varianten bestand aus vier Wiederholungen.

Tab. 2: Varianten des Gefäßversuch 2

Rekultivierungsmaterial	Varianten	Anteile [Vol.%]	Bestandteile	Absiebung [mm]
KSK	MK1	1:1	kommunaler Klärschlamm Strukturmaterialgemisch*	25
	MK2	1:1	kommunaler Klärschlamm Strukturmaterialgemisch*	40
KSK+Bodenmaterial	MK1+Ut2	1:1	MK1 + schluffiges Bodenmaterial	25
	MK1+St2	1:1	MK1 + sandiges Bodenmaterial	25
	MK2+Ut2	1:1	MK2 + schluffiges Bodenmaterial	40
	MK2+St2	1:1	MK2 + sandiges Bodenmaterial	40
Bodenmaterial	Ut2		schluffiges Bodenmaterial	-
	St2		sandiges Bodenmaterial	-

*Strukturmaterialgemisch (Holz, Grünschnitt, Rinde, Siebrückstände der Kompostierung)

3.1.2 Untersuchungen

3.1.2.1 Bodenphysikalische Parameter

Textur

Die Textur der eingesetzten Bodenmaterialien wurde nach DIN 19683 zur Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat ermittelt.

Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität und permanenter Welkepunkt (Drucktopfmethode)

Die bodenphysikalischen Größen Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität und permanenter Welkepunkt PWP) wurden bei allen eingesetzten Materialien durch Untersuchung der Beziehungen zwischen Wasserspannung und Wassergehalt in Stechzylindern mit einem Volumen von 250cm^3 nach DIN ISO 11274 in zwei unterschiedlichen Lagerungsdichten ermittelt.

Bestimmung der nFK mit Hilfe von Pflanzen (Vegetationstest)

Aufgrund hoher organischer Anteile in Kompostprodukten weisen FREDE, GÄTH UND MEYER (1983) auf erhebliche Abweichungen der ermittelten Welkepunkte zwischen Drucktopfmethode und Zentrifugenmethode hin. Mit der Absiebung des Materials von 25 mm sind im Material wasserspeichernde Holzpartikel mit eigener Schwammstruktur anzunehmen. Bei diesen schwammartigen Strukturen ist während der Messung mit der Drucktopfmethode kein leitender kapillarer Druck anzulegen, so dass der PWP durch die Messung überschätzt wird.

Mit dem Hinweis und der Vorschrift der DIN ISO 11274 für mineralische Böden wurde erstmals an definierten Rekultivierungsmaterialien die nFK nach Definition (KA 5 2005) mit einem Vegetationstest (VT) ermittelt (Anlage 2). Für diesen VT wurden je 5 Mitscherlichgefäße mit einem Fassungsvermögen

von 5498 cm^3 mit MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 gefüllt. Die Füllmengen und Lagerungsdichten gehen aus Tabelle 3 hervor.

Tab: 3: Füllmengen und Lagerungsdichten der Rekultivierungsmaterialien für die Bestimmung der nFK (Vegetationstest)

Rekultivierungsmaterial	**Füllmenge** TM [g]	**Lagerungsdichte (LD)** [g/cm^3]
MK1	2378	0,43
MK1+Ut2	5804	1,06
MK1+St2	5498	1,00

Zur Aufsättigung des Rekultivierungsmaterials wurden in Anlehnung an die DIN ISO 11274 die befüllten Mitscherlichgefäße über 3 Tage in einem Wasserbad gesättigt. Nach erfolgter Sättigungsphase wurden die Gefäße so gelagert, dass durch die Schwerkraft entstehendes Sickerwasser ablaufen konnte. Die FK wurde durch mehrmalige tägliche Wägung bis zur Gewichtskonstanz bestimmt. Nach Ermittlung der FK wurden auf jedem Gefäß 3 Sonnenblumen (*Helianthus annuus L.*) der Sorte „Gefüllte Zwerge" kultiviert. Sonnenblumen verfügen über ein weit verzweigtes feingliedriges Wurzelsystem und erreichen in diesem Raum jeden verfügbaren Bereich. Mit dem Wurzelsystem sollte das gesamte für die Pflanze verfügbare Wasser aus den Rekultivierungsmaterialien entzogen werden, so dass der PWP ermittelt werden konnte. Die Sonnenblumen wurden bis zur vollständigen Ausbildung der Blüte bewässert. Ab diesem Zeitpunkt wurde die Bewässerung eingestellt und bei einsetzenden Welkerscheinungen an der oberirdischen Biomasse wurden die Gefäße gravimetrisch kontrolliert. Der im Rekultivierungsmaterial verbleibende Wasseranteil kann als PWP bezeichnet werden (KA 5 2005). Aufgrund der Akkumulation von Biomasse wurde abschließend die TM ober- und unterirdischer Biomasse ermittelt und bei der Berechnung der Ergebnisse berücksichtigt. Die Ermittlung der nFK erfolgte mit Hilfe folgender Formel:

$$nFK = FK - PWP \qquad \text{(Gl. 8)}$$

nFK nutzbare Feldkapazität
PWP permanenter Welkepunkt
FK Feldkapazität

Ergänzende Betrachtungen wurden bei den mit Welschem Weidelgras begrünten Gefäßen des Gefäßversuches 1 und 2 durchgeführt (Anlage 3). Mit dem Vegetationstest wurde erstmals die nFK definierter Rekultivierungsmaterialien durch den Entzug von Wasser bei Welschem Weidelgras geprüft. Für diesen Zweck wurde analog dem VT mit Sonnenblumen der Zeitpunkt einsetzender Welke bei den mit Welschem Weidelgras begrünten Gefäßen gravimetrisch kontrolliert. Aufgrund bekannter Füllmengen in den Gefäßen konnte der PWP entsprechend dem VT ermittelt werden.

3.1.2.2 Wasserhaushaltsparameter

Niederschlag

Die Niederschlagsmenge wurde täglich mit Hilfe von Niederschlagssammlern nach Prof. Hellmann erfasst. Die Aufstellung der Sammler erfolgte in 1m Höhe nach den Richtlinien des DWD (RICHTER 1995). Windverhältnisse, im Umfeld stehende Bauten und der Längenunterschied der Sickerwassersammler wurden berücksichtigt. Um Meßfehler auszuschließen, wurden zur Kontrolle der Niederschlagsverhältnisse in der Anlage an verschiedenen Punkten und Höhen sechs Niederschlagssammler angebracht. Die Korrektur des systematischen Fehlers (Wind- und Verdunstungsfehler) wurde nach den in RICHTER (1995) angegebenen Korrekturfaktoren vorgenommen. Für die Erfassung des festen Niederschlages im Winter wurden Sammelgefäße mit einer Auffangfläche von 0,25 m^2 aufgestellt. Die Bestimmung der Niederschlagsmenge (Wasseräquivalent) erfolgte durch Auftauen und manuelles Auslitern im Labor.

Bodenwassergehalt

Die Gefäße unterliegen den natürlichen Witterungsbedingungen. Die Bestimmung der Feuchte des gesamten Bodenkörpers erfolgte im Gefäßversuch basierend auf der Gewichtsänderung am Beispiel der unbegrünten und begrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 bei einer Mächtigkeit von 100 cm. Zusätzlich erfolgte die gleiche Messung an den Varianten Ut2 und St2. Die Gefäße wurden in wöchentlichen Abständen mit einer Tafelwaage des Typ „NAGEMA K2" gravimetrisch kontrolliert. Die Ergebnisse der Wägung wurden dann in mm Wassergehalt/1000 mm Bodensäule nach folgender Formel umgerechnet:

$$WG = \left(\frac{m_g - m_T - m_{TM}}{A_0}\right) / 1000 \qquad \text{(Gl. 9)}$$

WG	Wassergehalt [mm]
m_g	Gesamtgewicht des Gefäßes [g]
m_t	Leergewicht des Gefäßes [g]
m_{TM}	Gewicht der Trockenmasse [g]
A_0	Oberfläche des Gefäßes [m^2]

Evapotranspiration, Evaporation und Transpiration

Die Bestimmung der Evapotranspiration (ET) und der Evaporation (E) erfolgte an den Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2, Ut2 und St2 bei einer Mächtigkeit von 100 cm. Als Grundlage der Bestimmung dienten die Ergebnisse der Bodenfeuchte- und der Sickerwassermessung. Anhand dieser Daten lässt sich die ET der begrünten und die E der unbegrünten Gefäße nach folgender Gleichung berechnen:

$$ET = P - R \pm \Delta m_g \qquad \text{(Gl. 10)}$$

$$E = P - R \pm \Delta m_g \qquad \text{(Gl. 11)}$$

ET	Evapotranspiration [mm]
E	Evaporation [mm]
Δm_g	Veränderung des Gesamtgewichtes [mm]
R	Sickerwasser [mm]
P	Niederschlag [mm]

Versickerung

Die in den Sickerwassersammlern kontinuierlich erfaßte Sickerwassermenge wurde nach folgender Gleichung in mm umgerechnet:

$$R[1] = \frac{R[2]}{A_0 * 1000} \qquad \text{(Gl. 12)}$$

R Sickerwassermenge [1=mm; 2=ml]

A_0 Oberfläche des Gefäßes [0,0266m^2]

3.1.2.3 Chemische Parameter

Sickerwasser

Sickerwasserproben wurden in wöchentlichen Abständen laboranalytisch mit vierfacher Wiederholung untersucht. Die im Sickerwasser nachgewiesenen Parameter und angewandten Methoden sind in Tabelle 4 angegeben.

Tab. 4: Durchgeführte Analysenmethoden zur Sickerwasseruntersuchung

Parameter	**Bestimmungsmethode**
N_t	oxidativ (High TOC)
NO_3-N, NO_2-N	photometrisch mit 2,6-Dimethylphenol (DIN 38 405-D9-2)
NH_4-N	photometrisch mit Natriumdichlorisocyanurat und Natriumsalicylat (DIN 38 405-E5-1)
pH	potentiometrisch (DIN 38 404 Teil 5)
LF (20°C)	konduktometrisch (DIN 27 888)
Schwermetalle	Pb, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn, Hg (DIN EN ISO 11885)

Aufgrund sehr hoher Stickstoffkonzentrationen im Sickerwasser wurde der Kalibrierbereich der Meßgeräte zum Teil deutlich überschritten, so dass eine entsprechende Verdünnung der Proben erforderlich war. Die Angaben über NO_3-N-Konzentrationen schließen methodisch bedingt NO_2-N-Konzentrationen mit ein. In der Ergebnisdarstellung wird die Summe beider Parameter als NO_3-N angegeben.

Die Austräge von Stoffen aus dem untersuchten System wurden durch Berechnung der Stofffrachten quantifiziert. Für die Bestimmung einer Fracht wurden die Ergebnisse der Stoffkonzentration und der Sickerwassermenge herangezogen. Die Berechnung der Stofffracht in kg/ha wurde nach folgender Gleichung durchgeführt:

$$F = \frac{R * K}{A_0} * 10 \qquad \text{(Gl. 13)}$$

F Stofffracht [kg/ha]

R Sickerwasser [l]

K Konzentration [g/l]

A_0 Oberfläche des Gefäßes (0,0266m^2)

Rekultivierungsmaterial

Vor Versuchsbeginn wurden alle eingesetzten Materialien für den Gefäßversuch auf chemische Kenngrößen gemäß Tabelle 5 in Anlehnung an das Methodenhandbuch zur Kompostanalyse der Bundesgütegemeinschaft Kompost untersucht (MEYER-SPASCHE ET AL. 1998). Die Gehalte an NO_3-N und NO_2-N werden in der Ergebnisdarstellung als NO_3-N angegeben.

Tab. 5: Durchgeführte Analysenmethoden zur Untersuchung der KSK-Varianten

Parameter	Bestimmungsmethode
C_t	Katalytische Verbrennung zu CO_2, Detektion mit WLD (Wärmeleitfähigkeitsdetektor) (DIN ISO 10694)
N_t	Katalytische Verbrennung zu N_2, Detektion mit WLD (Wärmeleitfähigkeitsdetektor) (DIN ISO 10694)
NO_3-N, NO_2-N	Extraktion mit $CaCl_2$; photometrische Bestimmung (VDLUFA 1991)
NH_4-N	Extraktion mit $CaCl_2$; photometrische Bestimmung (VDLUFA 1991)
Schwermetalle	Zn, Pb, Cd, Ni, Cr, Cu (ICP; Königswasseraufschluß) (DIN ISO 111446, ICP-OES)
pH	Potentiometrisch in $CaCl_2$ (DIN ISO 10390-7)
LF (20°C)	Konduktometrisch in Aqua dest. (DIN 19684)

Pflanze

Im Gefäßversuch wurden die Frischmasse (FM) und Trockenmasse (TM) von Welschem Weidelgras ermittelt. Die Pflanzenproben wurden unmittelbar nach der Ernte für den Transport luftdicht in Plastiktüten verpackt und anschließend im Labor untersucht. Zur Abschätzung des Stickstoffentzuges und der Aufnahme von Schwermetallen (SM) durch die Pflanzen wurden die N_t- und SM-Gehalte der getrockneten Proben nach Tabelle 5 erfasst.

3.2 Freilandversuch

3.2.1 Versuchsaufbau

Für den Aufbau des Freilandversuches wurde eine noch zu rekultivierende Bergbaufolgelandschaft im mitteldeutschen Trockengebiet ausgewählt. Der Untersuchungszeitraum begann am 19.07.2003 und endete am 28.04.2005. Die Versuchsfläche befindet sich im Landkreis des Mansfelder Landes unmittelbar südwestlich am Bewilligungsfeld Amsdorf der ROMONTA GmbH und ca. 4000 m westlich von der Ortschaft Schraplau entfernt. Die von der ROMONTA GmbH zur Verfügung gestellte Fläche hatte eine Größe von ca. 3700 m^2 und wurde innerhalb folgender Koordinaten eingemessen: HW: 5700900 – 5701000; RW: 4481100 – 4481200.

Der Aufbau des Freilandversuches ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt und in Anlage 4 abgebildet. Der gesamte Versuch besteht aus einer begrünten und einer unbegrünten Teilfläche mit jeweils 12 Parzellen. Die Varianten wurden in den vier Mächtigkeiten 50 cm, 100 cm, 150 cm und 200 cm angelegt. Für die Erfassung des Sickerwassers wurden in jede der 24 Parzellen 2 Sickerwassersammler mit einem Durchmesser von 40 cm eingebaut. Am Boden der Sickerwassersammler wurden kapillarbrechende Schichten aus Grobkies und Quarzsand eingebaut, um den Stau von Sickerwasser zu vermeiden und einen gleichmäßigen Abfluss zu gewährleisten. Der Sickerwasserabfluss selbst unterlag dem freien Gefälle, so dass ein Rückstau des Sickerwassers unterblieb. Jede Einzelparzelle hatte eine Größe von ca. 30 m^2. In den 200 cm mächtigen Parzellen

wurden zusätzlich in verschiedenen Tiefen (20 cm, 50 cm, 100 cm, 150 cm) Temperaturmesssonden eingebaut. Während des Untersuchungszeitraumes wurden mit Hilfe eines Volumenbohrstockes der Fa. Eijkelkamp auf allen Parzellen monatliche Bodenuntersuchungen durchgeführt. Im Freilandversuch wurden die Rekultivierungsmaterialien MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 verwendet.

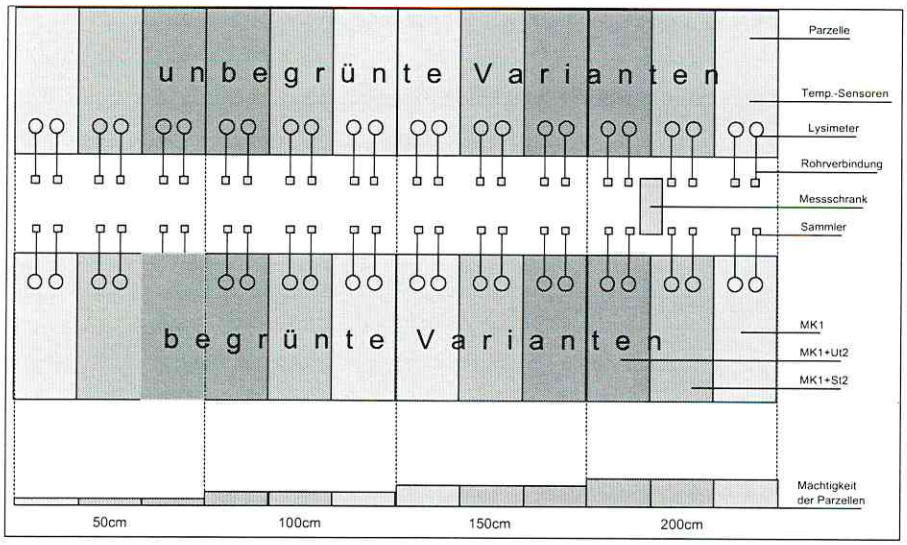


Abb. 1: Aufbau des Freilandversuches

In Tabelle 6 sind die eingesetzten Materialien für den Freilandversuch aufgeführt.

Tab. 6: Varianten des Freilandversuches

Rekultivierungsmaterial	Varianten	Anteile [Vol.%]	Bestandteile	Absiebung [mm]
KSK	MK1	1:1	kommunaler Klärschlamm Strukturmaterialgemisch	25
KSK+Bodenmaterial	MK1+Ut2	1:1	MK1+schluffiges Bodenmaterial	25
	MK1+St2	1:1	MK1+sandiges Bodenmaterial	25

3.2.2 Untersuchungen

3.2.2.1 Bodenphysikalische Parameter

Textur

Die Textur der eingesetzten Bodenmaterialien wurde nach DIN 19683 zur Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat ermittelt.

Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität und permanenter Welkepunkt

Nach Abschluss des Freilandversuches wurden FK, nFK und PWP nach DIN ISO 11274 mittels Stechzylinderprobenahmen an Profilwänden der 200 cm mächtigen Parzellen in folgenden Tiefen untersucht: 0-30 cm, 60-90 cm, 120-150 cm und 180-200 cm. Die sich ergebende LD der Materialien war Grundlage für die Berechnung der Mineralisierung (3.2.2.4).

3.2.2.2 Wasserhaushaltsparameter

Niederschlag

Die Niederschlagsmenge wurde in wöchentlichen Abständen mit Hilfe von Niederschlagssammlern nach Prof. Hellmann erfasst. Ergänzend zur wöchentlichen manuellen Messung erfolgte eine automatische Aufzeichnung der Niederschlagsmenge im 10-Minutentakt mit Hilfe eines Kippwasserzählers, der an einem Datalogger in einer ca. 500 m entfernt gelegenen Wetterstation angeschlossen war. Die festen Niederschläge in der Winterzeit wurden durch Auftauen und Auslitern quantifiziert.

Bodenwassergehalt

Die Bodenfeuchte der Versuchsparzellen wurde in monatlichen Abständen gravimetrisch in unterschiedlichen Tiefen gemessen (Tabelle 7). Der Wassergehalt ergibt sich als Gewichtsdifferenz zwischen frisch eingewogenem und nach 105°C getrocknetem Bodenmaterial. Für die Untersuchung der Bodenwasserdynamik wurden in den gleichen Untersuchungstiefen TDR - Messsonden eingebaut. Mit Hilfe eines Dataloggers (Trace) wurde der Bodenwassergehalt täglich aufgezeichnet. Für die Kontrolle vertikaler Bewegungen des Bodenwassers wurden in analogen Untersuchungstiefen Tensiometer eingebaut.

Versickerung

Die in den Sickerwassersammlern kontinuierlich erfaßte Sickerwassermenge [ml] wurde nach folgender Gleichung in mm umgerechnet:

$$R[1] = \frac{R[2]}{A_0 * 1000} \qquad \text{(Gl. 14)}$$

R Sickerwassermenge [1=mm; 2=ml]

A_0 Oberfläche des Gefäßes [0,1256m^2]

Modellierung der Sickerwassermenge

Für den Vergleich der experimentell ermittelten Sickerwassermenge mit Ergebnissen einer für ähnliche Fragestellungen verwendeter und validierter Wasserhaushaltsmodellierung wurden Berechnungen mit dem „Einschicht-Bodenfeuchtemodell nach MÜLLER ET AL. (2001) durchgeführt. Tagesmitteltemperatur, tägliche Niederschlagshöhe und Sonnenscheindauer sind für das Modell erforderliche meteorologische Eingangsgrößen. Das Modell stellt die Terme des Entzuges und der

Nachlieferung gegenüber, wobei nicht nur die Durchwurzelungszone sondern die gesamte Ausschöpfungszone einbezogen wird. Für die potentielle Evapotranspiration hat ausschließlich der Wasservorrat im Entzugsterm Bedeutung. Im Modell werden Evaporation, stomatäre und cuticulare Transpiration und Interzeption zur Kalkulation der aktuellen Evapotranspiration herangezogen. Das Verhältnis zwischen Evaporation und Transpiration wird durch die Bestandesentwicklung bestimmt. Der Berechnung beider Komponenten liegt ein Ansatz (MÜLLER ET AL. 2001) mit korrigiertem Reduktionsfaktor nach ANTAL (1968) mit additiver Korrektur durch MÜLLER UND MÜLLER (1987) zugrunde. Für die aktuelle Evapotranspiration wird eine um 30 % höhere Verdunstung des interzipierten Wassers angenommen als die potentielle Evapotranspiration nach TURC. Es wird davon ausgegangen, dass der Anteil der Transpiration und der Evaporation während der Interzeptionsverdunstung vernachlässigbar gering ist. Niederschlagsdaten werden bei der Berechnung mit den von RICHTER (1981) angegebenen Faktoren korrigiert. Das Modell berücksichtigt die während des Vegetationsjahres veränderliche Interzeptionskapazität, effektiv wirksame Durchwurzelungsschichtdicke und bestandesspezifische, biologisch-physiologische Parameter nach POSZA UND STOLLAR (1983) als pflanzliche Eingangsgrößen.

Für die Simulationsberechnungen wurden die halleschen Datenreihen des Zeitraumes 1970 bis 2001 genutzt. Berechnet wurde die Sickerwassermenge für das langjährige Mittel von 1970 bis 2001 mit einer mittleren Niederschlagsmenge von 558 mm. Neben dem langjährigen Mittel wurde die Sickerwassermenge des niederschlagsreichen Jahres 2002 mit 696 mm und des niederschlagsarmen Jahres 2003 mit 455 mm berechnet. Für die nutzbare Feldkapazität wurden Werte in Höhe von 15, 34 und 37 Vol.% zugrundegelegt. Die Berechnungen erfolgten auf der Grundlage einer Grasvegetation.

3.2.2.3 Chemische Parameter

Sickerwasser

Sickerwasserproben wurden in wöchentlichen Abständen laboranalytisch untersucht. Die im Sickerwasser nachgewiesenen Parameter und angewandten Methoden sind in Tabelle 4 angegeben. Die Berechnung von Stofffrachten im Sickerwasser wurde nach Gleichung 13 durchgeführt.

Rekultivierungsmaterial

Für die Untersuchung der N-Mineralisierung des Rekultivierungsmaterials wurden in monatlichen Abständen Bodenproben mit Hilfe eines Volumenbohrstockes der Fa. Eijkelkamp in verschiedenen Beprobungstiefen entnommen. Die Proben wurden auf anorganische Stickstoffkomponenten (NO_3-N, NH_4-N) sowie C/N, pH und LF untersucht. Die Untersuchungstiefen wurden entsprechend der Fragestellung festgelegt und gehen aus Tabelle 7 hervor. Die Bodenproben wurden unmittelbar nach der Entnahme gemäß den in Tabelle 5 angegebenen Bestimmungsmethoden analysiert.

Tab. 7: Untersuchungstiefen im Freilandversuch

Mächtigkeit [cm]	Untersuchungstiefen [cm]
50	0-40
100	0-40; 40-80
150	0-40; 40-80; 80-120
200	0-40; 40-80; 80-120; 120-160

Pflanze

Im Freilandversuch wurden die begrünten Parzellen mit einem Boniturrahmen von $1m^2$ Größe abgegrenzt und geerntet. Die Untersuchungen der Proben auf N_t und SM erfolgten nach den Bestimmungsmethoden der Tabelle 5. Der N_t-Gehalt der Pflanzen diente als Grundlage zur Berechnung des N_{min} - Entzuges durch die oberirdische Biomasse.

3.2.2.4 Stickstoffmineralisierung

Mit den Untersuchungen des Stickstoffgehaltes in der Pflanze, im Boden und im Sickerwasser konnte der auswaschungsgefährdete Stickstoff bilanziert werden. Im Rahmen vorliegender Arbeit blieben gasförmige N-Austräge unberücksichtigt. Das Rekultivierungsmaterial wurde in geringer Lagerungsdichte aufgebaut, so dass gute Durchlüftungsbedingungen bestehen.

Für die Berechnung der Mineralisierungsrate im Boden wurde die Gleichung nach HART ET. AL (1994) zugrundegelegt:

$$N_{min} = \left(\left[NH_4 - N + NO_3 - N\right]_t - \left[NH_4 - N + NO_3 - N\right]_0\right) \qquad \text{(Gl. 15)}$$

t	Zeitpunkt der aktuellen Entnahme
0	Zeitpunkt der zurückliegenden Entnahme
N_{min}, NO_3-N, NH_4-N	[mg/100g TM]

Die Stickstoffmineralisierungsrate wurde unter Berücksichtigung des min-N im Sickerwasser und des Stickstoffentzuges durch die Pflanze nach folgender Gleichung berechnet:

$$N_{min} = \left(\left[NH_4 - N + NO_3 - N\right]_t - \left[NH_4 - N + NO_3 - N\right]_0\right) + [N_t]_t + [NO_3\text{-N} + NH_4\text{-N}]_t$$

(Boden) (Weidelgras) (Sickerwasser)

N_{min}, NO_3-N, NH_4-N [kg/ha] (Gl. 16)

Die Mineralisierungsrate wurde für jedes monatliche Untersuchungsintervall berechnet, um den Mineralisierungsverlauf zu verfolgen. Durch Aufsummieren der Einzelraten ergibt sich die jährliche Mineralisierungsleistung.

Temperaturmessungen im Rekultivierungsmaterial wurden mit Hilfe eines Datenloggers (Delta-T) in 4 verschiedenen Tiefen des Rekultivierungsmaterials (20 cm, 50 cm, 100 cm, 150 cm) durchgeführt.

3.2.2.5 Mikrobiologische Parameter

Bodenatmung

Die Bestimmung der Bodenatmung erfolgte analog der Biomassebestimmung mittels Infrarot-Gasanalysator und Strömungsmeßanlage nach HEINEMEYER ET. AL (1989).

Die Bodenproben wurden bei 22°C mit Umgebungsluft durchströmt. Die Versuchsdauer beträgt 20-24 Stunden. Innerhalb dieser Zeitspanne erreicht die CO_2-Produktion ein konstantes Niveau (HEINEMEYER ET AL. 1989). Das gebildete CO_2 wurde stündlich gemessen. Die CO_2-Produktionsrate (i g CO_2 g^{-1} TS h^{-1}) wurde unter Berücksichtigung des Gasdurchflusses (ml Luft/min) und der Bodeneinwaage (g/TS) mit Hilfe einer „Auswertsoftware" ermittelt.

Mikrobielle Biomasse

Die mikrobielle Biomasse (C_{mik}) wurde nach ANDERSON UND DOMSCH (1978) in der Strömungsmeßanlage nach HEINEMEYER ET AL. (1989) entsprechend der DIN ISO 16072 und DIN ISO 14240-1 bestimmt.

Das Meßprinzip basiert auf der Messung des maximalen Anstieges der Atmungsaktivität von Mikroorganismen im Bodenmaterial nach Zugabe von leicht verfügbaren Energie- bzw. Kohlenstoffquellen (ANDERSON UND DOMSCH 1978). Bis zur Vermehrung der Populationen und somit Steigerung der Atmungsaktivität bleibt dieser Wert für einige Stunden gleich (HEINEMEYER ET AL. 1989). Die für die Rekultivierungsmaterialien optimale Glucosemenge von etwa 4 mg als Energiequelle wurde in Vorversuchen bestimmt. Die von den Mikroorganismen produzierte CO_2-Menge wurde durch automatische Infrarot-Gasmessung ermittelt und ausgewertet. Anhand der maximalen anfänglichen Respiration wurde auf die Menge des C_{mik} in µg C/g TS geschlussfolgert.

Metabolischer Quotient

Der metabolische Quotient (qCO_2) ist der Quotient aus produzierter Menge CO_2 (Bodenatmung) und der Menge von C_{mik}. Er wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$qCO_2 = \frac{\mu gCO_2 - C * h}{\mu gC_{mik}} * 1000 \qquad \text{(Gl.: 17)}$$

Dabei wird die Bodenatmung auf den individuellen Biomassegehalt im Rekultivierungsmaterial normiert. Mit der Bestimmung des qCO_2 können unterschiedliche Boden- bzw. Rekultivierungsmaterialien bezüglich der mikrobiellen Aktivität miteinander verglichen werden.

Der metabolische Quotient ist eine Kenngröße für den physiologischen Zustand der Mikroorganismengemeinschaft und gibt einen Näherungswert für den Erhaltungsbedarf der Mikrobenzönose eines Bodens an. Darüber hinaus erlaubt der qCO_2 Aussagen über den Einfluss anthropogener und natürlicher Faktoren auf die Biomasse und des weiteren über die Effizienz der Mikroorganismengemeinschaft, vorhandene Nährstoffquellen zu nutzen (ANDERSON UND DOMSCH 1978, INSAM UND DOMSCH 1988; ANDERSON 1994; KAISER 1992).

3.3 Datenaufbereitung und statistische Auswertung

Die Verarbeitung des Datenmaterials erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm MS-Excel (V 2000). Graphische Darstellungen wurden mit den Programmen MS-Excel und Statistica für Windows (V 6.0), Abbildungen mit CorelDRAW (V 8.232) und MS PowerPoint (V 2000) hergestellt. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogrammpaket Statistica für Windows. Die Beschreibung des Datenmaterials wurde mit Hilfe deskriptiver Statistik vorgenommen, in dem Lage- und Streuungsmaße (arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Konfidenzgrenzen) berechnet wurden.

Die statistische Sicherung der nutzbaren Feldkapazität der Rekultivierungsmaterialien bei verschiedenen Methoden erfolgte mit Hilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse (T-Test, Statistica für Windows). Stoffkonzentrationen und -frachten im Sickerwasser wiesen hohe Schwankungen auf. Die Stoffkonzentrationen und –frachten unterliegen Einflussgrößen, wie beispielsweise der Mineralisierungsdynamik im Rekultivierungsmaterial, Löslichkeit der Stoffe, Austauschhäufigkeit des Sickerwassers und Auswaschungsprozessen. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse des Gefäßversuches zur Beschreibung von Trends hinsichtlich der Stoffgehalte im Sickerwasser in zwei Abschnitte zusammengefasst (1. Abschnitt: 04.06.2003 bis 08.06.2004, 2. Abschnitt: 22.06.2004 bis 26.04.2005) und miteinander statistisch verglichen. Die Untersuchung der Signifikanz mit ($p<0,005$) wurde mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey – Test) durchgeführt. Stoffkonzentrationen und -vorräte, Mikrobielle Biomasse und Metabolischer Quotient im Rekultivierungsmaterial wurden zwischen dem ersten und letzen Untersuchungstermin (Juli 2003 und März 2005) und gegebenenfalls zum Zeitpunkt von Extremereignissen (November 2003) für jede Untersuchungstiefe statistisch geprüft. Diese Untersuchung fand mit Hilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey – Test) statt. Analog dem Sickerwasser wurden die Rekultivierungsmaterialien hinsichtlich ihrer Eigenschaften untereinander zu jedem dieser Termine statistisch geprüft. Eine Untersuchung von Zusammenhängen zwischen verschiedenen Parametern konnte aufgrund der auftretenden Streuungen nicht durchgeführt werden.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Bodenphysikalische Parameter

4.1.1 Nutzbare Feldkapazität nach DIN ISO 11274 (Drucktopfmethode)

Feldkapazität (FK), permanenter Welkepunkt (PWP) und nutzbare Feldkapazität (PWP) wurden gemäß der DIN ISO 11274 (1998) bzw. Drucktopfmethode an allen Klärschlammkomposten und Rekultivierungsmaterialien ermittelt und sind in den Anlagen 6 und 7 enthalten.
Aufgrund von herstellerabhängigen Unterschieden in der Zusammensetzung der Materialien des Gefäßversuches 1 ergaben sich am Parameter FK Spannen von 39 bis 59 Vol.% bei geringer und 37 bis 65 Vol.% bei hoher LD. Nach BARTELS UND KUNTZE (1973) werden durch Setzungs- und Schrumpfungsprozesse Verdichtungen im Material verursacht. Die Anteile der Grob- bzw. Makroporen verschieben sich zugunsten der Meso- bzw. Mikroporen. Die Werte des PWP nehmen bei Komposten mit über 50 % einen erheblichen Anteil an der FK ein und lassen Rückschlüsse auf das pflanzenverfügbare Wasserspeichervermögen dieser Rekultivierungsmaterialien (RM) zu. Mit der Drucktopfmethode konnten nFK-Werte von 9 bis 32 Vol.% in Abhängigkeit der Materialbeschaffenheit und der LD ermittelt werden. Anhand dieser Untersuchung lässt sich die Diversität von Klärschlammkompost bezüglich der ermittelten bodenphysikalischen Eigenschaften erkennen. Mit dieser Voruntersuchung wird deutlich, dass die Zusammensetzung von KSK als RM den Parameter der nFK als wertgebende Eigenschaft in Rekultivierungsschichten deutlich beeinflussen kann und zur Vereinheitlichung genormt werden muss.

FK, PWP und nFK sowie die Ergebnisse des Mittelwertvergleiches der Modellkomposte 1 und 2 des Gefäßversuches 2 mit definierter Zusammensetzung und deren Mischungsvarianten mit tonigem Schluff (Ut2) und tonigem Sand (St2) sind in der Tabelle 8 und in Anlage 8 enthalten. Die Korngrößenverteilung von Ut2 und St2 befinden sich in Anlage 5. An MK1 konnten Wasserspeicherkapazitäten von 45 bzw. 59 Vol.% je nach LD ermittelt werden, die mit natürlichen Bodenmaterialien vergleichbar sind. Nach KA 5 (2005) kann bei geringer LD Schluff >40 Vol.%, Ton >50 Vol.% und verschiedenen Torfmaterialien >60 Vol.% Wasser speichern. Der PWP nimmt bei MK1 bei niedriger bzw. hoher LD einen Anteil von 68 bzw. 89 % ein. Die nFK von 14 Vol.% bzw. 7 Vol.% ist sehr gering und mit Sand- und Tonböden vergleichbar. Der Unterschied der nFK zwischen geringer bzw. hoher LD von 0,42 bzw. 0,71 g/cm^3 wurde mit p=0,0006 statistisch gesichert. Die Zumischung von Ut2 zum MK1 erwies sich im Vergleich zu St2 am vorteilhaftesten. Mit 27 Vol.% konnte am RM MK1+Ut2 die höchste nFK ermittelt werden. Die Erhöhung der nFK von MK1 nach Zumischung des Bodenmaterials oblag der Materialeigenschaft von Ut2. Ut2 weist eine nFK in Höhe von 33 Vol.% auf und verursachte den höheren Wert der nFK im Gemisch. Die Variante MK1+St2 wies deutlich niedrigere Werte der nFK auf. Ursache hierfür sind die ungünstigen Eigenschaften von St2. Anhand der Angaben in Tabelle 8 kann der Einfluss der Lagerungsdichte auf die nFK nachvollzogen werden. An allen RM mit MK1 ist eine Abnahme der nFK bei zunehmender LD erkennbar. Die Abnahme der nFK wurde bei allen MK1-Varianten mit p<0,001 statistisch gesichert.
Ähnliche Ergebnisse lieferten die Untersuchungen des MK2. Mit 48 bis 63 Vol.% ist die FK mit der von MK1 vergleichbar. Die Anteile des PWP ähneln je nach LD mit 79 bzw. 82 % den von MK1.

Die Varianten MK1+Ut2 sowie MK2+Ut2 wiesen die höchsten Werte der nFK von >25 Vol.% (p<0,001) auf und lagen deutlich höher als die entsprechenden MK.

Tab. 8: Nutzbare Feldkapazität der Varianten bei unterschiedlicher Lagerungsdichte (Drucktopfmethode, Gefäßversuch 2)

Varianten	LD [g/cm³]	FK Vol.%	PWP Vol.%	nFK Vol.%	Tukey-Test* p**
MK1	0,42 ± 0,03	45 ± 2,89	31 ± 1,35	14 ± 0,25	
	0,71 ± 0,02	59 ± 2,58	53 ± 0,49	7 ± 0,13	**0,0006**
MK1 + Ut2	1,22 ± 0,04	47 ± 1,11	20 ± 2,36	27 ± 0,89	
	1,31 ± 0,03	46 ± 1,15	34 ± 2,80	11 ± 2,75	**0,0001**
MK1 + St2	1,11 ± 0,02	34 ± 2,21	14 ± 1,56	20 ± 0,98	
	1,49 ± 0,04	36 ± 1,47	24 ± 0,98	11 ± 2,01	**0,0002**
MK2	0,39 ± 0,03	48 ± 2,90	38 ± 1,42	10 ± 1,53	
	0,55 ± 0,07	63 ± 4,93	52 ± 2,07	11 ± 3,46	0,8807
MK2 + Ut2	1,11 ± 0,02	49 ± 1,46	24 ± 3,31	25 ± 2,04	
	1,24 ± 0,03	48 ± 0,58	22 ± 0,74	26 ± 0,68	**0,008**
MK2 + St2	1,04 ± 0,07	32 ± 1,17	18 ± 0,34	13 ± 1,07	
	1,41 ± 0,07	37 ± 1,35	23 ± 1,03	14 ± 0,40	0,6199

*Vergleich der nFK bei unterschiedlicher Lagerungsdichte; **signifikante Werte sind fettgedruckt

An allen RM-Varianten des MK2 war ohne statistische Sicherheit bei zunehmender LD ein geringfügiger Anstieg des Mittelwertes der nFK erkennbar. Aufgrund der Absiebung von 40 mm lagen zahlreiche Grobporen mit einem Durchmesser von >50µm vor, deren Anteile nach Verdichtung geringer wurden. Die Unterschiede der nFK zwischen MK1- und MK2-Varianten sind als geringfügig zu bezeichnen und nur teilweise signifikant. Die Rekultivierungsmaterialien im Gemisch mit Ut2 und St2 sind aufgrund der höheren nFK im Vergleich zu MK1 und MK2 als RM vorzuziehen. Die nFK der RM mit Ut2 und St2 kann mit natürlich gewachsenen Böden gleichgesetzt werden. Die nFK von MK1(2)+Ut2 ist nach KA 5 (2005) mit Schluff- bzw. schluffigen Sandböden vergleichbar.

4.1.2 Nutzbare Feldkapazität nach Vegetationstest

Zur Kontrolle der Ergebnisse nach dem Verfahren der DIN ISO 11274 bei der Anwendung organischer Materialien mit einer Absiebung >25 mm wurde gemäß der Definition der nFK ein Vegetationstest (VT) mit Sonnenblumen und mit Welschem Weidelgras durchgeführt. Die Ergebnisse der nFK und der deskriptiven Statistik des VT sind in den Anlagen 6-8 aufgeführt und in Abbildung 2 dargestellt. Bei MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wurde mittels VT eine um +178 %, +22 % und +85 % (p<0,001) höhere nFK als nach DIN ISO 11274 festgestellt. Die Höhe der nFK nach dem VT mit Sonnenblumen wurde durch die Untersuchungen an Welschem Weidelgras mit fast identischen Mittelwerten bestätigt.

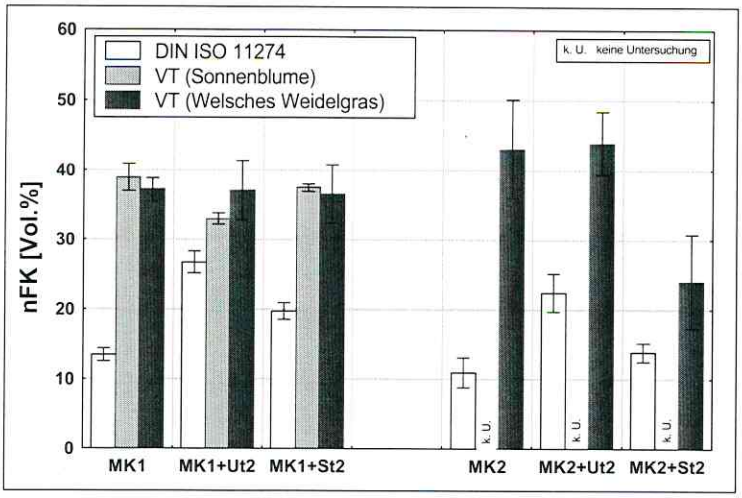


Abb. 2.: Nutzbare Feldkapazität der Varianten (Vegetationstest mit Sonnenblume und Welschem Weidelgras)

Ähnliche Unterschiede der nFK zwischen den Methoden des VT mit Welschem Weidelgras und der DIN ISO 11274 wurden für die Varianten MK2, MK2+Ut2, MK2+St2 und den KSK des Gefäßversuches 1 ermittelt. Die Ergebnisse liegen in Anlage 7 vor.

4.1.3 Diskussion

In der Literatur werden in den meisten Fällen nFK-Werte natürlicher Böden angegeben. Im Rahmen landwirtschaftlicher Bodenverbesserungsmaßnahmen durch Anwendung organischer Abfälle gibt es häufig Aussagen über die Erhöhung der FK im Boden ohne Angabe von Messwerten. So geben unter anderen GILDON UND RIMMER (1993), NIKLAUS, KLEBER UND STAHR (1999), RICHTER, LAVES UND SUNTHEIM (2002), HAUBOLD-ROSAR UND GAST (2003) bei einmaliger Anwendung von 100 bzw. 150 t TM Kompost Erhöhungen der nFK von 3-4 % bzw. der FK von bis zu 30 % an. Versuchsreihen von LECHNER (1983) und AMLINGER (1993) bewiesen einen fast linearen und überproportionalen Anstieg der Feldkapazität bei steigender Anwendung von organischem Bioabfallkompost und reifem Müllkompost. BARGSTEN, HARSFELD UND STYPEREK (1995) stellten einen hohen Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser in Kompostmaterialien fest. In der KA 5 (2005) sind Angaben über Zuschläge für die nFK nach entsprechendem Humusgehalt in mineralischen Böden enthalten. Diese Werte sind für RM mit Humusgehalten von über 15 M% unzureichend. Wenige Untersuchungsergebnisse über FK, PWP und nFK geben BARGSTEN, STYPEREK UND LEGAT (1994), GOMISCEK (1999) UND BENDLER (2005) teilweise ohne Hinweis auf die Methode an. In Tabelle 9 sind die bodenphysikalischen Werte genannter Autoren zusammengefasst. Die Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen eine mit den Materialien von GOMISCEK (1999) vergleichbare Zusammensetzung auf. Nach diesen Ergebnissen weisen Gemischvarianten aus etwa 40 – 60 Vol.% KSK eine nFK zwischen 9 und 17 Vol.% auf. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit sind die Werte von GOMISCEK (1999) mit denen nach DIN ISO 11274 bei erhöhter LD mit etwa 11 Vol.% vergleichbar. Mit Hilfe des

VT sind bei den in der Literatur angegebenen Materialien möglicherweise deutlich höhere nFK – Werte festzustellen.

Tab. 9: Nutzbare Feldkapazität, permanenter Welkepunkt und Feldkapazität verschiedener Rekultivierungsmaterialien (Literaturangaben)

Autor / Material	Methode	nFK Vol%	PWP Vol%	FK Vol%	Druckstufe
Gomiscek 1999					
60 M% KSK + 40 M% Erde	Druck-	16,9	12,1	29	2 - 4,2
40 M% KSK + 60 M% Erde	membran-	8,7	19,3	28	2 - 4,2
60 M% BioK + 40 M% Erde	Apparatur	14,2	15,8	30	2 - 4,2
40 M% BioK + 60 M% Erde		11,3	16,7	28	2 - 4,2
100 % Erde		9,6	14,4	24	2 - 4,2
Bendler 2005					
Asche/ KSK/ kommunaler Klärschlamm	Druck- membran- Apparatur	23,1	27,1	50,2	k. A.
KA5 2005					
Hhz1 - Hhz5	k. A.	55 - 65	10 - 18	65 - 83	k. A.
Bargsten et al. 1995					
66M% Kompost + 34M% komm. KS	Druck-	44,9	18,1	63	1,8 - 4,2
66M% Kompost + 34M% komm. KS	membran-	50,4	17,6	68	
66M% Kompost + 34M% komm. KS	Apparatur	51,2	14,8	66	
Tschirner 2005					
VAP-Substrat	k. A.	>40	k. A.	k. A.	k. A.

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der VT und der Drucktopfmethode sind auf Bestandteile im RM mit sogenannter Schwammstruktur zurückzuführen (FREDE, GÄTH UND MEYER 1983). KSK besteht zum Großteil aus grobstrukturierten Holzbestandteilen, die befähigt sind, Wasser zu speichern und deren nFK im Meßverfahren aufgrund des fehlenden leitenden, kapillaren Kontaktes unberücksichtigt bleibt. Komposte verfügen, ähnlich wie Torf- bzw. Moorböden über amorphe Strukturen und weisen ungleiche Verteilungen im Porengefüge auf (LECHNER UND KLAGHOFER 1981). Der kapillare Aufstieg bzw. Transport von Bodenwasser ist nach HARTGE (1999) neben dem Porendurchmesser von einem geringen Benetzungswinkel, der beim Kompost vergleichsweise groß ist, abhängig. Zusätzlich haben Komposte die Eigenschaft einer hohen ungesättigten Wasserleitfähigkeit.

Anhand der deutlichen Unterschiede der nFK zwischen beiden Methoden konnten bestehende Theorien über die Wasserspeicherfähigkeit von Torf- und Moorboden auf RM aus KSK übertragen werden. Mit der Untersuchung von RM aus KSK mit der Drucktopfmethode wurden PWP über- bzw. die für die Wasserhaushaltsbetrachtungen wertgebende, zentrale Größe der nFK mit über 100 % unterschätzt. Anhand dieser Erkenntnisse kann geschlussfolgert werden, dass VT zur Charakterisierung von organischen Rekultivierungs- bzw. Bodenmaterialien gegenüber der Drucktopfmethode vorzuziehen sind. In der Literatur kann von zahlreichen Abweichungen zwischen Angaben über FK, PWP und nFK und den tatsächlichen Materialeigenschaften ausgegangen werden.

Mit den Ergebnissen aus den VT wurde das Potential der nutzbaren Feldkapazität von RM aus KSK deutlich. Die nFK von MK1 und MK2 mit 39 Vol.% bzw. 42 Vol.% ist als hoch einzuschätzen. Schluff (Uu) verfügt bei geringer LD über die höchste nFK von maximal 28,5 Vol.%. KSK steht aufgrund des Anfalles der Bestandteile an jedem Standort zur Verfügung. In jeder Region fallen andere Bodenarten

an und weisen aufgrund differenzierter Korngrößenzusammensetzung unterschiedliche nFK-Werte auf. Rekultivierungsschichten aus KSK können erhebliche Niederschlagsmengen speichern und an die Vegetation abgeben. Eine hohe nFK ist ein Maß für die Fähigkeit eines Bodens, eine Verlagerung von gelösten Stoffen bzw. den Austritt von Sickerwasser aus Böden und dementsprechend aus Rekultivierungsschichten in den Untergrund zu verhindern.

4.2 Wasserhaushaltsparameter

4.2.1 Niederschlag

Gefäßversuch

Während der gesamten Versuchsdauer von 27 Monaten wurde eine Gesamtmenge von 1094 mm Niederschlag erfasst. Zur Vermeidung von Wassermangel der etablierten Vegetation wurden Zusatzberegnungen durchgeführt. Das erste Versuchsjahr von März 2003 bis Februar 2004 wies eine Niederschlagssumme von 526 mm auf und lag somit unter dem langjährigen Mittel von 558 mm. Im zweiten Versuchsjahr von März 2004 bis Februar 2005 war mit 440 mm eine noch geringere Niederschlagsmenge zu verzeichnen. Mit den durchgeführten Zusatzbewässerungen von 38 mm im ersten und von 52 mm im zweiten Versuchsjahr wurden die zugeführten Wassermengen auf 564 mm bzw. auf 493 mm erhöht (Anlage 9).

Freilandversuch

Die Niederschlagssumme für die gesamte Versuchsdauer vom Juli 2003 bis zum April 2005 betrug 826 mm. Im ersten Versuchsjahr von Juli 2003 bis Juni 2004 fielen 475 mm Niederschlag. In der restlichen Versuchszeit bis April 2005 waren 351 mm Niederschlag zu verzeichnen. Die gemessene Niederschlagsmenge des ersten Versuchsjahres ist mit der des langjährigen Mittels von 450 mm vergleichbar. Analog der Niederschlagsverteilung im Gefäßversuch handelte es sich hierbei um einen Sommerregentyp mit Niederschlagsmaximum im Juli und -minimum im Monat Januar (Anlage 10).

4.2.2 Versickerung

Gefäßversuch

In Abbildung 3 sind die Sickerwassermengen der 100 cm mächtigen Varianten für den gesamten Untersuchungszeitraum dargestellt. Hier wird der Einfluss des RM und der Begrünung auf die Sickerwassermenge deutlich. Die unbegrünten 100 cm mächtigen RM MK1 und MK2 wiesen im gesamten Untersuchungszeitraum mit 623 mm und 495 mm Sickerwasser die höchsten Werte auf. Bei den unbegrünten Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 traten im Vergleich zu MK1 ca. 50 bzw. 40 % weniger Sickerwasser aus. Vergleichbare Werte lieferten die unbegrünten Varianten MK2+Ut2 und MK2+St2 mit 37 bzw. 19 % weniger Sickerwasser als MK2. Durch die Begrünung wurde die Sickerwassermenge um etwa 88 % im Vergleich zur unbegrünten Variante verringert. Das entspricht einer Versickerung von 3,7 %, gemessen an der gefallenen Niederschlagsmenge von 1184 mm.

Insgesamt konnte an den RM-Varianten MK1(2)+Ut2 und MK1(2)+St2 im Versuchszeitraum bei 1184 mm Niederschlag die höchste Sickerwasserreduzierung ermittelt werden. Die Anlagen 11, 12 und 13 enthalten die Summen der Sickerwassermenge aller Varianten des Gefäßversuches für den Zeitraum vom 04.06.2003 bis 26.04.2005.

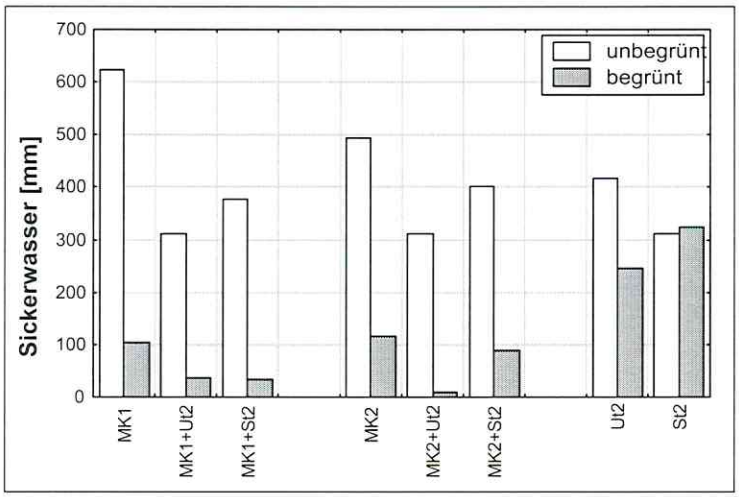


Abb. 3: Sickerwassermengen der 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten (Gefäßversuch 2)

In Abbildung 4 sind die kumulierten Sickerwassermengen im Verlauf des Untersuchungszeitraumes begrünter und unbegrünter, 100 cm mächtiger Varianten dargestellt. Die höchste Versickerung unter der begrünten Variante fällt auf die winterliche Zeitspanne von Februar bis April 2005. Ursache dieser Versickerung war neben den Temperaturschwankungen im Boden (4.2.6) die Vegetationspause in den Wintermonaten.

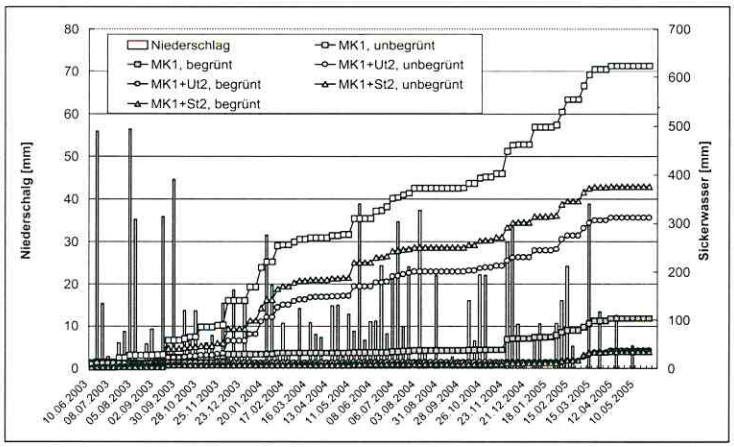


Abb. 4: Kumulierte Sickerwassermengen der 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten (Gefäßversuch 2)

Während bei den begrünten Varianten MK1 und MK2 9 % bzw. 10 % des Niederschlages austraten, versickerten bei MK1+Ut2, MK1+St2, MK2+Ut2 und MK2+St2 zwischen 1 bis 8 %. Den Anlagen 12, 14 und 15 sind die Sickerwassermengen für die Einzeltermine und für den gesamten Untersuchungszeitraum der unbegrünten und begrünten Varianten des Gefäßversuches 1 und 2 zu

entnehmen. Erwartungsgemäß lagen bei den unbegrünten Varianten während des Untersuchungszeitraumes durchschnittlich höhere Sickerwassermengen pro Ereignis als bei den begrünten Varianten vor. Neben geringeren Sickerwassermengen wurden deutlich weniger Sickerwasserereignisse bei den begrünten Varianten erfasst. Tabelle 10 gibt einen Überblick über den Unterschied der mittleren Sickerwassermengen pro Ereignis unbegrünter und begrünter 100 cm mächtiger Varianten des Gefäßversuches. Die unterschiedliche Höhe der durchschnittlichen Sickerwassermenge der unbegrünten und begrünten Varianten MK1, MK1+St2, MK2 und MK2+St2 sind signifikant. Anhand dieser Ergebnisse wird der Einfluss von mineralischem Bodenmaterial und der Vegetation auf die Minimierung der mittleren Sickerwassermenge pro Ereignis an den Einzelterminen demonstriert.

Tab. 10: Durchschnittliche Sickerwassermenge der 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten während des Untersuchungszeitraumes vom 04.06.2003 - 08.06.2005 (Gefäßversuch 2)

Variante	Sickerwasser [mm]	Ereignisse [Anzahl]	Sickerwasser [mm]	Ereignisse [Anzahl]	Tukey-Test* [p]
	unbegrünt		begrünt		
MK1	12,7 ± 13,3	49	3,7 ± 4,5	28	**0,001**
MK1+Ut2	6,5 ± 6,9	48	3,4 ± 2,9	11	0,154
MK1+St2	8,2 ± 9,3	46	2,0 ± 2,8	17	**0,010**
MK2	10,1 ± 9,3	49	4,6 ± 5,3	25	**0,009**
MK2+Ut2	7,4 ± 9,9	42	2,7 ± 2,2	4	0,349
MK2+St2	8,5 ± 8,2	47	3,6 ± 4,2	25	**0,006**

*Vergleich zwischen unbegrünten und begrünten Varianten; fettgedruckte Angaben sind signifikant ($p<0,05$)

Bei den begrünten Varianten Ut2 und St2 wurden mit durchschnittlich 22 mm und 29 mm die höchsten Sickerwasserwerte pro Ereignis festgestellt. Aufgrund mangelnder Vegetation wurden nur geringe Wassermengen aus dem Boden entzogen. Ursache dafür ist Nährstoffarmut (4.3.1), wodurch die Entwicklung der Pflanzen eingeschränkt wurde (4.3.3).

Die RM wurden in 50, 100, 150 und 200 cm Mächtigkeit auf Sickerwasserbildung geprüft. Abbildung 5 zeigt am Beispiel der unterschiedlich mächtigen, unbegrünten RM-Varianten aus MK1 den zeitlichen Verlauf der Sickerwasserentstehung für den gesamten Untersuchungszeitraum. Die unterschiedlichen Mächtigkeiten lassen ein zeitlich differenziertes Einsetzen der Sickerwasserbildung erkennen. Nach intensiven Niederschlagsereignissen von 48 mm/d am 10.06.03 trat an den 50 cm und etwas später am gleichen Tag bei den 100 cm mächtigen Varianten unmittelbar Sickerwasser aus. Bis zum 17.06.03 wurden bei den 150 cm mächtigen Varianten ebenfalls die ersten Sickerwasserbildungen festgestellt (Anlage 14 und 15). Bei den 200 cm-Varianten wurde bis Oktober die längste Sickerwasserverzögerung festgestellt. An diesem Beispiel kann gezeigt werden, dass durch mächtigere RS Sickerwasseraustritte zu verzögern sind, aber langfristig nicht verhindert werden können. Vergleichbare Entwicklungen der Sickerwasserentstehung wurden bei allen untersuchten Varianten (MK1+Ut2, MK1+St2, MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2) festgestellt. Ursache dafür war die länger dauernde Sättigungszeit unterschiedlicher Volumina an RM. 200 cm mächtige RS enthalten ein vierfach höheres Volumen an RM als 50 cm mächtige RS. Bei homogener LD können entsprechend vierfach höhere, für die Pflanze nutzbare Wassermengen gespeichert werden.

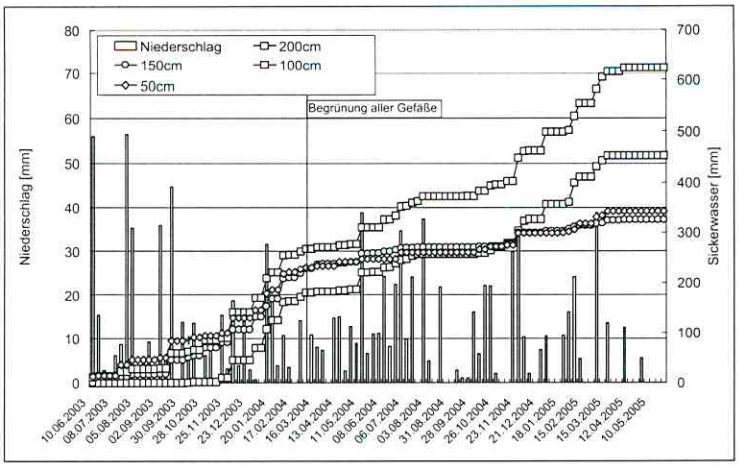


Abb. 5: Kumulierte Sickerwassermengen der 50 cm, 100 cm, 150 cm und 200 cm mächtigen, unbegrünten Varianten MK1 (Gefäßversuch 2)

Die gesamte Sickerwassermenge unbegrünter Varianten für die Zeiträume vom 04.06.03 bis 30.03.04 (Termin der Begrünung aller bislang unbegrünten Gefäße) und 04.06.2003 bis 26.04.2005 des Gefäßversuches 2 sind in Tabelle 11 enthalten.

Tab. 11: Sickerwassermenge unterschiedlich mächtiger, unbegrünter Varianten während der Zeit vom 04.06.2003 bis 30.03.2004 (a) und 04.06.2003 bis 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2)

	Sickerwasser [mm]							
Mächtigkeit	***50cm***		***100cm***		***150cm***		***200cm***	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Variante								
MK1	234	342	271	623	238	325	182	452
MK1+Ut2	188	312	148	312	178	188	174	346
MK1+St2	178	288	184	376	204	259	229	409
MK2	132	315	207	495	226	303	168	458
MK2+Ut2	132	157	105	313	65	79	62	115
MK2+St2	204	310	177	401	154	229	180	311
Ut2	94	482	171	417	37	131	0	-
St2	91	276	170	313	150	307	0	-

Eindeutige Trends über die Reduzierung der Sickerwassermenge im Vergleich der Mächtigkeiten unbegrünter RM-Varianten waren über den gesamten Zeitraum vom 04.06.2003 bis 26.04.2005 nicht in allen Fällen erkennbar. Nach kurzer Versuchsdauer zeigten sich unterschiedliche Sättigungszeiten bei den verschiedenen Mächtigkeiten. In den Wintermonaten wurden unabhängig von Begrünung und Mächtigkeit in den Zeiten des Wechsels zwischen Tau- und Frostphase bei allen Varianten Sickerwasserbildungen festgestellt.

Freilandversuch

Aufgrund von Welkeerscheinungen am Welschen Weidelgras wurde die Ergebnisdarstellung im Zusammenhang mit der Begrünung auf die Zeitspanne vom 19.07.03 bis 22.07.04 begrenzt. In Tabelle 12 sind die Sickerwassermengen aller RM-Varianten des Freilandversuches für die

Untersuchungszeiträume vom 19.07.2003 bis 22.07.2004 (a) und der gesamten Untersuchungszeit 19.07.2003 bis 28.04.2005 (b) enthalten. Anhand der Ergebnisse werden geringere Sickerwassermengen der Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 im Vergleich zu MK1 deutlich. Bei einer Niederschlagsmenge von 565 mm während des Zeitraumes a konnte bei 50 cm mächtigen und unbegrünten MK1 14 % des Niederschlages versickern. Bei den begrünten, 200 cm mächtigen Varianten trat bei MK1+Ut2 und MK1+St2 etwa 45 % bzw. 94 % weniger Sickerwasser als bei MK1 auf (Anlage 16).

Tab. 12: Sickerwassermengen aller Varianten während des Untersuchungszeitraumes vom 19.07.03 bis 22.07.04 (a) und vom 19.07.2003 bis 28.04.2005 (b) (Freilandversuch)

		Sickerwasser [mm]							
Mächtigkeit		*50cm*		*100cm*		*150cm*		*200cm*	
		a	b	a	b	a	b	a	b
Variante									
MK1	begrünt	15	31	16	22	0	0	7	7
	unbegrünt	79	130	52	95	14	34	7	33
MK1+Ut2	begrünt	24	43	8	9	1	1	1	3
	unbegrünt	16	28	27	83	5	13	0	0
MK1+St2	begrünt	12	31	4	12	4	6	5	9
	unbegrünt	59	82	47	86	41	111	4	19

Abbildung 6 zeigt den Einfluss der unterschiedlichen Mächtigkeiten am Beispiel der unbegrünten und begrünten Varianten aus MK1 als Summenkurve für die Zeitspanne b. An dieser Darstellung wird erneut der Einfluss der Begrünung auf die Verminderung der Sickerwasserbildung deutlich. Die höchsten Sickerwassermengen entstanden in Zeiten von Tauphasen zwischen Dezember bis April.

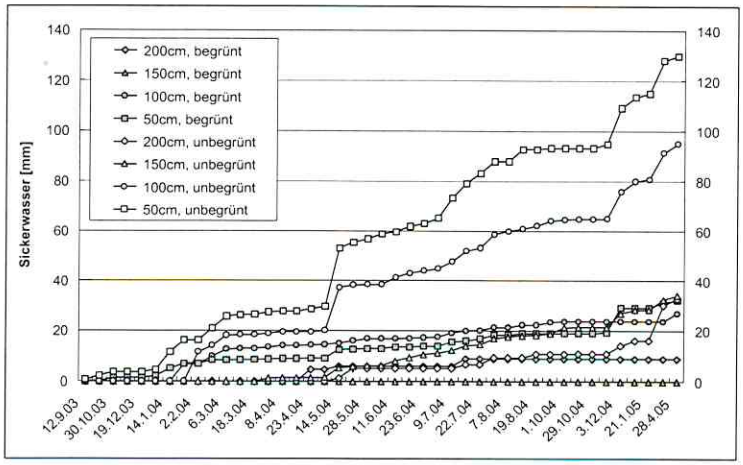


Abb. 6: Kumulierte Sickerwassermenge von unbegrünten und begrünten MK1 bei 50 cm, 100 cm, 150 cm und 200 cm Mächtigkeit während des Untersuchungszeitraumes vom 19.07.03 bis 28.04.2005 (Freilandversuch)

Neben der Verzögerung der ersten Sickerwasserbildung aufgrund des Wasserentzuges aus dem RM waren bei den begrünten Varianten geringere Gesamtsickerwassermengen festzustellen. Bei den Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen vergleichbare Ergebnisse vor. Durch verzögerte Aufsättigung wurden erst zu einem späteren Zeitpunkt Sickerwasserbildungen an den höhermächtigen RS

festgestellt. Geringfügige Abweichungen in der Reihenfolge des ersten Sickerwasseraustrittes und der Sickerwassermenge bezüglich der Mächtigkeiten sind vermutlich auf präferentielle Fliesswege oder auf mögliche Randeffekte in den Sickerwassersammlern zurückzuführen.

Die mittleren Sickerwassermengen der Einzeltermine konnten zwischen den unbegrünten und begrünten Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes nur teilweise statistisch unterschieden werden. In Tabelle 13 sind die mittleren Sickerwassermengen des Untersuchungszeitraumes b am Beispiel der 100 cm mächtigen Varianten enthalten. Neben geringeren Sickerwassermengen pro Ereignis wurden bei den begrünten Varianten weniger Sickerwasserereignisse festgestellt. Innerhalb der gesamten Untersuchungszeit lagen zwischen den unbegrünten und begrünten Varianten nur bei MK1 signifikant verschiedene Sickerwassermengen pro Ereignis vor.

Tab. 13: Durchschnittliche Sickerwassermenge pro Ereignis der 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes vom 19.07.03 bis 28.04.2005 (Freilandversuch)

Variante	Sickerwasser [mm]			Ereignisse [Anzahl]	Sickerwasser [mm]			Ereignisse [Anzahl]	Tukey-Test* [p]
	unbegrünt				begrünt				
MK1	3,2	±	4,1	30	1,2	±	1,5	22	**0,041**
MK1+Ut2	3,1	±	3,5	27	1,3	±	1,6	11	0,123
MK1+St2	3,1	±	3,1	30	2,7	±	2,2	6	0,763

*Vergleich zwischen unbegrünten und begrünten Varianten; fettgedruckte Werte sind signifikant ($p<0,05$)

4.2.3 Bodenwassergehalt

Gefäßversuch

Die Erfassung des Wassergehaltes im Boden erfolgte an den 100 cm mächtigen Varianten des Gefäßversuches 2. Aufgrund der Meßmethode wurden die Gesamtwassergehalte erfasst. In Abbildung 7 ist am Beispiel 100 cm mächtiger MK1-Varianten die jahreszeitliche Dynamik für die Untersuchungszeit vom 04.06.2003 bis 26.04.2005 ersichtlich. Die unbegrünten Varianten zeigen einen relativ gleichförmigen Verlauf und veränderten kaum ihr Niveau. Häufige Sickerwasserereignisse unbegrünter Varianten (4.2.2) geben Hinweis auf die dauerhafte Wassersättigung der RM. Die begrünten Varianten hingegen zeigten über den Verlauf eines Jahres eine starke Veränderung des Wassergehaltes. Während der Sommermonate sank der Wassergehalt bei MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 auf ein Niveau von ca. 11 und 7 mm, das in den warmen Monaten nicht weiter unterschritten wurde (Anlage 17). Zeitgleich zeigten sich an der Vegetation Welkeerscheinungen. Ab diesem Zeitpunkt war davon auszugehen, dass die verbleibende Wassermenge den PWP darstellt. Die Werte des PWP wurden mit den Werten des VT zur Ermittlung der nFK abgeglichen und liegen in Anlage 6 und 7 vor (4.1.1, 4.1.2). Das unterschiedliche Niveau des Bodenwassergehaltes der Varianten ist auf bodenphysikalische Eigenschaften der Materialien zurückzuführen. So wies beispielsweise die unbegrünte Variante MK1 einen deutlich höheren Gesamtwassergehalt als MK1+Ut2 und MK1+St2 während der gesamten Versuchsdauer auf.

Analoge Ergebnisse konnten bei den 100 cm mächtigen MK2-Varianten festgestellt werden. Auch hier wurde der jahreszeitliche Verlauf sichtbar. Während der Sommermonate ergaben sich PWP bei MK2 von 7 mm, bei MK2+Ut2 von 5 mm und bei MK2+St2 von 8 mm. Anlage 17 enthält Einzelwerte dieser Varianten.

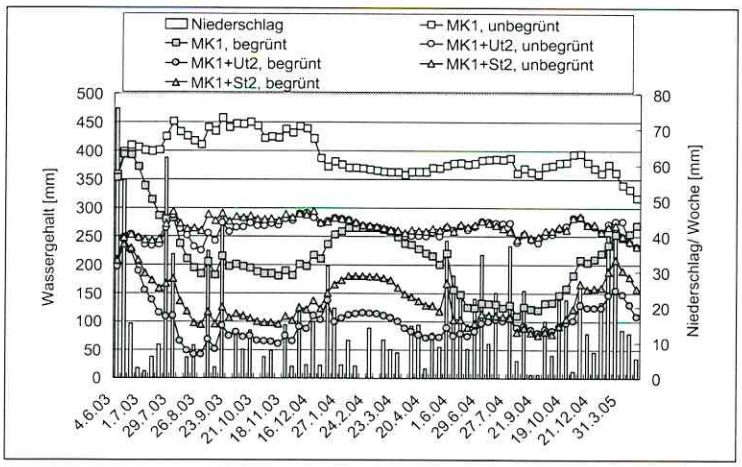


Abb. 7: Verlauf des Bodenwassergehaltes von 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 (Gefäßversuch 2)

Freilandversuch

Die Ergebnisse des Wassergehaltes in den RS wurden gravimetrisch ermittelt. Die Werte der TDR- und Tensiometermessung konnten aufgrund des unzureichenden Kontaktes zum RM nicht ausgewertet werden. Die Untersuchungen des Wassergehaltes im Freilandversuch gaben einen detaillierten Einblick in den Wasserentzug der Begrünung in Abhängigkeit von der Untersuchungstiefe. Abbildung 8 zeigt am Beispiel der unbegrünten und begrünten Varianten den jahreszeitlichen Verlauf der Wassergehaltsveränderung für die Untersuchungstiefen 0-40 cm und 80-120 cm. Analog dem Gefäßversuch ließ sich an den begrünten Varianten eine Verminderung des Wassergehaltes während der Sommerzeit feststellen. Die unbegrünten Varianten wiesen während der gleichen Zeit höhere Wassergehalte auf. Bei Vergleich des Wassergehaltes in den unterschiedlichen Bodentiefen zwischen unbegrünter und begrünter Variante wird der Bereich der Wasserentnahme durch die Wurzeln des Welschen Weidelgrases für jede Materialvariante ersichtlich. Ein Einfluss der Begrünung war bis in Bodentiefen von 80-120 cm erkennbar. Die darunter liegenden Bereiche blieben durch den Wasserentzug der Pflanze unbeeinflusst (Anlage 18). Bei MK1 wurde der Wasserentzug durch Begrünung nur in der Bodentiefe 0-40 cm festgestellt. Aufgrund der geringen Veränderung der Bodenfeuchte in den unteren Bodenschichten und den Ergebnissen der Sickerwassererfassung kann geschlussfolgert werden, dass die gewählte Begrünung ausreichend befähigt war, innerhalb der oberen Bodenbereiche den Wasserhaushalt zugunsten der Sickerwasserminimierung zu regeln. Außerdem wird daran die zwingende Notwendigkeit einer Materialmächtigkeit von mindestens einem Meter bei Verwendung von Welschem Weidelgras deutlich. Entsprechend der Problemstellung solten RS aus KSK und mineralischen Bodenmaterialien in Gebieten mit Niederschlagsmengen unter 600 mm/a aufgebaut werden. Während des Untersuchungszeitraumes von Juli 2003 bis April 2005

fielen in der Region des Freilandversuches insgesamt 745 mm Niederschlag. Davon fielen 428 mm von August 2003 bis Juli 2004 und von August 2004 bis April 2005 lediglich 317 mm. Mit einem Defizit in Höhe von 5 % und 30 %, gemessen am langjährigen Mittel, ist von Wassersättigung durch Niederschlag und Wasserentzug duch das Welsche Weidelgras, tieferer Bodenbereiche nicht auszugehen.

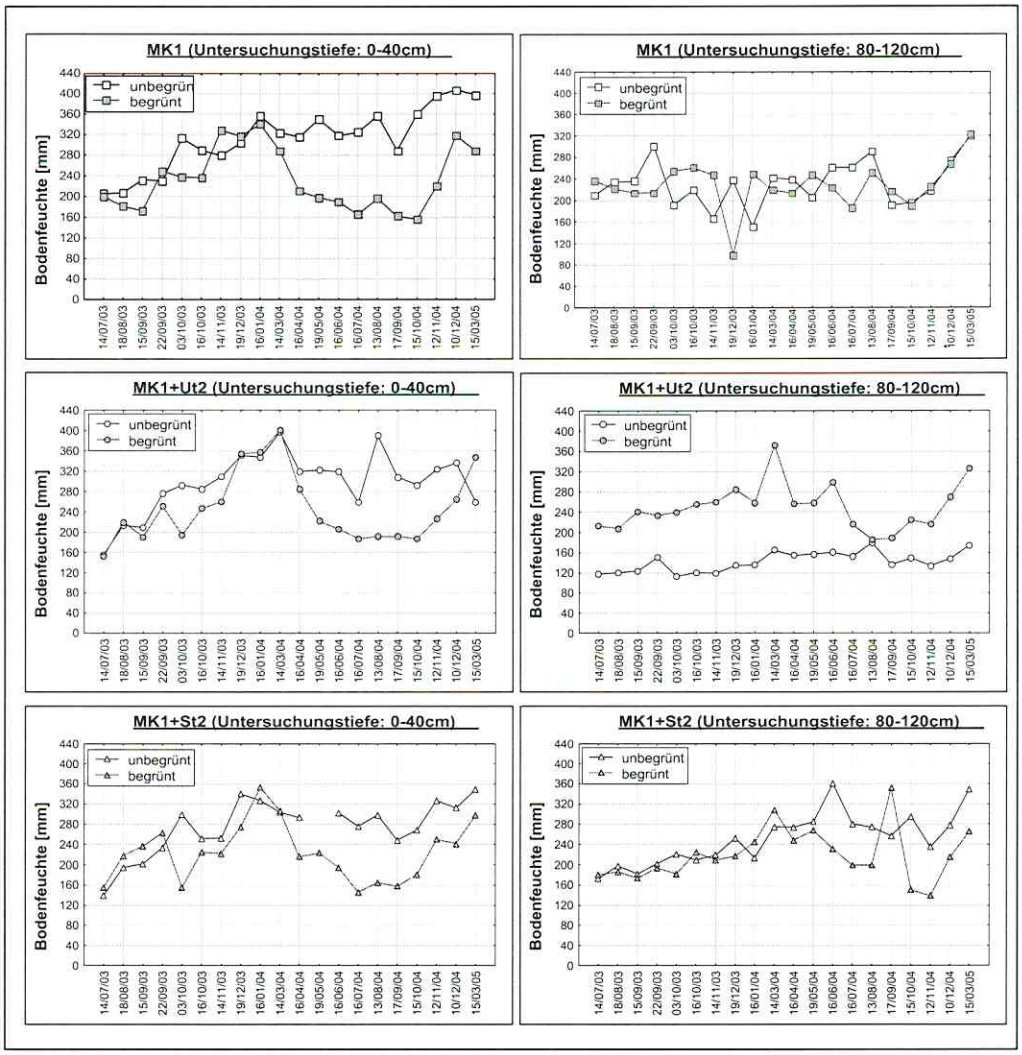


Abb. 8: Verlauf des Bodenwassergehaltes der Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 in der Untersuchungstiefe 0-40 cm und 80-120 cm (Freilandversuch)

4.2.4 Verdunstung

Gefäßversuch

Anhand der Gewichtsdifferenz unter Berücksichtigung von Sickerwasser und Niederschlag ergaben sich durch Vergleich von unbegrünten und begrünten Varianten Hinweise auf die aktuelle Evaporation

(E_A) und aktuelle Evapotranspiration (ET_A). In Abbildung 9 ist der kumulative Verlauf von E_A und ET_A dargestellt. Entsprechend der Parameter Sickerwasser und Bodenfeuchte lagen jahreszeitliche Schwankungen bei diesen Größen vor. Aufgrund höherer Temperaturen erfolgte während der Sommermonate die höchste Verdunstung von Bodenwasser. In der Zeit der Vegetationsperiode von April bis Oktober lag bei den begrünten Varianten der höchste durchschnittliche Wasserentzug vor (Anlage 19).

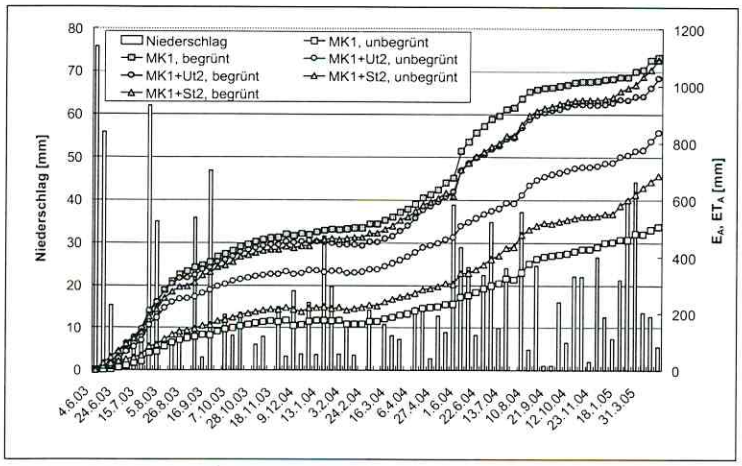


Abb. 9: Kumulierte aktuelle Evapotranspiration und Evaporation von 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 (Gefäßversuch 2)

Die Abbildung 10 zeigt die tägliche durchschnittliche Verdunstung von begrünten und unbegrünten MK1 - Varianten für die Zeitspannen April bis Oktober und November bis März.

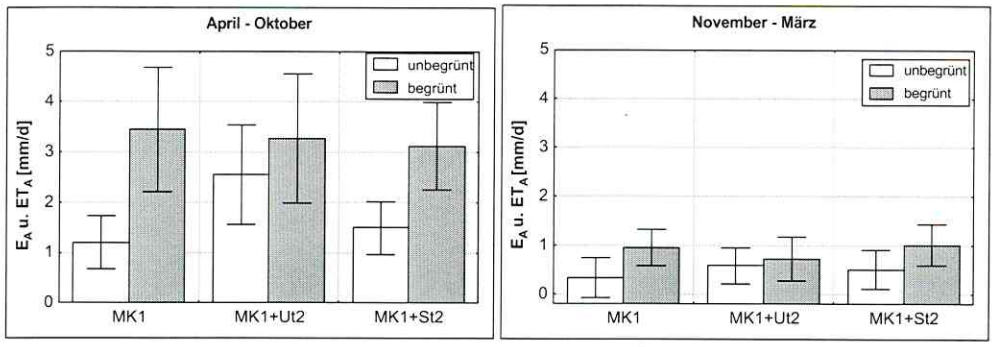


Abb. 10: Durchschnittliche tägliche Evapotranspiration und Evaporation der 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 für die Zeitspannen April bis Oktober 2004 und November 2003 bis März 2004 (Gefäßversuch 2)

Während der Sommermonate wurde bei den begrünten Varianten eine deutlich höhere Verdunstung festgestellt. Mit einem Unterschied von etwa 65 % (p=0,001) lag bei der begrünten MK1-Variante mit 3,4 mm/d ein deutlich höherer Wasserentzug als bei den unbegrünten Varianten vor. Ähnliche Unterschiede lieferten die Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2. Ein Vergleich der mittleren ET_A zwischen den Varianten während des Sommers zeigte die höchste Verdunstung bei MK1. Bei den Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden im Vergleich zum MK1 höhere Werte der E_A festgestellt.

Mineralische Bodenmaterialien fördern im Kompost den kapillaren Aufstieg von Wasser. Grobe Poren von Komposten wurden nach Zugabe von Ut2 oder St2 ausgefüllt und bilden zusätzlich Feinporen, durch die der Wasserentzug durch E_A begünstigt wird. Bestätigt werden diese Hinweise durch die E_A von Ut2 und St2 ohne Zugaben von MK1. Mit 758 mm und 818 mm wiesen diese Materialien die höchste E_A während des gesamten Untersuchungszeitraumes auf.

Während der Wintermonate lagen höhere Interzeptionsverdunstungen an der Blattoberfläche als Bodenwasserentzug durch die Vegetation vor. Beobachtungen zeigten, dass Schnee auf der Blattfläche verbleibt und durch Sonneneinstrahlung in die Gasphase übergeht. Neben der Interzeption während des Winters ergaben sich aufgrund günstiger Witterungen auch Zeiträume, in denen die Vegetation transpirationswirksam wurde.

Die Untersuchungen der MK2-Varianten ergaben ähnliche Ergebnisse. E_A und ET_A unterschieden sich zwischen den MK2-Varianten nicht so deutlich, wie an den MK1-Varianten. Aufgrund einer hohen Streuung der Einzelerhebungen lassen sich die Varianten statistisch nicht sichern ($p>0,05$).

In Tabelle 14 sind die Gesamtsummen von E_A und ET_A aller 100 cm mächtigen Varianten des Gefäßversuches 2 und die Niederschlagssumme für die entsprechenden Untersuchungszeiträume enthalten. Gemessen am gefallenen Niederschlag ließ sich die höchste ET_A am RM MK1 und MK1+Ut2 mit 102 % und 101 % feststellen. Aufgrund der Differenz zwischen Niederschlag und ET_A war eine negative Wasserbilanz festzustellen. Der Vergleich der E_A mit der ET_A eines RM gibt einen Eindruck über die Leistungsfähigkeit der Begrünung.

Tab. 14: Evapotranspiration und Evaporation der 100 cm mächtigen Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2)

Variante	Untersuchungs-zeitraum	Niederschlag [mm]	E_A [mm]	E_A %NS	ET_A [mm]	ET_A %NS
MK1			507	47	1100	102
MK1+Ut2	04.06.03-26.04.05	1076	837	78	1026	95
MK1+St2			686	64	1091	101
MK2			415	73	468	82
MK2+Ut2	30.03.04-26.04.05	568	507	89	527	93
MK2+St2			451	79	500	88
Ut2	04.06.03-26.04.05	1076	758	70	903	84
St2			818	76	801	74

Am Beispiel der MK1-Varianten gelang es, den Entzug von Bodenwasser durch Gras je nach RM auf 18 und 54 % zu erhöhen. Bei den MK2-Varianten wurde im Vergleich zur E_A der Wasserentzug durch Transpiration um 4 – 16 % gesteigert.

Freilandversuch

In Tabelle 15 sind die E_A und ET_A als Summe für alle Varianten des Freilandversuches enthalten. Der höchste Wasserentzug wurde mit 456 mm bei der begrünten 200 cm mächtigen MK1-Variante festgestellt. Dieser Wert entspricht etwa 100 % des gefallenen Niederschlages. Am Beispiel von begrüntem MK1 waren höhere ET_A bei zunehmender Mächtigkeit festzustellen. Bei den übrigen, verschieden mächtigen Varianten wurden umgekehrte Tendenzen beobachtet. Die ET_A nahm bei zunehmender Mächtigkeit ab. Vergleichbar zum Gefäßversuch war auch bei den Varianten des

Freilandversuches die Leistungsfähigkeit der Begrünung durch Transpiration feststellbar. Mit deutlich höheren Werten der ET_A wurde bei allen begrünten Varianten der höhere, sickerwasserreduzierende Wasserentzug nachgewiesen.

Tab. 15: Evapotranspiration und Evaporation von 50 cm, 100 cm, 150 cm und 200 cm mächtigen Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

		ET_A ; E_A [mm]			
Mächtigkeit [cm]		***50***	***100***	***150***	***200***
Variante					
MK1	begrünt	412	425	451	456
	unbegrünt	432	378	300	212
MK1+Ut2	begrünt	442	430	387	295
	unbegrünt	391	382	321	226
MK1+St2	begrünt	447	447	438	327
	unbegrünt	395	333	246	143

4.2.5 Modellierung der Sickerwassermenge

Tabelle 16 enthält die Modellierungsergebnisse der monatlichen Sickerwassermenge. Anhand der Ergebnisse wird der Einfluss von nFK und gefallener Niederschlagsmenge auf die entstehende Sickerwassermenge unter Annahme einer Grasvegetation deutlich.

Tab. 16: Modellierte Sickerwassermenge unter Annahme des Niederschlages der Jahre 2002, 2003 und des langjährigen Mittels (1970-2001) bei unterschiedlicher nFK, 100cm Mächtigkeit und Grasvegetation

	Niederschlag [mm]			**Sickerwassermenge** [mm]								
				nFK=15Vol.%			**nFK=34Vol%**			**nFK=37Vol%**		
Jahr	*1970-2001*	*2002*	*2003*	*1970-2001*	*2002*	*2003*	*1970-2001*	*2002*	*2003*	*1970-2001*	*2002*	*2003*
Monat												
Jan	34	15	61	20	2	-	20	2	47	20	1	47
Feb	35	25	6	10	7	-	9	6	1	9	6	1
Mrz	39	28	20	2	1	-	2	0	0	2	0	0
Apr	46	38	22	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Mai	46	53	48	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Jun	60	32	74	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Jul	64	88	40	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Aug	64	126	28	0	8	-	0	0	0	0	0	0
Sep	49	78	72	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Okt	39	43	31	0	0	-	0	0	0	0	0	0
Nov	40	100	33	0	75	-	0	20	0	0	15	0
Dez	42	70	22	14	59	-	0	59	0	0	59	0
Summe	**558**	**696**	**455**	**46**	**153**	**-**	**31**	**87**	**48**	**31**	**81**	**48**

Für das langjährige Mittel von 1970 bis 2001 konnte bei Erhöhung der nFK von 15 Vol.% auf 34 Vol.% die Sickerwassermenge um etwa 33 % gesenkt werden. Die Steigerung der nFK von 34 auf 37 Vol.% ergab keinen zusätzlichen Effekt. Für das niederschlagsreiche Jahr 2002 wurden ähnliche

Reduzierungen berechnet. Mit einer nFK von 34 bzw. 37 Vol.% wurden um ca. 44 bzw. 48 mm geringere Sickerwassermengen als bei einer nFK von 15 Vol.% ermittelt. Die höchsten und fast einzigen Sickerwassermengen wurden während der Winterzeit berechnet. Im langjährigen Mittel entstanden in der Zeit von November bis März bei einer nFK von 15 Vol.% ca. 46 mm Sickerwasser. Aus RS mit nFK von 34 und 37 Vol.% treten nach diesen Berechnungen 31 mm aus. Für die Sommermonate von April bis Oktober wurde bei allen Varianten kein Sickerwasser ermittelt. Während des niederschlagsreichen Jahres 2002 wurden für den Monat August 8 mm Sickerwasser bei der Variante mit einer nFK von 15 Vol.% ausgewiesen.

Tabelle 17 enthält die Werte der monatlichen und der gesamten Sickerwassermenge begrünter Varianten des Freilandversuches bei 100 cm Mächtigkeit und entsprechende Ergebnisse der Modellierung des Versuchsjahres 2004. Die Sickerwassermengen des Freilandversuches sind mit denen der Modellierung nicht vergleichbar (4.2.6).

Tab. 17: Sickerwassermenge der 100 cm mächtigen, begrünten Varianten (a) und Ergebnisse der Modellierung des Versuchsjahres 2004 (b) (Freilandversuch)

	Niederschlag [mm]	**Sickerwassermenge** [mm]					
		MK1 (nFK=39Vol.%)		**MK1+Ut2** (nFK=33Vol.%)		**MK1+St2** (nFK=37Vol.%)	
		a	b	a	b	a	b
Jan	53	7	43	0	43	0	43
Feb	21	3	11	5	11	2	11
Mrz	20	4	0	3	0	0	0
Apr	30	1	0	0	0	0	0
Mai	80	2	0	0	0	0	0
Jun	60	0	0	0	0	0	0
Jul	90	4	0	6	0	4	0
Aug	61	1	0	0	0	0	0
Sep	31	1	0	0	0	0	0
Okt	10	0	0	0	0	0	0
Nov	59	0	0	0	0	0	0
Dez	18	0	0	0	0	4	0
Summe	**531**	**24**	**54**	**14**	**54**	**10**	**54**

Die Niederschlagsmenge im Versuchsjahr 2004 betrug 531 mm. Bei den Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 mit einer nFK von 39, 33 und 37 Vol.% wurden im Freilandversuch etwa 5, 3 und 2 % Versickerung des Niederschlages ermittelt. Mit Hilfe der Modellierung wurden bei allen drei Varianten vergleichbare Sickerwassermengen von ca. 54 mm berechnet. Somit versickerten nach diesen Ergebnissen etwa 10% der gefallenen Niederschlagsmenge. Die höhere nFK der Variante MK1 trug nach den Ergebnissen der Modellierung im Vergleich zu MK1+Ut2 keinen zusätzlichen Effekt zur Sickerwasserreduzierung bei. Vergleichbare Hinweise gaben die Berechnungen der Sickerwassermenge der Jahre 2002, 2003 und des langjährigen Mittels (Tabelle 16). Nach Erhöhung der nFK von 33 Vol.% auf 37 Vol.% wurden keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Sickerwassermengen deutlich.

4.2.6 Diskussion

Große Teile Sachsen-Anhalts werden als mitteldeutsches Trockengebiet bezeichnet. Es zählt aufgrund der Niederschlagsmenge mit etwas über 400 mm/a als niederschlagärmster Bereich Mitteleuropas (MÜLLER-WESTERMEIER, CZEPLAK UND KREIS 2001). In Abbildung 11 sind nach METEOROLOGISCHER DIENST DER DDR (1987), MÜLLER-WESTERMEIER, CZEPLAK UND KREIS (2001), BMU (2001) UND DWD (2003) die Jahresniederschlagsmengen verschiedener Standorte Deutschlands dargestellt.

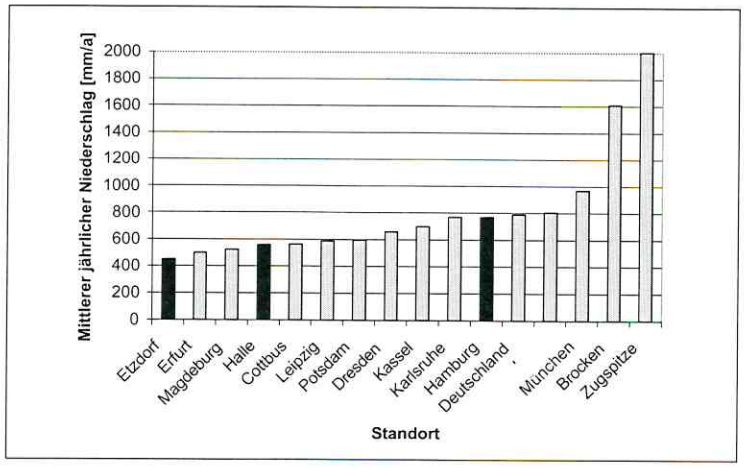


Abb. 11: Niederschlagssummen verschiedener Standorte Deutschlands

Ursache für die Niederschlagsarmut ist die geomorphologische Lage der Region. Westlich wird die Region durch den Harz abgeschirmt. Die höchste Erhebung des Harzes ist der Brocken mit 1142 m ü. NN. Die niederschlagsreichen Westwinde vom Atlantik verlieren bereits dort den größten Teil ihrer Fracht. Dadurch gelangen nur wenig Niederschläge in die östlicher gelegenen Gebiete. Weitere Höhenlagen im Südwesten, wie Kyffhäuser, Windleite, Hainleite, Schmücke, Schrecke und Finne, verstärken die Wirkung zusätzlich. Im Norden begrenzen Fläming und Colbitz-Letzlinger Heide das mitteldeutsche Trockengebiet (MÜLLER ET AL. 2001). Die langjährigen Mittel der Jahresniederschläge in Halle/ Saale von 1971 – 2001 und 1951 – 1981 betragen 476 und 558 mm/a. Über die gesamte Zeitspanne von 51 Jahren hat sich die durchschnittliche Gesamtjahresniederschlagsmenge um ca. 17 % erhöht. Der Jahresdurchschnitt der Temperaturen hat sich gemessen am langjährigen Mittel von 1951 – 1981 um 6,6 % von 9,0°C auf 9,6°C im Vergleich zum Mittel von 1971 – 2001 erhöht. Beide für die Betrachtungen wichtigen Parameter sind innerhalb der gesamten Zeitspanne von 50 Jahren deutlich angestiegen. Das langjährige Niederschlagsmittel der Region des Freilandversuches (Wetterstation Schraplau) beträgt 476 mm (METEOROLOGISCHER DIENST DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK 1987). Die Niederschläge in den Sommermonaten fallen häufig als ergiebige Gewitterregen. Diese Ereignisse können Abflußraten zur Folge haben, die nur während der Schneeschmelze überboten werden.

Während der beiden Versuchsjahre entsprach die Niederschlagsverteilung der des langjährigen Mittels beider Untersuchungsgebiete. Die Niederschlagsverteilung stellt bei entsprechend hohem

Wasserentzug durch Verdunstung eine günstige Vorraussetzung für die im Kapitel 1 formulierte Fragestellung dar. Durch Wasserentzug mittels Verdunstung während der Sommerzeit ist diese Niederschlagsverteilung vorteilhaft. Nach dem langjährigen Mittel in Höhe von 558 mm/a fielen in Halle während der Vegetationspause von November bis Ende Februar Niederschlagsmengen von etwa 147 mm (METEOROLOGISCHER DIENST DER DDR 1987). Für den Standort Etzdorf werden von DÖRING (2002) für die Wintermonate von November bis März 101 mm angegeben. Das Jahr 2002 galt nach Angaben des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (2003) in der Region um Halle/ Saale mit 696 mm/a als extrem niederschlagsreiches Jahr in Sachsen-Anhalt. Das Jahr 2002 wies während der vegetationslosen Zeitspanne Niederschläge von etwa 210 mm auf. Neben den Angaben des langjährigen Mittels und der Ergebnisse der Niederschlagsaufzeichnungen für den Versuch sind die Werte solcher Extremjahre für die Formulierung von Eigenschaften der RS zwingend heranzuziehen. RS müssen in der Lage sein, extreme Niederschlagsereignisse in Kombination zur aufgebrachten Vegetation abzupuffern.

Die Ergebnisse des Gefäß- und des Freilandversuches zeigten, dass die Sickerwassermenge hauptsächlich durch Welsches Weidelgras bis über 99 % im Vergleich zu unbegrünten Varianten reduziert wurde. Zusätzlich beeinflussen die Zusammensetzung und Mächtigkeit der Rekultivierungsschichten die Sickerwassermenge durch Verbesserung bzw. Optimierung der nFK (4.1.1, 4.1.2) und Verzögerung des Sättigungszeitpunktes. Durch Beachtung aller beeinflussbaren Größen und einer hohen nFK des RM für ein maximales Wasserspeichervermögen lassen sich folgende Bedingungen für die Minimierung der Sickerwassermenge ableiten:

1) Für die langfristige Gewährleistung der Sickerwasserverhinderung muss der Niederschlag (N) geringer als die potentielle Evapotranspiration (ET_P) sein, wodurch die Bedingung einer negativen Wasserhaushaltsbilanz formuliert ist.
2) Die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum der RS (nFK_{eff}) muss während der vegetationsfreien Zeit (VFZ) die maximal fallenden Niederschläge vollständig speichern können, da die wasserentziehende ET_A während dieser Zeit geringer als der Niederschlag ist.
3) Die Ausschöpfung des gesamten Bodenwassers erfordert eine vollständige Durchwurzelung der RS durch die Vegetation
4) Unter der Bedingung einer vollständig durchwurzelbaren RS können RM mit unterschiedlicher nFK in Abhängigkeit der Mächtigkeit der RS eingesetzt werden. Höhermächtige RS erfordern bei vollständiger Durchwurzelbarkeit geringere nFK des Materials.

In der Literatur werden ähnliche Versuchsansätze mit dem Ziel der Verringerung der Sickerwassermenge aus Rekultivierungsschichten bei Einsatz von KSK beschrieben. Ergebnisse von BENDLER (2005) zeigen zusätzliche Sickerwasserminimierung bei steigender Mächtigkeit der RS unter gleichen Niederschlagsbedingungen. Angaben über die sickerwasserreduzierende Wirkung von KSK machen u. a. LÜCKE (1997) und GOMISCEK (1999). Beide Autoren stellten in Lysimeter- bzw. Freilandversuchen eine hohe Reduzierung des Sickerwasseraufkommens nach Anwendung von KSK fest. So konnte LÜCKE (1997) an einer mit 400 t/ha KSK behandelten Variante im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante eine Reduzierung der Sickerwassermenge um fast 59 % ermitteln.

Ergebnisse aus Lysimeteruntersuchungen von GOMISCEK (1999) zeigten im Vergleich zu anderen RM-Varianten die geringsten Sickerwassermengen an RM aus 60 % KSK und 40 % „Erde".
Anhand der aktuellen Angaben aus der Literatur werden die o. g. Ergebnisse aus eigenen Untersuchungen z. T. bestätigt. Nach Kombination von Ut2 und St2 mit KSK-Produkten reduzierte sich die Sickerwasserbildung deutlich. Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen wurden bei den Varianten MK1 und MK2 im Vergleich zu MK1+Ut2, MK1+St2 bzw. MK2+Ut2 und MK2+St2 während der Untersuchungszeit höhere Sickerwassermengen festgestellt. Die höheren Sickerwassermengen sind vermutlich auf die präferentiellen Fliesswege durch die Absiebung von 25 mm und 40 mm zurückzuführen (4.2.2). Durch Kombination von MK1 bzw. MK2 mit Ut2 und St2 werden vorhandene Grobporen im MK geschlossen, für die Pflanze zusätzliches nutzbares Wasserspeichervermögen gebildet und somit die Versickerung reduziert. Sickerwasseruntersuchungen werden von verschiedenen Deponiebetreibern zur Kontrolle von Deponieabdeckschichten in betriebsinternen Untersuchungen erhoben. KRD (2002) stellte an eigens installierten Lysimetern in einer 200 cm mächtigen, aus 100 % KSK bestehenden Deponieabdeckschicht, eine Versickerung von etwa 4,8 % des gefallenen Niederschlages über die Kalenderjahre von 1999 bis 2002 fest. Bei Anwendung von RS als alleiniges Dichtungselement auf Deponien kann nicht von einem wasserdichten System ausgegangen werden. Präferentielle Fliesswege, verursacht durch Durchwurzelungen, Bioturbationen und Rissbildungen, können immer Ursache für Durchsickerungen sein.
Die Untersuchungen der Varianten im Gefäßversuch ergaben während der Winterzeit bei Wechsel von Tau- und Frostphase die höchsten Sickerwassermengen. SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) beschreiben Vorgänge zum Wassertransport durch Temperaturunterschiede. Während des Absinkens der Bodentemperatur unter den Gefrierpunkt erhöht sich der Wassergehalt in den gefrorenen Bereichen. Bedingt durch den geringen Durchmesser der Bodensäulen erfolgte eine unmittelbare Angleichung der Boden- an die Außentemperatur. Aus diesem Grund konnte der Einfluss von Mächtigkeiten auf die Sickerwassermenge nur im Zeitraum zwischen zwei Winterzeiten untersucht werden. Ähnliche Beobachtungen wurden an den meisten anderen RM ebenfalls gemacht.
Vergleichbare Tendenzen ergaben die Berechnungen der Sickerwassermenge mit dem Einschicht-Bodenfeuchtemodell nach J. UND G. MÜLLER (2001). Die höchsten Sickerwassermengen wurden für den Zeitraum von November bis März berechnet. Während der Sommerzeit war nach den Berechnungen von keiner Versickerung auszugehen. Die Annahmen für die Modellierung waren mit den Versuchsbedingungen der 100 cm mächtigen Varianten des Freilandversuches vergleichbar. Die nFK der Materialien des Freilandversuches entsprach mit ca. 33 Vol.% bis 39 Vol.% (4.1.2) den angenommenen Werten für die Modellierung. Die Vegetation als Gras und die dazugehörige Durchwurzelungstiefe von 100 cm waren sowohl Grundlage für die Berechnung als auch Versuchsmethode im Freilandversuch. Nach den Berechnungen versickern im langjährigen Mittel ca. 5,5 % des gefallenen Jahresniederschlages. Die Untersuchungen der Sickerwassermenge im Freilandversuch ergaben mit ca. 5, 3 und 2 % des Niederschlages während des Versuchsjahres 2004 ähnliche Werte. Die Sickerwassermenge vorliegender Untersuchungen war geringer als die modellierte Menge. Ursache für die höheren Sickerwassermengen der Modellierung kann in der 100 %igen Wassersättigung der nFK der Materialien zu Beginn des berechneten Jahres liegen. Die

Annahme der vollständigen Wassersättigung ist modellspezifisch und daher bei der Auswertung der Ergebnisse zu berücksichtigen. Im Freilandversuch wurde während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei den begrünten Varianten keine vollständige Wassersättigung festgestellt. Mit diesem Hintergrund können die Ergebnisse der Modellierung mit denen des Freilandversuches nicht identisch sein. Die höheren Sickerwassermengen der Variante MK1 im Vergleich zu MK1+Ut2 und MK1+St2 sind bei höherer nFK auf präferentielle Fliesswege durch die grobe Struktur des Materials zurückzuführen. Solche Materialunterschiede wurden bei dieser Modellierung nicht berücksichtigt und können demnach zu Unterschieden zwischen berechneten und gemessenen Ergebnissen führen.

Vergleichbare Modellierungsergebnisse stellte BENDLER (2005) am Standort Leuna mit Sickerwassermengen von etwa 5 % des gefallenen Niederschlages bei einer nFK von etwa 30 Vol.% und Grünlandvegetation fest. Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell „HELP" der Version „Marquard" (BENDLER 2005) untermauerten diese Messwerte mit Angaben von etwa 5 % versickertem Niederschlag. MÜLLER ET AL. (2001) berechneten für den Standort Halle/Saale die Sickerwassermenge an der Untergrenze einer 170 cm mächtigen Lößschicht mit einer Vegetation von Gras unter Verwendung der Witterungsdaten von 1900 bis 1999 und Annahme einer nFK von 18 Vol.%. Für diese Zeit wurden für die erste Hälfte des Jahrhunderts bei durchschnittlich 564 mm Niederschlag pro Jahr ca. 7,3 % Sickerwasser berechnet. In der zweiten Hälfte des Berechnungszeitraumes wurden bei einer mittleren Niederschlagsmenge von 523 mm/a ca. 5,8 % Sickerwassermenge ermittelt. Die Sickerwassermenge variierte während dieser Zeit in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge zwischen 0 und 178 mm/a. An Standorten mit einer mittleren jährlichen Niederschlagsmenge von unter 600 mm kann bei Verwendung von klärschlammkomposthaltigen Materialien mit einer nFK von bis zu 39 Vol.% von deutlich geringeren Sickerwassermengen ausgegangen werden.

Die Tendenzen der Bodenfeuchtedynamik von Gefäß- und Freilandversuch sind vergleichbar. In beiden Versuchsanlagen lag während der Sommerzeit eine Bodenwassergehaltsverminderung und im Winter eine Wiederauffüllung des gespeicherten Wassers vor. Aus Untersuchungen von DOMMERMUTH UND TRAMPF (1995) an den Bodenarten Sand, lehmiger Sand, sandiger Lehm und Lehm des Bundeslandes Sachsen-Anhalt sind analoge Tendenzen ersichtlich. In den meisten Fällen sinkt ab März der Bodenwasservorrat und steigt ab September wieder an.

Der Einfluss der Begrünung auf die Bodenfeuchte war bei den Varianten des Freilandversuches unterschiedlich. An den Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 konnte bis in eine Bodentiefe von 110 cm eine Verringerung der Bodenfeuchte festgestellt werden. Welsches Weidelgras (WW) ist in der Lage, Wurzellängen bis über 1m zu entwickeln (PETERSEN 1988; HANKE ET AL. 1991; SCHIECHTL UND STERN 1992). In tiefere Bodenbereiche gelangender Niederschlag konnte durch die Wurzeln nicht mehr aufgenommen werden. Mit diesen Erkenntnissen ist für höher dimensionierte RS langfristig eine tiefer wurzelnde Vegetation zu empfehlen. Grasvegetation kann zur schnellen Begrünung und zum Initiieren des Wasserentzuges in RS herangezogen werden. Bei den unbegrünten Varianten wurde ein analoger Trend festgestellt. Aufgrund der Eigenfärbung des Materials waren Erwärmungen der RS zu erwarten (STALLJANN 1984). Durch diese Aufheizung oberer Bereiche von RS lässt sich der höhere Wasserentzug erklären. Das in tieferen Bodenschichten gespeicherte Wasser verblieb aufgrund der zu geringen kapillaren Nachlieferung im Boden.

Bei der Variante MK1 wurde nur in den obersten Bereichen ein Wasserentzug durch Begrünung festgestellt. Nach Aufbau der RS aus MK1 wurden hohe Temperaturen (4.3.6) infolge einsetzender Rotte festgestellt. Nach ihrer Anwendung können sich infolge des Sauerstoffverbrauches bei fortschreitender Rotte anaerobe Bedingungen einstellen, in deren Milieu Wurzelentwicklungen unmöglich sind. Neben den ungünstigen Bedingungen zur Wurzelausbildung durch einsetzende Rotte wirkt sich die grobe Struktur durch die Absiebung von 25 bis 40 mm der MK1- und MK2-Varianten negativ auf die Keimung der Vegetation aus.

Mit der Darstellung des Wassergehaltes der begrünten Varianten wird die Funktionsweise der RS verdeutlicht. Die in den Wintermonaten gespeicherte Wassermenge wurde bei Bedarf während der Vegetationszeit in den Sommermonaten von den Pflanzen aus den RS entzogen und an die Atmosphäre abgegeben. Mit der in der Vegetationszeit entzogenen Wassermenge wurde gleichzeitig das Wasseraufnahmevermögen im Bereich der nFK vergrößert. Im Anschluss an die Vegetationszeit müssen in den RS im Bereich der nFK ausreichend Speicherkapazitäten zur Verfügung stehen, um die Winterniederschläge speichern zu können. Mit diesem Hintergrund wird erneut die Bedeutung der Mächtigkeiten in Kombination mit der nFK und der Begrünung deutlich. Das für die Vegetation nutzbare Wasserspeichervermögen im gesamten System wird durch höhere Mächtigkeiten gesteigert, wodurch höhere Niederschlagsmengen während der Winterzeit gespeichert werden können. Durch entsprechende Vegetation wird dieses Wasser in der folgenden Vegetationsperiode entzogen. Aus der Dynamik des Bodenwassers wird die kritische Phase der Winterzeit bezüglich der Sickerwasserbildung deutlich. Mit dem Ziel der Minimierung von Sickerwasser aus RS müssen die meteorologischen Klimadaten der Wintermonate als wichtige Planungsgrundlage für den Aufbau herangezogen werden.

Im Gefäß- und Freilandversuch wurde an allen RM-Varianten ein hoher Bodenwasserentzug festgestellt. ET_A und E_A wiesen am Beispiel der 100 cm mächtigen Varianten im Gefäßversuch deutlich höhere Werte auf als am Freilandversuch. Ursache dafür war in der direkten Sonneneinstrahlung auf den gesamten Bodenkörper zu sehen. Mit einem Wasserentzug von bis zu 100 % gemessen am gefallenen Niederschlag kann eine Versickerung und demzufolge eine Grundwasserneubildung unterbunden werden. Ursache für den höchsten Wasserentzug durch ET_A an der MK1-Variante des Gefäßversuches sind hohe transpirationswirksame Biomasseentwicklungen auf dieser Variante (4.2.2). Die Mittelwerte der E_A der unbegrünten Varianten geben Hinweise auf das Vermögen zur kapillaren Wassernachlieferung der Materialien aus tieferen Bereichen. Mit ungleichmäßiger Struktur und Verteilung von Aggregaten sind Kompostmaterialien Torfen sehr ähnlich (LECHNER UND KLAGHOFER 1981). Neben zu großen Benetzungswinkeln in Komposten (HARTGE 1999) beschreiben BARTELS UND KUNTZE (1973) die Verminderung der Wassernachlieferung durch eingeschränkte Benetzungsfähigkeit organischer Substanz. Die Mittelwerte der E_A von MK1+Ut2 und MK1+St2 verdeutlichen das höhere kapillare Wassernachlieferungsvermögen der Varianten mit mineralischem Bodenmaterial als bei MK1.

Anhand der Beispiele der 100 cm mächtigen Varianten des Gefäßversuches und der 50 und 100 cm mächtigen Varianten des Freilandversuches wurden bei fast allen RM-Varianten annähernd die gesamten Niederschläge durch ET_A in die Atmosphäre abgegeben. Der DWD (2003) gibt für verschiedene Standorte Deutschlands durchschnittliche ET_A für die Bodenarten Sand und Lehm in

Höhe von 337 bis 394 mm bei einer Grasvegetation an (Dommermuth und Trampf 1995). Die Ergebnisse des Gefäßversuches wiesen bei den MK1-Varianten mit >700 mm ET_A sehr hohe Werte auf und lagen somit um etwa 100 % über den Angaben des DWD (2003). Ursache dafür war die o. g. Sonneneinstrahlung durch die solche Ergebnisse überschätzt werden und nur eingeschränkt auf natürliche Bedingungen übertragbar sind. Die Werte des Freilandversuches lagen mit denen des DWD (2003) auf einem vergleichbaren Niveau und erscheinen deshalb plausibel. Mit ET_A zwischen 412 - 456 mm für MK1 und 447 - 327 für MK1+St2 lagen die Werte des Freilandversuches um etwa 6 bis 26 % über den Werten des DWD (2003) in der Region. Ursache der höheren ET_A waren optimale Wachstumsbedingungen für die Pflanze durch das RM. Optimale Durchlüftung, Wasserangebot und Nährstoffverfügbarkeit sind zur Entwicklung transpirationswirksamer Biomasse förderlich. Untersuchungen von SCHNEIDER UND KLEIN (2005) und BENDLER (2005) zeigten auf unterschiedlichen Deponiestandorten Deutschlands weitaus höhere ET_A für Gras. Bei diesen Untersuchungen wurden von SCHNEIDER UND KLEIN (2005) ET_A für Gras in Höhe von 442 bis 497 mm/a festgestellt. Messwerte von BENDLER (2005) am Standort Leuna in Höhe von 650 und 538 mm/a wurden durch nachträgliche Berechnung mit dem HELP-Modell (Version Marquard) bestätigt. Diese Beispiele zeigen, dass Gras am Freilandversuch seine Leistungsfähigkeit nicht erreicht hat. Ursache dafür kann die geringe Jahresniederschlagsmenge sein. Die teilweise sehr geringen Niederschlagsmengen wurden durch die oberirdische Biomasse interzipiert. Beobachtungen zeigten während der Sommermonate erhebliche Welkeerscheinungen am Grasbestand. Spätere intensive Starkniederschlagereignisse und Versickerungen nach der Winterperiode konnten durch den lückenhaften Grasbestand teilweise nicht ausreichend abgefangen werden, so dass Versickerungen möglich waren.

4.3 Chemische Parameter

4.3.1 Rekultivierungsmaterial

4.3.1.1 Gesamtstickstoff

Gefäßversuch

In Abbildung 12 sind die Anteile von NO_3-N, NH_4-N und N_{org}-N in der Summe als N_t der verwendeten RM dargestellt.

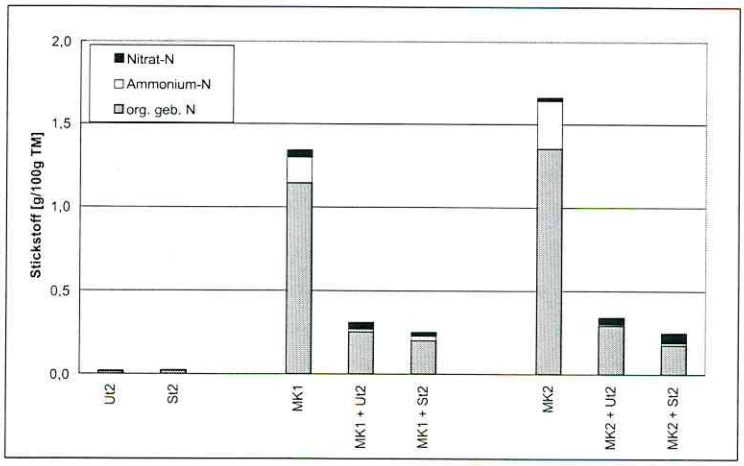


Abb. 12: N-Komponenten der eingesetzten Rekultivierungsmaterialien (Gefäßversuch)

MK1 und MK2 wiesen mit 85 % und 81 % organisch gebundenem Stickstoff (N_{org}) am N_t nur geringe Unterschiede auf. Der Rottegrad von MK1 und MK2 wurde durch ein C/N-Verhältnis von 16 und 15 charakterisiert. MK2 enthält geringfügig höhere NH_4-N–Gehalte als MK1. Die beiden Bodenmaterialien Ut2 und St2 besaßen nur geringe Stickstoffgehalte. Mit 0,02 % N_t sind beide Bodenmaterialien, gemessen am N_t von MK1 mit 1,4 %, als fast stickstofffrei bzw. -arm zu bezeichnen. Die Mischungsvarianten MK1 (MK2)+Ut2 und MK1 (MK2) +St2 enthielten deutlich niedrigere N_t-Gehalte als die reinen MK der jeweiligen Varianten. Obwohl die RM durch Vermischung von jeweils 50 Vol.% MK und 50 Vol.% Bodenmaterial hergestellt wurden, betrugen die N_t-Gehalte von MK1+Ut2 und MK1+St2 etwa 25 % und 20 % des N_t von MK1; bei MK2+Ut2 und MK2+St2 jeweils etwa 20 und 17 % des N_t von MK2 (Anlage 20).

In den jeweiligen RS ergaben sich aus verwendeter Menge an RM und den N-Gehalten unterschiedlich hohe Stickstoffvorräte. Der Aufbau einer RS mit einer Mächtigkeit von einem Meter hatte am Beispiel von MK1 N_t-Vorräte von etwa 44 t/ha zur Folge. Durch die Verwendung der nährstoffarmen Bodenmaterialien Ut2 und St2 in den RM-Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen bei einer 1m mächtigen RS lediglich 28 und 26 t/ha N_t vor. Nach alleiniger Aufbringung von Ut2 und St2 werden in den RS bei gleicher Mächtigkeit etwa 4 t/ha N_t bevorratet (Anlage 21). Aufgrund höherer N_t-Gehalte des MK2 lagen bei diesen RM-Varianten höhere N_t-Vorräte vor. Die Varianten MK2+Ut2 und MK2+St2 waren in ihrem N_t-Vorrat mit den Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 vergleichbar. Die Lagerungsdichte (LD) war bei verschiedener Mächtigkeit innerhalb jeder RM-Variante ähnlich und trug somit nicht zu spezifischen Unterschieden hinsichtlich des N_t-Vorrates bei (Tabelle 19). Bei

Verdoppelung der Mächtigkeit war demzufolge ein zweifacher N_t-Vorrat zu erwarten. Analogien lagen bei allen anderen N - Parametern vor.

Mit der Berechnung von Vorräten wurden die Mengen an pflanzenverfügbarem bzw. auswaschungsgefährdetem NO_3-N und NH_4-N ersichtlich. Nach dem Aufbau von RS aus MK1 mit einem Meter Höhe lag ein N_{min}-Vorrat von etwa 6,5 t/ha vor. Die Verwendung von MK1+Ut2 und MK1+St2 hatte in der RS N_{min}-Vorräte von etwa 5 t/ha zur Folge. Aufgrund der geringen NO_3-N-Gehalte in MK2 fiel der entsprechende Vorrat im Vergleich zum NH_4-N gering aus. Die Varianten MK2+Ut2 und MK2+St2 wiesen aufgrund eingeleiteter Nitrifikationsprozesse im Vergleich zum NH_4-N höhere NO_3-N-Gehalte auf.

Freilandversuch

Für den Aufbau der Parzellen des Freilandversuches wurden die gleichen Materialien der MK1-Varianten des Gefäßversuches verwendet. Aufgrund praxisorientierter Herstellung der Mischungen und der Verwendung von MK1 aus einer anderen Charge wurde die stoffliche Beschaffenheit ebenfalls untersucht. In Abbildung 13 und Tabelle 18 liegen die Ergebnisse der Analytik vor.

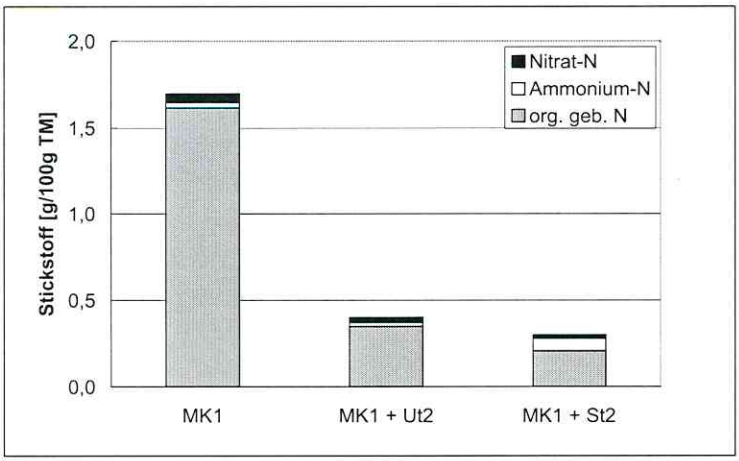


Abb. 13: N-Komponenten der eingesetzten Rekultivierungsmaterialien (Freilandversuch)

Die Materialien wiesen im Vergleich zum Gefäßversuch ähnliche N-Gehalte auf. Die teilweise sehr hohe Streuung der Einzelwerte (Anlage 22) war auf die im Vergleich zum Gefäßversuch ungenauere Mischung mit Hilfe eines Radladers zurückzuführen. In der Tabelle 18 sind horizontbezogene Angaben über die Unterschiede der für den Freilandversuch hergestellten RM-Varianten enthalten. Die N_t-Gehalte der Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 waren durch Verwendung stickstoffarmen Bodenmaterials in allen Bodentiefen im Vergleich zu MK1 signifikant niedriger. Die Unterschiede der Varianten MK1+Ut2 sowie MK1+St2 waren relativ gering und konnten statistisch nicht gesichert werden.

Tab. 18: N_t-Gehalte der Varianten im Juli 2005 (Freilandversuch)

Variante	Untersuchungstiefe [cm]	N_t [%TM]	Tukey-Test*	p
MK1	0-40	1,67 ± 0,24	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2		0,39 ± 0,07	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1+St2		0,33 ± 0,08	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,842
MK1		1,59 ± 0,23	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2	40-80	0,37 ± 0,03	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1+St2		0,33 ± 0,07	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,919
MK1		1,56 ± 0,04	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2	80-120	0,33 ± 0,02	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1+St2		0,24 ± 0,00	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,084

*Multiple einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den N_t-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Die mit dem RM aufgebrachten Stickstoffvorräte wurden für jede Mächtigkeit nach erstmaliger Beprobung ermittelt. Die Stickstoffvorräte wurden entsprechend der jeweiligen LD und der N_t-Gehalte für jede einzelne Untersuchungstiefe berechnet. In Tabelle 19 sind die berechneten Stickstoffvorräte der RS enthalten. Zusätzlich wurden die Gesamtkohlenstoffwerte zur Ermittlung des C/N angegeben. Die Anteile von Carbonat-Kohlenstoff wurden ermittelt und variierten bei allen Varianten zwischen 0,3 bis 1,0 M%. Aufgrund dieser geringen Anteile wurden sie in der Auswertung des C/N-Verhältnisses nicht berücksichtigt. Mit der Bevorratung von über 10 t/ha N_{min} am Beispiel von 100 cm mächtigem MK1 werden die Mengen an pflanzenverfügbarem und wasserlöslichem Stickstoff deutlich. Die Zumischung des stickstoffarmen Ut2 und St2 verringerte den N-Vorrat um etwa 30 - 50 % in den Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 im Vergleich zu MK1.

Tab. 19: N_t-, NO_3-N- und NH_4-N-Vorrat der Varianten im Juli 2003 (Freilandversuch)

Variante	Mächtigkeit [cm]	LD [g/cm³]	NO_3-N [t/ha]	NH_4-N [t/ha]	N_{org} [t/ha]	N_t [t/ha]	C_t [t/ha]
MK1	50	0,33	0,9	3,9	22,9	27,7	331,5
	100	0,34	1,5	9,2	44,9	55,6	680,7
	150	0,34	2,7	16,7	66,0	85,5	1035,0
	200	0,34	4,0	24,7	86,9	115,6	1391,2
MK1+Ut2	50	1,01	1,9	0,3	16,8	19,0	252,0
	100	0,9	3,3	0,6	31,0	34,9	463,4
	150	0,91	4,4	2,6	47,0	54,0	716,4
	200	0,91	5,4	4,7	63,1	73,3	972,3
MK1+St2	50	1,09	1,4	0,3	16,7	18,4	255,1
	100	1,06	2,4	0,6	30,1	33,2	474,9
	150	1,05	3,6	1,1	41,2	46,9	680,4
	200	1,05	4,8	1,6	53,8	60,2	881,6

Abbildung 14 zeigt ohne Berücksichtigung der Untersuchungshorizonte den Verlauf der durchschnittlichen N_t-Gehalte der gesamten RS. Für die Angaben wurden Mittelwerte aus allen Einzelwerten gleicher Tiefe der unterschiedlich mächtigen RS gebildet. Anhand der durchschnittlichen N_t-Gehalte der RS wird kein deutlicher Trend ersichtlich. Bei unbegrüntem und begrüntem MK1 variierten die Werte der durchschnittlichen N_t–Gehalte über den gesamten Untersuchungszeitraum

zwischen 1,37 und 1,65 g/100g TM und zwischen 1,38 bis 1,73 g/100 g TM. Bei MK1+Ut2 und MK1+St2 variieren sie bei den unbegrünten bzw. den begrünten Varianten zwischen 0,29 und 0,77 g/100g TM und zwischen 0,26 und 0,34 g/100g TM. Aus der horizontbezogenen Betrachtung resultieren ähnliche Aussagen (Anlage 23).

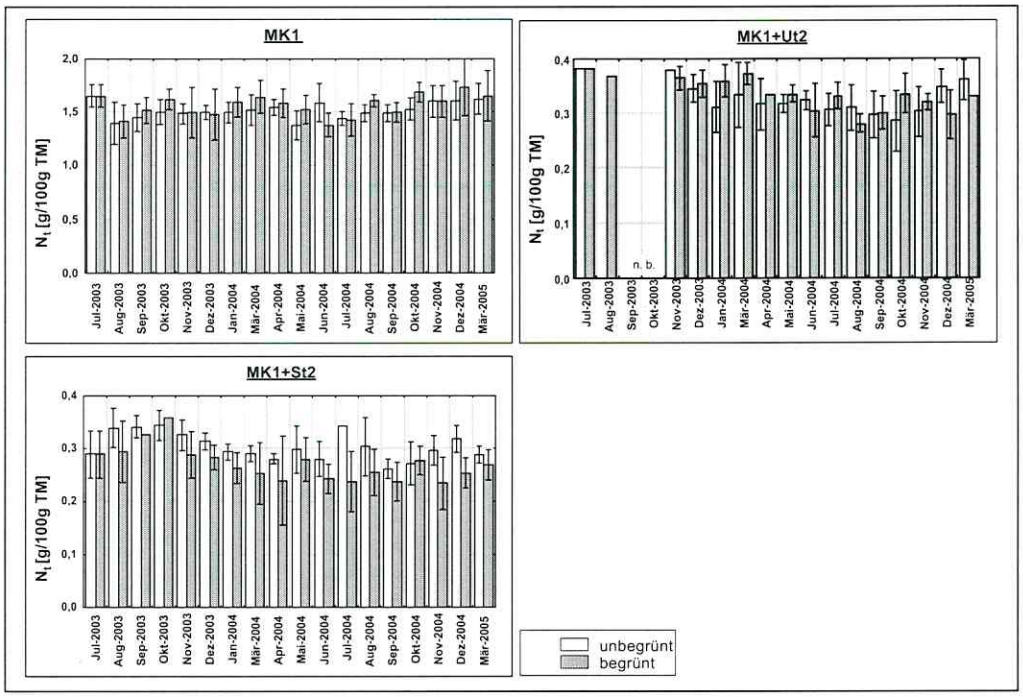


Abb. 14: Durchschnittliche N_t-Gehalte der gesamten Rekultivierungsschichten im Untersuchungszeitraum (Freilandversuch)

Der durchschnittliche N_t–Vorrat der gesamten RS veränderte sich bei unbegrüntem und begrüntem MK1 von Juli 2003 bis März 2005 um –0,03 und –0,003 %. Anhand des Verlaufes der N_t-Gehalte war von Beginn bis Ende der Untersuchungen kein sichtbarer Trend erkennbar. Die durchschnittlichen N_t – Gehalte der Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen zu Beginn der Untersuchungen bei ca. 0,37 % und 0,35 % der TM und veränderten sich zwischen Juli 2003 bis März 2005 ebenfalls nur um durchschnittlich etwa -0,02 und -0,001 % (unbegrünt) bzw. 0,05 und 0,02 % (begrünt). Bei diesen Varianten wurde die Differenz zwischen Juli 2003 und März 2005 durch einen geringfügig rückläufigen Trend der N_t-Gehalte der Einzeltermine bestätigt. Tabelle 20 gibt einen Überblick über die Veränderung des N_t-Gehaltes zwischen Juli 2003 und März 2005 für jede Untersuchungstiefe der Varianten des Freilandversuches. Die mittleren N_t-Gehalte der Horizonte sind zwischen Juli 2003 und März 2005 statistisch nicht zu unterscheiden. Die Übersicht verdeutlicht das gleichbleibende Niveau bzw. die statistisch nicht gesicherte Veränderung der N_t-Gehalte im RM während des gesamten Untersuchungszeitraumes. Die Unterschiede der N_t-Gehalte zwischen den RM im März 2005 sind mit denen im Juli 2003 vergleichbar.

Anlage 24 enthält die Ergebnisse des Mittelwertvergleiches zwischen den N_t-Gehalten der Varianten im März 2005 für jede Untersuchungstiefe. Die Unterschiede zwischen MK1+Ut2 und MK1+St2 zu

MK1 sind mit $p<0,05$ statistisch gesichert. In einigen Fällen ergaben sich im März 2005 signifikante Unterschiede im N_t-Gehalt zwischen MK1+Ut2 und MK1+St2.

Tab. 20: Mittlere N_t-Gehalte der Varianten im Juli 2003 und März 2005 (Freilandversuch)

Variante		Untersuchungstiefe [cm]	N_t [%TM] Jul 03	N_t [%TM] Mrz 05	Tukey-Test* [p]
MK1	begrünt	0 - 40	1,67 ± 0,24	1,52 ± 0,05	0,259
		40 - 80	1,59 ± 0,23	1,93 ± 0,14	0,087
		80 - 120	1,56 ± 0,04	1,75 ± -	-
	unbegrünt	0 - 40	1,67 ± 0,24	1,57 ± 0,88	0,834
		40 - 80	1,59 ± 0,23	1,75 ± -	-
		80 - 120	1,56 ± 0,04	1,73 ± -	-
MK1+Ut2	begrünt	0 - 40	0,39 ± 0,07	0,34 ± 0,00	0,242
		40 - 80	0,37 ± 0,03	0,39 ± 0,02	0,592
		80 - 120	0,33 ± 0,02	0,37 ± 0,01	0,078
	unbegrünt	0 - 40	0,39 ± 0,39	0,34 ± 0,34	0,245
		40 - 80	0,37 ± 0,03	0,35 ± 0,02	0,386
		80 - 120	0,33 ± 0,02	0,41 ± -	-
MK1+St2	begrünt	0 - 40	0,33 ± 0,08	0,27 ± 0,01	0,208
		40 - 80	0,33 ± 0,07	0,31 ± 0,00	0,650
		80 - 120	0,25 ± 0,00	0,24 ± -	-
	unbegrünt	0 - 40	0,33 ± 0,08	0,30 ± 0,05	0,538
		40 - 80	0,33 ± 0,07	0,28 ± 0,09	0,465
		80 - 120	0,25 ± 0,00	0,27 ± -	-

*signifikante Werte sind fettgedruckt

4.3.1.2 Mineralischer Stickstoff

Nitratstickstoff

Tabelle 21 enthält die mittleren NO_3-N–Gehalte für jedes untersuchte RM im Juli 2003 sowie die Ergebnisse der durchgeführten Varianzanalyse.

Tab. 21: Mittlere NO_3-N-Gehalte der Varianten im Juli 2003 (Freilandversuch)

Variante	Untersuchungstiefe [cm]	NO_3-N [mg/100gTM]	Tukey-Test*	p
MK1	0 - 40	76 ± 63	MK1 - MK1+Ut2	0,432
MK1+Ut2		42 ± 8	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,868
MK1+St2		29 ± 5	MK1 - MK1+St2	0,221
MK1	40 - 80	30 ± 15	MK1 - MK1+Ut2	0,914
MK1+Ut2		34 ± 6	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,353
MK1+St2		22 ± 3	MK1 - MK1+St2	0,550
MK1	80 - 120	29 ± 17	MK1 - MK1+Ut2	0,943
MK1+Ut2		25 ± 5	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,649
MK1+St2		15 ± 5	MK1 - MK1+St2	0,493

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Zu Beginn der Untersuchungen wurden keine statistisch gesicherten Unterschiede der NO_3-N-Gehalte zwischen den Varianten festgestellt. Die Zugabe von stickstoffärmeren, mineralischen Bodenmaterial zu MK1 ergaben keine signifikanten Unterschiede der NO_3-N–Gehalte zwischen den Varianten.
Von Juli 2003 bis März 2005 haben sich zwischen den NO_3-N–Gehalten einzelner RM signifikante Unterschiede eingestellt. Tabelle 22 enthält die NO_3-N–Gehalte der RM in Untersuchungstiefen von 0-120 cm im März 2005. Zwischen MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen keine signifikanten Unterschiede vor. Statistisch gesichert sind die NO_3-N–Gehalte zwischen MK1 und MK1+Ut2 bzw. MK1+St2. MK1 wies zum Ende der Versuche in jedem Untersuchungshorizont höhere Gehalte auf als MK1+Ut2 und MK1+St2.

Tab. 22: Mittlere NO_3-N-Gehalte der Varianten im März 2005 (Freilandversuch)

Variante		Untersuchungstiefe [cm]	NO_3-N [mg/100gTM]	Tukey-Test	p
MK1	begrünt	0-40	45 ± 7	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2			5 ± 5	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,902
MK1+St2			4 ± 2	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1		40-80	423 ± 225	MK1 - MK1+Ut2	**0,025**
MK1+Ut2			33 ± 19	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,983
MK1+St2			14 ± 3	MK1 - MK1+St2	**0,020**
MK1		80-120	319 ± 66	MK1 - MK1+Ut2	**0,009**
MK1+Ut2			21 ± 5	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,899
MK1+St2			4 ± 1	MK1 - MK1+St2	**0,008**
MK1	unbegrünt	0-40	37 ± 27	MK1 - MK1+Ut2	**0,029**
MK1+Ut2			2 ± 1	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,999
MK1+St2			2 ± 2	MK1 - MK1+St2	**0,031**
MK1		40-80	303 ± 86	MK1 - MK1+Ut2	**0,001**
MK1+Ut2			25 ± 5	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,942
MK1+St2			11 ± 5	MK1 - MK1+St2	**0,001**
MK1		80-120	318 ± 95	MK1 - MK1+Ut2	**0,028**
MK1+Ut2			30 ± 11	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,965
MK1+St2			15 ± 12	MK1 - MK1+St2	**0,025**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Tabelle 23 enthält Angaben zur Differenz der NO_3-N–Gehalte der RM zwischen März 2005 und Juli 2003.

Tab. 23: Differenzen der NO_3-N – Gehalte (Juli 2003 und März 2005) der Varianten in unterschiedlichen Untersuchungstiefen (Freilandversuch)

	MK1		**MK1+Ut2**		**MK1+St2**	
	NO_3-N (t1)* - NO_3-N (t0)** [mg/100g TM]					
Untersuchungs-tiefe [cm]	unbegrünt	begrünt	unbegrünt	begrünt	unbegrünt	begrünt
0-40	-38,58	-30,62	-40,12	-36,94	-26,45	-25,32
40-80	273,02	392,63	-8,71	-0,34	-10,66	-7,59
80-120	288,72	290,08	4,07	-4,28	0,13	-11,17
120-160	160,64	81,64	-16,25	2,75	-12,43	-13,43

*t1 (März 2005); **t0 (Juli 2003)

Mit Ausnahme der Tiefe von 40 bis 160 cm bei MK1 wurden bei MK1+Ut2 und MK1+St2 in fast allen Untersuchungstiefen negative Differenzen ermittelt. Die Unterschiede der NO_3-N–Gehalte zwischen Juli 2003 und November 2003 sowie vom November 2003 und März 2005 konnten nur teilweise

statistisch gesichert werden. Bei einigen Beispielen wurden Standardabweichungen von bis zu ca. 100 % des Mittelwertes festgestellt. In der gesamten RS wurde bei unbegrüntem und begrüntem MK1 ein durchschnittlicher Anstieg des NO_3-N von 170 und 183 mg/100g TM festgestellt. Die unbegrünten und begrünten RS aus MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen jeweils mit –15 und –10 mg/100g TM bzw. –12 und –14 mg/100g TM einen durchschnittlich sinkenden Gehalt an NO_3-N auf.

Zur Auswertung des Verlaufes der Nitratstickstoffgehalte (NO_3-N) in den RM wurden die Ergebnisse gleicher Untersuchungstiefen der unterschiedlich mächtigen RS als Mittelwert zusammengefasst. Abbildung 15 zeigt den Verlauf der NO_3-N–Gehalte der Varianten in verschiedenen Untersuchungstiefen.

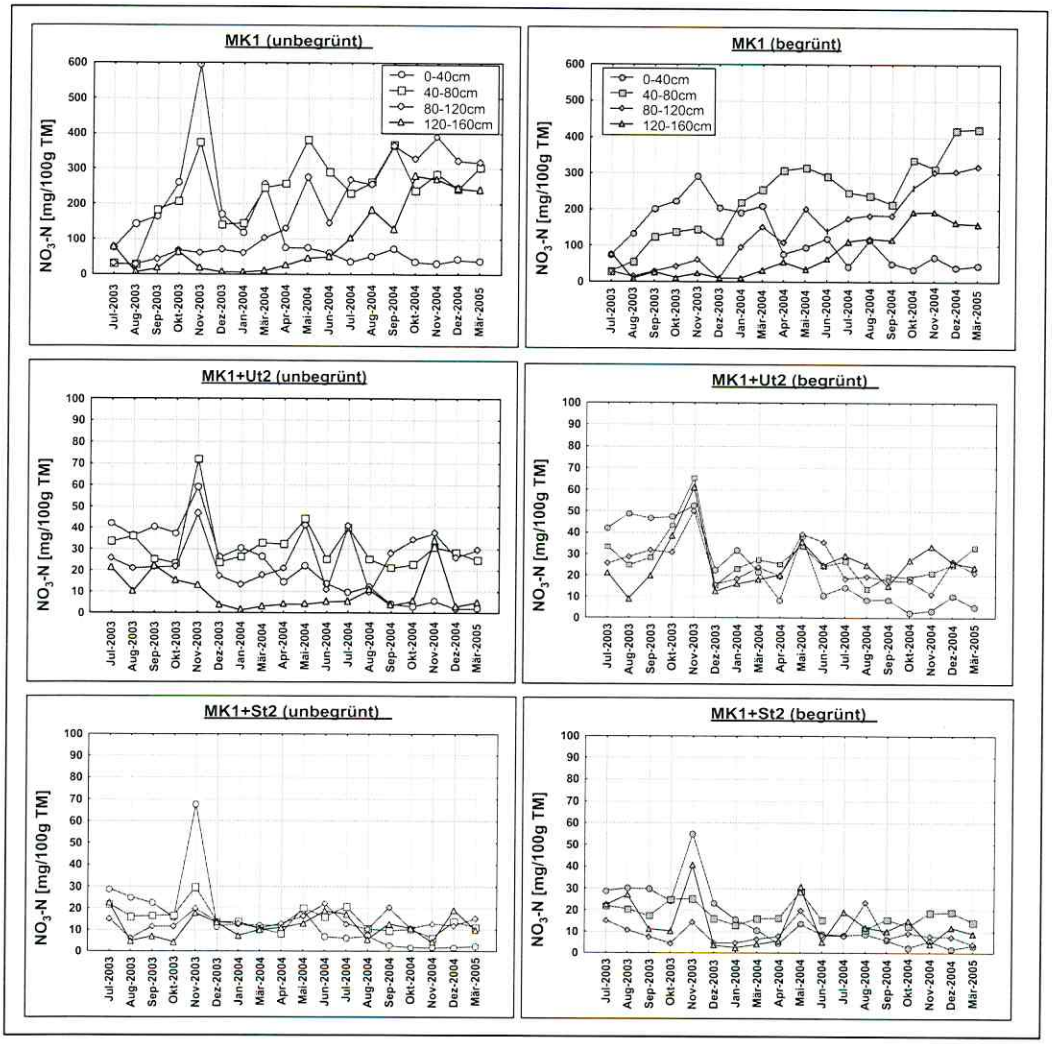


Abb. 15: Durchschnittliche NO_3-N–Gehalte der Rekultivierungsmaterialien in unterschiedlicher Bodentiefe während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Einzelwerte jeder Untersuchungstiefe für die Untersuchungstermine enthält Anlage 25. Während der ersten drei Monate des Untersuchungszeitraumes war insbesondere in den oberen Bereichen der RS

ein kurzzeitiger Anstieg der NO_3-N–Gehalte feststellbar. Bei den unbegrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 stiegen in der Zeit von Juli bis November 2003 im Bereich von 0 - 40 cm die NO_3-N–Gehalte auf etwa 600, 60 und 70 mg/100g TM um 600, 75 und 100 % an.

Ähnlichkeiten in der Entwicklung der NO_3-N–Gehalte wurden bei den begrünten Varianten und in den Untersuchungstiefen von 40-80 cm festgestellt. Ab Oktober 2003 zeichnete sich ein differenzierter Verlauf zwischen den RM ab. Während die NO_3-N–Gehalte bei MK1 in den obersten Bereichen bereits sanken, war ein Anstieg in den Bereichen von 40 - 160 cm erkennbar. Bei MK1+Ut2 und MK1+St2 sanken die NO_3-N–Gehalte in jeder Untersuchungstiefe ab November 2003 im Verlauf des weiteren Untersuchungszeitraumes fast kontinuierlich.

Ammoniumstickstoff

Tabelle 24 enthält die für den Zeitpunkt Juli 2003 festgestellten Ammoniumstickstoffgehalte (NH_4-N) für alle Varianten und jede Untersuchungstiefe. Anhand der Mittelwerte ließen sich erwartungsgemäß nach Vermischung von MK1 mit dem mineralischen Bodenmaterial deutliche Unterschiede zwischen MK1 und MK1+Ut2 bzw. MK1+St2 erkennen, die in den Untersuchungstiefen 40-80 cm und 80-120 cm signifikant verschieden sind. Im obersten Bereich waren die Unterschiede aufgrund hoher Streuung statistisch nicht zu sichern.

Tab. 24: Mittlere NH_4-N-Gehalte der Rekultivierungsmaterialien im Juli 2003 (Freilandversuch)

Variante	Untersuchungstiefe [cm]	NH_4-N [mg/100gTM]	Tukey-Test*	p
MK1	0-40	167,4 ± 182,7	MK1 - MK1+Ut2	0,132
MK1+Ut2		6,0 ± 2,1	MK1+Ut2 - MK1+St2	1,000
MK1+St2		5,8 ± 1,0	MK1 - MK1+St2	0,131
MK1	40-80	286,9 ± 48,0	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2		5,8 ± 1,2	MK1+Ut2 - MK1+St2	1,000
MK1+St2		6,0 ± 2,1	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1	80-120	334,8 ± 18,7	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2		6,9 ± 0,9	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,993
MK1+St2		5,6 ± 1,3	MK1 - MK1+St2	**0,000**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Von Juli 2003 haben sich bis zum März 2005 zwischen den NH_4-N–Gehalten einzelner RM keine signifikanten Unterschiede eingestellt. Anlage 27 enthält Mittelwerte der NH_4-N–Gehalte aller Varianten und Untersuchungstiefen für die Termine Juli 2003, November 2003 und März 2005. Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Varianzanalyse im Vergleich der Termine aufgeführt. Aufgrund hoher Streuungen sind die Unterschiede der NH_4-N–Gehalte in den RS zwischen den Monaten nur in wenigen Fällen signifikant verschieden. Statistische Unterschiede zwischen den Varianten im März 2005 in allen Untersuchungstiefen wurden nicht festgestellt (Anlage 28).

Tabelle 25 enthält die Differenzen der NH_4-N–Gehalte zwischen den Beprobungsterminen März 2005 und Juli 2003. Bei allen RS ließ sich im Trend eine negative Bilanz der NH_4-N–Gehalte ermitteln. Die höchsten Differenzen der NH_4-N–Gehalte der gesamten RS konnten mit vergleichbaren Werten an unbegrüntem und begrüntem MK1 mit etwa 321 mg/100g TM festgestellt werden. Bei MK1+Ut2 und

MK1+St2 reduzierte sich der Gehalt in der gesamten RS um durchschnittlich 18 und 6 mg/100g TM. Bei MK1 war eine stärkere Reduzierung von NH_4-N mit zunehmender Bodentiefe feststellbar. Bei MK1+Ut2 und MK1+St2 traten in der untersten Bodenschicht die höchsten Differenzen auf.

Tab. 25: Differenzen der NH_4-N–Gehalte (Juli 2003 und März 2005) der Varianten in unterschiedlichen Untersuchungstiefen (Freilandversuch)

	MK1		**MK1+Ut2**		**MK1+St2**	
	NH_4-N (t1)* - NH_4-N (t0)** [mg/100g TM]					
Untersuchungs-tiefe [cm]	unbegrünt	begrünt	unbegrünt	begrünt	unbegrünt	begrünt
0-40	-166,51	-166,11	-5,81	-5,58	-5,49	-5,53
40-80	-286,04	-285,81	-5,35	-5,57	-5,64	-5,68
80-120	-334,03	-333,63	-6,65	-6,68	-3,41	-5,33
120-160	-502,09	-502,95	-56,42	-56,46	-10,10	-10,46

*t1 (März 2005); **t0 (Juli 2003)

In der Abbildung 16 ist der Verlauf der NH_4-N–Gehalte der RS dargestellt. Bei allen Varianten war unmittelbar nach dem Aufbau der RS (bis etwa Oktober / November 2003) ein maximaler Anstieg der NH_4-N–Gehalte feststellbar. Bei MK1 wurde in diesem Zeitraum ein einmaliger Anstieg der NH_4-N – Gehalte von ca. 1400 mg/100g TM im Horizont von 120-160 cm ermittelt. Bei MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen die Maximalgehalte bei etwa 70 und 50 mg/100g TM im gleichen Horizont. Nach diesem einmaligen Anstieg der Gehalte war bei unbegrüntem und begrüntem MK1 in der weiteren Untersuchungszeit in jeder Untersuchungstiefe eine kontinuierliche Reduzierung der Gehalte auf ca. 1 mg/100g TM festzustellen. An den RS aus MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden im Mai 2004 bei sinkendem Trend der NH_4-N–Gehalte an einigen Untersuchungstiefen einmalige Maximalgehalte von etwa 40 mg/100g TM nachgewiesen. Bis zum März 2005 war analog MK1 eine Reduzierung der Gehalte auf ca. 0,3 und 0,4 mg/100g TM feststellbar (Anlage 26).

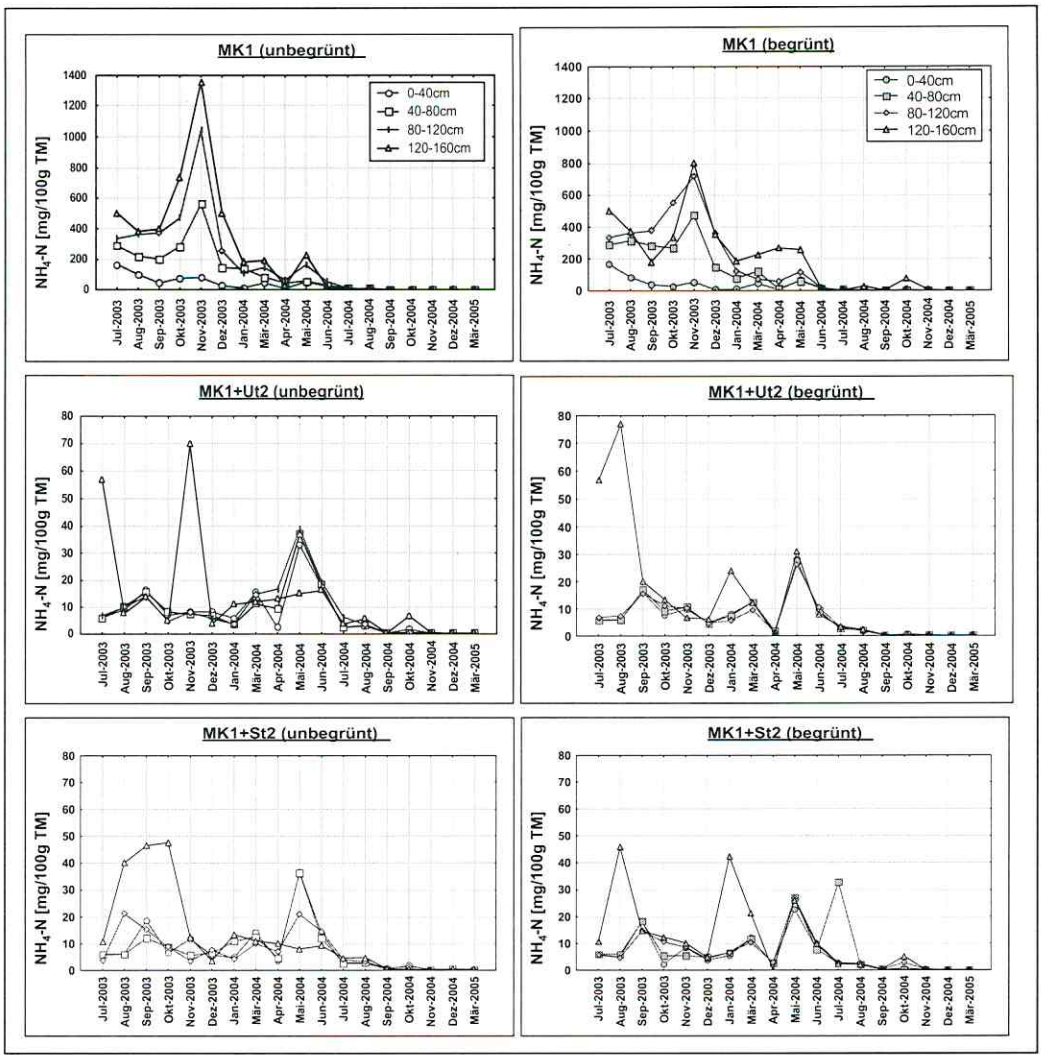


Abb. 16: Durchschnittliche NH_4-N–Gehalte der Rekultivierungsmaterialien während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Mineralischer Stickstoff

In Tabelle 26 sind die N_{min}–Gehalte und die Ergebnisse der Varianzanalyse zwischen den RM für Juli 2003 angegeben. Erwartungsgemäß lagen in MK1 statistisch höhere N_{min}–Gehalte als bei MK1+Ut2 und MK1+St2 vor. Die N_{min}–Gehalte in MK1+Ut2 sind mit denen von MK1+St2 vergleichbar. Die mittleren N_{min}–Gehalte in einem RM ließen sich zwischen den Beprobungszeitpunkten Juli 2003, November 2003 und März 2005 nur an wenigen Beispielen signifikant unterscheiden. Häufig lagen Standardabweichungen von bis zu 100 % des Mittelwertes vor, so dass sich die Werte zu diesen Terminen nicht statistisch unterschieden. Zum Abschluss der Untersuchungen (März 2005) wurden zwischen den eingesetzten RM erneut Unterschiede der N_{min}–Gehalte ermittelt. Während im Juli 2003 in MK1 geringere N_{min}–Gehalte als in MK1+Ut2 und MK1+St2 vorlagen, wurden im März 2005 signifikant höhere Gehalte festgestellt.

Tab. 26: Mittlere N_{min}-Gehalte der Varianten im Juli 2003 (Freilandversuch)

Variante	Untersungstiefe [cm]	N_{min} [mg/100gTM]	Tukey-Test	p*
MK1	0-40	243 ± 131	MK1 - MK1+Ut2	**0,014**
MK1+Ut2		48 ± 8	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,967
MK1+St2		35 ± 5	MK1 - MK1+St2	**0,010**
MK1	40-80	317 ± 35	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2		39 ± 6	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,787
MK1+St2		28 ± 3	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1	80-120	364 ± 36	MK1 - MK1+Ut2	**0,002**
MK1+Ut2		41 ± 8	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,664
MK1+St2		21 ± 6	MK1 - MK1+St2	**0,001**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Die N_{min}–Gehalte von MK1+Ut2 und MK1+St2 unterschieden sich im März 2005 nicht signifikant. Anlage 30 enthält die mittleren N_{min}–Gehalte der Varianten für März 2005 und die Ergebnisse der Varianzanalyse.

Abbildung 17 zeigt den Verlauf des N_{min} in jedem untersuchten Horizont. In den RS nahmen die N_{min} – Gehalte in den ersten Monaten nach Aufbau der RS zu. Bei unbegrüntem und begrüntem MK1 stiegen die Werte in allen Beprobungstiefen auf 674 bis 1373 mg/100g TM und auf 345 bis 826 mg/100g TM je nach Untersuchungstiefe an (Anlage 29). Nach diesen einmaligen Maximalkonzentrationen war entsprechend den Parametern NO_3-N und NH_4-N eine Reduzierung des N_{min}–Gehaltes festzustellen. Die Gehalte der unbegrünten und begrünten MK1–Varianten sanken während der weiteren Untersuchungszeit je nach Untersuchungstiefe auf Werte zwischen 37 bis 318 mg/100g TM und 46 bis 424 mg/100g TM ab. Die N_{min}–Gehalte verlaufen bei MK1+Ut2 und MK1+St2 nicht gleichermaßen. Analog MK1 erfuhren die RS während des Novembers ein Maximum an N_{min}. Unbegrüntes und begrüntes MK1+Ut2 wies zu dieser Zeit je nach Untersuchungstiefe N_{min}-Gehalte zwischen 54 bis 83 mg/100g TM auf. Bei MK1+St2 lagen Werte zwischen 23 und 79 mg/100g TM vor. Im Mai 2004 wurde ein nochmaliger Anstieg auf vergleichbarem Niveau festgestellt. Die beiden kurzzeitigen Maximalgehalte des N_{min} geben Hinweise auf das Wechselspiel zwischen Netto – Mineralisierung und Immobilisierung während des Untersuchungszeitraumes. Im Untersuchungszeitraum zwischen Mai 2004 und März 2005 sanken die N_{min}-Gehalte der unbegrünten und begrünten RS aus MK1+Ut2 und MK1+St2 auf 2 bis 33 mg/100g TM und 3 bis 16 mg/100g TM je nach Untersuchungstiefe ab. MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 zeigten einen rückläufigen Trend der N_{min}–Gehalte während des gesamten Untersuchungszeitraumes.

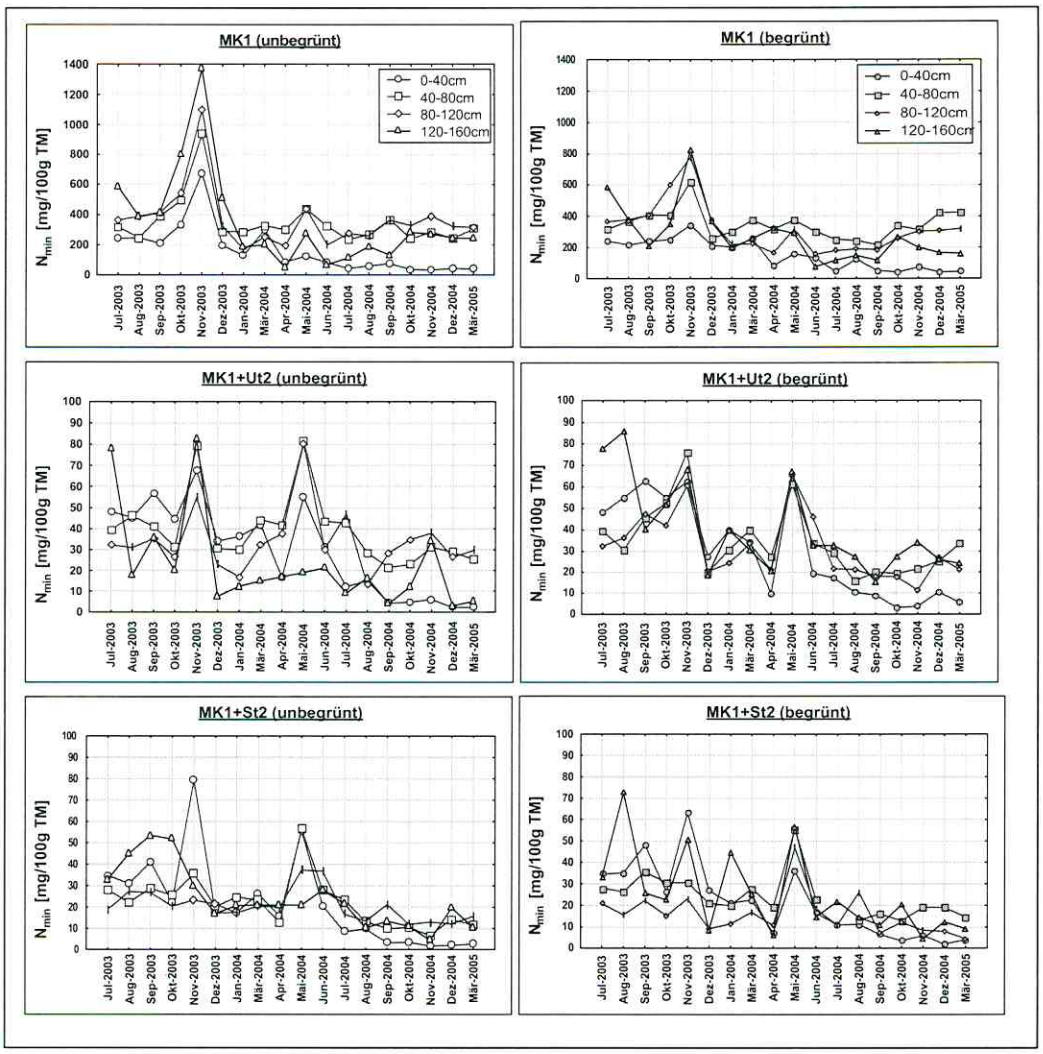


Abb. 17: Durchschnittliche N_{min}–Gehalte der Rekultivierungsmaterialien in unterschiedlicher Untersuchungstiefe während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Der Anteil von NO_3- und NH_4-N am N_{min} aller Varianten geht aus Abbildung 18 hervor und ist für den gesamten Untersuchungszeitraum sowie für alle Untersuchungstiefen dargestellt. Die Anteile des NH_4-N am N_{min} waren zu Beginn der Untersuchungen im Juli 2003 in den unbegrünten und begrünten Varianten MK1 mit etwa 68 bis 92 % je nach Untersuchungstiefe relativ hoch. Die unbegrünten und begrünten Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen im Juli 2003 je nach Untersuchungstiefe mit 12 bis 72 % und 16 bis 32 % geringere Anteile des NH_4-N am N_{min} auf. Die Anteile des NO_3-N am N_{min} der Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 waren bis auf kurze Zeiträume stets höher als die Anteile von NH_4-N. Bei unbegrüntem und begrüntem MK1 konnten im März 2005 Anteile von ca. 0,2 bis 2,8 % NH_4-N am N_{min} je nach Untersuchungstiefe festgestellt werden. Bei unbegrüntem und begrüntem MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen zu diesem Zeitpunkt Anteile von ca. 1 bis 10 % und 2 bis 12 % NH_4-N am N_{min} vor. Unmittelbar nach Aufbau der Rekultivierungsschicht erhöhten sich in jeder

Untersuchungstiefe bei der unbegrünten und begrünten Variante MK1 die Anteile an NO_3-N bei Abnahme der Anteile an NH_4-N bis Sommer 2005. Die unbegrünten und begrünten Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen im Vergleich zu MK1 eine abweichende Entwicklung der Anteile an NO_3-N und NH_4-N auf. Nach Aufbau der RS aus diesen Materialien war bis Anfang 2004 ein relativer Anstieg der NH_4-N–Gehalte festzustellen. Im Sommer 2004 lag insbesondere in den unteren Untersuchungstiefen der größte Teil des N_{min} als NH_4-N vor. In der Untersuchungstiefe von 80 - 120 cm setzte sich bei unbegrüntem MK1+Ut2 und MK1+St2 >75 % und >90 % des N_{min} aus NH_4-N zusammen. Ähnliche Tendenzen wurden in jedem Horizont dieser RS festgestellt. Ab Mitte 2004 nimmt bei allen Varianten der Anteil von NH_4-N am N_{min} deutlich ab und der Anteil an NO_3-N entsprechend zu. Mit diesen Ergebnissen wurde deutlich, dass innerhalb einer Zeitspanne von zwei Jahren mit einem Trend der relativen Abnahme von NH_4-N und der relativen Zunahme von NO_3-N bei gleichzeitiger Verringerung der N_{min}–Gehalte zu rechnen ist.

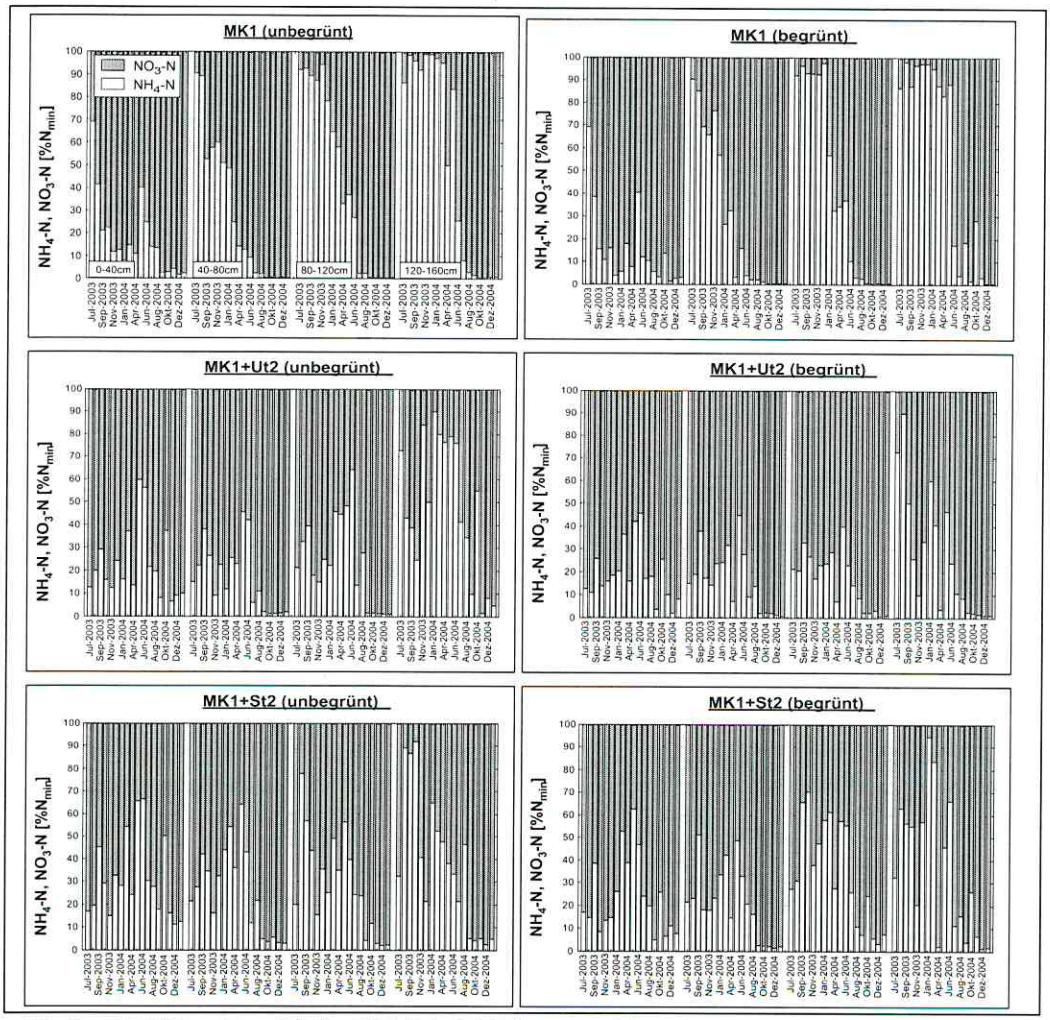


Abb. 18: Verhältnis zwischen NO_3-N und NH_4-N der Rekultivierungsmaterialien während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

4.3.1.3 Organisch gebundener Stickstoff

In Abbildung 19 ist der Verlauf der mittleren N_{org}–Gehalte der gesamten RS dargestellt.

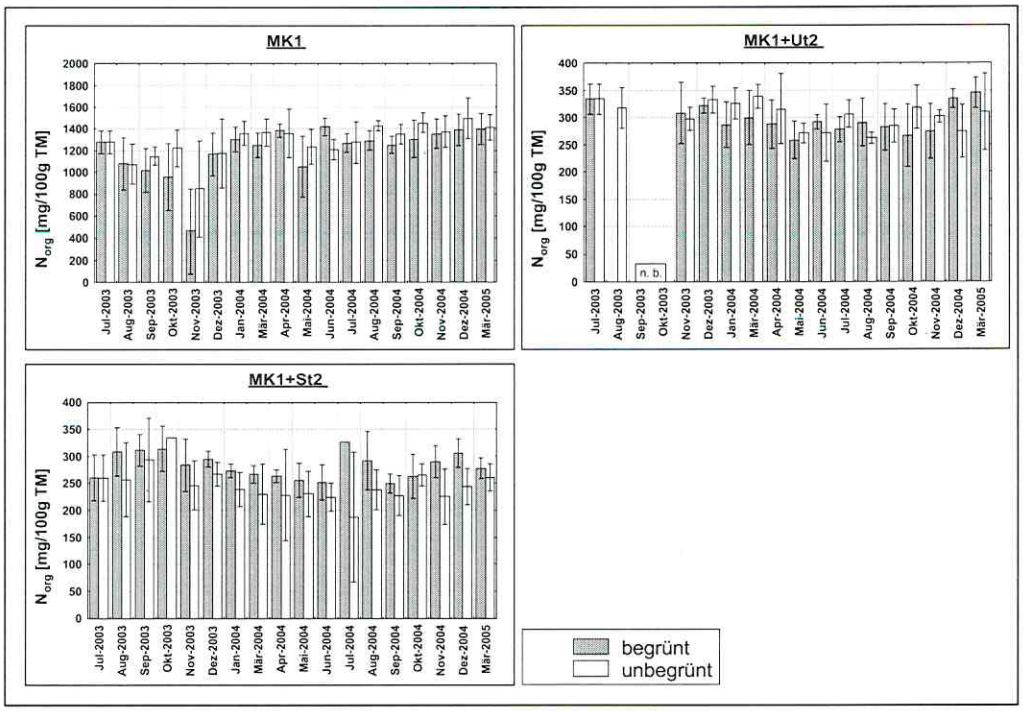


Abb. 19: Verlauf der mittleren N_{org}–Gehalte in den Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Bei der Variante MK1 ließ sich eine leicht steigende Tendenz im Zeitraum vom Juli 2003 bis März 2005 erkennen. Die Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen während der fast zweijährigen Versuchsdauer keine sichtbaren Tendenzen am Parameter des N_{org} auf. Anhand der Angaben für Juli 2003 und März 2005 war bei den unbegrünten und begrünten Varianten aus MK1 eine Erhöhung des Mittelwertes um 105 und 136 mg/100g TM ($p>0,05$) festzustellen. Bei MK1+Ut2 und MK1+St2 waren keine bedeutenden Unterschiede feststellbar (Anlage 31).

4.3.2 Sickerwasser

4.3.2.1 Nitratstickstoff

Gefäßversuch

In Abbildung 20 ist der Verlauf der NO_3-N–Konzentration für alle 100 cm mächtigen Varianten dargestellt. Nach Aufbau der Gefäße war innerhalb des ersten Versuchsjahres ein Anstieg der Konzentrationen erkennbar. Dieser setzte unmittelbar mit dem ersten auftretenden Sickerwasser ein. Bei den unbegrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 ließen sich in der Zeit des ersten Konzentrationsanstieges einmalige NO_3-N-Konzentrationen bis ca. 3600, 3050 und 4000 mg/l feststellen (Anlage 36 und 37). Nach einem kurzzeitig rückläufigen Trend während der Winterzeit 2003/04 war ein nochmaliger Anstieg der Konzentrationen erkennbar. In dieser Zeit stiegen die NO_3-N-Konzentrationen im Sickerwasser kurzzeitig auf ein Niveau von maximal ca. 2500, 4800 und 3250 mg/l an. Nach den beiden Konzentrationsspitzen lagen die Konzentrationen aller MK1-Varianten im folgenden Untersuchungszeitraum größtenteils unterhalb von 100 mg/l. Bei der begrünten Variante MK1 wurden gleiche Beobachtungen gemacht. Mit einmaligen Konzentrationsspitzen von ca. 3150 und 4000 mg/l lag bei begrüntem MK1 ein vergleichbarer Trend zur unbegrünten Variante vor. Aufgrund zu weniger Sickerwasserereignisse bei begrüntem MK1+Ut2 und MK1+St2 waren solche detaillierten Beobachtungen an diesen Varianten nicht möglich, wobei ein abnehmender Trend der NO_3-N–Konzentration feststellbar war.

Bei den unbegrünten Varianten MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 waren Ähnlichkeiten im Verlauf der NO_3-N–Konzentrationen erkennbar. Der Verlauf der NO_3-N–Konzentrationen lässt sich während des Untersuchungszeitraumes analog der Varianten des MK1 in zwei Zeitspannen unterscheiden. Während der ersten Ereignisse lag die NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser von MK2 bei maximal ca. 900 mg/l. Bei MK2+Ut2 und MK2+St2 wurden bei einer Konzentrationsobergrenze von 500 und 1000 mg/l einmalige Maximalkonzentrationen von 3800 und 5400 mg/l festgestellt. Nach der Winterperiode 2003/04 war erneut ein einmaliger Anstieg der Konzentrationen auf maximal ca. 1000, 3200 und 4200 mg/l bei den Varianten MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 nachweisbar. Die begrünten Varianten MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 wiesen bei geringerer Anzahl von Sickerwasserereignissen ähnliche Tendenzen im Verlauf der NO_3-N–Konzentrationen auf.

Die durchschnittliche NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser von Ut2 und St2 lagen im gesamten Untersuchungszeitraum bei 95 % aller Fälle unterhalb von 100 mg/l.

Der Verlauf der NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser ist bei den 50 cm–Varianten ähnlich. Bei den 150 und 200 cm mächtigen Varianten wurden aufgrund der geringen Anzahl von Sickerwasserereignissen keine eindeutigen Beobachtungen gemacht. Die ersten Sickerwasserereignisse wiesen tendenziell mit den 100 cm mächtigen Varianten vergleichbare Werte auf.

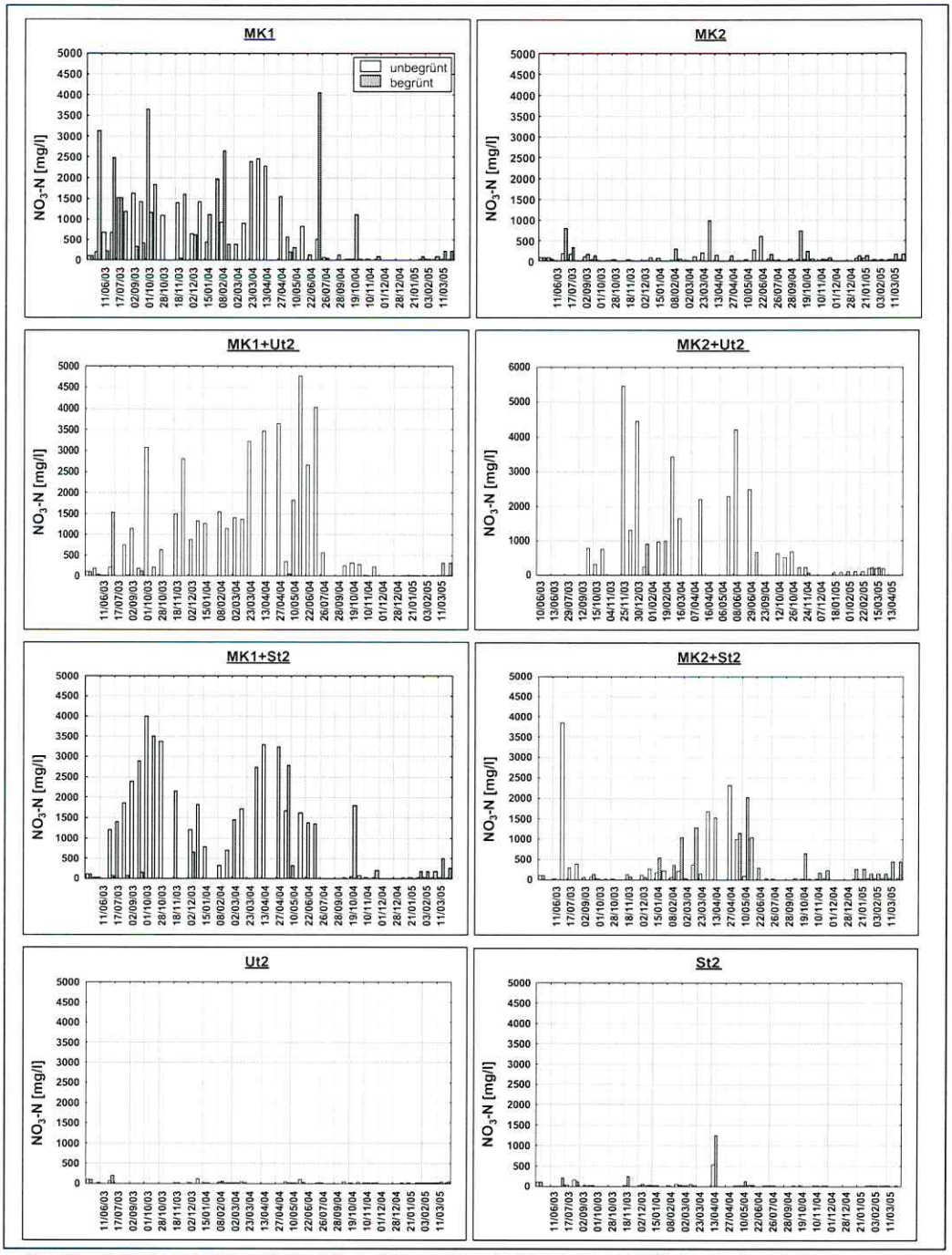


Abb. 20: Verlauf der durchschnittlichen NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten während des Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2)

Für die statistische Untersuchung des Trends der NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser wurde der Untersuchungszeitraum zeitlich in zwei Abschnitte (Zeitraum a: 04.06.2003 – 08.06.2004; Zeitraum b:

22.06.2004 – 26.04.2005) geteilt. Die durchschnittlichen NO_3-N–Konzentrationen der 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten liegen als arithmetischer Mittelwert dieser Zeit in Tabelle 27 vor. Die Mittelwerte der beiden Zeiträume wurden für jede Variante statistisch verglichen. Anhand der Berechnungen wurde festgestellt, dass sich das durchschnittliche Niveau der NO_3-N–Konzentrationen bei allen 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten bis auf MK2 während des gesamten Untersuchungszeitraumes signifikant verringert hat. Bei MK2 lag eine Verringerung der Durchschnittskonzentration vor, die aber aufgrund hoher Streuung statistisch nicht gesichert werden konnte.

Tab. 27: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.06.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2)

Variante	NO_3-N [mg/l]		Tukey-Test* [p]
	a	b	
MK1	1249,00 ± 812,24	59,41 ± 125,46	**0,000**
MK1+Ut2	1605,73 ± 1287,74	530,62 ± 1137,12	**0,011**
MK1+St2	2311,51 ± 1810,46	199,87 ± 476,34	**0,000**
MK2	138,18 ± 215,62	73,71 ± 141,86	0,291
MK2+Ut2	2078,76 ± 1675,30	1387,16 ± 1695,65	**0,034**
MK2+St2	595,88 ± 923,92	374,92 ± 761,77	**0,023**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Aufgrund des sich erheblich ändernden Verlaufes der NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser wiesen die Mittelwerte aller Erhebungen hohe Streuungen auf. Abbildung 21 zeigt die durchschnittlichen NO_3-N–Konzentration aller Sickerwasserereignisse der 100 cm mächtigen Varianten für den gesamten Untersuchungszeitraum.

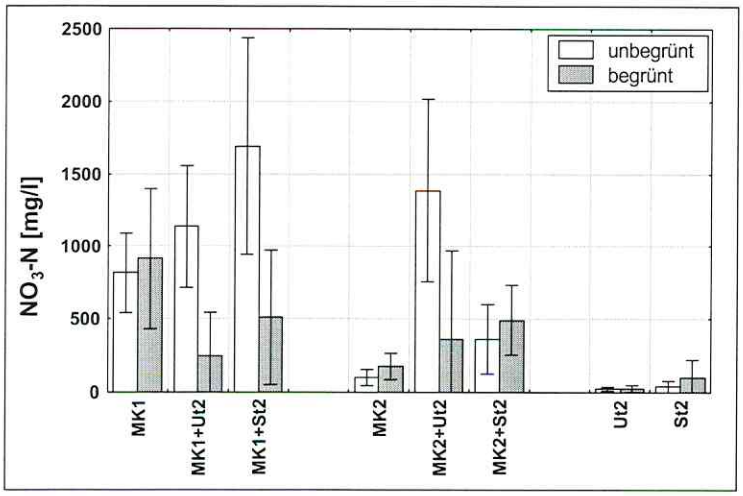


Abb. 21: Durchschnittliche NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2)

MK1 wies mit 815 mg/l durchschnittlich niedrigere Konzentrationen als MK1+Ut2 und MK1+St2 mit 1137 und 1201 mg/l auf. Aufgrund der hohen Streuung der Einzelwerte ließen sich die Durchschnittskonzentrationen der Varianten für den gesamten Untersuchungszeitraum nicht

signifikant unterscheiden. Bei den MK2-Varianten waren Ähnlichkeiten mit 97 mg/l für MK2 und 1228 bzw. 362 mg/l für MK2+Ut2 und MK2+St2 erkennbar. Die auffallend hohe durchschnittliche NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser von MK2+Ut2 war auf das lang anhaltende hohe Konzentrationsniveau im Sickerwasser der ersten Ereignisse zurückzuführen. Geringe Sickerwassermengen mit hohen NO_3-N–Konzentrationen bei Einzelterminen waren dafür verantwortlich.

Im Durchschnitt aller Erhebungen wies MK1 während des Untersuchungszeitraumes mit 815 mg/l um 719 mg/l höhere NO_3-N–Konzentrationen als MK2 auf ($p<0,007$). Unbegrünter MK1+St2 und MK2+St2 unterschieden sich analog MK1 und MK2 in ihren durchschnittlichen NO_3-N–Konzentrationen um ca. 303 mg/l mit $p<0,00002$. Unterschiede zwischen MK1+Ut2 und MK2+Ut2 ließen sich statistisch nicht sichern. Die mittleren NO_3-N–Konzentrationen von Ut2 und St2 waren mit 23 und 35 mg/l deutlich geringer als die der MK–Varianten und von untergeordneter Bedeutung. Der durchschnittlichen NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser der begrünten Varianten konnte kein eindeutiger Trend zugeordnet werden.

Nach Ergebnisbefund lagen innerhalb des Zeitraumes a hohe und während des Zeitraumes b deutlich geringere durchschnittliche Konzentrationen vor. Tabelle 28 enthält die für beide Zeiträume gebildeten Mittelwerte der NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser für alle 100 cm mächtigen Varianten.

Tab. 28: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und 22.06.2004 – 26.04.2005 (Gefäßversuch 2)

Variante	NO_3-N [mg/l] unbegrünt	NO_3-N [mg/l] begrünt	Tukey-Test* [p]
04.06.2003 - 08.06.2004			
MK1	1249,00 ± 812,24	1156,84 ± 1070,22	0,771
MK1+Ut2	1541,90 ± 1297,89	436,11 ± 731,14	0,112
MK1+St2	2662,46 ± 2457,36	625,30 ± 1083,52	0,060
MK2	133,85 ± 210,00	226,30 ± 263,85	0,332
MK2+Ut2	2078,76 ± 1675,30	920,70 ± 0,00	0,516
MK2+St2	605,62 ± 944,90	741,14 ± 681,98	0,699
22.06.2003 - 26.04.2005			
MK1	63,11 ± 128,96	557,46 ± 1200,83	0,124
MK1+Ut2	602,70 ± 1203,00	309,59 ± 0,00	0,687
MK1+St2	228,31 ± 508,08	426,35 ± 564,54	0,416
MK2	74,35 ± 151,64	161,11 ± 196,35	0,207
MK2+Ut2	880,08 ± 1599,57	170,20 ± 91,61	0,466
MK2+St2	46,10 ± 72,01	293,20 ± 176,81	**0,000**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Darüber hinaus wurden Angaben zum statistischen Vergleich zwischen unbegrünten und begrünten Varianten gemacht. Anhand dieser Angaben kann geschlussfolgert werden, dass sich das Konzentrationsniveau zwischen unbegrünten und begrünten Varianten in beiden Zeitspannen statistisch nicht unterscheiden lässt.

Zum Vergleich der RM wurden die NO_3-N-Konzentrationen des Sickerwassers 100 cm mächtiger, unbegrünter Varianten der Zeitspannen a und b statistisch miteinander verglichen. Diesen Angaben zufolge konnten nur zwischen einigen Varianten während des ersten Zeitraumes signifikante Unterschiede festgestellt werden (Anlage 38).

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Mächtigkeit und durchschnittlicher NO_3-N–Konzentration wurde nicht deutlich. Höhere Mächtigkeiten wiesen aufgrund verzögerter Sickerwasserbildung weniger Sickerwasserereignisse während des Untersuchungszeitraumes auf. Mögliche Konzentrationsspitzen, die sich bei gering mächtigeren Materialschichten bereits nachweisen ließen, konnten bei den höheren Mächtigkeiten noch nicht festgestellt werden. Anhand der maximalen NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser wurde deutlich, dass bislang bei allen Materialien mit Ausnahme der Variante MK1+St2, die höchsten Konzentrationen bei den 50 cm mächtigen Varianten festgestellt werden konnten (Anlage 37).

In Abbildung 22 sind die Summen der Nitratfrachten der 100 cm mächtigen Varianten dargestellt.

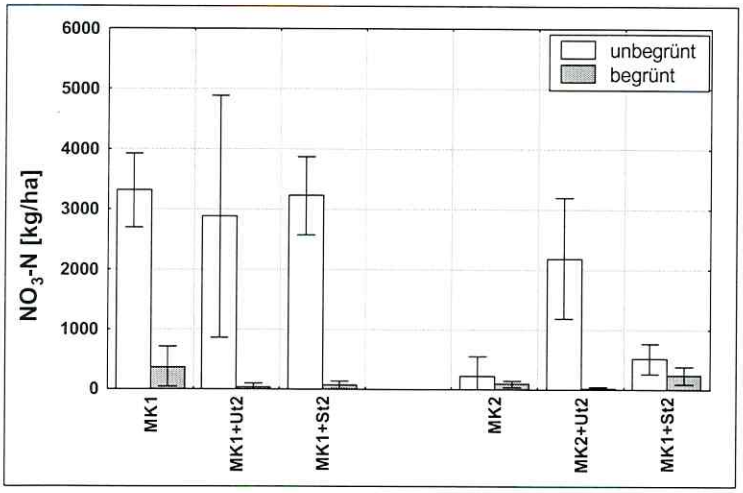


Abb. 22: NO_3-N–Fracht im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten des gesamten Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2)

Die NO_3-N–Frachten der unbegrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 waren mit 3315, 2872 und 3221 kg um 3084, 683 und 2713 kg deutlich höher als die der unbegrünten Varianten MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2. Mit Hilfe von Begrünung wurde am Beispiel der Variante MK1 die NO_3-N–Fracht um ca. 89 % reduziert. Weitaus höhere Reduzierungen der NO_3-N–Austräge wurden durch die Begrünung an den Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 mit 98 und 97 % erzielt. Gemessen an der Variante MK1 ist infolge der Kombination von KSK mit mineralischen und nährstoffarmen Bodenmaterial mit geeigneter Begrünung eine Reduzierung von ca. 99 % der NO_3-N–Austräge möglich. Innerhalb einer Zeitspanne von zwei Jahren wurden somit bei den begrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 NO_3-N-Auswaschungen in Höhe von ca. 375, 41 und 73 kg/ha festgestellt.

Bei den Varianten MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 lagen vergleichbare Tendenzen vor. Die Reduzierung der NO_3-N–Austräge belief sich durch die Begrünung bei MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2

auf etwa 62, 99 und 55 %. Bei MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 wurden demnach innerhalb von zwei Jahren 88, 18 und 233 kg/ha aus der begrünten Rekultivierungsschicht ausgewaschen.

Zwischen den Gesamt-NO_3-N–Frachten der unbegrünten und begrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen hochsignifikante Unterschiede (p=0,0003; p=0,03; p=0,0003) vor. Bei den Varianten des MK2 wurde nur zwischen unbegrünten und begrünten MK2+Ut2 ein statistischer Unterschied (p= 0,005) ermittelt.

In Tabelle 29 sind die mittleren NO_3-N–Frachten für die Untersuchungszeiträume a und b der 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten enthalten. Die NO_3-N–Fracht lag im zweiten Versuchszeitraum deutlich niedriger. Die Höhe der Frachten unterlag dem Einfluss der jeweiligen Sickerwassermenge. Zwischen den Einzelterminen traten hohe Unterschiede bzw. Streuungen auf. Signifikante Unterschiede zwischen den Zeiträumen wurden bei MK1 und MK1+St2 festgestellt.

Tab. 29: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Fracht im Sickerwasser der 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten zwischen den Zeiträumen vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.06.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2)

Variante	NO_3-N [kg/ha]		Tukey-Test* [p]
	a	b	
MK1	122,05 ± 199,23	9,45 ± 27,61	**0,037**
MK1+Ut2	97,77 ± 143,14	32,92 ± 106,13	0,130
MK1+St2	133,97 ± 207,87	10,01 ± 29,66	**0,034**
MK2	6,31 ± 9,49	5,51 ± 7,55	0,779
MK2+Ut2	126,20 ± 246,18	72,97 ± 173,60	0,118
MK2+St2	21,31 ± 39,84	2,84 ± 2,53	0,094

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Tabelle 30 enthält die durchschnittlichen NO_3-N–Frachten pro Sickerwasserereignis in den Zeiträumen a und b der unbegrünten und begrünten Varianten und die Ergebnisse der Varianzanalyse. Bei den unbegrünten Varianten konnten im ersten Zeitraum deutlich höhere NO_3-N–Frachten als bei den begrünten Varianten festgestellt werden. Aufgrund der hohen Streuung waren die Ergebnisse statistisch nicht gesichert. Im zweiten Zeitraum wurden bei begrüntem MK1 höhere NO_3-N-Frachten festgestellt. Ursache für den unterschiedlichen Verlauf können fortgeschrittene Auswaschungsprozesse bei der unbegrünten Variante sein. Der Unterschied zwischen den durchschnittlichen NO_3-N–Frachten für den Zeitraum b zwischen unbegrünten und begrünten Varianten war analog der NO_3-N–Konzentration mit p>0,05 nicht signifikant.

Die durchschnittlichen NO_3-N-Frachten im Sickerwasser der 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten wurden für beide Untersuchungszeiträume statistisch miteinander verglichen (Anlage 39). Es ist keine Signifikanz zwischen den Varianten nachweisbar. Anlage 40 enthält alle ermittelten Einzelwerte der NO_3-N–Frachten für jede Variante und Mächtigkeit. Dazugehörige Angaben zur deskriptiven Statistik können Anlage 41 entnommen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass während eines Untersuchungszeitraumes von zwei Jahren noch keine eindeutigen Unterschiede zwischen verschiedenen Mächtigkeiten festgestellt werden können. Bei der Variante MK1+Ut2 zeichnete sich eine Tendenz geringerer NO_3-N–Frachten bei höheren Mächtigkeiten ab. Für die weiteren untersuchten Varianten sind solche Entwicklungen bislang nicht eindeutig. Die Ursache dafür kann in unterschiedlich fortgeschrittenen Auswaschungsprozessen und NO_3-N–Konzentrationen als Folge differenzierter Wassersättigungszeiten gesehen werden.

Tab. 30: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Frachten pro Sickerwasserereignis zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und 22.06.2004 – 26.04.2005 (Gefäßversuch 2)

Variante	NO_3-N [kg/ha] unbegrünt	NO_3-N [kg/ha] begrünt	Tukey-Test* [p]
04.06.2003 - 08.06.2004			
MK1	122,05 ± 199,23	10,20 ± 12,22	0,074
MK1+Ut2	97,73 ± 143,17	1,43 ± 1,31	0,197
MK1+St2	133,97 ± 207,87	5,20 ± 6,93	0,146
MK2	6,56 ± 9,32	1,53 ± 2,24	0,147
MK2+Ut2	126,20 ± 246,18	- ± 0,00	-
MK2+St2	21,30 ± 39,84	13,10 ± 13,53	0,555
22.06.2003 - 26.04.2005			
MK1	9,45 ± 27,61	20,62 ± 41,17	0,415
MK1+Ut2	32,92 ± 106,13	12,06 ± 2,05	0,744
MK1+St2	10,01 ± 29,66	5,24 ± 5,04	0,660
MK2	5,51 ± 7,55	5,41 ± 4,79	0,965
MK2+Ut2	26,40 ± 27,95	6,29 ± 6,49	0,242
MK2+St2	2,84 ± 2,53	10,53 ± 11,38	**0,022**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Freilandversuch

In Abbildung 23 ist der Verlauf der NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser am Beispiel der 100 cm mächtigen Varianten dargestellt. Der Verlauf der NO_3-N-Konzentrationen im Sickerwasser ist mit denen des Gefäßversuches vergleichbar. Mit den ersten Sickerwasserereignissen nahmen die NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser zu. Die Konzentrationen stiegen bei den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten bis zu einem einmaligen Maximum in Höhe von etwa 5142 mg/l bei MK1, 5192 mg/l bei MK1+Ut2 und 5539 mg/l bei MK1+St2. Nach der einmaligen Konzentrationsspitze setzt ein fast kontinuierlicher Rückgang der NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser ein. Zum Ende des etwa 20-monatigen Untersuchungszeitraumes wurde bei allen 100 cm mächtigen Varianten ein Rückgang der Konzentration auf unter 400 mg/l festgestellt (Anlage 42). Die begrünten und unbegrünten Varianten wiesen Ähnlichkeiten im Verlauf der NO_3-N–Konzentrationen auf. Bei den unbegrünten Varianten wurde während des Untersuchungszeitraumes ein einmaliger Anstieg der Konzentrationen nachgewiesen. Bei den begrünten 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden einmalige Maximalkonzentrationen von etwa 4964, 2408 und 2653 mg/l erfasst. Nach diesen Konzentrationsspitzen tendierten die Konzentrationen zum Ende des Untersuchungszeitraumes gegen Werte von unter 400 mg/l.

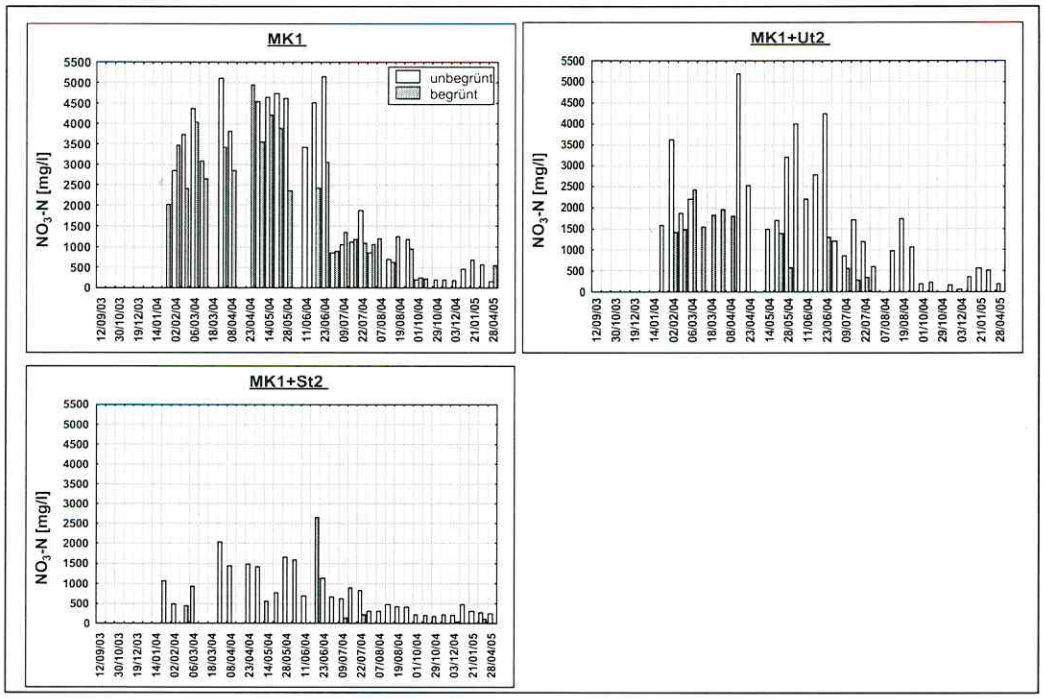


Abb. 23: Verlauf der NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Für die statistische Auswertung der Ergebnisse der unbegrünten, 100 cm mächtigen Varianten wurde der gesamte Untersuchungszeitraum in zwei Abschnitte (Zeitraum a: 19.07.2003 – 22.07.2004; Zeitraum b: 29.07.2004 – 28.04.2005) geteilt. Der Vergleich des durchschnittlichen Konzentrationsniveaus zeigt den Trend der NO_3-N–Konzentration während des gesamten Untersuchungszeitraumes. Tabelle 31 enthält für beide Zeitspannen die durchschnittlichen NO_3-N-Konzentrationen im Sickerwasser der Varianten. Anhand der Konzentrationsunterschiede während des ersten und des zweiten Zeitraumes wird der sinkende Trend der NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser deutlich. Das Niveau der Konzentration verringerte sich während des gesamten Zeitraumes bei allen 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten hochsignifikant.

Tab. 31: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 19.07.2003 – 22.07.2004 (a) und 29.07.2004 – 28.04.2005 (b) (Freilandversuch)

Variante	NO_3-N [mg/l]		Tukey-Test* [p]
	a	b	
MK1	2447,76 ± 1224,38	559,11 ± 488,18	**0,000**
MK1+Ut2	1338,08 ± 1145,86	298,58 ± 100,88	**0,002**
MK1+St2	3496,52 ± 1467,14	573,08 ± 412,27	**0,000**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

In Abbildung 24 ist die durchschnittliche NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes mittels Intervallplots dargestellt. Unbegrünter MK1 wies mit durchschnittlich 2176 mg/l im Vergleich zu MK1+Ut2 und MK1+St2 mit

1666 und 873 mg/l die höchste durchschnittliche Konzentration auf. Die Unterschiede zwischen MK1 und MK1+St2 sind signifikant (p>0,001). Die begrünten Varianten lassen sich statistisch von den unbegrünten Varianten nicht unterscheiden.

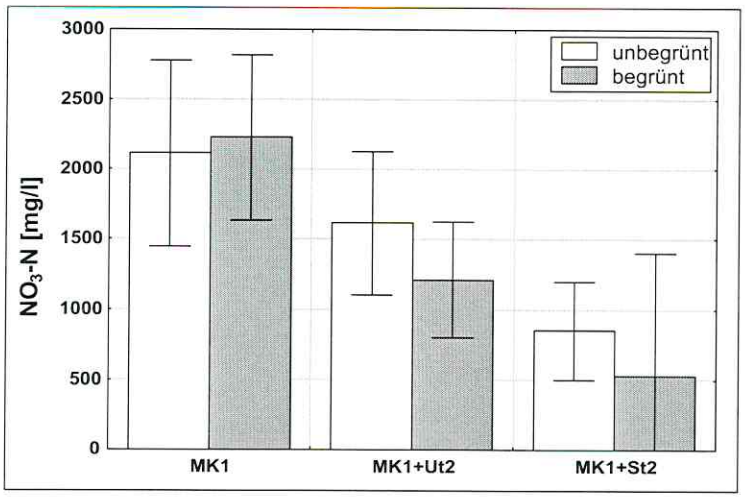


Abb. 24: Durchschnittliche NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser von 100 cm mächtigen MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Um Unterschiede zwischen den Varianten auszuwerten, wurden die mittleren NO_3-N–Konzentrationen der Varianten in beiden Zeiträumen miteinander verglichen. Die Testergebnisse zeigten in beiden Zeiträumen keine signifikanten Unterschiede zwischen den NO_3-N-Konzentrationen der Varianten (Anlage 44).

Ein deutlicher Trend des durchschnittlichen Konzentrationsniveaus im Sickerwasser in Abhängigkeit unterschiedlicher Mächtigkeiten war analog dem Gefäßversuch innerhalb einer Variante nicht feststellbar (Anlage 43).

Zur Auswertung der NO_3-N–Fracht im Sickerwasser wurde der gesamte Untersuchungszeitraum ebenfalls in die genannten Abschnitte unterteilt. Tabelle 32 enthält die mittleren NO_3-N–Frachten der beiden Untersuchungszeiträume. Die deutlich geringeren NO_3-N-Frachten des zweiten Zeitraumes sind statistisch nicht von denen des ersten Zeitraumes zu unterscheiden.

Tab. 32: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Frachten im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum von 19.07.2003 – 22.07.2004 (a) und 29.07.2004 – 28.04.2005 (b) (Freilandversuch)

Variante	NO_3-N [kg/ha]		Tukey-Test* [p]
	a	b	
MK1	114,91 ± 203,92	16,56 ± 18,38	0,095
MK1+Ut2	37,25 ± 24,72	22,63 ± 22,05	0,128
MK1+St2	28,36 ± 37,28	7,76 ± 5,80	0,070

*signifikante Werte sind fettgedruckt

In Abbildung 25 sind die Gesamtfrachten von NO_3-N im Sickerwasser für den gesamten Untersuchungszeitraum der 100 cm mächtigen Varianten dargestellt. Bei unbegrünten, 100 cm

mächtigen MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden in dem gesamten Untersuchungszeitraum NO_3-N–Frachten in Höhe von 2168, 845 und 603 kg/ha ermittelt. Analog dem Gefäßversuch sind erhebliche Reduzierungen durch Begrünung möglich. Mit 463, 98 und 27 kg/ha wurde bei diesen Varianten die NO_3-N–Fracht durch Begrünung um 79, 89 und 96 % gesenkt. Signifikante Unterschiede zwischen unbegrünten und begrünten Varianten wurden bei MK1+Ut2 und MK1+St2 mit p=0,01 und p=0,001 ermittelt. Zwischen unbegrünten und begrünten MK1 lag bei deutlich unterschiedlichem Mittel keine Signifikanz vor. Durch Kombination von MK1 mit stickstoffarmen, mineralischen Bodenmaterial und Begrünung waren, gemessen an der unbegrünten Variante MK1, Verringerungen der NO_3-N–Frachten bis über 99 % möglich.

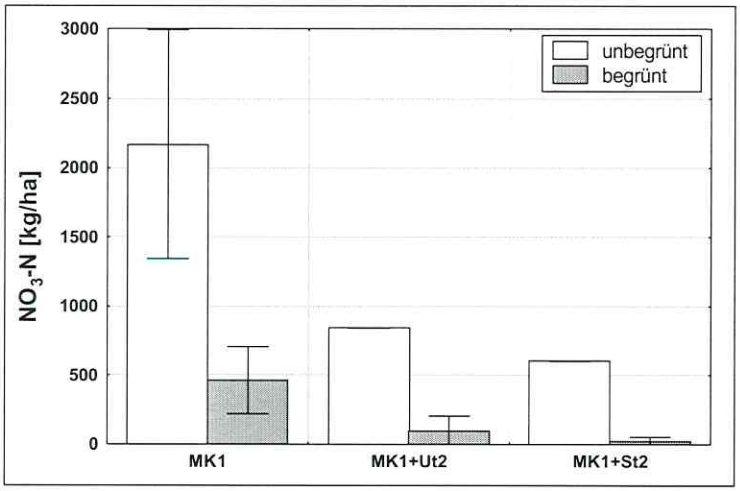


Abb. 25: NO_3-N–Fracht im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Tabelle 33 enthält Angaben zur durchschnittlichen NO_3-N–Fracht im Sickerwasser der 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes. Bei den begrünten Varianten traten durchschnittlich weniger NO_3-N–Auswaschungen auf als bei den unbegrünten. Aufgrund hoher Streuung der NO_3-N–Frachten wurde nur bei der Variante MK1+Ut2 ein statistisch gesicherter Unterschied ermittelt.

Tab. 33: Vergleich durchschnittlicher NO_3-N–Frachten im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Variante	NO_3-N [kg/ha] unbegrünt	NO_3-N [kg/ha] begrünt	Tukey-Test* [p]
MK1	72,29 ± 159,81	21,06 ± 27,96	0,144
MK1+Ut2	31,30 ± 24,35	8,18 ± 12,07	**0,004**
MK1+St2	20,12 ± 30,54	4,40 ± 3,62	0,222

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Signifikante Unterschiede zwischen den durchschnittlichen NO_3-N–Frachten im Sickerwasser der unbegrünten, 100 cm mächtigen Varianten wurden nicht festgestellt (Anlage 45).
Während aus einer 50 cm mächtigen, unbegrünten Rekultivierungsschicht aus MK1 1526 kg/ha ausgetragen wurden, konnte bei einer Mächtigkeit von 200 cm ein Austrag von 839 kg/ha NO_3-N ermittelt werden. Analog wurden Reduzierungen bei unbegrüntem MK1+Ut2 und MK1+St2 von 149 auf 0 kg/ha sowie von 345 auf 22 kg/ha ermittelt. Bei den begrünten Varianten wurde bei einer Mächtigkeit von 200 cm der NO_3-N–Austrag während des Untersuchungszeitraumes bei MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 um 37, 97 und 82 % auf 248, 5 und 16 kg/ha im Vergleich zu einer Mächtigkeit von 50 cm gesenkt (Anlage 46 und 47).

4.3.2.2 Ammoniumstickstoff

Gefäßversuch

In Abbildung 26 ist der Verlauf der NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser exemplarisch für die 100 cm mächtigen Varianten dargestellt. Es war ein stark rückläufiger Trend der Konzentrationen nach erstmaligen Sickerwasserereignissen bei allen Varianten deutlich. Die unbegrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen in der Anfangsphase der Untersuchungen einmalige Maximalkonzentrationen von 6, 5 und 126 mg/l auf. Nach diesen Konzentrationsspitzen fielen die Werte innerhalb eines Monats insbesondere bei MK1+Ut2 und MK1+St2 im weiteren Untersuchungszeitraum auf Werte unterhalb von 2 mg/l ab. Die unbegrünten Varianten MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 wiesen einen vergleichbaren Trend im Verlauf der NH_4-N–Konzentration auf. Nach einmaligen Konzentrationsspitzen von 184, 4 und 114 mg/l bei MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 sanken die Konzentrationen im weiteren Untersuchungszeitraum auf unter 2 - 3 mg/l ab (Anlage 48).
Bei den begrünten Varianten wurden bei MK1+Ut2 und MK1+St2 deutlich weniger Sickerwasserereignisse als bei MK1 festgestellt (Anlage 49). Zu Beginn der Sickerwasserbildung traten bei den begrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 einmalige Maximalkonzentrationen von 17, 35 und 30 mg/l und bei MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 von 286, 3 und 4 mg/l auf. Nach diesem einmaligen Konzentrationsanstieg sanken die Werte im folgenden Untersuchungszeitraum auf ein mit den unbegrünten Varianten vergleichbares Niveau. Bei Ut2 und St2 variierten die Konzentrationen im Bereich von 0 bis max. 2 mg/l im gesamten Untersuchungszeitraum. Im Vergleich der Zeiträume a und b (04.06.2003 – 08.06.2004 und 22.06.2004 – 26.04.2005) lagen für die mittleren NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten keine signifikanten Unterschiede vor.

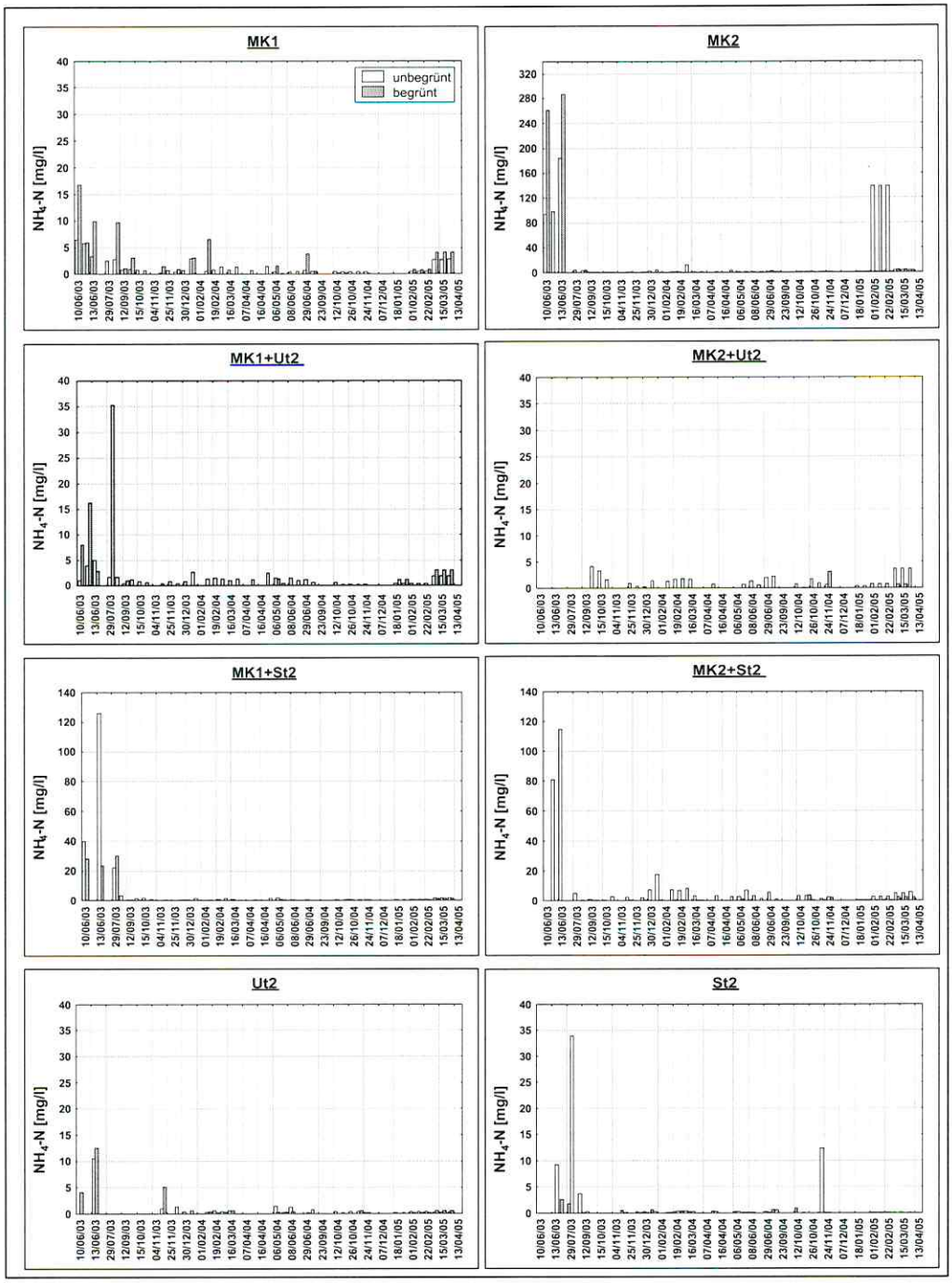


Abb. 26: Verlauf der NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigem, unbegrünten und begrünten Varianten im Untersuchungszeitraum (Gefäßversuch 2)

Tabelle 34 enthält die arithmetischen Mittel der NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser der Varianten für beide Zeiträume und die statistische Auswertung des Vergleiches beider Zeiträume miteinander. Bei allen Varianten mit Ausnahme von MK2 lag die durchschnittliche NH_4-N–

Konzentration im Zeitraum b niedriger. Signifikanz konnte nur bei der Variante MK1+Ut2 festgestellt werden.

Tab. 34: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.07.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2)

Variante	NH_4-N [mg/l]		Tukey-Test* [p]
	a	b	
MK1	1,61 ± 1,68	1,02 ± 0,96	0,222
MK1+Ut2	1,43 ± 1,12	0,71 ± 0,60	**0,024**
MK1+St2	9,21 ± 27,04	0,88 ± 0,65	0,259
MK2	17,70 ± 43,33	25,48 ± 53,85	0,608
MK2+Ut2	1,53 ± 1,10	1,46 ± 1,22	0,869
MK2+St2	13,67 ± 27,23	2,71 ± 1,89	0,117

*signifikante Werte sind fettgedruckt

In Tabelle 35 sind die mittleren NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser unbegrünter und begrünter, 100 cm mächtiger Varianten für die beiden Zeitspannen enthalten. Die Mittelwerte der unbegrünten und begrünten Varianten wurden für jeden dieser Zeiträume statistisch miteinander verglichen. Während der ersten Zeitspanne wurden bei den begrünten Varianten MK1 und MK1+Ut2 signifikant höhere Durchschnittskonzentrationen als bei den unbegrünten Varianten ermittelt. Bei den MK2-Varianten lagen keine signifikanten Unterschiede vor. Während der zweiten Zeitspanne lagen zwischen den unbegrünten und begrünten Varianten MK1+Ut2 und MK2+St2 signifikante Unterschiede der mittleren NH_4-N–Konzentration vor.

Tab. 35: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.06.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2)

Variante	NH_4-N [mg/l]				Tukey-Test* [p]
	unbegrünt		begrünt		
04.06.2003 - 08.06.2004					
MK1	1,41 ±	1,39	5,46 ±	5,00	**0,001**
MK1+Ut2	1,45 ±	1,14	10,82 ±	13,32	**0,002**
MK1+St2	7,80 ±	26,79	13,98 ±	14,78	0,595
MK2	14,55 ±	41,24	69,55 ±	126,37	0,067
MK2+Ut2	1,53 ±	1,10	- ±	-	-
MK2+St2	13,67 ±	27,23	0,50 ±	0,31	0,161
22.06.2003 - 26.04.2005					
MK1	1,02	0,96	1,80	1,75	0,156
MK1+Ut2	0,71	0,60	2,19	0,99	**0,001**
MK1+St2	0,88	0,65	1,00	0,41	0,631
MK2	25,48	53,85	1,39	1,60	0,094
MK2+Ut2	1,46	1,22	1,54	1,44	0,917
MK2+St2	2,71	1,89	1,37	1,17	**0,047**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Das durchschnittliche Konzentrationsniveau im Sickerwasser der begrünten Varianten näherte sich vom ersten bis zum zweiten Untersuchungszeitraum dem der unbegrünten Varianten an. In Abbildung 27 sind die Mittelwerte mit dazugehörigen Konfidenzintervallen (95 %) für den gesamten Untersuchungszeitraum der 100 cm mächtigen Varianten dargestellt.

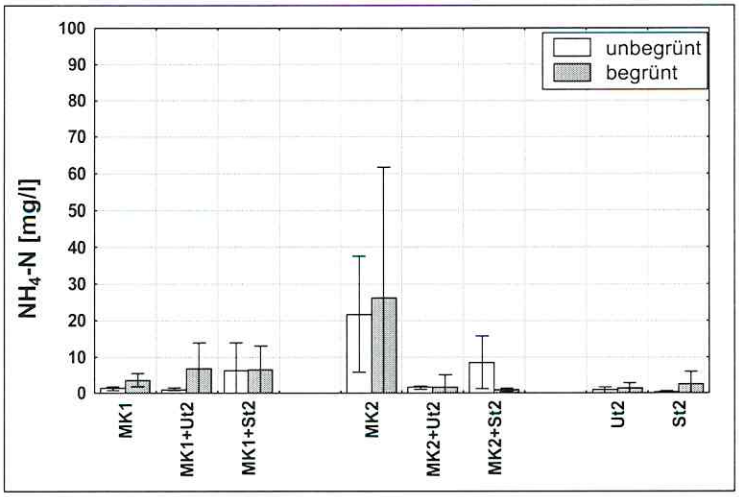


Abb. 27: Durchschnittliche NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten des gesamten Untersuchungszeitraumes (Gefäßversuch 2)

Aufgrund der Konzentrationsschwankungen während des Untersuchungszeitraumes lagen verhältnismäßig hohe Streuungen des Mittelwertes vor. Bei den unbegrünten, 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden im gesamten Untersuchungszeitraum durchschnittlich 1 bis 6 mg/l NH_4-N im Sickerwasser nachgewiesen. Signifikante Unterschiede wurden zwischen den Varianten nicht festgestellt. Die unbegrünten, 100 cm mächtigen Varianten MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 wiesen durchschnittliche Konzentrationen von 22, 2 und 8 mg/l auf.

Zwischen dem durchschnittlichen Konzentrationsniveau der unbegrünten und begrünten Varianten wurden innerhalb der MK1- bzw. MK2-Varianten keine signifikanten Unterschiede ermittelt. Die Differenz zwischen der NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser von MK1 und MK2 war mit p=0,003 statistisch gesichert. Unterschiede im Mittelwert von Ut2 und St2 sind mit 0,8 und 0,4 mg/l vernachlässigbar gering. Bedeutenden Einfluss auf die Höhe der Mittelwerte hatten die zu Beginn der Untersuchungen auftretenden Konzentrationsmaxima. Unter Ausschluss der Werte erster Beprobungen ergaben sich zwischen den Varianten nur gering voneinander abweichende Mittelwerte.

Statistische Unterschiede zwischen der durchschnittlichen NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser der 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten innerhalb der Zeiträume vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und 22.06.2004 – 26.04.2005 konnten nur in wenigen Fällen ermittelt werden (Anlage 50).

Anhand der durchschnittlichen NH_4-N-Konzentrationen wurden keine eindeutigen Trends in Abhängigkeit unterschiedlicher Mächtigkeiten einer Variante festgestellt (Anlage 49).

Abbildung 28 zeigt die NH_4-N–Frachten des gesamten Untersuchungszeitraumes der 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten. Bei unbegrüntem MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden 5, 2 und 3 kg/ha und bei MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 100, 3 und 18 kg/ha NH_4-N als Gesamtfracht im Sickerwasser für den Versuchszeitraum von zwei Jahren ermittelt. Analog der NO_3-

N–Fracht ist der deutliche Einfluss der Begrünung auf die NH_4-N–Frachten erkennbar. Mit Begrünung wurde bei MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 die NH_4-N–Fracht um 56, 51 und 65 % auf 1 bis 2 kg/ha reduziert. Bei MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 reduzierte sich die Gesamtfracht um 83, 96 und 95 % auf 16; 0,1 und 1 kg/ha (Anlage 51). Zwischen unbegrünten und begrünten Varianten wurden aufgrund hoher Streuung nur bei MK1, MK2+Ut2 und MK2+St2 signifikante Unterschiede mit p=0,03, p=0,018 und p=0,024 festgestellt.

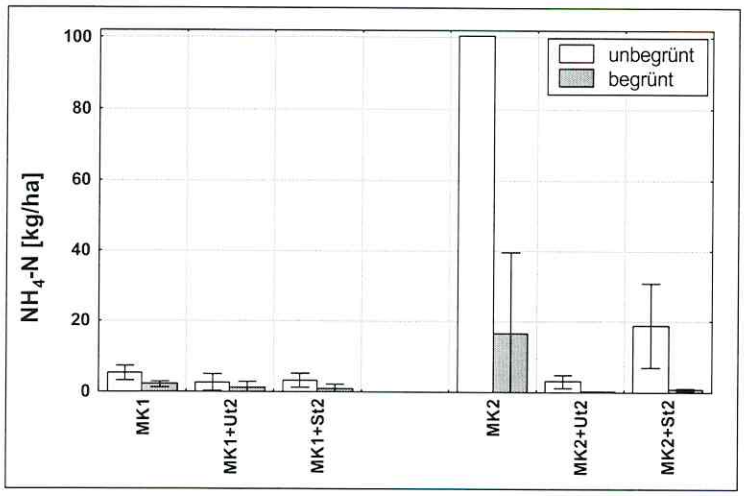


Abb. 28: NH_4-N–Fracht im Sickerwasser aller 100 cm mächtigen Varianten im gesamten Untersuchungszeitraum (Gefäßversuch 2)

Anhand der Tabelle 36 wird deutlich, dass sich das mittlere Niveau der NH_4-N–Frachten im Vergleich der beiden Zeiträume nicht eindeutig verändert hat. Nur bei MK2 konnte zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitraum ein signifikanter Unterschied von p=0,05 nachgewiesen werden.

Tab. 36: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Fracht im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 (a) und 22.07.2004 – 26.04.2005 (b) (Gefäßversuch 2)

Variante	NH_4-N [kg/ha]		Tukey-Test* [p]
	a	b	
MK1	1,61 ± 1,68	1,02 ± 0,96	0,222
MK1+Ut2	0,08 ± 0,10	0,05 ± 0,06	0,374
MK1+St2	0,10 ± 0,13	0,06 ± 0,06	0,367
MK2	0,27 ± 0,45	5,50 ± 12,98	**0,050**
MK2+Ut2	0,06 ± 0,05	0,14 ± 0,16	0,102
MK2+St2	0,59 ± 1,03	0,31 ± 0,29	0,329

*signifikante Werte sind fettgedruckt

In Tabelle 37 befinden sich die durchschnittlichen NH_4-N–Frachten pro Sickerwasserereignis der 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten innerhalb der beiden betrachteten Zeitspannen. Zu Versuchsbeginn waren bei allen begrünten Varianten geringfügig höhere mittlere Frachten als bei den unbegrünten Varianten festzustellen. Zwischen beiden Zeitspannen lassen sich sowohl bei den unbegrünten als auch bei den begrünten Varianten keine erheblichen Veränderungen

erkennen. Im zweiten Untersuchungszeitraum wurden lediglich bei MK1+Ut2 und MK2+St2 signifikante Unterschiede ermittelt. In beiden Untersuchungszeiträumen wurden keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zwischen unbegrünten und begrünten Varianten festgestellt (Anlage 53).

Tab. 37: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Fracht im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten im Zeitraum vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und 22.06.2004 – 26.04.2005 (Gefäßversuch 2)

Variante	NH_4-N [kg/ha]		Tukey-Test* [p]
	unbegrünt	begrünt	
04.06.2003 - 08.06.2004			
MK1	0,12 ± 0,17	0,10 ± 0,17	0,758
MK1+Ut2	0,08 ± 0,10	0,15 ± 0,25	0,246
MK1+St2	0,10 ± 0,13	0,16 ± 0,20	0,408
MK2	0,27 ± 0,45	1,73 ± 4,33	0,097
MK2+Ut2	0,06 ± 0,05	- ± 0,00	-
MK2+St2	0,59 ± 1,03	0,01 ± 0,01	0,106
22.06.2003 - 26.04.2005			
MK1	0,14 ± 0,17	0,09 ± 0,10	0,446
MK1+Ut2	0,05 ± 0,06	0,12 ± 0,01	**0,048**
MK1+St2	0,06 ± 0,06	0,02 ± 0,02	0,061
MK2	5,50 ± 12,98	0,07 ± 0,11	0,130
MK2+Ut2	0,14 ± 0,16	0,03 ± 0,01	0,274
MK2+St2	0,31 ± 0,29	0,07 ± 0,08	**0,013**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

In den Anlagen 51 und 52 sind die NH_4-N–Frachten im Sickerwasser der unterschiedlich mächtigen Varianten enthalten. Es wird deutlich, dass an gering mächtigeren Varianten bislang deutlich höhere Auswaschungsvorgänge als an höhermächtigeren stattgefunden haben. Ein homogener und eindeutiger Trend ließ sich aufgrund mindestens eines hervortretenden Wertes an keiner Materialvariante erkennen. Nach Einsatz von MK1 in unterschiedlichen Mächtigkeiten und Materialkombinationen, mit und ohne Begrünung, konnten NH_4-N–Auswaschungen in Höhe von ca. 1 bis 9 kg/ha in zwei Jahren festgestellt werden.

Freilandversuch

In Abbildung 29 ist der Verlauf der NH_4-N-Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten dargestellt. Mit Ausnahme von wenigen Einzelfällen lagen die Konzentrationen bei den dargestellten Varianten dauerhaft unter 1 mg/l. Im gesamten Untersuchungszeitraum wurden insbesondere bei MK1 einmalig auftretende maximale Konzentrationen von etwa 6,0; 1,4 und 1,2 mg/l festgestellt. Das Konzentrationsniveau bei den begrünten Varianten war mit dem der unbegrünten Varianten bei geringeren Sickerwasserereignissen vergleichbar (Anlage 54).

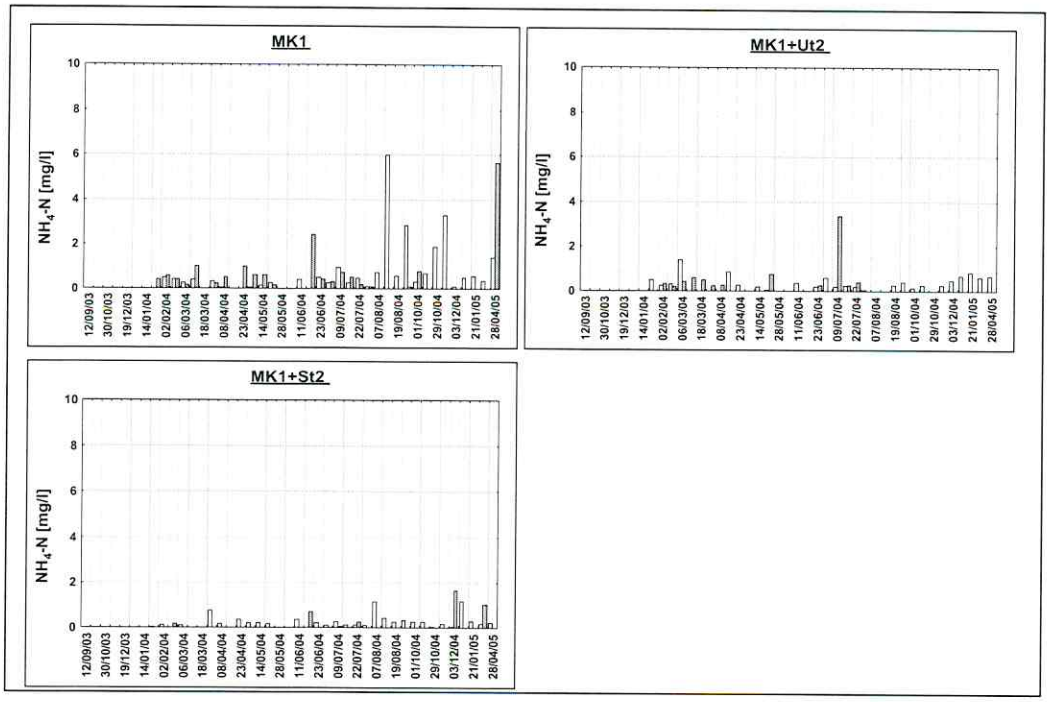


Abb. 29: Verlauf der NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

In Abbildung 30 sind die durchschnittlichen NH_4-N-Konzentrationen im Sickerwasser des gesamten Untersuchungszeitraumes in Form von Intervallplots dargestellt.

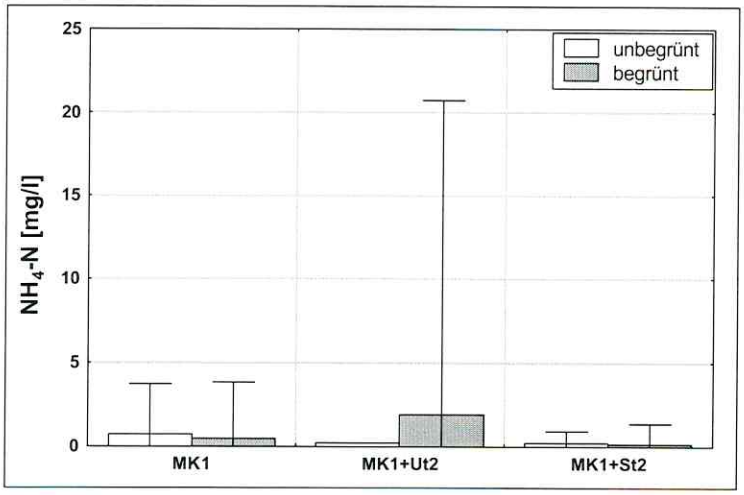


Abb. 30: Durchschnittliche NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten im gesamten Untersuchungszeitraum (Freilandversuch)

Die durchschnittlichen NH_4-N-Konzentrationen der 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 sind mit 0,8; 0,4 und 0,3 mg/l nicht statistisch voneinander zu unterscheiden. Die Konzentrationen der begrünten Varianten lagen mit Werten um 0,8; 1,5 und 0,7 mg/l auf einem

vergleichbaren Niveau. Mit Ausnahme der 200 cm mächtigen, unbegrünten Variante MK1 und der begrünten, 200 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen alle weiteren Varianten durchschnittliche Konzentrationen von max. 2 mg/l auf. An den 200 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden mit wenigen Sickerwasserereignissen Mittelwerte zwischen 11 bis 69 mg/l festgestellt (Anlage 55).

Tabelle 38 enthält die durchschnittlichen NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser der 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten für die Zeiträume a und b (19.07.2003 – 22.07.2004 und 29.07.2004 – 28.04.2005). Ein Anstieg der Konzentration lag bei allen Varianten vor. Signifikant war der Unterschied zwischen beiden Zeitspannen nur bei MK1.

Tab. 38: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 19.07.2003 – 22.07.2004 (a) und 29.07.2004 – 28.04.2005 (b) (Freilandversuch)

Variante	NH_4-N [mg/l]		Tukey-Test* [p]
	a	b	
MK1	0,35 ± 0,23	1,38 ± 1,66	**0,024**
MK1+Ut2	0,40 ± 0,35	0,42 ± 0,25	0,918
MK1+St2	0,22 ± 0,18	0,35 ± 0,36	0,242

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Tabelle 39 enthält Angaben zum statistischen Mittelwertvergleich zwischen der durchschnittlichen NH_4-N–Konzentration unbegrünter und begrünter Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes. Anhand der Ergebnisse können keine eindeutigen Unterschiede zwischen dem Konzentrationsniveau unbegrünter und begrünter Varianten abgeleitet werden. Die NH_4-N–Konzentration der begrünten Variante MK1+St2 lag signifikant höher als bei der unbegrünten Vergleichsvariante.

Tab. 39: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten im gesamten Untersuchungszeitraum (Freilandversuch)

Variante	NH_4-N [mg/l]		Tukey-Test* [p]
	unbegrünt	begrünt	
MK1	0,85 ± 1,25	0,81 ± 1,25	0,930
MK1+Ut2	0,41 ± 0,31	0,64 ± 0,88	0,253
MK1+St2	0,29 ± 0,29	0,66 ± 0,62	**0,027**

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Die Ergebnisse des Vergleiches der durchschnittlichen NH_4-N-Konzentrationen der unbegrünten Varianten innerhalb der beiden Zeiträume liegen in Anlage 56 vor. Zwischen den Varianten MK1 und MK1+St2 wurde im zweiten Zeitraum ein signifikanter Unterschied festgestellt.

In Abbildung 31 sind die NH_4-N–Frachten im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten für den gesamten Untersuchungszeitraum dargestellt. In den Anlagen 57 und 58 befinden sich Einzelwerte und deskriptive statistische Angaben. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes wurden bei den 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 0,43; 0,32 und 0,19 kg/ha NH_4-N–Frachten im Sickerwasser festgestellt. Durch die Begrünung wurden die NH_4-N–Auswaschungen

reduziert. Bei MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 konnten im Vergleich zu den unbegrünten Varianten die NH_4-N–Frachten um 63, 63 und 48 % ohne statistische Sicherheit (p=0,252, p=0,082, p=0,431) vermindert werden.

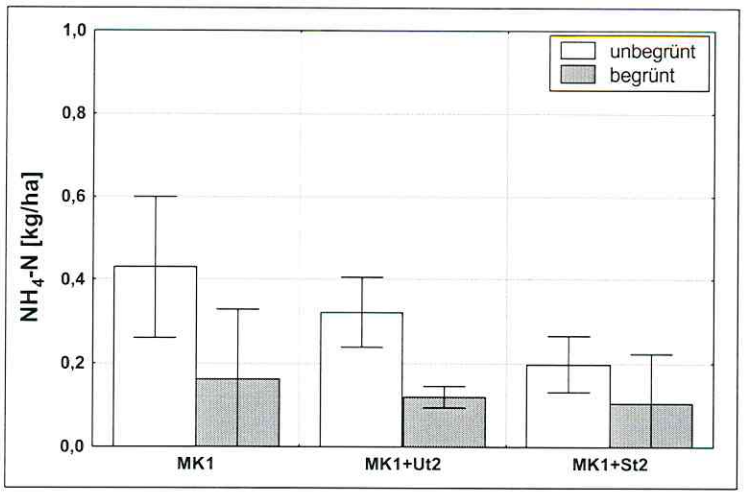


Abb. 31: NH_4-N–Fracht im Sickerwasser der 100 cm mächtigen Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 im gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Tendenzen hinsichtlich eines Zusammenhanges zwischen Materialmächtigkeit und NH_4-N–Fracht waren bei unbegrünten und begrünten Varianten nicht ersichtlich. Die Frachten der unterschiedlich mächtigen Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen in einem Bereich von 0 – 1 kg/ha innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Bei der 200 cm mächtigen unbegrünten Variante MK1 wurde eine Gesamtfracht von ca. 16 kg/ha erfasst.

Die Unterschiede zwischen den mittleren NH_4-N–Frachten der beiden Zeitspannen waren nur bei der unbegrünten Variante MK1+Ut2 signifikant. Tabelle 40 enthält die Ergebnisse der Varianzanalyse im Vergleich beider Zeiträume. Zwischen den NH_4-N–Frachten im Sickerwasser der unbegrünten und begrünten Varianten konnten innerhalb beider Zeiträume ebenfalls keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Tab. 40: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Frachten im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen, unbegrünten Varianten im Zeitraum vom 19.07.2003 – 22.07.2004 (a) und 29.07.2004 – 28.04.2005 (b) (Freilandversuch)

Variante	NH_4-N [kg/ha]		Tukey-Test* [p]
	a	b	
MK1	0,01 ± 0,02	0,02 ± 0,02	0,386
MK1+Ut2	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,03	**0,035**
MK1+St2	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,416

*signifikante Werte sind fettgedruckt

Aus Tabelle 41 können die mittleren Frachten des gesamten Untersuchungszeitraumes und die Ergebnisse der Varianzanalyse des Vergleiches unbegrünter und begrünter Varianten entnommen werden. Zwischen den mittleren NH_4-N–Frachten des gesamten Untersuchungszeitraumes unbegrünter und begrünter Varianten lagen keine signifikanten Unterschiede vor. Unterschiede der

mittleren NH_4-N–Frachten im Sickerwasser innerhalb der beiden Untersuchungszeiträume konnten nach statistischem Verfahren für die Varianten ebenfalls nicht festgestellt werden. In Anlage 59 sind die Ergebnisse des statistischen Vergleiches der mittleren Frachten für die unbegrünten Varianten innerhalb beider Zeitspannen enthalten.

Tab. 41: Vergleich durchschnittlicher NH_4-N–Frachten im Sickerwasser zwischen den 100 cm mächtigen unbegrünten und begrünten Varianten im gesamten Untersuchungszeitraum (Freilandversuch)

Variante	NH_4-N [kg/ha]		Tukey-Test* [p]
	unbegrünt	begrünt	
MK1	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,02	0,251
MK1+Ut2	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,03	0,725
MK1+St2	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,118

*Einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NH_4-N-Frachten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

4.3.3 Pflanze

Gefäßversuch

Bei der Variante MK1 betrug die Trockenmasse insgesamt 19754 kg TM/ha. MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen mit 18480 und 16375 kg TM/ha etwas geringere, aber dennoch Erträge in vergleichbaren Größenordnungen auf. Bei MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 wurden mit 21191, 19968 und 21852 kg TM/ha etwas höhere Erträge erzielt (Anlage 60). Bei den Varianten Ut2 und St2 wurde keine für Rekultivierungsmaßnahmen notwendige Pflanzenmasse erzielt. In Abbildung 32 sind die mit der TM aus den Rekultivierungsmaterialien entzogenen Gesamtstickstoffmengen für jede Variante dargestellt.

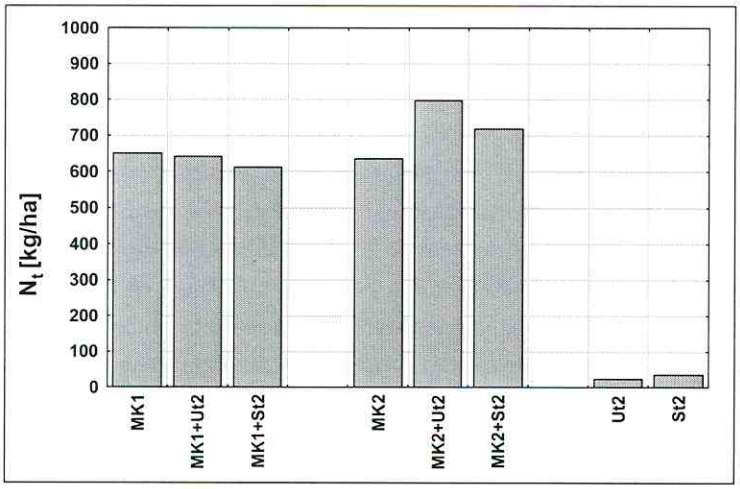


Abb. 32: N-Entzug durch oberirdische Biomasse nach Ernte am 12.09.03, 17.06.04 und 03.08.04 (Gefäßversuch 2)

Mit N_t–Gehalten von 3,25 bis 3,75 % wurde entsprechend der Biomasseerträge Stickstoff aus den Rekultivierungsschichten entzogen. Nach einer zweijährigen Versuchszeit wurde bei den MK1 -

Varianten 612 bis 652 kg N_t/ha entzogen. Bei den MK2 - Varianten wurde zeitgleich ein N_t-Entzug in Höhe von 636 bis 720 kg N_t/ha ermittelt.

Freilandversuch

Aufgrund der vollständigen Etablierung der Begrünung im Mai 2004 und der Absicht einer nachsorgefreien Fläche wurde eine einmalige Untersuchung der oberirdischen Biomasse durchgeführt. Auf den unterschiedlich mächtigen Varianten konnten bei MK1 Erträge von 3686 bis 6183 kg TM/ha erzielt werden. Bei MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen die Erträge im Bereich von 5311 bis 6682 kg TM/ha und 4585 bis 8020 kg TM/ha. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Ertrag und Mächtigkeit einer Variante war nicht feststellbar (Anlage 61). Mit N_t-Gehalten von 3,8 bis 4,7 % wurde bei MK1 zwischen 169 bis 246 kg N_t/ha entzogen. Der N_t–Entzug bei MK1+Ut2 und MK1+St2 lag im Bereich von 229 bis 287 kg N_t/ha und 207 bis 349 kg N_t/ha.

4.3.4 Stickstoffmineralisierung

Die ermittelte Veränderung des organisch gebundenen und mineralischen Stickstoffs während des gesamten Untersuchungszeitraumes ist für alle Varianten in Tabelle 42 enthalten. Ergebnisse von N_{org} und N_{min} wurden vom ersten (t0 = Juli 2003) und letzten (t1 = März 2005) Untersuchungstermin als Grundlage für die Berechnung der Veränderung gegenübergestellt. Mit dieser Gegenüberstellung wird die Tendenz der N-Umsetzung und des Verbleibes sickerwasserrelevanten Stickstoffs für die gesamte Untersuchungszeit charakterisiert.

Bei unbegrüntem MK1 verringerte sich das vorliegende N_{min} während des gesamten Untersuchungszeitraumes je nach Mächtigkeit der RS um 30 bis 47 %. Mit dem Sickerwasser wurden bei diesen Varianten zwischen 2 bis 34 % des ursprünglich vorliegenden N_{min} ausgewaschen. Bei den unterschiedlich mächtigen begrünten MK1-Varianten lagen bezüglich der Veränderung an N_{min} vergleichbare Tendenzen vor. Bei diesen Varianten wurden bei Mächtigkeiten von 50 bis 200 cm Verringerungen des N_{min} zwischen 14 bis 46 % ermittelt. Im Vergleich zu den unbegrünten Varianten lagen mit 0 bis 8 % vergleichsweise geringe min-N-Frachten im Sickerwasser vor. Durch Begrünung wurde im gleichen Zeitraum je nach Mächtigkeit zwischen 1 bis 4 % des N_{min} (t0) entzogen. Gemessen am N_{org} (t0) wurden bei allen vier Mächtigkeiten der unbegrünten und begrünten MK1–Varianten Verringerungen des N_{min} von 2 bis 15 % und 1 bis 15 % bei gleichzeitigem Anstieg von N_{org} festgestellt. Die Vorräte des N_{org} erhöhten sich kalkulatorisch bei den unbegrünten und begrünten Varianten je nach Mächtigkeit zwischen 7 bis 13 %. Vergleichbare Ergebnisse lieferten die Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2. N_{min} wurde in Abhängigkeit der Mächtigkeit bei den unbegrünten Varianten zwischen 4 bis 13 % des N_{org} (t0) reduziert. Bei den unterschiedlichen Mächtigkeiten lagen im März 2005 bei den unbegrünten und begrünten Varianten um 62 bis 80 % geringere N_{min}–Gehalte als im Juli 2003 vor. Durch Begrünung wurde N_{min} je nach Mächtigkeit und entsprechendem Vorrat in den unterschiedlich mächtigen RS zwischen 2 bis 20 % entzogen.

Tab. 42: Veränderung der N-Komponenten im Zeitraum Juli 2003 bis März 2005 (Freilandversuch)

Variante	Mächtigkeit		Veränderung im Rekultivierungsmaterial					Austrag durch Sickerwasser	Entzug durch Begrünung
			N_{org} [kg/ha] (t0)	dN_{org} [%] (t0-t1)	N_{min} [kg/ha] (t0)	dN_{min} [%] (t0-t1)	dN_{min} [%] (N_{org} t0)	[%] (N_{min} t0)	[%] (N_{min} t0)
MK1	50	unbegrünt	22015	10	4506	-42	-2	34	
	100		42088	13	9888	-30	-2	22	
	150		63727	9	18980	-42	-12	2	
	200		85446	7	28626	-47	-15	3	
MK1	50	begrünt	22927	10	4762	-16	-1	8	4
	100		44896	13	10715	-14	-2	4	2
	150		65976	11	19474	-36	-11	0	1
	200		86874	9	28687	-46	-15	1	1
MK1+Ut2	50	unbegrünt	17290	-1	2256	-71	-8	7	
	100		27805	4	3526	-62	-5	24	
	150		44391	0	6773	-75	-11	0	
	200		61335	-2	10217	-80	-13	0	
MK1+Ut2	50	begrünt	16785	2	2193	-58	-5	8	12
	100		30994	6	3863	-52	-5	3	6
	150		47022	-7	6946	-59	-8	0	4
	200		63122	-14	10184	-61	-10	0	2
MK1+St2	50	unbegrünt	15489	-6	1638	-77	-6	21	
	100		28277	-2	2802	-64	-4	22	
	150		40195	7	4441	-65	-6	11	
	200		51816	12	6112	-66	-8	0	
MK1+St2	50	begrünt	16665	-6	1770	-71	-5	7	20
	100		30093	-3	3067	-73	-6	1	10
	150		42157	0	4727	-73	-7	0	6
	200		53823	2	6404	-73	-8	0	3

t0 = Juli 2003; t1 = März 2005; * = 07.05.2004

Der Verlauf von min-N–Gehalten im Sickerwasser (4.3.2) und im RM (4.3.1.2) gibt Hinweise auf jahreszeitliche Schwankungen der Netto–N–Mineralisierung während des Untersuchungszeitraumes. Bei insgesamt negativen Bilanzen während des gesamten Untersuchungszeitraumes wurden im November 2003 kurzzeitig positive Bilanzen der N-Mineralisierung festgestellt (4.3.1.2). Bei der Variante MK1 stiegen im November 2003 die N_{min}–Gehalte im RM stark an. Die N_{min}–Gehalte betrugen im November 2003 bei den unbegrünten und begrünten Varianten 171 % (N_{min} t0) und 70 % (N_{min} t0). Für die unbegrünte und die begrünte Variante MK1 resultierte daraus eine kurzfristige N–Mineralisierung in Höhe von 50 (N_{org} t0) und 20 % (N_{org} t0) für diese Zeitspanne.

Der Zeitraum November 2003 bis April 2004 war durch eine Verringerung der N_{min}–Gehalte im RM geprägt. In den unbegrünten und begrünten RS aus MK1 konnten durchschnittlich 41 und 59 % des N_{min}–Gehaltes vom Juli 2003 festgestellt werden. Ein ähnlicher Verlauf der N–Mineralisierung ergab

sich bei unbegrüntem und begrüntem MK1+Ut2 und MK1+St2 mit durchschnittlichen Steigerungen von 44 und 34 % bzw. 50 und 41 % im November 2003. Bei den unbegrünten und begrünten Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 sanken die Gehalte im März 2004 auf 38 % und 57 % bzw. 60 % und 34 % der N_{min}–Gehalte vom Juli 2003 ab. Im Mai 2004 erreichten die N_{min}–Gehalte der RS den zweiten Maximalwert innerhalb der Untersuchungszeit. Gemessen am N_{min} (t0) wiesen die unbegrünten und begrünten Varianten von MK1 in dieser Zeit N_{min}–Gehalte von 84 und 75 % auf. Bei unbegrüntem bzw. begrüntem MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden Steigerungen auf 118 bzw. 132 % und 150 bzw. 165 % gemessen am N_{min} (t0) festgestellt. In der Zeitspanne Mai 2004 bis März 2005 nahmen die Gehalte an N_{min} bei allen RM fast kontinuierlich ab. Im März 2005 wurden bei unbegrüntem und begrüntem MK1 in der gesamten RS 59 und 63 % des N_{min} vom Juli 2003 nachgewiesen. Bei unbegrüntem und begrüntem MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen mit 30 und 42 % bzw. 35 und 27 % etwas geringere Werte vor.

Die Berechnung einer genauen Bilanz war mit Hilfe der Ergebnisse nicht möglich. Die Untersuchungsergebnisse weisen material- und methodenbedingte Fehlerquellen zwischen 1 – 3 % auf. Am Beispiel der 100 cm mächtigen Variante MK1 sind bei der Berechnung des N_t–Vorrates Fehler bis etwa 1600 kg/ha möglich. Es können Trends der Entwicklung dargestellt werden, aber keine fehlenden Bilanzgrößen kalkuliert werden. Berechnungen fehlender Bilanzgrößen (N_2O, ect.) wurden aus diesem Grund nicht vorgenommen und waren nicht Ziel der vorliegenden Arbeit.

4.3.5 Mikrobiologische Parameter

4.3.5.1 Mikrobielle Biomasse

Zu Beginn der Untersuchungen der mikrobiellen Biomasse (C_{mik}) im September 2003 wurden zwischen MK1 und MK1+Ut2 bzw. MK1+St2 signifikante Unterschiede festgestellt. Tabelle 43 enthält Angaben zum statistischen Vergleich und die Mittelwerte von C_{mik} für September 2003 und November 2004. Erwartungsgemäß enthielt MK1 deutlich höhere Gehalte an C_{mik} als die beiden RM MK1+Ut2 und MK1+St2. Im Bereich von 0 - 40 cm wurde während der Untersuchungszeit von September 2003 bis November 2004 bei unbegrüntem und begrüntem MK1 mit unkontinuierlichem Verlauf ein Anstieg von C_{mik} in Höhe von 36 % (363 µg C/g TM) und 48 % (481 µg C/g TM) festgestellt, wobei der Anstieg in der unbegrünten Variante mit p=0,236 statistisch nicht gesichert und in der begrünten Variante mit p=0,007 signifikant war. In der Untersuchungstiefe von 40 - 80 cm nimmt C_{mik} im gleichen Zeitraum um 53 % (541 µg C/g TM) und 34 % (218 µg C/g TM) ab. Bei unbegrüntem und begrüntem MK1+Ut2 bzw. MK1+St2 stiegen die Gehalte von C_{mik} in der Untersuchungstiefe von 0 - 40 cm um 45 % (163 µg C/g TM) und 50 % (212 µg C/g TM) bzw. 20 % (48 µg C/g TM) und 30 % (79 µg C/g TM) an. In dem darunter liegenden Horizont wurden Steigerungen von C_{mik} um 23 % (60 µg C/g TM) und 34 % (115 µg C/g TM) bzw. 13 % (26 µg C/g TM) und 17 % (31 µg C/g TM) festgestellt. Aufgrund der ermittelten Veränderung im RM konnten die C_{mik}–Gehalte im November 2004 im Horizont 40 - 80 cm MK1 und MK1+St2 nicht mehr statistisch voneinander unterschieden werden. Während bei MK1 die Gehalte sanken, wurden sowohl bei MK1+St2 als auch bei MK1+Ut2 Steigerungen von C_{mik} in diesem Horizont

festgestellt. Im Bereich von 0 - 40 cm wurde infolge des Anstieges der C_{mik}–Gehalte bei MK1 die Differenz zu MK1+Ut2 bzw. MK1+St2 statistisch gesichert.

Tab. 43: Mittlere C_{mik}-Gehalte [µg Cmik/g TM] der Varianten im September 2003 und November 2004 (Freilandversuch)

Variante		Untersuchungstiefe [cm]	Zeitpunkt	C_{mic} i g C / g TS	Tukey-Test	p*
MK1	unbegrünt	0-40cm	Sep. 03	638 ± 116	MK1 - MK1+Ut2	**0,001**
MK1+Ut2				197 ± 58	MK1 - MK1+St2	**0,001**
MK1+St2				195 ± 25	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,999
MK1	begrünt			521 ± 91	MK1 - MK1+Ut2	**0,003**
MK1+Ut2				206 ± 74	MK1 - MK1+St2	**0,002**
MK1+St2				179 ± 17	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,880
MK1	unbegrünt	40-80cm	Sep. 03	1023 ± 413	MK1 - MK1+Ut2	**0,014**
MK1+Ut2				198 ± 56	MK1 - MK1+St2	**0,011**
MK1+St2				162 ± 49	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,982
MK1	begrünt			851 ± 188	MK1 - MK1+Ut2	**0,002**
MK1+Ut2				220 ± 45	MK1 - MK1+St2	**0,001**
MK1+St2				147 ± 67	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,742
MK1	unbegrünt	0-40cm	Nov. 04	1001 ± 436	MK1 - MK1+Ut2	**0,037**
MK1+Ut2				360 ± 57	MK1 - MK1+St2	**0,031**
MK1+St2				243 ± 15	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,665
MK1	begrünt			1002 ± 136	MK1 - MK1+Ut2	**0,001**
MK1+Ut2				418 ± 41	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1+St2				258 ± 50	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,140
MK1	unbegrünt	40-80cm	Nov. 04	482 ± 223	MK1 - MK1+Ut2	0,176
MK1+Ut2				257 ± 43	MK1 - MK1+St2	**0,077**
MK1+St2				188 ± 31	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,801
MK1	begrünt			633 ± 208	MK1 - MK1+Ut2	0,065
MK1+Ut2				335 ± 72	MK1 - MK1+St2	**0,011**
MK1+St2				178 ± 2	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,351

*signifikante Werte sind fettgedruckt

In Abbildung 33 ist der jahreszeitliche Verlauf von C_{mik} für die unbegrünten und begrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 der Untersuchungstiefen 0 - 40 cm und 40 - 80 cm dargestellt. Der Verlauf des C_{mik} unterlag bei den unbegrünten und begrünten Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 jahreszeitlichen Schwankungen und stieg während des Untersuchungszeitraumes geringfügig an (Anlage 32). Der Anstieg war nur in einigen Fällen bei MK1+Ut2 signifikant (Anlage 33). Besonders in der Untersuchungstiefe von 0 - 40 cm waren jahreszeitliche Schwankungen im Verlauf des C_{mik} erkennbar. Die unbegrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen während des gesamten Untersuchungszeitraumes in beiden Untersuchungstiefen durchschnittlich 688 und 761 µg C/g TM, 254 und 271 µg C/g TM sowie 193 und 177 µg C/g TM C_{mik} auf. Hochsignifikante Unterschiede zwischen den mittleren C_{mik}–Gehalten der Varianten konnten nur im Vergleich von MK1 und MK1+Ut2 sowie MK1 und MK1+St2 festgestellt werden. MK1+Ut2 und MK1+St2 waren während des gesamten Untersuchungszeitraumes statistisch nicht zu unterscheiden. Vergleichbare Unterschiede wurden bei den begrünten Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 in den Horizonten 0 - 40 cm und 40 - 80 cm mit

mittleren Gehalten von 457 und 746 µg C/g TM, 292 und 281 µg C/g TM, bzw. 232 und 214 µg C/g TM ermittelt.

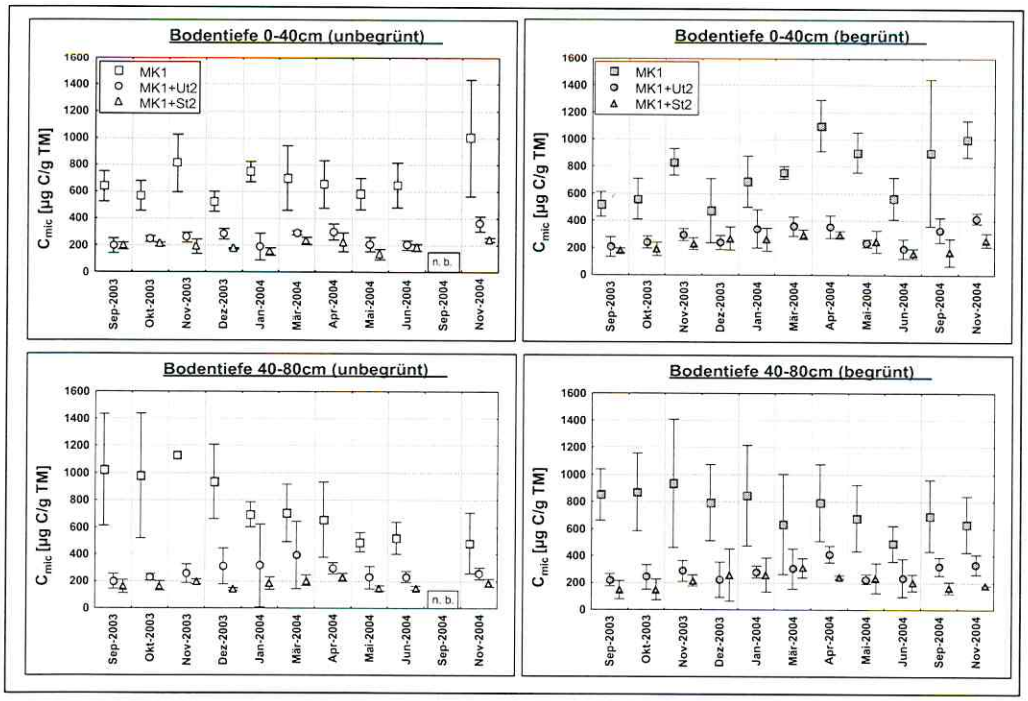


Abb. 33: Verlauf mittlerer C_{mik}–Gehalte der Rekultivierungsmaterialien in Untersuchungstiefen von 0-40 cm und 40-80 cm während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Durch den Aufbau von 100 cm mächtigen RS aus MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden im Juli 2003 Gesamtmengen an C_{mik} zwischen 2332 bis 2823 kg/ha, 1805 bis 1950 kg/ha und 1665 bis 1820 kg/ha aufgebracht. Anlage 34 enthält für jeden Untersuchungstermin die jeweiligen Mengen. Die jahreszeitliche Entwicklung der Vorräte verlief analog dem Gehalt an C_{mik}. Aufgrund höherer LD bei MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen nach Berechnung des Vorrates (kg/ha) geringere Unterschiede zu MK1 als bei den Gehalten (µg C/g TM) vor. Während des Untersuchungszeitraumes wurde bei unbegrüntem MK1 eine durchschnittliche Abnahme der mikrobiellen Biomasse von 303 kg/ha und bei begrüntem MK1 eine Zunahme von etwa 450 kg/ha ermittelt. Bei unbegrüntem bzw. begrüntem MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden durchschnittliche Zunahmen von 1021 bzw. 1496 kg/ha und 378 bzw. 561 kg/ha erfasst.

4.3.5.2 Metabolischer Quotient

Der metabolische Quotient (qCO_2) dient als Kenngröße für den physiologischen Zustand von Mikroorganismengemeinschaften und lässt Aussagen über Einflussfaktoren auf die Biomasse und über die Effizienz der Mikroorganismengemeinschaft, vorhandene Nährstoffquellen zu nutzen zu. In

Abbildung 34 ist das Jahresmittel des qCO_2 der untersuchten Varianten mit den dazugehörigen Standardabweichungen dargestellt. In der Untersuchungstiefe von 0 - 40 cm wurden bei allen unbegrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 etwas höhere mittlere qCO_2 als bei den begrünten festgestellt. Im darunter liegenden Bereich von 40 bis 80 cm lagen geringere qCO_2 bei den unbegrünten als bei den begrünten Varianten vor (Anlage 35). Der Vergleich mittlerer qCO_2 zwischen den Varianten zeigte deutlich geringere Werte bei MK1+Ut2 als bei MK1 und MK1+St2 in beiden Untersuchungstiefen. Während der mittlere qCO_2 der unbegrünten Varianten MK1 und MK1+St2 in der Untersuchungstiefe von 0 - 40 cm bei 20 lag, betrug der qCO_2 für die entsprechende vergleichbare Variante MK1+Ut2 16. Bei den unbegrünten und begrünten Varianten aus MK1 und MK1+St2 lagen während des gesamten Untersuchungszeitraumes in der Untersuchungstiefe von 0 - 40 cm geringere durchschnittliche qCO_2 als in der Untersuchungstiefe 40 - 80 cm vor. Die Unterschiede konnten aufgrund der Streuung nicht statistisch gesichert werden. Bei der Variante MK1+Ut2 wurden Differenzen zwischen dem durchschnittlichen Niveau des qCO_2 in beiden Untersuchungstiefen nicht ersichtlich.

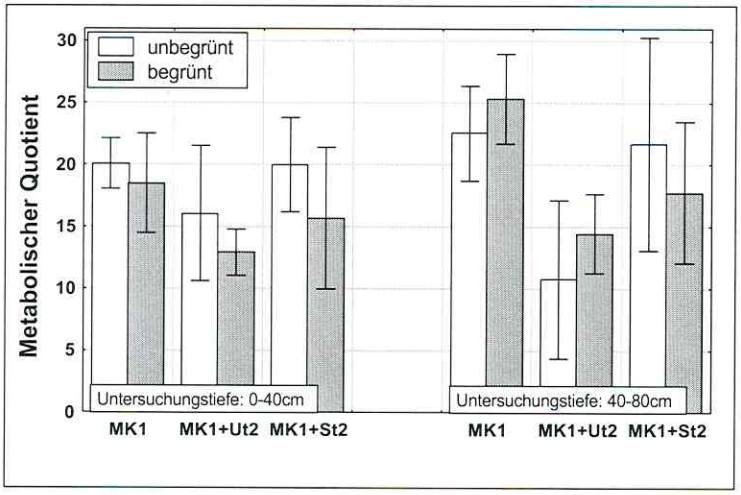


Abb. 34: Mittlerer Metabolischer Quotient der Rekultivierungsmaterialien in Untersuchungstiefen 0 - 40 cm und 40 - 80 cm während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)

Tabelle 44 gibt einen Überblick über die Veränderung des qCO_2 in beiden Untersuchungstiefen für jede Variante zwischen Juli 2003 und November 2004. Die Reduzierung des qCO_2 bei MK1+Ut2 in der Untersuchungstiefe von 40 - 80 cm war signifikant. Bei MK1+St2 wurde ein Anstieg des qCO_2 mit statistischer Sicherheit in beiden Untersuchungstiefen festgestellt.

Tab. 44: Mittlerer Metabolischer Quotient der Varianten im September 2003 und November 2004 (Freilandversuch)

Variante		Untersuchungstiefe [cm]	qCO_2 Sep 03	qCO_2 Nov 04	Tukey-Test [p]*
MK1	unbegrünt	0-40	19,4 ± 7,5	21,3 ± 5,2	0,741
	begrünt		18,9 ± 2,4	16,4 ± 2,7	0,294
	unbegrünt	40-80	22,7 ± 7,7	27,8 ± 5,6	0,412
	begrünt		28,4 ± 6,0	23,9 ± 2,5	0,289
MK1+Ut2	unbegrünt	0-40	15,7 ± 0,5	20,3 ± 2,9	0,060
	begrünt		13,9 ± 1,6	9,6 ± 2,5	0,064
	unbegrünt	40-80	10,5 ± 2,4	24,0 ± 9,7	0,164
	begrünt		15,0 ± 2,0	9,8 ± 2,2	**0,041**
MK1+St2	unbegrünt	0-40	14,8 ± 2,8	34,5 ± 0,1	**0,003**
	begrünt		16,9 ± 1,4	28,7 ± 9,2	0,092
	unbegrünt	40-80	15,6 ± 3,2	43,0 ± 17,2	0,053
	begrünt		17,6 ± 2,6	31,5 ± 2,3	**0,002**

*Multiple einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den qCO_2-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

4.3.6 Diskussion

Gesamtstickstoff

MK1+Ut2 und MK1+St2 bzw. MK2+Ut2 und MK2+St2 enthalten N_t-Gehalte in Höhe von 0,312 %, 0,252 % bzw. 0,342 % und 0,25 % bei einem C/N-Verhältnis von etwa 15 und lassen sich mit natürlich gewachsenen und langfristig ackerbaulich genutzten Böden vergleichen und somit als gleichwertig bezeichnen. MK1 und MK2 sind mit der fast drei- bis vierfachen Menge an N_t im Vergleich zu natürlichen Böden sehr stickstoffreich. Ursache für die geringen N_t-Gehalte in MK+Ut2 bzw. –St2 ist neben den N–armen Mischungskomponenten Ut2 und St2 das spezifische Gewicht der Materialien. Nach Mischung der Ausgangsmaterialien mit volumetrischer Vorgabe wurden die Ergebnisse der chemischen Parameter in gravimetrischen Einheiten angegeben. Mit einer um etwa 5-fach höheren Dichte der Bodenmaterialien im Vergleich zum MK waren diese Ergebnisse plausibel. Die Anwendung von MK1 oder MK2 als alleiniges RM ergab im Vergleich zu natürlich gewachsenen Mineralböden künstlich geschaffene Bodenschichten mit zu hohen N_t-Gehalten. STÖPPLER-ZIMMER, GOTTSCHALL UND GALLENKEMPER (1993), KRANEBITTER UND INSAM (1996), GALLENKEMPER UND FLAMME (1996a, 1996b), THOME-KOZMIENSKY (1998) UND EMMERLING ET AL. (2000) geben für zahlreiche Klärschlammkomposte N_t-Gehalte zwischen 1,17 – 1,85 M% an. EPSTEIN, KEANE, MEISINGER UND LEGG (1978), PARKER UND SOMMER (1983) und SIMS (1990) machen Angaben zum N_t von Klärschlammkompost in Höhe von 1,2; 1,4 und 1,2 M%. Sechs Klärschlammkomposte unterschiedlicher Zusammensetzung aus verschiedenen Regionen Deutschlands wiesen Gehalte von N_t in Höhe von 0,72 bis 2,45 M% auf (Tauchnitz 2004). MK1 und MK2 aus 50 Vol.% kommunalem Klärschlamm und 50 Vol.%

Strukturmaterialgemisch enthielten mit 1,3 und 1,6 M% N_t-Gehalte entsprechend der in der Literatur angegebenen Spannweiten für Klärschlammkomposte. Die N_t-Gehalte von KSK sind mit den meisten Bio- und Grünkomposten vergleichbar. Unter anderen geben VOGTMANN UND FRICKE (1989), VOGTMANN, FRICKE UND GOTTSCHALL (1993), ASCHE UND STEFFENS (1995), KUHLMANN ET AL. (1996) N_t-Gehalte in Biokomposten zwischen 0,8 bis 1,86 M% an. Neben Biokomposten weisen reife und frische Grünkomposte mit 0,93 - 1,71 M% ähnliche Werte auf (WERNER, SCHERER UND ROSSBACH 1998). Angaben zur Zusammensetzung der KSK wurden von keinem der Autoren gemacht.
Natürlich gewachsene Böden mit N_t-Gehalten von >1 bis >2 % können meist nur auf Niedermoorstandorten festgestellt werden (GÖTTLICH 1990, VERHOEVEN ET AL. 1996, WASSEN ET AL. 1998). Auf rekultivierten Deponien und Bergbaufolgelandschaften wurden bislang Grünland, Strauch- und Waldvegetationen etabliert oder ackerbauliche Nutzung angestrebt. Untersuchungen von RIEHL (2001) zeigen, dass der Humusanteil in Böden unter Grünland 3 - 8 %, bei einem C/N-Verhältnis von 8:1 bis 12:1 beträgt. Da Humus zu 58 % aus Kohlenstoff besteht (MÜLLER 1980), ergeben sich kalkulatorisch aus diesen Angaben N_t-Gehalte zwischen 0,21 bis 0,4 %. Auf Auestandorten in Havel- und Elbeniederungen stellten FRANKE ET AL. (1999) 6,5 % Humus mit N_t-Gehalten zwischen 0,26 bis 0,43 % unter Grünland fest. Waldstandorte weisen gegenüber Grün- und Ackerland weitaus höhere Humusgehalte auf. Aufgrund weiterer C/N-Verhältnisse zieht das aber nicht zwangsläufig höhere N_t-Gehalte nach sich. VINTHER ET AL. (1988) stellten bei Untersuchungen im Oberboden unter Buche und Drahtschmiele C/N-Verhältnisse von 20:1 bis 22:1 fest. Unter Annahme von C/N-Verhältnissen o. g. Grünlandstandorte resultieren daraus N_t-Gehalte von etwa 0,18 bis 0,36 %. In Bodenhorizonten von Nadelholzstandorten gaben BEYER ET AL. (1988) C/N-Verhältnisse von etwa 30:1 an. In den darunter liegenden Bereichen sanken die C/N-Verhältnisse von 25:1 auf 16:1 ab. Oberböden natürlich gewachsener Mineralböden weisen im allgemeinen Humusgehalte zwischen 1 - 4 % auf (MÜLLER 1980). LIEBEROTH (1963) ermittelte für die Krume von Ackerböden eine Spanne der C/N-Verhältnisse von 9:1 bis 13:1. Wird für diese Standorte ein im Vergleich zum Wald enges C/N-Verhältnis von 10:1 unterstellt, ergeben sich kalkulatorisch N_t-Gehalte von etwa 0,05 bis 0,34 %.

Am Beispiel 100 cm mächtiger Rekultivierungsschichten aus MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 des Freilandversuches wurden N_t-Vorräte von 56, 35 und 32 t/ha geschaffen. Im Falle einer Erhöhung der Mächtigkeit veränderte sich aufgrund ähnlicher LD in der gesamten RS der N_t-Vorrat entsprechend. Basierend auf den Angaben zum N_t-Gehalt von RIEHL (2001) ergeben sich unter Annahme einer geringen bis mittleren LD von 1,6 g/cm^3 in den betrachteten oberen 10 cm Boden Gesamtstickstoffvorräte in Höhe von 4000 bis 6400 kg/ha. Aus Untersuchungen von FRANKE ET AL. (1999) leiten sich für Auenstandorte unter Grünland in der Bodentiefe 0-10 cm N_t-Vorräte zwischen etwa 4160 und 6400 kg/ha ab. Bei Untersuchungen verschiedener Waldsstandorte konnten RINKLEBE UND MAKESCHIN (1997) auf einem Lößstandort unter Buche und Eiche Gesamtstickstoffvorräte von ca. 12400 kg/ha und auf einem ackerbaulich genutzten unterfränkischen Lößstandort 14600 kg/ha bei einer Mächtigkeit von 100 cm ermitteln. Für verschiedene Waldstandorte macht EMBERGER (1965) Angaben zum N_t-Vorrat. In Tabelle 45 sind die von EMBERGER (1965) ermittelten N_t-Vorräte nach der jeweiligen Muttergesteinsgruppe geordnet.

Tab. 45: N_t–Vorrat verschiedener Waldstandorte nach Muttergesteinsgruppe (Emberger 1965)

Muttergesteinsgruppe	N_t [kg N_t/ha in 100cm Mächtigkeit]
Keuper und Kreidesande	1905 - 2542
Sande und Kiese	2494 - 5165
Granit	3077 - 6575
Keupersandstein	3419 - 7601
Keuperletten	3419 - 7601
sandig-lehmige Albüberdeckungen	3419 - 7601
Buntsandstein	3810 - 9021
Niederterassenschotter und Auensande	4249 - 8174
Gneis	5347 - 8941
Phyllit	5347 - 8941
Lößlehm	6018 - 9866
Basalt	6245 - 15929

Aufgrund der Absicht, RS aus homogenem Material in unterschiedlichen Mächtigkeiten aufzubauen, ist ein horizontbezogener Vergleich mit natürlich gewachsenem Bodenmaterial ungeeignet. Die in der einschlägigen Literatur kommentierten Untersuchungen verschiedener Böden richten sich häufig nach der jeweiligen Nutzungsform und den entsprechenden Bodenhorizonten. Für Grünlandstandorte werden aufgrund hoher Humusakkumulation im oberen Bereich nur die oberen 10 cm betrachtet. Bei ackerbaulich genutzten Standorten sind in den häufigsten Fällen aufgrund der Bewirtschaftung die obersten 30 cm von Interesse. Mit dem Aufbau von RS aus MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 werden Standorte wie Deponien und devastierte Bergbaufolgelandschaften mit größeren N_t-Vorräten versorgt als ackerbaulich genutzte Böden und Waldstandorte aufweisen. Aufgrund einer zukünftig angestrebten nachsorgefreien Bewirtschaftung und einer zu erwartenden Zunahme stabiler Humusformen sind diese Nährstoffmengen für die Entwicklung einer geschlossenen Vegetationsdecke zur Herstellung eines funktionstüchtigen Wasserhaushaltssystems zur Rückhaltung von Sickerwasser vorteilhaft.

Mineralischer Stickstoff

Vorliegende Untersuchungen zeigten, dass bei den sechs unterschiedlich hergestellten Klärschlammkomposten des Gefäßversuches 1 die Anteile des pflanzenverfügbaren Stickstoffs zwischen 7 bis 22 % variieren können. THOME-KOZMIENSKY (1998) und AMLINGER UND GÖTZ (2000) wiesen nach, dass im KSK über 90 % des N_t in organisch gebundener Form vorliegen. Bestätigt wird dieser Befund durch Untersuchungen von FRICKE ET AL. (1991), GONZÁLEZ-PRIETO (1993), GUTSER (1996) und THOME-KOZMIENSKY (1998) die pflanzenverfügbare NO_3-N- und NH_4-N-Mengen zwischen 5 - 17 % des N_t angeben. MK1 und MK2 können mit 15 und 18 % N_{min} am N_t mit diesen Beispielen verglichen werden. Die Unterschiede beider MK sind als gering einzustufen. Allerdings weist der Fertigkompost MK1 im Vergleich zum MK2 mit um etwa 5 % niedrigeren NH_4-N und 2 % höheren NO_3-N–Gehalten auf Eigenschaften eines länger im Verrottungsprozess verbliebenen Kompostes hin. Die im Vergleich zum NO_3-N höheren NH_4-N–Gehalte im MK sind für KSK normal und Folge vorliegender mikrobieller Stoffwechselvorgänge bzw. der Ammonifizierung. Die deutlich höheren NH_4-Gehalte im MK2 verdeutlichen den noch nicht vollständig abgeschlossenen Rotteprozess (THOME-KOZMIENSKY 1998). MK1+Ut2 und MK1+St2 bzw. MK2+Ut2 und MK2+St2 enthalten kurz nach

Herstellung der Materialien anteilig etwa 18 und 19 % bzw. 14 und 14 % N_{min} am N_t. Das entspricht N_{min}-Gehalten von etwa 0,02 bis 0,06 % der TM. Mineralische und ackerbaulich genutzte Böden weisen nach GUTSER (1996) und SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) durchschnittlich etwa 5 % N_{min} am N_t auf. KÖRSCHENS (1997) gibt für Ackerböden Gehalte von N_{min} in Höhe von 0,02 bis 0,06 M% an. Mit den Gehalten und Anteilen des N_{min} können die untersuchten RM mit mineralischen und ackerbaulich genutzten Böden qualitativ gleichgesetzt werden. In den Mischungsvarianten MK1 (MK2)+Ut2 und MK1 (MK2) +St2 fielen die NO_3-N-Konzentrationen im Vergleich zum entsprechenden MK verhältnismäßig hoch aus. Die Ursache dafür ist vermutlich in dem während der Vermischung zugeführten Luftsauerstoff und im Abbruch von mikrobiellen Umsetzungsprozessen durch die Veränderung des gesamten Milieus, wodurch Nitrifikationsprozesse ausgelöst wurden, zu sehen.

Basierend auf der Annahme von 5 % N_{min} am N_t und der Angabe von RINKLEBE UND MAKESCHIN (1997) ergibt sich für einen Lößstandort ein N_{min}-Vorrat von etwa 730 kg/ha in einer Mächtigkeit von 90 cm. 1 Meter mächtige RS aus MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 wurden unmittelbar nach Aufbau durch N_{min}-Gehalte von 10, 3,9 und 3 t/ha charakterisiert. Diese Gehalte an N_{min} sind als Momentaufnahme zu werten. Durch Transport und Bewegungen des RM wurde Luftsauerstoff zugeführt, wodurch Mineralisierungsschübe verursacht worden sind.

Veränderung der Stickstoffkomponenten

N-Mineralisierungsprozesse (Ammonifizierung, Nitrifikation) sowie Prozesse der Denitrifikation und Immobilisierung nehmen eine zentrale Bedeutung für die Veränderung der anteiligen N-Komponenten in den RS ein (SIMS 1990). Die Ammonifizierung ist die mikrobielle Umwandlung von N_{org} in NH_4-N. Die Umwandlung anorganischer N-Verbindungen in organische Verbindungen bezeichnet man als Immobilisierung. Entscheidende Bedingungen dieser Prozesse sind Temperatur, pH-Wert, Wassergehalt und damit im Zusammenhang stehende Durchlüftung und Porengröße der Materialien (SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997).

CHAE UND TABATABAI (1985), GARAU, FELIPO UND RUIZ DE VILLA (1986) und SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) stellten in natürlich gewachsenen und mit Komposten behandelten Böden ideale Bedingungen für die Mineralisierung in Temperaturbereichen zwischen 30 bis >50 °C und 50 bis 75 °C fest. In Kombination mit pH-Werten zwischen 6 - 8 und einer Bodenfeuchte von etwa 50 - 75 % der FK können maximale Mineralisierungsleistungen erreicht werden. Neben günstigen Temperaturen in Bereichen zwischen 35 bis 60 °C bei MK1 und 10 bis 40 °C bei MK1+Ut2 und MK1+St2 (Anlage 64) lagen während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei allen Varianten pH-Werte im Bereich von 6 bis 9 vor (Anlage 63).
Die Messdaten der Bodenfeuchte geben Hinweise auf die Sättigung der RM. Von Juli bis Dezember 2003 lagen bei unbegrüntem und begrüntem MK1 Bodenwassersättigungen bei Annahme einer FK von 50 Vol.% im Bereich von etwa 40 bis 56 % der FK vor. Nach Hinweisen von CHAE UND TABATABAI (1985), GARAU, FELIPO UND RUIZ DE VILLA (1986) und SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) sind in dieser Zeit ideale Vorraussetzungen für Mineralisierungsprozesse vorhanden.

Der Anstieg des N_{min} und insbesondere der NH_4-N–Gehalte im RM in den ersten Monaten lässt sich eindeutig auf die genannten Bedingungen zurückführen. Ein ähnliches Verhalten zeigten die Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2. Bei diesen Varianten lagen ebenfalls ideale Bodenwassergehalte und Temperaturen für Mineralisierungsprozesse vor. Innerhalb der Zeitspanne von Juli bis November 2003 wurden auch hier die Maximalgehalte an NH_4-N und NO_3-N ermittelt.

Die zeitgleiche Steigerung von NO_3-N ist Resultat der Nitrifikation. Nitrifikationsprozesse haben im durchlüfteten Bodenmaterial ihr Optimum bei vergleichbarer Bodenfeuchte und pH-Werten sowie in Temperaturbereichen von 30 – 35 °C. Die Untersuchungen ergaben bis November 2003, insbesondere bei MK1 (0 - 40 cm), bei MK1+Ut2 und bei MK1+St2 ein Temperaturniveau in diesem Bereich. Untersuchungen von SIEBERT, LEITFELD UND KÖGEL-KNABNER (1998) zeigten ebenfalls unmittelbar nach Einarbeitung von Komposten den Beginn von Nitrifikationen. Die geringere NO_3-N–Entstehung in tiefer gelegenen Horizonten lässt sich in der gleichen Zeitspanne auf geringere Sauerstoffversorgung zurückführen. Ab Dezember 2003 bestand die Tendenz der Abnahme des N_{min} als Summe von NH_4-N und NO_3-N. Bei erheblicher Reduzierung von NH_4-N lagen fast gleichbleibende bis geringfügig sinkende NO_3-N–Gehalte vor (4.3.1.2). Die Bodentemperatur erreicht während dieser Zeit nur in den Sommermonaten 2004 die für Nitrifikationsprozesse idealen Maximalwerte von etwa 30 °C. In dieser Zeit weist MK1 in Untersuchungstiefen von 40 - 80 cm und 80 - 120 cm kurzzeitig einen Anstieg von NO_3-N–Gehalten auf. Untersuchungen von NIKOLAUS, KLEBER UND STAHR (1997) zeigen vergleichbare Tendenzen bezüglich der Entwicklung des N_{min} in RS aus Klärschlammkompost. Nach Beginn ihrer Untersuchungen zeichnete sich innerhalb eines Jahres ebenfalls ein deutlicher Rückgang der N_{min}-Gehalte von >600 auf <100 kg/ha ab. Für den Rückgang der Gehalte werden von diesen Autoren Auswaschungen vermutet.

Unmittelbar nach dem Aufbau der RS wurden bei unbegrüntem und begrüntem MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 innerhalb eines halben Jahres ca. 20 und 50 %, 5 und 6 %, 5 und 6 % des zu Beginn der Untersuchungszeit vorliegenden N_{org} zusätzlich mineralisiert. Ab November 2003 bis März 2005 nahm der Anteil des N_{min} durch anzunehmende Immobilisierungen bei diesen Varianten im RM um durchschnittlich 62 und 32 %, 17 und 14 %, 12 und 13 % gemessen am N_{org} (t0) ab. Die Reduzierung bzw. Immobilisierung überstieg bei allen Varianten die zunächst einsetzenden Mineralisierungsprozesse. Im März 2005 wurden in den unbegrünten und begrünten Varianten gemessen am N_{org} (t1) verfügbare N_{min}-Gehalte von etwa 16 und 17 %, 5 und 7 %, 4 und 3 % festgestellt. Am Beispiel der 100 cm mächtigen Varianten aus MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 entsprach das einem N_{min}-Vorrat von 6881 und 9173 kg/ha, 1355 und 1834 kg/ha, 1012 und 824 kg/ha. Bei fortsetzendem Trend der Reduzierung ist demnach in den Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 in Zukunft von einer geringeren jährlichen Stickstoffversorgung der Pflanzen auszugehen.

Im Rahmen der Versuche konnten die RS nur unmittelbar nach dem Aufbau untersucht werden. Nach den vorliegenden Erkenntnissen umfasste der Untersuchungszeitraum die Zeitspanne einsetzender Mineralisierungsschübe und Immobilisierungsprozesse. Langfristig muss nach vorliegenden Literaturangaben in diesen nachsorgefreien RS von Mineralisierungsraten bis 2 % ausgegangen werden. Unter Annahme einer Mineralisierungsrate in Höhe von 2 % sind bei den untersuchten 100 cm mächtigen RS N_{min}–Nachlieferungen zwischen 556 kg/ha und 1018 kg/ha in den Folgejahren

möglich. Mit der Anwendung von RS aus MK1+Ut2 und MK1+St2 ist bei langfristig kontinuierlichem Entzug bzw. einer Abfuhr von N_{min} aus den RS in Zukunft mit geringeren Nachlieferungen zu rechnen. Mit der Aufbringung eines solchen N-Pools kann davon ausgegangen werden, dass dieser Standort über Jahre ausreichend stickstoffversorgt ist. Eine durch reichliche N_{min}–Versorgung unterstützte, etablierte und geschlossene Vegetationsdecke bietet aufgrund ihrer sickerwasserreduzierenden Wirkung im Wasserhaushaltssystem ausreichend Schutz vor unerwünschten Stoffverlagerungen (4.3.2). Bei MK1 findet unter Annahme einer N-Mineralisierung von 2 % ab März 2005 eine deutliche Überversorgung statt. Im Falle auftretender Sickerwasserereignisse ist mit deutlich höheren N_{min}–Auswaschungen als bei MK1+Ut2 und MK1+St2 zu rechnen. Die min-N–Frachten bei begrüntem MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen im Bereich durchschnittlicher N_{min}–Auswaschungen von Ackerflächen der Bundesrepublik Deutschland (ISERMANN UND STURM 1990; SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997; UBA 2005).

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes wurde eine Abnahme des N_{min} festgestellt (4.3.1.2). Der Entzug von N_{min} durch Begrünung und Auswaschung stellt nur einen kleinen Anteil des N_{min} dar. Mit dem während der gesamten Untersuchungszeit fast gleichbleibenden N_t lassen sich die Verringerungen des N_{min} von 6 bis 18 % des N_t je nach Variante als Zunahme von N_{org} bzw. unter Beziehung der vorher genannten Bedingungen als Immobilisierung erklären. In der Literatur werden häufig Daten zur potentiellen Mineralisierung der organischen N-Komponenten veröffentlicht, die kalkulatorisch, in landwirtschaftlichen oder Inkubationsversuchen erhoben worden sind. Untersuchungsergebnisse von GUTSER (1996) belegen, dass die Bindungsformen organischen Stickstoffs ausgereifter Komposte mit denen natürlich gewachsener Böden vergleichbar sind. Für ruhende Komposte werden deshalb jährlich 0,3 bis 2,0 % Mineralisierung der organischen N-Verbindungen erwartet. Entgegen der Aussage von GUTSER (1996) können den Angaben der LAGA (1995) zufolge im Anwendungsjahr 10 - 15 % des organisch gebundenen Stickstoffes mineralisiert werden. Diese Angaben werden durch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse mit hohen Mineralisierungen organischer N-Komponenten im Anwendungszeitraum gemäß 4.3.1.2 gestützt. Außerdem wird dieser Befund neben den eigenen Untersuchungsergebnissen durch zahlreiche Untersuchungsergebnisse vieler Autoren bestätigt. So stellten unter anderen FRICKE ET AL. (1991), VOGTMANN ET AL. (1993), FISCHER ET AL. (1993), OEHMICHEN ET AL. (1994), DÖHLER (1995), GRÖBLINGHOFF UND OEHMICHEN (1995), PETERSSEN UND STÖPPLER-ZIMMER (1995), POLETSCHNY (1996), KLASINK UND STEFFENS (1996), TRAULSEN ET AL. (1996) UND SEVERIN (1996) bei Grüngut-, Bioabfall- und anderen Komposten im Anwendungsjahr Mineralisierungsraten von größtenteils 10 - 20 % fest. Diese Ergebnisse beruhen in den meisten Fällen auf Untersuchungen von landwirtschaftlichen Bodenverbesserungsmaßnahmen und sind aus diesem Grunde nur während der Anwendungsphase auf die anfängliche Mineralisierungsdynamik und nicht langfristig auf nachsorgefreien bzw. ruhenden Materialien wie RS übertragbar.

Nach Hinweisen von ASCHE UND STEFFENS (1995), WERNER ET AL. (1998) kann langfristig von geringen Mineralisierungsraten ausgegangen werden. Die Ausbringung von Komposten führte auf landwirtschaftlichen Flächen nicht zwangsläufig zur Vergrößerung des N_{min}–Pools. Untermauert wird dieser Hinweis von WILDHAGEN ET AL. (1987), ASCHE UND STEFFENS (1995), EBERTSEDER ET AL. (1996)

und WERNER ET AL (1998) die in Inkubations-, landwirtschaftlichen Gefäß- und Freilandversuchen neben Mineralisierungen organischer N-Verbindungen in Höhe von 0,01 bis 2,3 %, andauernde Immobilisierungsprozesse des N_{min} nach der Anwendung festgestellt haben. KRANEBITTER UND INSAM (1996) stellten nach Anwendung von Klärschlammkomposten im Vergleich zur Kontrollvariante sogar keine Nährstoffwirkung im Boden fest. Eine Studie von AMLINGER UND GÖTZ (2000) konnte bei Untersuchungen von 36 Kompostmaterialien in 50 % der Proben Immobilisierungen feststellen. Unter Feldbedingungen legen diese Materialien den N fest. Nach Einarbeitung von maximal 500 t Bio- und Grünkomposten in verschiedenen Kippsubstraten in Lausitzer Bergbaufolgelandschaften stellten HAUBOLD-ROSAR UND GAST (2003) in eigenen Untersuchungen kurz nach Anwendung deutliche N-Immobilisierungen in Kombination mit ansteigender mikrobieller Biomasse fest. Nach weiteren Untersuchungen wurden Mineralisierungsleistungen von maximal 5 % im Jahr ermittelt. Nach Angaben von EBERTSEDER ET AL. (1996) ist nur bei Komposten mit einem C:N-Verhältnis unter 15 mit einer Düngewirkung für Nutzpflanzen zu rechnen. Nach AMLINGER UND GÖTZ (2000) kann bei Anwendung von Komposten eine unmittelbare N-Wirkung von 5 - 15 % erzielt werden. In den Folgejahren ist nach dieser Anwendung mit Mineralisierungen der organischen Substanz in Höhe von etwa 2 - 8 % auszugehen.
Auf der Grundlage vorliegender Veröffentlichungen kann im Anwendungsjahr bei Komposten in der Landwirtschaft und in der Rekultivierung von kurzfristigen Mineralisierungsschüben von bis ca. 15 % mit anschließend einsetzender Immobilisierung des verfügbaren N ausgegangen werden. Bei einigen Beispielen setzen Immobilisierungen unmittelbar ohne steigende Mineralisierung des N_{min} ein. Nach eingestellten N-Umsetzungsprozessen ist bei diesen Materialien von Mineralisierungsraten bis zu 2 % und in Einzelfällen bis zu 8 % auszugehen. Die Literaturbeispiele beziehen sich größtenteils auf Untersuchungen im Sinne von landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen.

Verringerungen des N_{min} sind neben Immobilisierung, Entzug durch Begrünung und Sickerwasserverlagerungen durch Denitrifikation möglich. Hohe Denitrifikationen können nach SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) unter wassergesättigten und demzufolge anaeroben Bedingungen stattfinden. Als ideale Bedingungen zur Denitrifikation nennen SHIREY UND SEXSTONE (1989) Temperaturen um ca. 30 °C, pH–Werte um 6 - 8, Anwesenheit von NO_3-N und verfügbarer Kohlenstoff. Aufgrund der Zufuhr von Energiequellen in Form von verfügbarem Kohlenstoff für die Mikroorganismen wird das Potential zur Denitrifikation bei Einsatz von organischen Reststoffen vergrößert. Der schnelle mikrobielle Abbau organischer Substanz kann durch stark steigenden Sauerstoffverbrauch selbst bei wasserungesättigtem Milieu anaerobe Bedingungen verursachen, in denen Denitrifikationen entstehen können (SHIREY UND SEXSTONE 1989). Denitrifikationen entstehen nach SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) erst bei fast vollständig verbrauchtem Sauerstoffdargebot im Boden. Selbst gut gelockertes Bodenmaterial neigt bei mangelnder Sauerstoffdiffusion in das innere der Aggregate zu Denitrifikationsvorgängen. Aufgrund der Hinweise dieser Autoren lassen sich bei RS mit KSK Denitrifikationen nicht völlig ausschließen.
Im Rahmen vorliegender Untersuchungen waren Fragestellungen zum gasförmigen N-Verlust nicht relevant. Erklärende Hinweise für den Verbleib des N_{min} im RM geben unter anderem Parameter, wie PWP und Wassergehalt im Boden, das C:N – Verhältnis einzelner Materialkomponenten und C_{mik}. Mit

den bodenphysikalischen Untersuchungen wurden bei MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 PWP von ca. 10, 9 und 7 Vol.% festgestellt. Der Anteil vorhandener Mikroporen kann an diesen Werten bemessen werden. Mit geringen Lagerungsdichten und der geringen PWP kann nicht von wassergesättigten Aggregaten ausgegangen werden, in die der Sauerstoff nur langsam eindringen kann. Nach den Hinweisen von CHAE UND TABATABAI (1985), GARAU, FELIPO UND RUIZ DE VILLA (1986), SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) ist anhand der bodenphysikalischen Parameter, der Bodenwassersättigung in Kombination mit verfügbarem NO_3-N nicht von durch Wassersättigung geförderter Denitrifikation auszugehen. Bei Annahme von geringer bzw. ausbleibender Denitrifikation und anhand der o. g. Zusammenhänge kann der Verbleib des N_{min} bzw. mögliche Verringerungen des N_t überwiegend durch den pflanzlichen Entzug und durch Sickerwasseraustäge erklärt werden. Anhand des Wassergehaltes im Boden lässt sich der Sättigungsgrad als Einflussgröße für Mineralisierungs-, Immobilisierungs- und Denitrifikationsprozesse definieren. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes kann nicht von wassergesättigten Verhältnissen ausgegangen werden. Bei den begrünten RS lag die FK bei allen RM an fast allen Terminen weit unterhalb von 75 % der maximalen Wassersättigung. Bei den unbegrünten Varianten hingegen lag bei MK1 ab Oktober 2004 in der Untersuchungstiefe von 0 - 40 cm kurzzeitig eine FK von über 80 % vor. Unbegrüntes MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen lediglich in oberen Bereichen der RS kurzzeitig in der niederschlagsreichen Zeit von Mai bis Juli mit 208 mm Sättigungen von >90 % an der FK auf. Mit Ausnahme dieser Zeit kann von permanent wasserungesättigten Verhältnissen in den RS ausgegangen werden.

MK1 weist ein C:N – Verhältnis von etwa 15 auf. Die ursprünglich eingesetzten Holzbestandteile des Strukturmaterialgemisches sind im angelieferten MK1 in einer Absiebung von 25 mm teilweise immer noch vorhanden. Holz weist C:N–Verhältnisse von weit über 25 auf. Unmittelbar an den einzelnen Holzbestandteilen lagen dadurch in Kombination der Bestandteile mit geringerem C:N Bedingungen für Immobilisierungsprozesse vor. Bei C:N >25 werden im Boden vorhandene anorganische N-Vorräte durch den Aufbau von Populationen mikrobiell gebunden bzw. immobilisiert (AMLINGER UND GÖTZ 2000), woraus ein Anstieg der mikrobiellen Biomasse resultiert (SIMS 1990, SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997). Zahlreiche Untersuchungen von Böden beweisen signifikante Steigerungen der mikrobiellen Biomasse nach Einarbeitung von Komposten. Untersuchungen von PERUCCI (1990, 1992), GILDON UND RIMMER (1993) UND SERRA-WITTLING ET AL. (1995) konnten den Anstieg induzierter Respiration, Enzymaktivität und mikrobieller Aktivität nach Behandlung von Böden im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle statistisch sichern. Andere Untersuchungen zeigen eine geringfügige oder verminderte N-Verfügbarkeit von aus Abfällen hergestellten Komposten. SIMS (1990) UND SERRA-WITTLING ET AL. (1995) stellten an unterschiedlichen Komposten aus kommunalen Abfällen und Klärschlämmen kurzfristige Immobilisierungen von N fest, wobei jüngere Komposte biologisch aktiver als ältere Komposte sind. Unmittelbar nach Einarbeitung von 50 t – 500 t Bio- bzw. Grünkomposten in Kipprohböden konnten HAUBOLD-ROSAR, GAST UND KATZUR (2001) und HAUBOLD-ROSAR UND GAST (2003) anhand von Verringerungen des N_{min} Immobilisierungen im Material und somit Vergrößerungen von C_{mik} ermitteln. Angaben VON FRICKE ET AL. (1991) zufolge ist der nach Kompostierung und somit nach Immobilisierung organisch gebundene N später nur in geringem Maße mikrobiell freisetzbar. Als Ursache nennt FRICKE ET AL. (1991) den Einbau des anorganischen N in komplexe, gegen den mikrobiellen Abbau resistente organische Verbindungen. In verschiedenen Inkubationsversuchen zur

Untersuchung der Mineralisierung von N in Braunerden nach Einarbeitung von Komposten wurden lineare Mineralisierungsleistungen festgestellt. Nur bei Applikation von Frischkomposten stellten sich Gleichgewichte zwischen Immobilisierung und Mineralisierung ein (HADAS ET AL. 1986). Die aufgeführten Beispiele zeigen, dass bei unterschiedlichsten Untersuchungsansätzen in praxisnaher Anwendung neben Nitrifikationsprozessen eine starke Immobilisierung anorganischer N-Verbindungen auftreten kann. Aufgrund eintretender Immobilisierung ist demzufolge von Reduzierungen des N_{min} auszugehen, die sich anhand des Verlaufes der NH_4-N-und NO_3-N–Gehalte wiederspiegeln. Inkubationsversuche geben Hinweise auf das Vermögen des Bodens, N_{min} durch Mineralisierungsprozesse nachzuliefern. Die Angaben aus der Literatur haben gezeigt, dass die Schlussfolgerungen basierend auf Inkubationsversuchen mit denen aus Freilanderhebungen nicht immer gleichzusetzen sind.

Während der gesamten Untersuchungszeit wurden in den Varianten von MK1 mittlere Gehalte an C_{mik} von etwa 688 – 761 µg C/g TM festgestellt. Die Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 enthielten etwa 177 – 271 µg C/g TM C_{mik}. Nach TISCHER 2005 weisen natürliche Böden, Waldstandorte und ackerbaulich genutzte Flächen mit 190 – 350 µg C/g TM C_{mik} den Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 vergleichbare Gehalte auf. Die höchsten Gehalte an C_{mik} werden für Grünlandstandorte mit etwa 815 µg C/g TM angegeben und ähneln damit Gehalten der Variante MK1. Immobilisierungsprozesse in den RS aus MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 werden in der vorliegenden Arbeit durch die Ergebnisse der bodenbiologischen Untersuchungen bestätigt. In der Untersuchungstiefe von 40 - 80 cm konnten aufgrund höherer metabolischer Quotienten ungünstigere Bedingungen der Immobilisierung festgestellt werden. Bedeutsame Unterschiede hinsichtlich o. g. optimaler Bedingungen zur Immobilisierung zwischen den Horizonten von 0 – 40 cm und 40 - 80 cm wurden bei den Parametern Temperatur, Bodenfeuchte, C:N und LD nicht nachgewiesen. Eine mögliche Ursache für die Hemmung der Entwicklung mikrobiologischer Populationen kann aufgrund der KSK-Anwendung beispielsweise in toxischen Schwermetallgehalten, Luxusversorgung durch N_{min} oder einer höheren Salzkonzentration gesehen werden (LIANG UND TABATABAI 1978, CHANG UND BROADBENT 1982, NAIDU ET AL. 2001)

Hohe Gehalte von C_{mik} zeigen grundsätzlich, dass die Bedingungen im Lebensraum für das Wachstum und den energetischen Stoffwechsel vieler Organismen günstig sind (DILLY UND MUNCH 1997). Der im Zusammenhang mit C_{mik} stehende Metabolische Quotient zeigt hingegen die Effektivität des mikrobiellen Stoffwechsels der Biomasse an. Steigende metabolische Quotienten bei zusätzlichen Klärschlammgaben begründen TISCHER UND TANNEBERG (2003) durch zusätzlichen Stress aufgrund höherer SM-Gehalte. Bestätigt wird dieser Befund von FLIESSBACH ET AL. (1994) und BROOKES (1995) die ebenfalls bei steigenden Schwermetallgehalten höhere metabolische Quotienten fanden. Mit Schadstoffen geschaffene ungünstige Bedingungen führen zu einem höheren Energieverbrauch der Organismen für den Erhalt ihrer Biomasse und der Anteil an veratmeten Kohlenstoff steigt (TISCHER UND TANNEBERG 2003). Bei MK1 wurden in der Untersuchungstiefe von 40 - 80 cm im Vergleich zur Tiefe zwischen 0 - 40 cm deutlich höhere Metabolische Quotienten ermittelt.

Ursache für den Trend der sinkenden C_{mik}–Werte bei höheren metabolischen Quotienten können Stoffverlagerungen aus der darüber liegenden Untersuchungstiefe sein. Hinweise darauf geben die Ergebnisse der elektrischen Leitfähigkeit (Anlage 65) und NO_3-N im RM. Wie im Kapitel 4.3.1.2

beschrieben, war in der Untersuchungstiefe von 40 - 80 cm nach etwa 4-monatiger Versuchsdauer ein deutlicher Anstieg von NO_3-N bei gleichzeitiger Abnahme des Nitrates in 0 - 40 cm festzustellen. Diese Entwicklung ist zum einen auf günstige Nitrifikationsbedingungen infolge der Bodenfeuchte und zum anderen auf Verlagerungseffekte zurückzuführen. Die *elektrische Leitfähigkeit* wies analog dem NO_3-N in den unteren Untersuchungstiefen steigende Tendenzen bei Reduzierung im oberen Bereich auf. Da sich hohe Salzgehalte und eine Überversorgung von Nährstoffen ungünstig auf mikrobielle Stoffwechselprozesse auswirken können, ist nach SIMS (1990); TISCHER UND TANNEBERG (2003) anzunehmen, dass Verlagerungserscheinungen und steigende Nitrifikationsprozesse in dieser Untersuchungstiefe für die etwas höheren metabolischen Quotienten verantwortlich sind.
Anreicherungen von *Schwermetallen* können nach den Ergebnissen zusätzlich durchgeführter Untersuchungen ausgeschlossen werden. Aufgrund kaum messbarer Konzentrationen im Sickerwasser und günstiger pH-Werte (Anlage 62 und 63) ist nicht von SM-Auswaschung bzw. Verlagerung auszugehen. Angaben von NAIDU ET AL. (2001) zufolge verlieren SM ihre Toxizität gegenüber der Mikroflora aufgrund von Sorption am Bodenhumus.
Bei konstantem N_t und sinkendem N_{min} sind Steigerungen des N_{org} erklärbar. Der steigende Trend des C_{mik} begründet die Zunahme des organisch gebundenen Anteils an Stickstoff. Bei Immobilisierungsprozessen werden anorganische N-Verbindungen (NH_4-N, NH_3^+, NO_3-N, NO_2^-, NO_3^-) in organische Verbindungen umgewandelt. Die heterotroph lebenden Mikroorganismen assimilieren anorganischen N, wandeln N in organische Bestandteile um und bauen den N in ihren Zellen und im Gewebe ein (TISCHER UND TANNEBERG 2003). Mit diesem Vorgang entsteht mikrobielle Biomasse. Das C:N-Verhältnis dieser Bodenorganismen liegt im Bereich von 4 – 15 (SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997).

NO_3-N und NH_4-N–Konzentrationen im Sickerwasser sind Ergebnis aus Vorkommen im Boden in Kombination mit Sickerwasserereignissen und Mobilität bzw. Löslichkeit dieser Stoffe. Die N-Auswaschung aus dem Wurzelraum erfolgt überwiegend als NO_3-N (SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997). Die meisten Böden weisen nach SIMS (1990) eine zu geringe Kapazität auf, um dieses Anion im Boden zurückzuhalten. Tabelle 46 gibt eine Übersicht über einige in der Literatur aufgeführten NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser ackerbaulich genutzter bzw. mit unterschiedlichen Materialien rekultivierter Standorte und Waldböden. Nach SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) können die NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser unter einigen Acker- und Waldböden im Bereich von 2,5 bis 70 mg/l liegen. Insgesamt werden bei diesen Konzentrationen jährliche NO_3-N–Frachten in Höhe von 20 bis 90 kg/ha angegeben. Ähnliche Angaben werden von RÜCK (1993) gemacht. In mineralischen Ackerböden im Donauried wurden nach mehrjähriger Untersuchung Konzentrationen zwischen 5 bis 30 mg/l NO_3-N und somit ein dauerhaftes Niveau unterhalb der Trinkwasserverordnung mit 50 mg/l festgestellt. Signifikante Veränderungen der NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser wiesen MEISSNER, SEEGER UND RUPP (2002), CHAMBERS ET AL. (2006) nach Flächenstillegungen und dem Wechsel der Bewirtschaftungsform landwirtschaftlich genutzter Böden in Lysimeterversuchen und im Einzugsgebiet nach. Deutlich höhere NO_3-N–Konzentrationen wiesen zeitweilig Sickerwasser aus klärschlämmgedüngten Ackerböden auf. Untersuchungen von BOTSCHEK (1995) zeigten NO_3-N–Konzentrationen in Höhe von 400 mg/l unmittelbar nach Klärschlammdüngung.

Tab. 46: NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser unterschiedlich genutzter Böden

Autor	Boden	Nutzung	NO_3-N	
			mg/l	kg/ha*a
LUA (1994)		typische Grundwässer	4,2-38,8	-
Scheffer und Schachtschabel (1997)	Sandboden	Ackerbau	18	41
			41	52
			37	77
			-	90
			22-30	-
			14-16	-
		Mähwiese stark gedüngt	3-7	20
		Intens. Weide	14-20	-
		Feldgemüsebau und Sonderkulturen	37->70	-
		Nadelbaumbestand	<2,5	-
		Schwarzerlenbestand	10	-
	Lößböden	Acker	7-14	
Knappe, Haferkorn und Meissner (2002)		Ackerbau	80-200	5 - 44
Insam (1996)	Dolomit-Schuttfächer (mit N-P-K-Mangel)	Waldweidenutzung mit Klärschlamm (300kg N/ha) gedüngt	<50	-
	auf Plattenkalk	Fichten Altholzbestand mit Klärschlamm (300kg N/ha) gedüngt	<50	-
Gallenkemper und Flamme (1996)	KSK	30cm Auflage zur Rekultivierung	3,8-340	550
	KSK2	30cm Auflage zur Rekultivierung	6,9-396	-
	Biokompost	30cm Auflage zur Rekultivierung	12-335	-
Stöppler-Zimmer Gerke und Arning (1999)	Kompost allg.	Düngung sandigen und lehmigen Bodens	ca. 10-100	-
Bargsten, Styperek und Legat (1994)	Gemisch aus vererdeten Klärschlamm66% und Komposten (34%)	30cm Auflage zur Rekultivierung	4,9-1077	-
		60cm Auflage zur Rekultivierung	5,8-2427	-
		80cm Auflage zur Rekultivierung	4,1-1304	-

BERNSDORF ET AL. (2003) ermittelten in einem Gefäßversuch bis 230 mg/l NO_3-N im Sickerwasser aus klärschlammgedüngten Böden. Andere Autoren berichten von Problemen bei Anwendung von organischen Abfällen in humiden Regionen (RITTER UND CHIRNSIDE 1984; 1987; STREBEL, DUYNISVELD UND BOTTCHER 1989), wobei abnehmende NO_3-N–Auswaschungen bei Anwendung von tierischer Gülle und kommunalem Klärschlamm auftraten. In der Literatur werden nur wenige Angaben über die NO_3-N–Konzentrationen von Sickerwasser bestehender Rekultivierungsschichten aus Klärschlammkompost gemacht. Die Anwendung von organischen Abfällen, Klärschlämmen oder Klärschlammkomposten zum Zweck von Rekultivierungsmaßnahmen zieht nach Literaturangaben

deutlich höhere NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser nach sich. Untersuchungen von GALLENKEMPER UND FLAMME (1996b) prognostizieren für drei Jahre bei kurzzeitigen Modellversuchen in Kleinlysimetern NO_3-N–Austräge von bis zu 550 kg/ha. Die höchsten NO_3-N–Konzentrationen wurden dabei unmittelbar nach Beginn der Untersuchungen in Höhe von ca. 324 bis 396 mg/l festgestellt. Die NO_3-N–Konzentrationen sanken bis zum Ende der Untersuchungszeit auf etwa 3,1 bis 12 mg/l unter das Niveau typischer Grundwasser mit 4,2 bis 38,8 mg/l (LUA 1994). Unterschiede zwischen unbegrünten und mit Weidelgras begrünten Varianten wurden bei diesen Versuchen hinsichtlich der Sickerwasserqualität nicht festgestellt. Bei Anwendung von unterschiedlichen Kompostmaterialien zur Düngung von sandigen und lehmigen Boden konnten mit Aufwandmengen in Höhe von 10 bis 40 t/ha und Jahr NO_3-N–Konzentrationen zwischen ca. 10 bis 100 mg/l im Sickerwasser festgestellt werden (STÖPPLER-ZIMMER, GERKE UND ARNING (1999). Die Herstellung einer 30 bis 80 cm mächtigen Rekultivierungsschicht aus Klärschlamm und Komposten unterschiedlicher Hersteller zog NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser von >2400 mg/l nach sich (BARGSTEN, STYPEREK UND LEGAT 1994). LI, STOFFELLA, ALVA, CALVERT, UND GRAETZ (1997) stellten bei Untersuchung von 5 Komposten steigende NO_3-N–Auswaschungspotentiale bei sinkendem C:N–Verhältnis der Materialien fest. Die NO_3-N–Konzentrationen variierten zwischen 0,6 mg/l (C:N=27) und 245 mg/l (C:N=12). Auffällig bei diesen Untersuchungen war die unmittelbar nach Aufbau der RS einsetzende Reduzierung der Konzentrationen, die bei den Untersuchungen von GALLENKEMPER UND FLAMME (1996b) erwähnt wurde. Angaben von LI, STOFFELLA, ALVA, CALVERT UND GRAETZ (1997) zufolge findet die Freisetzung des Kompoststickstoffes während der ersten Auswaschungsprozesse statt. Hinweise über die NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser von Rekultivierungsschichten aus reinem KSK geben firmeninterne Untersuchungsergebnisse zur Überwachung bestehender RS. So wurden an RS der KRD-GMBH (KRD 2002) im Untersuchungsjahr 2002 durchschnittliche NO_3-N–Konzentrationen von bis zu 216 mg/l bei einer Mächtigkeit von 200 cm erfasst. In drei Untersuchungsjahren wurden aus dieser RS 1, 27 und 93 kg/ha N ausgewaschen. Nach Untersuchungen von NIKLAUS, KLEBER UND STAHR (1997) variieren die NO_3-N–Konzentrationen im Bodenwasser einer 200 cm mächtigen RS mit hohem KSK–Anteil zwischen ca. 0 bis 150 mg/l.

In der Literatur wird angegeben, dass die NO_3-N–Konzentration natürlich gewachsener Mineralböden unterhalb von etwa 50 mg/l liegt. Bei Rekultivierungsmaterialien ist unmittelbar nach Anwendung bzw. Aufbau kurzzeitig von Konzentrationsmaxima mit starker Reduzierung der Konzentrationen bis zum Niveau von natürlichen Böden auszugehen. Die Spannweite der Messergebnisse ist für jede RS sehr unterschiedlich und lässt sich nicht verallgemeinern. Die Untersuchungsergebnisse vorliegender Forschung weisen analog den Angaben der Literatur unmittelbar nach Aufbau einmalig hohe Konzentrationen von über 3000 mg/l NO_3-N auf. Nach Erreichen dieser Konzentrationen wurden bis zum Ende der Untersuchungszeit bei allen Varianten kontinuierliche Abnahmen auf unter 200 und 100 mg/l festgestellt.

Ursache der im Vergleich zu den natürlich gewachsenen Böden hohen NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser sind in den hohen NO_3-N–Gehalten der RM bzw. Aufwandmengen (4.3.1) und in den unmittelbar nach Aufbau steigenden Nitrifikationsprozessen (4.3.1.2) zu sehen. Die Entwicklung der NO_3-N–Gehalte im RM zeigt Parallelen zur Entwicklung der NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser. Analog dem kurzzeitigen Anstieg der NO_3-N–Gehalte im RM stiegen unmittelbar nach Aufbau der RS

die Konzentrationen im Sickerwasser an. Mit Abnahme der NO_3-N–Gehalte in den RS während des gesamten Untersuchungszeitraumes sind sinkende NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser nachweisbar. An diesem Beispiel wird der mittelbare Zusammenhang zwischen NO_3-N–Gehalten im RM und im Sickerwasser deutlich. Aufgrund von Verzögerungen zwischen Versickerung und Veränderung der NO_3-N–Gehalte im Boden konnte der Zusammenhang statistisch nicht gesichert werden.

Die NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser untersuchter RM und natürlicher Böden sind unmittelbar nach dem Einsatz mit ca. sechzigfachem Unterschied nicht vergleichbar. Innerhalb des Untersuchungszeitraumes von etwa zwei Jahren näherten sich die NO_3-N–Konzentrationen denen der natürlichen Böden. Aus den in Anlage 36 und 42 zu entnehmenden Einzelwerten werden NO_3-N–Konzentrationen in Höhe von ca. 200 mg/l ab Mitte 2004 bei 100 cm mächtigen MK1 ersichtlich. MK1+Ut2 und MK1+St2 wiesen ab diesem Zeitraum mit natürlich gewachsenen Böden vergleichbare NO_3-N–Konzentrationen von etwa 5 – 20 mg/l auf. Analogien im Trend waren bei MK1 im Freilandversuch festzustellen. Unterschiede hinsichtlich der NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser zwischen unbegrünten und begrünten Varianten wurden nicht gesichert. GALLENKEMPER UND FLAMME (1996a) wiesen durch eigene Untersuchungen einen vergleichbaren Befund nach.

Im Vergleich zum NO_3-N wurden im Sickerwasser nur geringe NH_4-N – Konzentrationen erfasst. Ursache der vergleichsweise geringen Konzentrationen ist zum einen die geringe Verfügbarkeit von NH_4-N im Boden aufgrund steter Immobilisierungs- bzw. Nitrifikationsprozesse und zum anderen die geringe Löslichkeit. In der Literatur existieren nur wenige Angaben zur NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser. NH_4-N wird in Ackerböden je nach Umgebungsbedingung (SCHAAF UND V. BOGUSLAWSKI 1984; SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997) nach kurzer Zeit mikrobiell und chemisch immobilisiert oder unterliegt unmittelbar der Nitrifikation. BARGSTEN, STYPEREK UND LEGAT (1994) berichten von stark abnehmenden NH_4-N–Konzentrationen bei zunehmendem NO_3-N im Sickerwasser und begründen dies durch Nitrifikation und Pflanzenaufnahme. Die durchschnittlichen Konzentrationen im Sickerwasser aus mit KSK rekultivierten Bodenschichten wiesen zu Beginn und zum Ende der Untersuchungen Konzentrationen von 0,7 bis 202 mg/l und >0,1 bis 5,1 mg/l auf. Durchschnittlich konnte bei den drei Substraten im Eluat 82, 77 und 100 mg/l NH_4-N festgestellt werden. KLEBER, NIKLAUS, KUZYAKOV UND STAHR (1999) ermittelten im Sickerwasser einer 200 cm mächtigen RS aus 80 Vol.% Bergematerial, 10 Vol.% Klärschlamm und 10 Vol.% Kompost NH_4-N–Konzentrationen in Höhe von ca. 75 bis 150 mg/l. Bei den vorliegenden Untersuchungen war nach anfänglichen Konzentrationsmaxima ein starker Rückgang der Konzentrationen festzustellen. Die einmalig auftretenden Konzentrationen zu Beginn der Untersuchungen sind analog dem NO_3-N auf die durch den Aufbauprozess geförderten Mineralisierungserscheinungen zurückzuführen und in der gesamten Untersuchungszeit als Sonderfall zu erklären. Die im Vergleich zum NO_3-N geringen NH_4-N–Konzentrationen sind bei Betrachtung der N_{min}–Auswaschungen bei MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 als vernachlässigbar gering einzustufen.

Mit NH_4-N–Frachten in Höhe von unter 3 kg/ha und Jahr bei allen begrünten Varianten sind die Ergebnisse des Gefäßversuches mit denen des Freilandversuches vergleichbar und für die gesamte N_{min}–Auswaschung für Deponie- und devastierte Standorte als geringfügig einzuschätzen.

Mit dem Ziel, Sickerwasserereignisse und somit Stoffauswaschungen zu vermeiden, wurden RS aus KSK mit transpirationswirksamer Begrünung bedeckt. Aufgrund der sickerwasserreduzierenden Wirkung des Welschen Weidelgrases wurden bei den unbegrünten Varianten im Vergleich zu den begrünten sehr geringe NO_3-N–Frachten festgestellt. Die Ursache für diesen Unterschied war nach vorliegenden Ergebnissen nicht auf unterschiedliche NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser, sondern eindeutig auf Reduzierung der Sickerwassermenge zurückzuführen. Mit dem Nachweis, die Wasser- und damit NO_3-N–Auswaschungen von RS aus KSK durch Kombination von Begrünung und Zugabe von mineralischen Bodenmaterialien bis zu 99 % zu reduzieren, zeigte sich der Einfluss von Welschem Weidelgras auf den Bodenwasserhaushalt. Mit NO_3-N–Auswaschungen von jährlich 21 und 37 kg/ha im Gefäßversuch und 13 und 47 kg/ha im Freilandversuch bei den Varianten MK1+Ut2 und MK1+St2 lagen die für den Untersuchungszeitraum in zwei unterschiedlichen Versuchsanlagen ermittelten durchschnittlichen NO_3-N–Frachten unterhalb durchschnittlicher N-Bilanzüberschüsse landwirtschaftlicher Nutzflächen der BRD von über 100 kg/ha (ISERMANN UND STURM 1990; UBA 2006) und ca. 130 kg/ha (BACH 1987) und den Angaben von SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) über NO_3-N–Auswaschungen von 20 bis 90 kg/ha. Natürliche Hintergrundwerte und die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bezüglich der NO_3-N–Auswaschung sind nur eingeschränkt miteinander vergleichbar. Während ackerbaulich und naturnah genutzte Böden einer langjährig fast gleichförmigen NO_3-N–Dynamik unterliegen (RÜCK 1993; BOTSCHEK 1995; SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 1997), muss sich der N–Kreislauf von RS zunächst einstellen. Anhand der Untersuchungsergebnisse wurde festgestellt, dass die NO_3-N–Frachten der 100 cm mächtigen, begrünten und mit mineralischen Bodenmaterial ergänzten RS aus KSK mit natürlichen Hintergrundwerten, bei höherem N_t-Vorrat, vergleichbar sind. Einmalige Konzentrationsmaxima, die sich insbesondere unmittelbar nach Aufbau einstellten, sind auf Bedingungen zurückzuführen, die in natürlichen Böden und in etablierten RS nicht zu erwarten sind. Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes wurden im RM und im dazugehörigen Sickerwasser deutliche Reduzierungen der NO_3-N–Gehalte und Konzentrationen festgestellt. Die Gesamtfrachten konnten mit transpirationswirksamer Begrünung sogar mit den Zeiten hoher N_{min}–Vorräte auf ein Niveau natürlicher Böden herabgesetzt werden.

In der Literatur werden für die Begrünung verschiedener Gräser Angaben zur Stickstoffversorgung gemacht. Nach DELSCHEN, KÖNIG, LEUCHS UND BANNICK (1996) benötigen Strapazierrasen gemäß der DIN 18919 (1990b) intensiv genutzte Zierrasen und Gebrauchsrasen Stickstoffmengen von 150 - 300 kg/ha und Jahr und 60 - 200 kg/ha und Jahr. In der vorliegenden Arbeit werden Angaben über den Entzug von N_t durch die oberirdische Biomasse des Welschen Weidelgrases von maximal ca. 350 kg/ha gemacht. Der Gesamtstickstoffentzug der Biomasse des Welschen Weidelgrases stellte den Entzug von N_{min} aus den RS dar. Aufgrund von Abweichungen der LD und der N_t–Gehalte der Materialien wurden im Freilandversuch etwas geringere, aber mit dem Gefäßversuch vergleichbare Werte ermittelt. Der N–Entzug durch die Begrünung lag bei den 100 cm mächtigen Varianten gemessen am N_t-Vorrat zwischen 0,4 und 1 %. Nach FRÖBE, ROTH UND SCHULZE (1978) lagen mit den RM–Varianten optimale Bedingungen zum Aufwuchs vor. Bei hohem Stickstoff- und Wasserdargebot kann Welsches Weidelgras Grünmasseerträge von über 1000 dt/ha liefern. In der landwirtschaftlichen

Produktion werden Stickstoffgaben zwischen 80 bis 100 kg/ha empfohlen. Anhand dieser Werte wird das geringe Ausmaß des N-Entzuges durch die Begrünung mit Welschen Weidelgras deutlich. Nach SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL (1997) sowie SRIVASTAVA UND SINGH (1999) nehmen Pflanzen das wasserlösliche bzw. grundwassergefährdende NO_3-N und NH_4-N als min-N mit der Bodenlösung über die Wurzeln auf. Neben dem pflanzlichen Entzug wurden die Anteile von N_{min} und N_{org} durch mikrobielle Umsetzungsprozesse stets verändert. Zu Beginn wurden höhere Anteile N_{min} als zum Abschluss der Untersuchungen im RM ermitelt. Unmittelbar nach Aufbau der RS lagen beim Freilandversuch in 100 cm mächtigen und begrünten Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 N_{min}–Vorräte in Höhe von 10715, 3836 und 3067 kg/ha vor. Der einmalige o. g. N-Entzug der Biomasse entsprach ca. 2,3; 6,4 und 10,2 % der im Juli 2003 vorhandenen N_{min}-Menge. Im März 2005 betrugen in den gleichen RS die N_{min}–Mengen 9173, 1834 und 824 kg/ha. In der RS aus MK1 lagen ab diesem Zeitpunkt für den Aufwuchs von Grünland genügend N_{min}–Vorräte vor. Bei fortschreitenden Immobilisierungsprozessen bzw. Reduzierungen des N_{min} kann zukünftig bei MK1+Ut2 und MK1+St2 von unzureichendem Stickstoffangebot für Folgevegetationen ausgegangen werden. An diesen Beispielen wurde deutlich, dass durch sehr große N_t-Vorräte in RS die Nährstoffversorgung für die Vegetation nicht zwangsläufig gesichert ist. Für das Ziel einer nachsorgefreien Bewirtschaftung muss durch Verwendung allmählich mineralisierbarer Materialien das Nährstoffangebot gesichert werden. Forderungen nach Aufbringung eines Nährstoffangebotes in Höhe des Bedarfes der Folgevegetation sind nur im ackerbaulichen Sinne möglich und bedürfen jährlicher Düngemaßnahmen. Nach Einstellung eines eigenständigen Stickstoffkreislaufes kann zukünftig von einer ausreichenden jährlichen Mineralisierung ausgegangen werden, wodurch die Nährstoffversorgung von Folgevegetationen und damit die Funktionstüchtigkeit des Wasserhaushaltssystems gesichert ist.

5 Schlussfolgerungen

Anhand der vorliegenden Ergebnisse können aus praktischer Sicht folgende Empfehlungen für die Verwendung von Klärschlammkomposten im Landschaftsbau und nicht sensiblen Flächen abgeleitet werden:

Mischungsvarianten

Die Verwendung von Kompost–Boden–Gemischvarianten erwies sich zur Sickerwasserreduzierung im Vergleich zur Kompost – Variante als deutlich vorteilhaft. Grobporen im Kompost werden durch Verwendung mineralischer Bodenmaterialien geschlossen und somit die Möglichkeit präferentieller Fliesswege verringert sowie der Anteil des pflanzenverfügbaren Bodenwassers erhöht. Kompost–Boden–Gemischvarianten (MK1+Ut2 und MK1+St2) wiesen mit natürlichen Böden vergleichbare Stickstoffgehalte auf. Durch die Vermischung von Kompost mit nährstoffarmen Bodenmaterialien wird der Vegetation eine natürliche Nährstoffsituation geboten. Für das Ziel der künftigen Vegetation, N_t-Gehalte natürlicher Böden in den RS darzubieten, sollten Maximalgehalte natürlicher Böden nicht überschritten werden. Durch die Möglichkeit des Aufbaus unterschiedlicher Mächtigkeiten ist bei gleichen N_t-Gehalten des Materials von verschieden hohen Vorräten auszugehen.

Mächtigkeit

Die Mächtigkeit der Rekultivierungsschichten muss der Durchwurzelungstiefe der aufzubringenden Vegetation entsprechen. Bei Verwendung von Welschem Weidelgras ist eine Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht entsprechend der effektiven Durchwurzelungstiefe von etwa 100 cm anzusetzen. Bei künftigem Einsatz von Strauch- und Waldvegetation oder der Absicht eine bewirtschaftungsfreie Sukzession zuzulassen, sind aufgrund der erforderlichen Durchwurzelungstiefe entsprechende Mächtigkeiten zwischen 150 bis 250 cm zu fordern. Der Aufbau höhermächtiger Rekultivierungsschichten ist nur in Verbindung mit einer angepaßten und vollständigen Durchwurzelung durch die eingesetzte Vegetation zu empfehlen. Höhermächtige Rekultivierungsschichten führen zwar aufgrund längerer Sättigungszeiten zur unmittelbaren Verringerung der Sickerwassermenge, erfordern aber langfristig die Etablierung einer Vegetation mit entsprechender Durchwurzelungstiefe.

Sickerwassermenge

Zur Reduzierung der Sickerwassermenge und der Anzahl an Sickerwasserereignissen und somit der Verminderung von Stickstoffauswaschungen sind klärschlammkomposthaltige Rekultivierungsschichten mit ausreichend transpirationswirksamer Vegetation zu begrünen. Die Ergebnisse der Sickerwasserreduzierung basieren auf dem Entzug des Bodenwassers mit Hilfe von Welschem Weidelgras. Grasvegetationen eignen sich aufgrund des schnellen Aufwuchses und entsprechender Transpirationswirksamkeit zum kurzfristigen Initiieren eines sickerwasserreduzierenden Wasserhaushaltssystems. Mit der Absicht zu rekultivierende Standorte langfristig mit Strauch- bzw. Waldvegetation zu bepflanzen, ist für eine negative

Wasserhaushaltsbilanz auf hohe Evapotranspirationswerte der Pflanzen zu achten. Das Risiko der N_{min}–Auswaschungen lässt sich durch Verwendung vom Kompost–Boden–Gemischvarianten zusätzlich verringern. Anhand der formulierten Empfehlungen lassen sich die Kriterien für Rekultivierungsschichten zur Sickerwasserminimierung entsprechend Tab. 47 zusammenfassen. Sie enthält Kriterien zur Minimierung der Sickerwassermenge und der Stickstoffauswaschung basierend auf den Zusammenhängen des Wasserhaushaltes, den bodenphysikalischen Eigenschaften des Rekultivierungsmaterial und der Begrünung.

Tab. 47: Kriterien des Wasserhaushalts und Stickstoffgehalts für Rekultivierungsschichten zur Minimierung der Sickerwasserbildung

lfd. Nr.	Kriterium
1	$N/a < ET_P$
2	$nFK_{eff} > N_{max} / VFZ$
3	$nFK = nFK_{eff} / h_{Reku}$ (Gäth 2003)
4	$h_{Reku} = WL_{Veg}$
5	N_t (RM) ≤ N_t (natürlicher Boden)

N/a	Jahresniederschlag	VFZ	vegetationsfreie Zeit
ET_P	potentielle Evapotranspiration	h_{Reku}	Höhe der Rekultivierungsschicht
nFK_{eff}	nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum	WL_{Veg}	Wurzellänge der Vegetation
nFK	nutzbare Feldkapazität	N_t	Gesamtstickstoff

Aufgrund der Möglichkeit zur Überschreitung der N_t-Frachten natürlicher Böden ist die permanente Sicherstellung der einzuhaltenden Kriterien des Wasserhaushaltes erforderlich. Dafür ist der Einbau von Lysimetern oder Sickerwassersammlern in die Rekultivierungsschicht zur Überwachung der Sickerwassermenge und –qualität als Monitoring von Vorteil. Darüber hinaus ist der Aufbau homogener Rekultivierungsschichten auf Standorte, wie Deponien und grundwasserferne Landschaftsteile, zu beschränken.

Für den Aufbau klärschlammkomposthaltiger Rekultivierungsschichten und einer herzustellenden Begrünung lassen sich aus den Erkenntnissen des Gefäß- und Freilandversuches die folgenden zusätzlichen praktischen Empfehlungen ableiten:

- Die Aussaat der Begrünung sollte unmittelbar nach dem Einbau der Rekultivierungsschicht, zu Beginn oder während der Vegetationsperiode erfolgen, um möglichst schnell einen Pflanzenbestand für den Entzug des Bodenwassers zu etablieren. Es sollte ein lückenloser Bestand realisiert werden. Fehlstellen verringern den Wasserentzug im Wasserhaushaltssystem.
- Beobachtungen zeigten Vorteile beim Auflaufen der Begrünung auf Kompost-Boden-Gemischvarianten mit Bodenmaterial. Aufliegende Bestandteile von reinem KSK trockneten schnell ab und behinderten die pflanzliche Entwicklung. An windigen und exponierten Lagen ist die Einarbeitung des Saatgutes für die Entwicklung der Begrünung von Vorteil.

- Etablierte Begrünungen stabilisieren das System und bieten dadurch die Möglichkeit, Lasten durch dringende Bewirtschaftungsmaßnahmen besser aufzunehmen als unbegrünte Flächen.
- Beobachtungen zeigten Erosionserscheinungen an unbegrünten Varianten. Begrünte Varianten wirken aufgrund stabilisierender Wirkungen der Materialverlagerung durch Wind und Wasser entgegen.
- Der Aufbau der Rekultivierungsschichten sollte ohne Verdichtungen erfolgen. Verdichtungen senken die nutzbare Wasserkapazität.
- Das Material für den Aufbau sollte wasserungesättigt sein; zeitgleich fallende Niederschläge führen zur Übersättigung und somit zum Sickerwasseraustritt.

Aus den Ergebnissen ist aus wissenschaftlicher Sicht der im Folgenden aufgeführte Forschungsbedarf abzuleiten:

- Ermittlung der Gesättigten Wasserleitfähigkeit (kF) und der Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt (pF) von Klärschlammkompost–Bodengemisch–Varianten unter Berücksichtigung verschiedener Bodenarten und Mischungsverhältnisse als Grundlage für den Bodenwasserhaushalt von Rekultivierungsschichten.
- Tracerversuche zur Lokalisierung von Wasserflüssen im Wasserhaushaltssystem
- Einfluss unterschiedlicher Vegetationen unter Berücksichtigung nachwachsender Rohstoffe auf die Sickerwasserminimierung in klärschlammkomposthaltigen Rekultivierungsschichten.
- Untersuchungen zum gasförmigen N_2O-Austrag aus klärschlammkomposthaltigen Rekultivierungsschichten.
- Untersuchungen zur Mineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs unter kontrollierten Bedingungen im Labor und in Langzeitversuchen im Freiland

Literatur

AbfKlärV (1992): Klärschlammverordnung (AbfKlärV) Bundesgesetzblatt Teil 1. Bundesanzeiger Verlagsges., Bonn.

Amlinger, F. (1993): Biotonne Wien - Theorie und Praxis. Ludwig Boltzmann Institut in Zusammenarbeit mit Magistratabteilung 48, Wien.

Amlinger, F. und Götz, B. (2000): Zu den Mobilitätsproblemen des Kompoststickstoffs - Ergebnisse des Expertenforums „Runder Tisch Kompost". Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten Jahrestagung 2000, Gmunden.

Anderson, J. P. E. und Domsch, K.-H. (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biol. Biochem. 10, 215-221.

Anderson, T.-H. (1994): Physiological analysis of micribial communities in soil: Applications and limitations. In: Ritz, K., Dighton, J., Giller, K. E. (eds.) Beyond the biomass. Chichester: Wiley. 67-76.

Anderson, T.-H. und Domsch, K.-H. (1993): The metabolic quotient for CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biol. Biochem. 25, 393-395.

Antal, E. (1968): Az öntözès elöejelzèse meteorologiai adatok alap`jan. Kandidâtusi èrtekezès, Budapest 1968, 147 S.

Arlt, K. J. und Wolsfeld, N. (2005): Angepasste Oberflächenabdichtungen für Monodeponien der Stahlindustrie. In: Kilchert, M. (Hrsg.) Sicherung von Deponien und Altablagerungen, Leipziger Deponiefachtagung 10.-11. Mai 2005. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt und HTWK Leipzig.

Asche, E. und Steffens, D. (1995): Einfluß von Bioabfallkomposten unterschiedlicher Reifegrade auf Ertrag, N-Dynamik und Bodenstruktur im Feldversuch auf neun Standorten in Hessen. In: Hess. Landesamt für Regionalplanung und Landwirtschaft (Hrsg.): Kolloquium über die Verwertung von Komposten im Acker- und Pflanzenbau, 59-74.

Bach, M. (1987): Regional differenzierte Abschätzung des möglichen Beitrags der Landwirtschaft zur Nitrat-Belastung des Sickerwassers in der Bundesrepublik Deutschland. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 55/II, 561-566.

Baker, D. E. (1985): Criteria and Recommendations for Land Application of Sludges in the Northeast. Pennsylvania Agr. Exp. Sta. Bull. 851. Pennsylvania State University, University Park, PA.

Bargsten, J.; Harsfeld, W. und Styperek, P. (1995): Wasserhaltevermögen von Klärschlamm-Kompost-Gemischen und deren Begrünung und Bepflanzung nach Abdeckung von Kalkhalden. Korrespondenz Abwasser 42, 434-440.

Bargsten, J.; Styperek, P. und Legat, W. (1994): Ermittlung des Auswaschungsverhaltens von Klärschlamm-Kompost-Gemischen durch Elutions- und Perkolationsversuche. Korrespondenz Abwasser 41, 1330-1339.

Bartels, R. und Kuntze, H. (1973): Torfeigenschaften und ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit von Moorböden. Z. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde 134, 125-135.

BBergG (1980): Bundesberggesetz. Bundesgesetzbl. Teil 1, Verlagsges., Bonn.

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens. Bundesgesetzbl. Teil 1 Nr. 16, Verlagsges., Bonn, 502-510.

BBodSchV (1999): Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung. Bundesgesetzbl. Teil 1, Nr. 19, Verlagsges., Bonn,1554.

Beloso, M. C.; Villar, M. C.; Cabaeiro, A.; Carballas, M.; Gonzalez-Prieto, S. J.; Carballas, T. (1993): Carbon and nitrogen mineralization in an acid soil fertilized with composted urban refuses. Bioresource Techn. 45, 123-129.

Bendler, D. (2005): Untersuchungen zum Wasserhaushalt einer Rekultivierungsschicht. In: Kilchert, M. (Hrsg.) Sicherung von Deponien und Altablagerungen, Leipziger Deponiefachtagung 10.-11. Mai 2005. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt und HTWK Leipzig.

Bernsdorf, S.; Borg, H.; Pfeffer, A. und Meissner, R. (2003): Gefäßversuche zur stofflichen Verwertung von kommunalem Klärschlamm. In: KA-Abwasser, Abfall. (50) Nr. 6.

Beyer, L.; Blume, H.-P.; Köbbermann, C. und Henss, B. (1988): Morphe und ökologische Bedeutung von Podsol-Humuskörpern unter Forst und Acker. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 56, 131-136.

Bidlingmmeier, W. (1980): Faktoren zur Steuerung der gemeinsamen Kompostierung von Abwasserschlamm mit organischen Strukturmitteln. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 12. Schmidt Verlag, Bielefeld.

Bilitewski, B.; Härdtle, G. und Marek, K. (1990): Abfallwirtschaft. Eine Einführung. Springer Verlag, Berlin.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2001): „Klimatische Wasserbilanz" aus „Hydrologischer Atlas von Deutschland". Freiburger Verl.- Dienste. Freiburg i. Br.

BNatSchG (2002): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege – Bundesnaturschutzgesetz. Bundesgesetzblatt Teil 1. Bundesanzeiger Verlagsges., Bonn.

Botschek, P. (1995): Untersuchungen zur Tiefenverlagerung von Nitrat und Schwermetallen im Boden nach unterschiedlich hoher Klärschlammdüngung im Herbst. Dissertation. Universität-Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen.

Brookes, P. C. (1995): The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biol. Fertil. Soils 19, 269-279.

Chae, Y. M. and Tabatabai, M. A. (1985): Mineralization of Nitrogen in Soils Amanded with Organic Wastes. J. Environ. Qual, 15, 193-198.

Chambers, PA.; Meissner, R.; Wrona, FJ.; Rupp, H.; Guhr, H.; Seeger, J.; Culp, JM. und Brua, RB. (2006): Changes in nutrient loading in an agricultural watershed and its effects on water quality and stream biota. Hydrobiologica 556, 399-415.

Chang, F. H. und Broadbent, F. E (1982): Influence of Trace Metals on Some Soil Nitrogen Transformations. J. Environ. Qual. 11, 1-4.

Chefetz, B.; Hatcher, P. G.; Hadar, Y. und Chen, Y. (1996): Chemical and Biological Characterization of Organic Matter during Composting of Municipal Solid Waste. J. Environ. Qual. 25, 776-785.

Debruck, J. (1974): Die Veränderung von Faktoren der Bodenfruchtbarkeit durch langjährige Stroh- und Gründüngung. Landwirtschaftl. Forsch., Sonderheft 30/II, 167-177.

Delschen, T.; König, W.; Leuchs, W. und Bannick, C. (1996): Begrenzungen von Nährstoffeinträgen bei der Anwendung von Bioabfällen in Landschaftsbau und Rekultivierung. Entsorgungspraxis 12, 19-25.

DepV (2002): Verordnung über Deponien und Langzeitlager und zur Änderung der Abfallablagerungsverordnung. Bundesgesetzbl. Teil 1, 52. Bundesanzeiger Verlagsges., Köln.

Dilly, O. und Munch, J. C. (1997): Wechselbeziehungen zwischen mikrobiellen Gesellschaften und der organischen Substanz in Böden. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 85, 675-678.

Döhler, H. (1995): Kurz- und langfristige Wirkung des Kompost-N. Theoretische Ableitung und Quantifizierung des Düngebedarfs. In: Landesamt für Regionalplanung und Landwirtschaft (Hrsg.): Kolloquium über die Verwertung von Komposten im Acker- und Pflanzenbau. Hessen, 95 –100.

Dommermuth, H. und Trampf, W. (1995): Daten zum Bodenwasserhaushalt in Deutschland. Zeitraum 1951-1980. Potentielle und tatsächliche Evapotranspiration, Bodenfeuchte und Waserstreßindex. Band 1 Gras. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.

Dumbeck, G. (1996): Rekultivierung unterschiedlicher Böden und Substrate. In: Blume, H.-P.; Felix-Henningsen, P.; Fischer, W. R. und Frede, H.-G (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde. Ecomed-Verlag, Landsberg.

DWD (Deutscher Wetterdienst 2002): Eigene Datenerhebung des Deutschen Wetterdienstes.

DWD (Deutscher Wetterdienst 2003): Daten zum Langjährigen Niederschlagsmittel der Zeitspanne von 1970 bis 2001.

Dyck, S. und Peschke, G. (1989): Grundlagen der Hydrologie. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.

Ebertseder, T; Popp, L.; Gutser, R.; Fischer, P. und Claasen, N. (1996): Prognose der kurzfristigen N-Wirkung von Komposten durch Kombination chemischer und biologischer Parameter. Vortrag zum 108. VDLUFA-Kongreß 16. –21. Sept. 1996 "Sekundärrohstoffe im Stoffkreislauf der Landwirtschaft" in Trier.

Eikmann, Th. und Kloke, A. (1993): Nutzungsmöglichkeiten und Sanierung belasteter Böden. 2. Auflage. VDLUFA-Schriftenreihe 34. VDLUFA Verlag, Darmstadt.

Emberger, S. (1965): Die Stickstoffvorräte bayerischer Waldböden. Forstwiss. Centralblatt 84, 156-192.

Emmerling, C.; Liebner, C.; Haubold-Rosar, M.; Katzur, J. und Schroder, D. (2000): Impact of application of organic waste materials on microbial and enzyme activities of mine soils in the Lusatian coal mining region. Plant and Soil 220 (1-2), 129-138.

Epstein, E., Keane, Meisinger, J. J. und Legg, J. O. (1978): Mineralization of Nitrogen from Sewage Sludge and Sludge Compost. J. Environ. Qual. 7, 217-221.

Fischer, P.; Rasp, H.; Döhler, H. und Popp, L. (1993): Kompostanwendung – Aspekte der Pflanzenernährung. In: KTBL (Hrsg.): Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung. Arbeitspapier des KTBL Nr. 191, Landwirtschaftsverlag Münster- Hiltrup, 125-151.

Fischer, T. (1994): Kompost und Bodenleben. In: Bodenökologische Arbeitsgemeinschaft Bremen (Hrsg.): Tagungsband Bodenschutz und Kompost.

Fliessbach, A.; Martens, R. und Reber, H. (1994): Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge. Soil Biol. Biochem. 26, 1201-1205.

Franke, C.; Rinklebe, J.; Heinrich, K; Neumeister, H.; Neue, H.-U. und Geyer, S. (1999): Räumliche Verteilung ausgewählter Bodenkennwerte im Biosphärenreservat „Mittlere Elbe" und Landschaftsschutzgebiet „Untere Havel". Leipziger Geowissenschaften Bd. 11, 167-174.

Frede, H. G.; Gäth, S; Meyer, B. (1983): Saugspannungs- Wassergehalts-Beziehungen von Sandböden unterschiedlichen Humusgehaltes, erstellt am Drucktopf- und in der Zentrifugenmethode. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 38, 85-90.

Fricke et al. (1991): Situationsanalyse Bioabfall 1991. Müll und Abfall 9, 649-660.

Fröbe, B.; Roth, D. und Schulze, G. (1978): Kleines ABC. Futterproduktion. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

Gallenkemper, B. und Flamme, S. (1996a): Entwicklung und Umsetzung grenzüberschreitender Verwertungsmöglichkeiten von organischen Reststoffen in einem kommunalen und industriellen Verbundprojekt. Institut für Abfall- und Abwasserwirtschaft GmbH Ahlen.

Gallenkemper, B. und Flamme, S. (1996b): Klärschlammkomposte und deren Einsatz zur Rekultivierung devastierter Flächen. Müll und Abfall 10, 665-670.

Garau, M. A.; Felipo, M. T. and Ruiz de Villa, M. C. (1986) : Nitrogen Mineralization of Sewage Sludges in Soils. J. Environ. Qual. 15, 225-225.

Gäth, S. (2003): Potenziale und Anforderungen an die Maximierung von Oberflächenwasserabfluss und Evapotranspiration. In: Wiemer, K und Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung VII. Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie, 717-730.

Gaul, D.; Scholl, W.; Strauch, D.; Müller, W. und Miersch, K. (1975): Kompost aus Klärschlamm. Schriftenreihe der Universität Hohenheim, Reihe: Pflanzliche Produktion, Heft 78, Ulmer Verlag, Stuttgart.

Gildon, A. und Rimmer, D. L. (1993): Soil respiration on reclaimed coal mining spoil. Biol. Fertil. Soils. 16, 41-44.

Glathe, H. und Farkasdi, G. (1995): Morphologie der Rotteorganismen. In: Hösel, G.: Schenkel, W. und Schnurer, H. (Hrsg.): Müll-Handbuch, Kennzahl 5020, Lieferung 7/65. Schmidt Verlag, Berlin.

Gomiscek, T. (1999): Revegetation of closed landfills on diverse refuse substrates with fuel plants regarding the growth rates and water balance. Dissertation. Universität für Bodenkultur, Wien.

González-Prieto, S. J. (1993) : Carbon- and Nitrogen-Containing Compounds in Composted urban Refuses. Bioresource Techn. 45, 115-121.

González-Prieto, S. J.; Carballas, M. und Carballas, T. (1991): Mineralization of a nitrogen-bearing organic substrate model ^{14}C, ^{15}N-glycine in two acid soils. Soil. Biol. Biochem. 23, 53-63.

Göttlich, K. (1990): Moor und Torfkunde, 3. Auflage. Schweizerbart`sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Gröblinghoff, F. F. und Oehmichen, J. (1995): Untersuchung über die Verwendung von Bioabfallkompost im Landbau. In: Hess. Landesamt für Regionalplanung und Landwirtschaft (Hrsg.): Kolloquium über die Verwertung von Komposten im Acker- und Pflanzenbau, 55-58.

Gutser, R. (1996): Grundlagenversuche zum Nährstoffumsatz von Biokomposten. In: RTK-Wien (Hrsg.): Stickstoff in Bioabfall- und Grünschnittkompost-Bewertungen von Bindungsdynamik und Düngewert, 91-104.

Hadas, A.; Feigenbaum, S.; Feigin, A. und Portnoy, R. (1986): Nitrogen Mineralization in profiles of differently managed soil types. Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 314-319.

Hamblin, A. P. und Davies, D. B. (1977): Influence of organic matter on the physical properties of some East Anglian soils of high silt content. J. Soil Sci. 28, 11-22.

Hanke, B. et al. (1991): Wasser für die Pflanze. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.

Hart, S. C.; Stark, J. M.; Davidson, E. A. und Firestone, M. K. (1994): Nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification. In: Soil Science Society of America (ed.): Methods of soil analysis, Part 2. Microbiological and biochemical properties-SSSA Book Series, No. 5, Madison, 985-1018.

Hartge, K. (1999): Einführung in die Bodenphysik. Enke Verlag, Stuttgart.

Haubold-Rosar, M. und Gast, M. (2003): Kompostverwertung bei Rekultivierungsmaßnahmen. In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen, 64, Informationsgespräch des ANS e. V. in Witzenhausen, 131-150.

Haubold-Rosar, M.; Gast, M. und Katzur, J. (2001): Auswirkungen des Klärschlammeinsatzes bei der Rekultivierung tertiärer Kippsubstrate auf die N-Verlagerung mit dem Sickerwasser-Ergebnisse von Lysimeteruntersuchungen. In: Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. (Hrsg.) 96, 27-30.

Haubold-Rosar, M.; Gast, M. und Katzur, J. (2003): Zum Schwermetallhaushalt von Kippstandorten des Lausitzer Braunkohlereviers nach Einsatz organischer Abfälle. In: Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. (Hrsg.) 102, 177-178.

Heinemeyer; O.; Insam, H.; Kaiser, H. und Walenzik, G. (1989): Soil microbial biomass and respiration measurements: an automated technique based on infrared gas analysis. Plant and Soil 116, 191-195.

Insam, H. (1996): Stickstofffreisetzung nach Anwendung von Düngemitteln und Bodenhilfsstoffen. Österreichische Forstzeitung 9, 48-51.

Insam, H. (1998): N-Freisetzung von Komposten im Vergleich zu anderen organischen und anorganischen Düngern und Bodenhilfsstoffen. In: RTK Wien (Hrsg.): Stickstoff in Bioabfall- und Grünschnittkompost-Bewertungen von Bindungsdynamik und Düngewert. 13-17.

Insam, H. und Domsch, K.-H. (1988): Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. Microbiol. Ecol. 15, 177-188.

Isermann, K. und Sturm, H. (1990): Stickstoff- und Phosphor-Bilanzierung der Landwirtschaft im Vergleich westeuropäischer Länder. VDLUFA Schriftenreihe 32, Kongressband, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 229-235.

KA 5 (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.) 5. Auflage. Schweizerbart´sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Kaiser, E. A. (1992): Auswirkungen von Bodenverdichtungen durch landwirtschaftliche Bodennutzung auf die mikrobielle Biomasse. Dissertation. Universität Göttingen, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 134.

Kaiser, E. A.; Müller, T.; Joerensen, RG.; Insam, H. und Heinemeyer, O. (1992): Evaluation of methods to estimate the soil microbial biomass and the relationship with soil texture and organic matter. Soil Biol. Biochem. 24, 675-683.

Kehres, T. (1992): Begrenzung der Kompostausbringung durch Nährstoffe. In: Wiemer, K. und M. Kern (Hrsg.): Gütesicherung und Vermarktung von Bioabfallkompost. Abfall-Wirtschaft 9, 395-408.

KGS (Kompostgemeinschaft 2003): Mündliche Angaben über die Verwertung von Holzbestandteilen in der Kompostierung.

Klasink, A. und Steffens, G. (1996): Ergebnisse von Feldversuchen zur Anwendung von Kompost auf Acker- und Grünland. In: Hess. Landesamt für Regionalplanung und Landwirtschaft (Hrsg.): Kolloquium über die Verwertung von Komposten im Acker- und Pflanzenbau. 43-53.

Kleber, M.; Nikolaus, P; Kuzyakov, Y. und Stahr, K. (1999): Formation of mineral N (NH4+, NO3-) during mineralization of organic matter from coal refuse material and municipal sludge. Plant and soil. 163, 73-80.

Kloke, A. (1991): Nutzungsmöglichkeiten und Sanierung belasteter Böden. VDLUFA-Schriftenreihe 34. VDLUFA Verlag, Darmstadt.

Knappe, S.; Haferkorn, U. und Meissner, R. (2002): Influence of different agricultural management systems of nitrogen leaching: results of lysimeter studies. Journal of plant nutition and soil science-Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 165, 73-77.

Körschens, M. (1997): Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) von Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluss auf Ertrag und Bodeneigenschaften. Arch. Acker- Pfl. Boden. 41, 435-463.

Kranebitter, B. und Insam, H. (1996): Schadstoffaustrag aus alpinen Böden nach Düngung mit organischen Reststoffen. Österreichische Forstzeitung 7, 51-53.

Kranert, M. (1989) Freisetzung und Nutzung von thermischer Energie bei der Schlammkompostierung. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 3. Schmidt Verlag, Bielefeld.

KRD GmbH (Komposte Rekultivierungsstoffe Düngemittel 2002): Eigene Untersuchungsergebnisse.

KrW-/AbfG (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 1994). Bundesgesetzblatt Teil 1, Bundesanzeiger Verlagsges., Bonn.

Kuhlmann, F.; Müller, H.; Jäger, C. und Möller, D. (1996): Einsatzpotentiale und Absatzmöglichkeiten von Biokompost in der Landwirtschaft – Modellberechnung für vier Landkreise Hessens. In: Justus Liebig Univ. Gießen (Hrsg.): Umweltverträgliche Anwendung von Bioabfallkompost in der Landwirtschaft.

Kunkle, W. E. (1980) : Effect of Flock and Floor Type on the Levels of Nutrients and Heavy Metals in Broiler Litter. Poultry Sci. 60, 1160-1164.

LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 1995): Merkblatt M 10 über Qualitätssicherung und Anwendungsempfehlungen für Kompost, Teil B: Qualitätssicherung u. Teil C: Anwendungen. Schmidt Verlag, Berlin.

LAU (Landesamt für Umweltschutz 2004): mündliche Angaben des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.

LAU (Landesamt für Umweltschutz, Fachbereich Abfallwirtschaft, Bodenschutz, Anlagentechnik Wasserwirtschaft 2004): Klärschlammentsorgung. Ermittlung von Daten zur Entsorgung von kommunalen Klärschlämmen unter besonderer Berücksichtigung der landschaftsbaulichen Verwertung für das Bilanzjahr 2002 Halle (Saale).

Lechner, P. (1983): Die produktorientierte Herstellung von Kompost. In: TU-Wien (Hrsg.) „Gütekriterien für Müllkompost" 5. Seminar Abfallwirtschaft. Abfallwirtschaft Band 4, Wien.

Lechner, P. und Klaghofer, E. (1981): Qualitative und quantitative Untersuchung von Sickerwasser aus abgelagertem Müllkompost. Österreichische Wasserwirtschaft 33, 69-73.

Li, Y. C.; Stoffella, P.J.; Alva, A. K.; Calvert, D. V. und Graetz, D. A. (1997): Leaching of Nitrate, Ammonium and Phosphate From Compost Amended Soil Colums. In: Runder Tisch Kompost – RTK Wien (Hrsg.): Stickstoff in Bioabfall- und Grünschnittkompost. Bewertung von Bindungsdynamik und Düngewert. 29-30 September 1998. 21.

Liang, C. N. und Tabatabai, M. A. (1978): Effects of Trase Elements on Nitrification in Soils. J. Environ. Qual. 7, 291-293.

Lieberoth, I. (1963): Bodenkunde Bodenfruchtbarkeit. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

LUA NRW (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 1994): Grundwasserbericht 93. LUA-Düsseldorf.

Lücke, M. (1997): Ökologie und Umweltsicherung. Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie. Dissertation. Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Ökologie und Naturschutz.

Meissner, R.; Seeger, J. und Rupp, H. (2002): Effects of agricultural land use changes on diffuse pollution of water resources. Irrigation and Drainage 51. (2). 119-127.

Meteorologischer Dienst der Deutschen Demokratischen Republik (1987): Klimadaten der Deutschen Demokratischen Republik. Ein Handbuch für die Praxis Reihe B. Meteorologisches Hauptobservatorium, Potsdam.

Meyer, D. (1994): Neue Wege der Klärschlammverwertung – Kompostierung und ORGABO-Herstellung. In: Institut für kommunale Wirtschaft und Umweltplanung (Hrsg.): Klärschlamm – Schadstoffminderung und Verwertung. Seminarunterlagen vom 17./18. Mai 1994. IKU-Frankfurt.

Meyer-Spasche, H.; Bidlingmaier, W.; Schaaf, H.; Severin, K. und Schneichel, H.-W. (1998): Methodenbuch zur Anlayse von Kompost, 4. Auflage. Verlag Abfall Now, Stuttgart.

MfLU (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt 2003): Beseitigung von kommunalem Abwasser in Sachsen-Anhalt. Lagebericht gemäß Artikel 16 der EG-Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG).

Müller, G. (1980): Organische Bodensubstanz. In: Deutscher Landwirtschaftsverlag (Hrsg.): Bodenkunde, 73-135.

Müller, J. und Müller, G. (1987): Vorstellung eines komplexen Modells zur Schätzung der Verdunstung und des Bodenwasservorrates sowie dessen Prüfung an dem Material eines ausgewählten Standortes. Kongress- und Tagungsberichte d. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Wissenschaftliche Beiträge 1987/17, Halle (Saale) 1987, S. 86-90.

Müller, J.; Jörn, P.; Schumann, A. und Schellin, H. (2001): Evapotranspirations- und Versickerungsverhalten sowie Häufigkeit von Bodendürren im Mitteldeutschen Trockengebiet unter Berücksichtigung von Substrat und Bewuchs. In: Klimastatusbericht 2001. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main. 258-267.

Müller-Westermeier, G.; Czeplak, G. und Kreis, A. (2001): Die Witterung in Deutschland. In: Klimastatusbericht 2001. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main. 125-130.

Naidu, R.; Krishnamurti, G.; Wenzel, W. (2001): Heavy metal interactions in soils and implications for soil microbial biodiversity. In: Prasad, M. N. V.: Metals in the environment. Dekker, New York.

Niklaus, P.; Kleber, M. und Stahr, K. (1997): Standorteigenschaften und Stickstoffhaushalt im Rekultivierungssubstrat der Halde Reden. In: U. Arndt; R. Böcker; A. Kohler (Hrgs.): Abbau von Bodenschätzen und Wiederherstellung der Landschaft. 29. Hohenheimer Umwelttagung, 31. Januar 1997, Verlag Günter Heimbach, 203-208.

Niklaus, P.; Kleber, M. und Stahr, K. (1999): Rekultivierung von Bergehalden des Steinkohlebergbaus - Bodenkundliche Untersuchungen am Versuchsstandort Halde Reden. In: Broll, G. (Hrsg.): Rekultivierung in Bergbaufolgelandschaften. Springer Verlag, Berlin.

Oehmichen, J.; Gröblinghoff, F. F.; Reinders, A. und Döhrendahl, A. (1994): Biokompost im Landbau geeignet? Landw. Wochenblatt 33, 22-24.

Pacallaj, C. (2005): Der Einfluss mehrschichtiger Vegetation auf das Sickerwasseraufkommen in Deponieabdeckungen - Versuchsergebnisse am Standort Erfurt Schwerborn. In: Kilchert, M. (Hrsg.) Sicherung von Deponien und Altablagerungen, Leipziger Deponiefachtagung 10.-11. Mai 2005. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt und HTWK Leipzig.

Parker, C. F. und Sommer, L. E. (1983): Mineralization of Nitrogen in Sewage Sludges. J. Environ. Qual. 12, 150-156.

Perucci, P. (1990): Effects of addition of municipal solid-waste compost on microbial biomass and enzyme activities in soil. Biol. Fertil. Soils 10, 221-226.

Perucci, P. (1992): Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. Biol. Fertil. Soils 14, 54-60.

Petersen, A. (1988): Die Gräser als Kulturpflanzen und Unkräuter auf Wiese, Weide und Acker, 6. Auflage. Akademie-Verlag, Berlin.

Petersen, E. und Stöppler-Zimmer, H. (1995): Anwendung von Bioabfallkomposten unterschiedlichen Rottegrades in der Landwirtschaft. In: Hess. Landesamt für Regionalplanung und Landwirtschaft (Hrsg.): Kolloquium über die Verwertung von Komposten im Acker- und Pflanzenbau. 31-41.

Pflug, W. (1998): Braunkohletagebau und Rekultivierung: Landschaftsökologie und Folgenutzung. Springer Berlin.

Pietz, R. I.; Peterson, J. R.; Zenz, D. R. and Luheing, C. (1989): Application of Sewage Sludge and other Amendments to Coal Refuse Material. Effects on Revegetation. J. Environ. Qual. 18, 169-173.

Poletschny, H. (1996): Komposteinsatz in der Landwirtschaft und im Gartenbau. In: Rheinisches Institut für Ökologie (Hrsg.): Fachtagung „Das braune Gold" – Kompost für die Landwirtschaft. 9-22.

Posza, I. und Stollar, A. (1983): A tènyleges pàrolgàs szamittàshoz hasznàt növenykonstansok èrtèkei többèvi mèrès alapjàn. Idöjàràs, Budapest 88, 170-177.

Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1991): Abfallwirtschaft. Sondergutachten September 1990. Metzler-Poeschel, Stuttgart.

Richter, D. (1981): Verfahrenshinweis zur Korrektur von verdichteten Werten der Niederschlagshöhe. Arbeitsmappe Gutachtenerteilung des Meteorol. Dienstes der DDR. III-1, 1981, 1-3.

Richter, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.

Richter, W.; Laves, D. und Suntheim, L. (2002): Soil physical evaluation of the efficiency of addition of compost to soils by laboratory experiments. J. Plant Nutr. Soil Sci. 165, 79-81.

Riehl, H. (2001): mündliche Informationen zu Humus- und Stickstoffvorräten Sächsischer Böden unter Grünland. Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich 6, Sachsen.

Rinklebe, J. und Makeschin, F. (1997): Parabraunerde unter Acker und Wald in Unterfranken: Entwicklung der Bodenreaktion, der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte im Zeitvergleich 1969 und 1996. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 85, 997-1000.

Ritter, W. R. and Chirnside, A. E. (1984): Impact of Land Use on Groundwater Quality in Southern Delaware. Ground Water 22, 39-47.

Ritter, W. R. and Chirnside, A. E. (1987): Influence of Agricultural Practices on Nitrates in the Water Table Aquifer. Biol. Wastes 19, 165-178.

Rück, F. (1993): Standortspezifische Stickstoffmineralisierung, jahreszeitlicher Verlauf des Mineralstickstoffvorrates und der Nitratauswaschung in Böden des Wasserschutzgebietes Donauried. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 15.

Runge, M. (1970): Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung am Standort. Flora 159, Fischer Verlag, 233-257.

Scanlon, D. H.; Duggan, C. und Bean, S. D. (1973): Evaluation of Municipal Compost for Strip Mine Reclamation. Compost Sci. Util. 14, 4.

Schaaf, H. und v. Boguslawski, E. (1984): Die NO3 – Verlagerung im Boden und Bodenwasser bei Anwendung von Klärschlamm verschiedener Aufbereitung. Kongressband 37. Landwirtsch. Forsch., 363-378.

Scheffer, F. und Schachtschabel, P. (1997): Lehrbuch der Bodenkunde, 13. Auflage. Enke Verlag, Stuttgart.

Scheffer, F. und Ulrich, B. (1960): Humus und Humusdüngung. Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, III. Teil. Enke Verlag, Stuttgart.

Schiechtl, H. M. und Stern, R. (1992): Handbuch für naturnahen Erdbau. Eine Anleitung für ingenieurbiologische Bauweisen. Österreichischer Agrarverlag, Wien.

Schlegel, H. G. (1992): Allgemeine Mikrobiologie, 6. Auflage. Thieme Verlag, Stuttgart.

Schlichting, E.; Blume, H. P. und Stahr, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum, 2. Auflage. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.

Schneider, P. und Klein, D. (2005): Anwendererfahrungen mit Wasserhaushaltsschichten in Sachsen. In: Kilchert, M. (Hrsg.) Sicherung von Deponien und Altablagerungen, Leipziger Deponiefachtagung 10.-11. Mai 2005. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt und HTWK Leipzig.

Serra-Wittling, C.; Houot, S. and Barriuso, E. (1995): Soil enzymatic response to addition municipal solid-waste compost. Biol. Fertil. Soils 20, 226-236.

Severin, K. (1996): Rückstände der Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte als Sekundärrohstoff-Dünger. Plenarvortrag zum 108. VDLUFA-Kongreß, Trier, 16.-21. Sept. 1996, 85-101.

Shirey, J. J. und Sexstone, A. J. (1989): Denitrification and Nitrate Reducing Bacterial Populations in Abandoned and Reclaimed Mine Soils. FEMS Microb. Ecol. 62, 59-70.

Siebert, S.; Leitfeld, J. und Kögel-Knabner, I. (1998): Nitrogen Mineralization of Biowaste Compost with Different Maturity after Application on Arabic and Recultivated Soils. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 39, 69-74.

Sims, J. T. (1990): Nitrogen Mineralization and Elemental Availability in Soils Amended with Cocomposted Sewage Sludge. J. Environ. Qual. 19, 669-675.

Sopper, W. E. (1993): Municipal Sludge Use in Land Reclamation. Lewis Publishers, Boca Raton.

Srivastava, H. S. und Singh, R. P. (1999): Nitrogen Nutition and Plant Growth. Science Publishers, Inc.

StaLa (Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt 2003): Mündliche Angaben.

Stalljann, E. (1984): Standortverhältnisse und Begrünungsmöglichkeiten von Bergehalden. Glückauf-Forschungshefte 45, 308-314.

Steinbüchel, A. und Oppermann-Sanio, F. B. (2003): Mikrobiologisches Praktikum. Versuche und Theorie. Springer Berlin

Stöppler-Zimmer, H.; Gottschall, B. und Gallenkemper, B. (1993): Anforderungen an Qualität und Anwendung von Bio- und Grünkomposten. In: Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (Hrsg.): Schriftenreihe, 25. Studie im BMFT-Verbundvorhaben „Neue Techniken" der Kompostierung. Bad Kreuznach.

Stöppler-Zimmer, H; Gerke, H. H. und Arning, M. (1999): Model-Based Investigations into long-term compost application effects on nitrate leaching at different agricultural sites. Proceedings Orbit 99, 453-461.

Strebel, O.; Duynisveld, W. H. M. and Bottcher, J. (1989): Nitrate Pollution of Groundwater in Western Europe. Agr. Ecosystems Environ. 26, 189-214.

Tauchnitz, S. (2004): Zusammenstellung eigener Ergebnisse aus Klärschlammkompostuntersuchungen.

Tauchnitz, S.; Bernsdorf, S. und Meißner, R. (2004): Einsatz von Klärschlammkompost als Substratbestandteil im nicht sensiblen Landschaftsbau. Agrartechnische Berichte aus Sachsen- Anhalt. 3/2004. Institut für Agrartechnik und Landeskultur, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Teller, M.; Püschel, M. und Wittchen, F. (1994): Klärschlammverwertung und Behandlung: Teile 1 und 2. Abfallwirtschafts Jurnal 6, 678-688 und 765-771.

Thome-Kozmiensky, K. J. (1998): Klärschlammentsorgung. TK-Verlag Thome-Kozmiensky, Neuruppin.

Tischer, S. (2005): Microbial biomass and enzyme activities on soil monitoring sites in saxony-anhalt, Germany. Arch. Agron. and soil Science. (presented)

Tischer, S. und Tanneberg, H. (2003): Schwermetallgehalte und Arten-Diversität von Regenwürmern sowie mikrobielle Aktivitäten in einem Klärschlammsteigerungsversuch. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongressband 2003. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Traulsen, B.-D.; Schönhard, G.; Pestemer, W. (1997): Risikobewertung der Anwendung von Bioabfallkomposten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Agribiological Research 50(2):102-106

Tschirner, E. (2005): Daten zur nutzbaren Feldkapazität. Mündliche Aussage im Rahmen des Kolloquium im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.

UBA (Umweltbundesamt 2006): Stickstoff- und Phosphorbilanzen der Landwirtschaft. Umweltbundesamt.de.

VDLUFA (1991): Bestimmung von mineralischem (Nitrat)Stickstoff in Bodenprofilen (N_{min}-Labormethode), Verbandsmethode. VDLUFA Verlag, Darmstadt.

Verhoeven, J. T.; Keuter, A.; Van Logtestijn, R; Van Kerhoven, M. B. und Wassen, M. (1996): Control of local nutrient dynamics in mires by regional and climatic factors: a comparison of Dutch and Polish sites. J. of Ecology 84, 647-656.

Villar, M. C.; Beloso, M. C.; Acea, M. J.; Cabaneiro, A., Conzálex-Prieto, S. J.; Carballas, M.; Díaz-Ravína, M. and Carballas, T. (1993). Physical and chemical characterization of four composted urban refuses. Biores. Tech. 45, 105-13.

Vinther, F. P.; Eiland, F.; Lind, A.-M. und Elsgaard, L. (1988): Microbial biomass and numbers of denitrifers related to macropore channels in agricultural and forest soils. Soil Biol. Biochem. 31, 603-611.

Vlassak, K. (1970): Total soil nitrogen and mineralization. Plant and soil 32, 27-32.

Vogtmann, H. und Fricke, K. (1989): Nutrient value and utilization of biogenic compost in plant production. Agriculture, Ecosystems and Environment 27, 471-475.

Vogtmann, H.; Fricke, K. und Gottschall, R. (1993): Ansprüche der Landwirtschaft an die Kompostqualität und den Rottegrad. In: Landwirtschaftskammer Hannover (Hrsg.): Kompost und Landwirtschaft. Tagungsband.

Wassen, M. J.; Van der Vliet, R. E. und Verhoeven, J. T. A. (1998). Nutrient limitation in the Biebrza Fens and floodplain (Poland). Acta Bot. Neerl. 47, 241-253.

Werner, W.; Scherer, H.-W. und Rossbach, J. (1998): Integration von Bioabfallkompost in das Düngungskonzept von Ackerbaubetrieben unter besonderer Berücksichtigung der N-Nachlieferung. Forschungsbericht im Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und standortgerechte Landwirtschaft" an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Werther, J.; Ogada, T. und Phillipek, Ch. (1994): CO- und NOx Emissionen bei der Verbrennung von kommunalen Klärschlämmen in der Wirbelschicht. Chem.- Ing.-Tech. 66, 1361-1364.

Wildhagen, H.; Larcher, P. und Meyer, B. (1987): Modellversuch „Göttinger Komposttonne": N-, P- und K-Düngewirkung des Biomüllkompostes zu Getreide im Feldversuch. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 55, 667-672.

Zucconi, F. und Bertoldi, M. (1987): Compost specifications for the productions and characterization of compost from municipal solid wastes. In: M. Bertoldi, M. P. Ferranti, P. L`Hermite & F. Zucconi: Compost: Production Quality and Use. Elsevier Applied Science, London, 30-50.

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Gefäßversuch 137

Anlage 2: Vegetationstest (Sonnenblume) zur Bestimmung von Feldkapazität (FK), Nutzbarer Feldkapazität (nFK) und permanenten Welkepunkt (PWP) 137

Anlage 3: Vegetationstest (Welsches Weidelgras) zur Bestimmung von Feldkapazität (FK), Nutzbarer Feldkapazität (nFK) und permanenten Welkepunkt (PWP) 137

Anlage 4: Freilandversuch 138

Anlage 5: Korngrößenverteilung der verwendeten Bodenmaterialien (Ut2 und St2) 139

Anlage 6: Feldkapazität (FK), Nutzbare Feldkapazität (nFK) und Permanenter Welkepunkt (PWP) von Klärschlammkomposten bei unterschiedlicher Lagerungsdichte (LD) und unterschiedlichen Untersuchungsmethoden (DIN ISO 11274 und Vegetationstest; Gefäßversuch 1) 139

Anlage 7: Feldkapazität (FK), Nutzbare Feldkapazität (nFK) und Permanenter Welkepunkt (PWP) von Rekultivierungsmaterialien bei unterschiedlicher Lagerungsdichte (LD) und unterschiedlichen Untersuchungsmethoden (DIN ISO 11274 und Vegetationstest; Gefäßversuch 2, Freilandversuch) 140

Anlage 8: Einfaktorielle Varianzanalyse mit T-Test zum Vergleich der nFK nach den Methoden DIN ISO 11274 und Vegetationstest (Gefäßversuch 2, Freilandversuch) 141

Anlage 9: Monatliche Niederschlagssumme (Gefäßversuch) 144

Anlage 10: Monatliche Niederschlagssumme (Freilandversuch) 145

Anlage 11: Gesamtsickerwassermenge der unbegrünten Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit während der Zeitspanne vom 04.06.2003 bis 26.04.2005 (Gefäßversuch 2) 145

Anlage 12: Gesamtsickerwassermenge der 100cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten während der Zeitspanne vom 04.06.2003 bis 26.04.2005 (Gefäßversuch 2) 146

Anlage 13: Gesamtsickerwassermenge der unbegrünten Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit während der Zeitspanne vom 04.06.2003 bis 30.03.2004 (Gefäßversuch 2) 146

Anlage 14: Verlauf der Sickerwassermenge der Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2) 147

Anlage 15: Verlauf der Sickerwassermenge der Varianten MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2) 151

Anlage 16: Verlauf der Sickerwassermenge der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch) 155

Anlage 17: Verlauf des Bodenwassergehaltes der 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2) 158

Anlage 18: Verlauf des Bodenwassergehaltes der Varianten (Freilandversuch) 162

Anlage 19: Verlauf von Evaporation und Evapotranspiration der 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2) 164

Anlage 20: Gehalte von Nitrat-, Ammonium-, organisch gebundenem Stickstoff, Kohlenstoff und C/N-Verhältnisse der Varianten (Gefäßversuch 2) 167

Anlage 21: Vorräte von Nitrat-, Ammonium-, organisch gebundenem Stickstoff, Kohlenstoff der Varianten (Gefäßversuch 2) 168

Anlage 22: Gehalte von Nitrat-, Ammonium-, organisch gebundenem Stickstoff, Kohlenstoff und C/N-Verhältnisse der Varianten im Juli 2003 (Freilandversuch) 168

Anlage 23: Verlauf des Gesamtstickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch) 169

Anlage 24: Gesamtstickstoffgehalte im März 2005 (einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich zwischen den N_t-Gehalten der Varianten, Freilandversuch) 171

Anlage 25: Verlauf des Nitratstickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch) 172

Anlage 26: Verlauf des Ammoniumstickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch) 174

Anlage 27: Ammoniumstickstoffgehalte im Juli, November 2003 und März 2005 (einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich der Untersuchungszeitpunkte der Varianten, Freilandversuch) 176

Anlage 28: Ammoniumstickstoffgehalte im März 2005 (einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich der Varianten, Freilandversuch) 177

Anlage 29: Verlauf des mineralischen Stickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch) 178

Anlage 30: Mineralische Stickstoffgehalte im März 2005, einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich der Varianten; Freilandversuch) 180

Anlage 31: Verlauf des organisch gebundenen Stickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch) 181

Anlage 32: Verlauf des Mikrobiell gebundenen Kohlenstoffs der Varianten (Freilandversuch) .. 183

Anlage 33: C_{mik}-Gehalte im September 2003 und November 2004 (einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich der Untersuchungszeitpunkte der Varianten, Freilandversuch) 184

Anlage 34: Verlauf des Mikrobiell gebundenen Kohlenstoffs der Varianten (Freilandversuch) .. 184

Anlage 35: Verlauf des Metabolischen Quotienten der Varianten (Freilandversuch) 185

Anlage 36: Verlauf der mittleren NO_3-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2) 186

Anlage 37: Mittlere NO_3-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlichen Mächtigkeiten sowie deskriptive statistische Angaben (Gefäßversuch 2) 192

Anlage 38: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser während der Zeiträume vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und vom 22.06.2004 - 26.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2) 193

Anlage 39: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NO_3-N–Fracht im Sickerwasser während der Zeiträume vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und vom 22.06.2004 - 26.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2) 193

Anlage 40: Verlauf der mittleren NO_3-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2) 194

Anlage 41: Mittlere NO_3-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlichen Mächtigkeiten sowie deskriptive statistische Angaben (Gefäßversuch 2) 200

Anlage 42: Verlauf der NO_3-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch) 201

Anlage 43: Mittlere NO_3-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch 2) 204

Anlage 44: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser während der Zeiträume vom 19.07.2003 – 22.07.2004 und vom 29.09.2004 - 28.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Freilandversuch) 205

Anlage 45: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NO_3-N–Fracht im Sickerwasser während der Zeiträume vom 19.07.2003 – 22.07.2004 und vom 29.09.2004 - 28.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Freilandversuch) 205

Anlage 46: Verlauf der NO_3-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch) 206

Anlage 47: Mittlere NO_3-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch) 209

Anlage 48: Verlauf der mittleren NH_4-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2) 210

Anlage 49: Mittlere NH_4-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Gefäßversuch 2) 216

Anlage 50: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser während der Zeiträume vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und vom 22.06.2004 - 26.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2) 217

Anlage 51: Verlauf der mittleren NH_4-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2) 218

Anlage 52: Mittlere NH_4-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Gefäßversuch 2) 224

Anlage 53: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NH_4-N–Frachten im Sickerwasser während der Zeiträume vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und vom 22.06.2004 - 26.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2) 225

Anlage 54: Verlauf der NH_4-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch) 226

Anlage 55: Mittlere NH_4-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch) 229

Anlage 56: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser während der Zeiträume vom 19.07.2003 – 22.07.2004 und vom 29.07.2004 – 28.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Freilandversuch) 230

Anlage 57: Verlauf der NH_4-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch) 231

Anlage 58: Mittlere NH_4-N–Fracht im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch) 234

Anlage 59: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NH_4-N–Fracht im Sickerwasser während der Zeiträume vom 19.07.2003 – 22.07.2004 und vom 29.07.2004 – 28.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Freilandversuch) 235

Anlage 60: Erträge [kg/ha TM] und Stickstoffentzug [kg/ha] des Welschen Weidelgrases (Gefäßversuch 2) 236

Anlage 61: Erträge [kg/ha TM] und Stickstoffentzug [kg/ha] des Welschen Weidelgrases bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch) 236

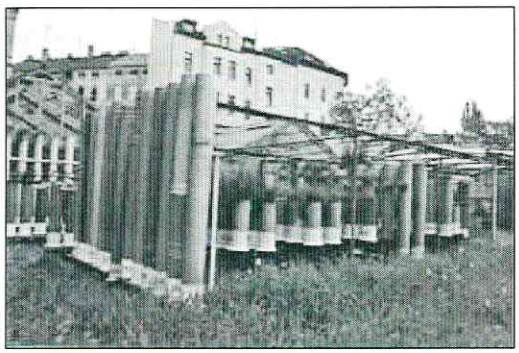
Anlage 62: Mittlerer pH im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch) 237

Anlage 63: Durchschnittliche pH-Werte der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 238

Anlage 64: Verlauf der Temperatur der Varianten in unterschiedlicher Tiefe während des gesamten Untersuchungszeitraum (Freilandversuch) 239

Anlage 65: Elektrische Leitfähigkeit der Varianten während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch) 240

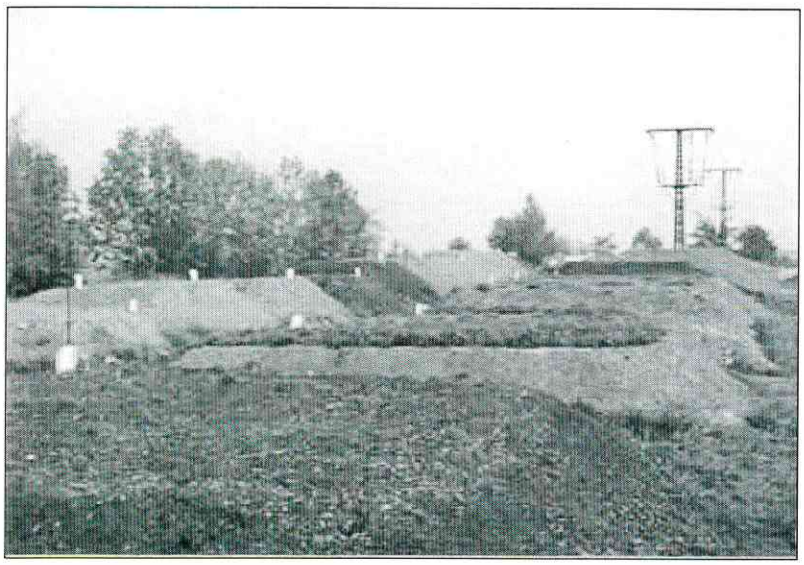
Anlage 1: Gefäßversuch



Anlage 2: Vegetationstest (Sonnenblume) zur Bestimmung von Feldkapazität (FK), Nutzbarer Feldkapazität (nFK) und permanenten Welkepunkt (PWP)

Anlage 3: Vegetationstest (Welsches Weidelgras) zur Bestimmung von Feldkapazität (FK), Nutzbarer Feldkapazität (nFK) und permanenten Welkepunkt (PWP)

Anlage 4: Freilandversuch



Anlage 5: Korngrößenverteilung der verwendeten Bodenmaterialien (Ut2 und St2)

Bodenarten-untergruppe	Kurz-zeichen	Textur des humusfreien Feinboden [M%]						
schwach toniger Sand	St2	16,58	58,29	12,93	4,12	1,46	0,56	6,06
schwach toniger Schluff	Ut2	0,30	0,30	3,96	61,39	20,00	2,84	11,19
Unterfraktion des Bodens		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
Äquivalentdurchmesser		>630µm	>200µm	>63µm	>20µm	>6,3µm	>2µm	<2µm

Anlage 6: Feldkapazität (FK), Nutzbare Feldkapazität (nFK) und Permanenter Welkepunkt (PWP) von Klärschlammkomposten bei unterschiedlicher Lagerungsdichte (LD) und unterschiedlichen Untersuchungsmethoden (DIN ISO 11274 und Vegetationstest; Gefäßversuch 1)

KSK	Methode	LD	FK	PWP	nFK
			[Vol.%]	[Vol.%]	[Vol.%]
		[g/cm³]	pF > 1,8	pF > 4,2	pF 1,8 - 4,2
A	DIN ISO 11274	0,57 ± 0,01	56 ± 0,66	24 ± 0,71	32 ± 0,78
	DIN ISO 11274	0,79 ± 0,01	62 ± 0,99	53 ± 2,23	10 ± 1,95
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,81 ± -	40 ± -	- ± -	- ± -
B	DIN ISO 11274	0,21 ± 0,02	54 ± 2,49	31 ± 1,52	24 ± 2,87
	DIN ISO 11274	0,40 ± 0,02	63 ± 1,76	43 ± 2,89	19 ± 1,58
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,33 ± -	38 ± -	16 ± -	22 ± -
C	DIN ISO 11274	0,34 ± 0,06	54 ± 2,64	27 ± 1,62	28 ± 3,15
	DIN ISO 11274	0,52 ± 0,02	56 ± 1,02	37 ± 0,54	19 ± 1,09
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,46 ± -	44 ± -	5 ± -	40 ± -
D	DIN ISO 11274	0,51 ± 0,12	59 ± 4,37	25 ± 0,71	33 ± 3,83
	DIN ISO 11274	0,77 ± 0,02	59 ± 1,78	31 ± 1,13	28 ± 1,48
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,64 ± -	54 ± -	14 ± -	39 ± -
E	DIN ISO 11274	0,25 ± 0,01	46 ± 3,56	32 ± 0,50	14 ± 3,11
	DIN ISO 11274	0,48 ± 0,01	65 ± 3,65	47 ± 0,07	18 ± 3,63
	DIN ISO 11274	0,46 ± -	41 ± -	3 ± -	38 ± -
F	DIN ISO 11274	0,34 ± 0,01	47 ± 1,68	18 ± 0,97	29 ± 2,15
	DIN ISO 11274	0,60 ± 0,02	58 ± 5,00	36 ± 7,20	19 ± 6,66
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,44 ± -	37 ± -	18 ± -	19 ± -
G	DIN ISO 11274	1,01 ± 0,14	39 ± 5,28	12 ± 0,38	27 ± 5,57
	DIN ISO 11274	1,50 ± 0,04	37 ± 1,55	14 ± 0,28	9 ± 1,49
	Vegetationstest (Weidelgras)	1,23 ± -	30 ± -	1 ± -	29 ± -

Anlage 7: Feldkapazität (FK), Nutzbare Feldkapazität (nFK) und Permanenter Welkepunkt (PWP) von Rekultivierungsmaterialien bei unterschiedlicher Lagerungsdichte (LD) und unterschiedlichen Untersuchungsmethoden (DIN ISO 11274 und Vegetationstest; Gefäßversuch 2, Freilandversuch)

Variante	Methode	LD	FK	PWP	nFK
			[Vol.%]	[Vol.%]	[Vol.%]
		[g/cm^3]	pF > 1,8	pF > 4,2	pF 1,8 - 4,2
Ut2	DIN ISO 11274	1,35 ± 0,05	41 ± 2,23	9 ± 0,28	33 ± 0,42
	DIN ISO 11274	1,58 ± 0,02	40 ± 0,38	11 ± 0,23	28 ± 0,32
St2	DIN ISO 11274	1,59 ± 0,03	25 ± 4,92	6 ± 0,48	21 ± 4,24
	DIN ISO 11274	1,84 ± 0,03	19 ± 0,96	9 ± 0,91	11 ± 2,51
MK1	DIN ISO 11274	0,42 ± 0,03	45 ± 2,89	31 ± 1,35	14 ± 0,25
	DIN ISO 11274	0,71 ± 0,02	59 ± 2,58	53 ± 0,49	7 ± -
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,22 ± 0,04	47 ± 1,11	20 ± 2,36	27 ± 0,89
	DIN ISO 11274	1,31 ± 0,03	46 ± 1,15	34 ± 2,80	11 ± 2,75
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,11 ± 0,02	34 ± 2,21	14 ± 1,56	20 ± 0,98
	DIN ISO 11274	1,49 ± 0,04	36 ± 1,47	24 ± 0,98	11 ± 2,01
MK2	DIN ISO 11274	0,39 ± 0,03	48 ± 2,90	38 ± 1,42	10 ± 1,53
	DIN ISO 11274	0,55 ± 0,07	63 ± 4,93	52 ± 2,07	11 ± 3,46
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,44 ± -	49 ± 3,11	7 ± 3,95	42 ± 0,84
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,11 ± 0,02	49 ± 1,46	24 ± 3,31	25 ± 2,04
	DIN ISO 11274	1,24 ± 0,03	48 ± 0,58	22 ± 0,74	26 ± 0,68
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,94 ± -	49 ± 1,71	5 ± 0,15	44 ± 1,83
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,04 ± 0,07	32 ± 1,17	18 ± 0,34	13 ± 1,07
	DIN ISO 11274	1,41 ± 0,07	37 ± 1,35	23 ± 1,03	14 ± 0,40
	Vegetationstest (Weidelgras)	1,06 ± -	32 ± 1,55	8 ± 1,45	24 ± 2,72
MK1	Vegetationstest (Sonnenblume)	0,43 ± 0,00	49 ± 0,68	10 ± 1,11	39 ± 1,56
	Vegetationstest (Weidelgras)	0,40 ± -	48 ± 0,23	11 ± 0,50	37 ± 0,67
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,06 ± 0,00	42 ± 0,82	9 ± 1,12	33 ± 0,64
	Vegetationstest (Weidelgras)	1,10 ± -	41 ± 0,93	4 ± 1,10	37 ± 1,75
MK1 + St2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,00 ± 0,00	45 ± 0,76	1 ± 7,13	37 ± 0,42
	Vegetationstest (Weidelgras)	1,20 ± -	44 ± 0,27	8 ± 1,88	37 ± 1,69

Anlage 8: Einfaktorielle Varianzanalyse mit T-Test zum Vergleich der nFK nach den Methoden DIN ISO 11274 und Vegetationstest (Gefäßversuch 2, Freilandversuch)

(1/3)

Variante	Methode	LD [g/cm³]		nFK [Vol.%]	T-Test p*
MK1	DIN ISO 11274	0,42	gering	13,5 ± 0,60	**0,0000**
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,22	gering	26,8 ± 1,00	
MK1	DIN ISO 11274	0,42	gering	13,5 ± 0,60	**0,0000**
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,11	gering	19,8 ± 0,76	
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,22	gering	26,8 ± 1,00	**0,0000**
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,11	gering	19,8 ± 0,76	
MK1	DIN ISO 11274	0,71	hoch	4,6 ± 2,64	**0,0115**
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,31	hoch	12,1 ± 2,37	
MK1	DIN ISO 11274	0,71	hoch	4,6 ± 2,64	**0,0041**
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,49	hoch	11,9 ± 1,86	
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,31	hoch	12,1 ± 2,37	0,8719
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,49	hoch	11,9 ± 1,86	
MK1	DIN ISO 11274	0,42	gering	13,5 ± 0,60	**0,0006**
MK1	DIN ISO 11274	0,71	hoch	4,6 ± 2,64	
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,22	gering	26,8 ± 1,00	**0,0001**
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,31	hoch	12,1 ± 2,37	
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,11	gering	19,8 ± 0,76	**0,0002**
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,49	hoch	11,9 ± 1,86	
MK2	DIN ISO 11274	0,39	gering	11,0 ± 1,35	**0,0000**
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,11	gering	22,4 ± 1,72	
MK2	DIN ISO 11274	0,39	gering	11,0 ± 1,35	**0,0113**
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,04	gering	13,8 ± 0,84	
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,11	gering	22,4 ± 1,72	**0,0001**
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,04	gering	13,8 ± 0,84	
MK	DIN ISO 11274	0,55	hoch	10,8 ± 1,35	**0,0000**
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,24	hoch	26,7 ± 1,33	
MK2	DIN ISO 11274	0,55	hoch	10,8 ± 1,35	**0,0435**
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,41	hoch	13,4 ± 1,49	
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,24	hoch	26,7 ± 1,33	**0,0000**
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,41	hoch	13,4 ± 1,49	
MK2	DIN ISO 11274	0,39	gering	11,0 ± 1,35	0,8807
MK2	DIN ISO 11274	0,55	hoch	10,8 ± 1,35	

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen der nFK der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 8

(2/3)

Variante	Methode	LD [g/cm³]		nFK [Vol.%]	T-Test p*
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,11	gering	22,4 ± 1,72	**0,0082**
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,24	hoch	26,7 ± 1,33	
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,04	gering	13,8 ± 0,84	0,6199
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,41	hoch	13,4 ± 1,49	
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,04	gering	13,8 ± 0,84	0,6199
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,41	hoch	13,4 ± 1,49	
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,22	gering	26,8 ± 1,00	**0,0047**
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,11	gering	22,4 ± 1,72	
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,11	gering	19,8 ± 0,76	**0,0000**
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,04	gering	13,8 ± 0,84	
MK1	DIN ISO 11274	0,71	hoch	4,6 ± 2,64	**0,0057**
MK2	DIN ISO 11274	0,55	hoch	10,8 ± 1,35	
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,31	hoch	12,1 ± 2,37	**0,0001**
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,24	hoch	26,7 ± 1,33	
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,49	hoch	11,9 ± 1,86	0,2507
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,41	hoch	13,4 ± 1,49	
MK1	Vegetationstest (Sonnenblume)	0,43	gering	39,0 ± 1,56	**0,0000**
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,06	gering	33,0 ± 0,64	
MK1	Vegetationstest (Sonnenblume)	0,43	gering	39,0 ± 1,56	0,0695
MK1 + St2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,00	gering	37,5 ± 0,42	
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,06	gering	33,0 ± 0,64	**0,0000**
MK1 + St2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,00	gering	37,5 ± 0,42	
MK1	Vegetationstest (Weidelgras)	0,40	gering	37,2 ± 0,67	0,9898
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,10	gering	37,2 ± 1,75	
MK1	Vegetationstest (Weidelgras)	0,40	gering	37,2 ± 0,67	0,5933
MK1 + St2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,20	gering	36,6 ± 1,69	
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,10	gering	37,2 ± 1,75	0,6947
MK1 + St2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,20	gering	36,6 ± 1,69	
MK2	Vegetationstest (Weidelgras)	0,44	gering	43,1 ± 2,84	0,6900
MK2 + Ut2	Vegetationstest (Weidelgras)	0,94	gering	44,0 ± 1,83	
MK2	Vegetationstest (Weidelgras)	0,44	gering	43,1 ± 2,84	**0,0011**
MK2 + St2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,06	gering	24,1 ± 2,72	

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen der nFK der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 8

(3/3)

Variante	Methode	LD [g/cm³]		nFK [Vol.%]	T-Test p*
MK2 + Ut2	Vegetationstest (Weidelgras)	0,94	gering	44,0 ± 1,83	**0,0005**
MK2 + St2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,06	gering	24,1 ± 2,72	
MK1	Vegetationstest (Weidelgras)	0,40	gering	37,2 ± 0,67	**0,0242**
MK2	Vegetationstest (Weidelgras)	0,44	gering	43,1 ± 2,84	
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,10	gering	37,2 ± 1,75	0,0096
MK2 + Ut2	Vegetationstest (Weidelgras)	0,94	gering	44,0 ± 1,83	
MK1 + St2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,20	gering	36,6 ± 1,69	**0,0025**
MK2 + St2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,06	gering	24,1 ± 2,72	
MK1	DIN ISO 11274	0,42	gering	13,5 ± 0,60	**0,0000**
MK1	Vegetationstest (Sonnenblume)	0,43	gering	39,0 ± 1,56	
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,22	gering	26,8 ± 1,00	**0,0000**
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,06	gering	33,0 ± 0,64	
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,11	gering	19,8 ± 0,76	**0,0000**
MK1 + St2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,00	gering	37,5 ± 0,42	
MK1	DIN ISO 11274	0,42	gering	13,5 ± 0,60	**0,0000**
MK1	Vegetationstest (Weidelgras)	0,40	gering	37,2 ± 0,67	
MK1 + Ut2	DIN ISO 11274	1,22	gering	26,8 ± 1,00	**0,0002**
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,10	gering	37,2 ± 1,75	
MK1 + St2	DIN ISO 11274	1,11	gering	19,8 ± 0,76	**0,0000**
MK1 + St2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,20	gering	36,6 ± 1,69	
MK1	Vegetationstest (Sonnenblume)	0,43	gering	39,0 ± 1,56	0,1093
MK1	Vegetationstest (Weidelgras)	0,40	gering	37,2 ± 0,67	
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,06	gering	33,0 ± 0,64	**0,0024**
MK1 + Ut2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,10	gering	37,2 ± 1,75	
MK1 + St2	Vegetationstest (Sonnenblume)	1,00	gering	37,5 ± 0,42	0,2679
MK1 + St2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,20	gering	36,6 ± 1,69	
MK2	DIN ISO 11274	0,39	gering	11,0 ± 1,35	**0,0000**
MK2	Vegetationstest (Weidelgras)	0,44	gering	43,1 ± 2,84	
MK2 + Ut2	DIN ISO 11274	1,11	gering	22,4 ± 1,72	**0,0000**
MK2 + Ut2	Vegetationstest (Weidelgras)	0,94	gering	44,0 ± 1,83	
MK2 + St2	DIN ISO 11274	1,04	gering	13,8 ± 0,84	**0,0008**
MK2 + St2	Vegetationstest (Weidelgras)	1,06	gering	24,1 ± 2,72	

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen der nFK der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 9: Monatliche Niederschlagssumme (Gefäßversuch)

Monat	Jahr	Niederschlag (natürlich) [mm]	(simuliert) [mm]	Gesamt [mm]
März	2003	11,6	-	11,6
April	2003	20,5	-	20,5
Mai	2003	37,1	-	37,1
Juni	2003	74,0	18,8	92,8
Juli	2003	100,8	7,6	108,3
August	2003	31,6	5,8	37,4
September	2003	71,6	5,8	77,4
Oktober	2003	32,5	-	32,5
November	2003	24,2	-	24,2
Dezember	2003	38,7	-	38,7
Januar	2004	55,2	-	55,2
Februar	2004	28,4	-	28,4
März	2004	26,2	-	26,2
April	2004	33,4	12,0	45,4
Mai	2004	65,5	-	65,5
Juni	2004	89,8	-	89,8
Juli	2004	71,4	-	71,4
August	2004	26,9	-	26,9
September	2004	21,1	20,2	41,2
Oktober	2004	12,6	20,2	32,8
November	2004	73,9	-	73,9
Dezember	2004	20,2	-	20,2
Januar	2005	26,8	-	26,8
Februar	2005	29,6	-	29,6
März	2005	52,4	-	52,4
April	2005	18,1	-	18,1
Mai	2005	0,0	-	0,0
Summe	**Mrz 03 - Mai 05**	**1093,9**	**90,3**	**1184,2**

Anlage 10: Monatliche Niederschlagssumme (Freilandversuch)

Monat	Jahr	Niederschlag (natürlich) [mm]
März	2003	-
April	2003	-
Mai	2003	-
Juni	2003	-
Juli	2003	50
August	2003	24
September	2003	54
Oktober	2003	28
November	2003	37
Dezember	2003	18
Januar	2004	53
Februar	2004	21
März	2004	20
April	2004	30
Mai	2004	80
Juni	2004	60
Juli	2004	90
August	2004	61
September	2004	31
Oktober	2004	10
November	2004	59
Dezember	2004	18
Januar	2005	25
Februar	2005	25
März	2005	19
April	2005	14
Mai	2005	-
Summe	**Jul 03 - Apr 05**	**826**

Anlage 11: Gesamtsickerwassermenge der unbegrünten Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit während der Zeitspanne vom 04.06.2003 bis 26.04.2005 (Gefäßversuch 2)

	Sickerwasser [mm]			
Variante/ Mächtigkeit [cm]	**50**	**100**	**150**	**200**
MK1	342	623	325	452
MK1+Ut2	312	312	188	346
MK1+St2	288	376	259	409
MK2	315	495	303	458
MK2+Ut2	157	313	79	115
MK2+St2	310	401	229	311
Ut2	482	417	131	-
St2	276	313	307	-

Anlage 12: Gesamtsickerwassermenge der 100cm mächtigen, unbegrünten und begrünten Varianten während der Zeitspanne vom 04.06.2003 bis 26.04.2005 (Gefäßversuch 2)

	Sickerwasser [mm]	
Variante	unbegrünt	begrünt
MK1	623	104
MK1+Ut2	312	38
MK1+St2	376	35
MK2	495	116
MK2+Ut2	313	11
MK2+St2	401	89
Ut2	417	246
St2	313	325

Anlage 13: Gesamtsickerwassermenge der unbegrünten Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit während der Zeitspanne vom 04.06.2003 bis 30.03.2004 (Gefäßversuch 2)

		Sickerwasser [mm]			
Variante/	**Mächtigkeit [cm]**	**50**	**100**	**150**	**200**
MK1		234	271	238	182
MK1+Ut2		188	148	178	174
MK1+St2		178	184	204	229
MK2		132	207	226	168
MK2+Ut2		132	105	65	62
MK2+St2		204	177	154	180
Ut2		94	171	37	0
St2		91	170	150	0

Anlage 14: Verlauf der Sickerwassermenge der Varianten MK1, MK1+Ut2 und MK1+St2 bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2)

(1/4)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit	Begrünung		Sickerwasser [mm]																				
					Termine 2003																				
		[cm]			10.6	17.6	24.6	1.7	8.7	15.7	22.7	29.7	5.8	12.8	19.8	26.8	2.9	9.9	16.9	23.9	30.9	7.10	14.10	21.10	28.10
1	MK1	200	unbegrünt	MW*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
2				StAbw*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
3		150	unbegrünt	MW	0	12	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	27	0	0	5	3	0	16
4				StAbw	0	9	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	8	0	0	2	2	0	3
5		100	unbegrünt	MW	12	2	0	0	0	9	0	5	0	0	0	0	1	0	30	0	0	4	3	0	20
6				StAbw	8	2	0	0	0	7	0	5	0	0	0	0	2	0	16	0	0	3	1	0	21
7		100	begrünt	MW	9	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	11	0	0	0	0	0	0
8				StAbw	13	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	13	0	0	0	0	0	0
9		50	unbegrünt	MW	13	2	0	0	0	21	0	10	0	0	0	0	4	0	34	0	0	1	6	0	3
10				StAbw	11	1	0	0	0	7	0	2	0	0	0	0	3	0	2	0	0	1	1	0	1
11	MK1+Ut2	200	unbegrünt	MW	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0
12				StAbw	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13		150	unbegrünt	MW	0	3	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	3	0	8	0	0	2	4	0	2
14				StAbw	0	6	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	5	0	8	0	0	5	5	0	4
15		100	unbegrünt	MW	4	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	13	0	0	1	2	0	2
16				StAbw	6	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	15	0	0	2	2	0	2
17		100	begrünt	MW	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
18				StAbw	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
19		50	unbegrünt	MW	1	3	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	26	0	0	1	5	0	1
20				StAbw	1	6	0	0	0	2	0	8	0	0	0	0	0	0	13	0	0	3	6	0	1
21	MK1+St2	200	unbegrünt	MW	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	5
22				StAbw	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	7
23		150	unbegrünt	MW	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	5	4	0	12
24				StAbw	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	11	0	0	2	2	0	5
25		100	unbegrünt	MW	1	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	1	0	33	0	0	2	1	0	2
26				StAbw	2	0	0	0	0	2	0	5	0	0	0	0	2	0	8	0	0	1	2	0	1
27		100	begrünt	MW	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
28				StAbw	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
29		50	unbegrünt	MW	12	1	0	0	0	10	0	8	0	0	0	0	2	0	24	0	0	0	3	0	1
30				StAbw	6	1	0	0	0	8	0	6	0	0	0	0	2	0	16	0	0	0	3	0	1

*StAbw=Standardabweichung, MW=Mittelwert

Anlage 14

(2/4)

lfd. Nr.	Termine 2004																														
	4.11	11.11	18.11	25.11	2.12	9.12	16.12	23.12	30.12	6.1	13.1	20.1	27.1	3.2	10.2	17.2	24.2	2.3	9.3	16.3	23.3	30.3	6.4	13.4	20.4	27.4	4.5	11.5	18.5	25.5	1.6
1	0	0	8	0	34	0	0	0	25	0	38	18	0	36	2	0	9	8	0	2	0	0	0	2	0	3	0	34	0	1	0
2	0	0	5	0	5	0	0	0	5	0	0	5	0	9	1	0	5	2	0	1	0	0	0	2	0	3	0	18	0	1	0
3	0	0	11	0	26	0	0	0	26	0	21	15	0	41	2	0	9	9	0	8	1	0	0	1	0	2	0	17	0	1	0
4	0	0	5	0	6	0	0	0	6	0	0	6	0	4	1	0	4	1	0	1	1	0	0	1	0	2	0	16	0	2	0
5	0	0	4	1	50	0	0	0	29	0	40	12	0	33	2	0	6	5	0	3	0	0	0	4	0	2	0	33	0	0	0
6	0	0	3	2	19	0	0	0	9	0	14	5	0	9	1	0	3	2	0	1	1	0	0	2	0	2	0	8	0	0	0
7	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	5	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	0	6	0	30	0	0	0	16	0	33	8	0	32	3	0	6	3	0	4	0	0	0	8	0	0	0	5	0	0	0
10	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	1	0	2	2	0	2	1	0	1	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0
11	0	0	8	0	21	0	0	0	3	0	38	29	0	34	10	0	17	9	0	4	0	0	0	9	0	4	0	35	0	1	0
12	0	0	3	0	7	0	0	0	4	0	0	4	0	5	5	0	5	3	0	2	0	0	0	3	0	1	0	0	0	1	0
13	0	0	6	0	14	0	0	0	12	0	20	23	0	27	13	0	14	10	0	8	3	0	0	2	0	0	0	5	0	0	0
14	0	0	6	0	10	0	0	0	10	0	15	7	0	7	2	0	5	1	0	1	4	0	0	3	0	0	0	8	0	0	0
15	0	0	3	1	26	0	0	0	14	0	26	9	0	20	6	0	8	4	0	4	1	0	0	1	0	1	0	20	0	0	0
16	0	0	5	2	22	0	0	0	10	0	18	9	0	15	4	0	6	3	0	5	2	0	0	1	0	1	0	17	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
19	0	0	9	0	34	0	0	0	9	0	32	8	0	30	5	0	7	5	0	6	2	0	0	5	0	0	0	7	0	0	0
20	0	0	7	0	8	0	0	0	4	0	7	2	0	5	9	0	5	1	0	5	5	0	0	9	0	0	0	14	0	0	0
21	0	0	14	0	48	0	0	0	28	0	38	20	0	37	7	0	16	8	0	2	0	0	0	4	0	3	0	26	0	2	0
22	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	4	3	0	0	5	0	2	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0
23	0	0	5	2	26	0	0	0	24	0	24	11	0	30	8	0	9	12	0	6	1	0	0	2	0	2	0	13	0	1	0
24	0	0	5	3	8	0	0	0	3	0	7	2	0	1	1	0	2	2	0	1	1	0	0	2	0	2	0	15	0	1	0
25	0	0	5	0	30	0	0	0	17	0	26	17	0	22	6	0	8	4	0	2	0	0	0	3	0	1	0	32	0	0	0
26	0	0	3	0	9	0	0	0	3	0	19	12	0	4	3	0	3	2	0	2	0	0	0	1	0	2	0	10	0	0	0
27	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
28	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
29	0	0	4	0	27	0	0	0	12	0	29	6	0	25	1	0	5	5	0	4	0	0	0	3	0	0	0	8	0	0	0
30	0	0	3	0	8	0	0	0	10	0	6	2	0	4	1	0	4	6	0	3	0	0	0	1	0	0	0	6	0	0	0

Anlage 14

(3/4)

lfd. Nr.	8.6	15.6	22.6	29.6	6.7	13.7	20.7	27.7	3.8	10.8	17.8	24.8	31.8	7.9	14.9	21.9	28.9	5.10	12.10	19.10	26.10	2.11	9.11	16.11	23.11	30.11	7.12	14.12	21.12	28.12
1	9	1	8	6	2	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	7	0	7	0	25	19	4	0	0	30
2	6	2	7	5	2	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	6	0	2	0	5	2	1	0	0	0
3	3	0	3	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4	0	22	0	0	0	0	3
4	6	0	3	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	3	0	17	0	0	0	0	4
5	15	1	7	17	2	6	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	11	2	0	6	0	46	13	1	0	0	36
6	6	1	3	4	2	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	3	0	4	0	2	2	1	0	0	4
7	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	21	2	0	0	0	2
8	0	0	0	3	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	9	3	0	0	0	5
9	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	6	0	0	3	0	24	0	0	0	0	0
10	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0
11	12	1	9	5	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	0	0	0	4
12	2	1	0	7	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	6
13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	8	0	1	11	1	4	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	2	0	3	0	10	7	0	0	0	14
16	6	0	3	8	1	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	3	0	4	0	12	5	1	0	0	10
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	19	1	0	0	0	4
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	21	2	0	0	0	6
21	9	2	6	6	2	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	7	0	13	10	2	0	0	11
22	0	2	4	5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	4	0	11	15	3	0	0	16
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0
24	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	0	0	0
25	11	1	2	11	1	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	9	1	0	6	0	21	10	1	0	0	11
26	2	1	3	4	1	2	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	1	0	6	0	0	1	1	0	0	3
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0
29	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4	0	0	1	0	21	0	0	0	0	2
30	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4	0	0	2	0	5	0	0	0	0	3

Anlage 14

(4/4)

lfd. Nr.	Termine 2005																			
	4.1	11.1	18.1	25.1	1.2	8.2	15.2	22.2	1.3	8.3	15.3	22.3	29.3	5.4	12.4	19.4	26.4	3.5	10.5	17.5	24.5
1	0	0	0	4	38	12	0	0	20	12	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	2	2	1	0	0	17	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	4	4	3	0	0	4	1	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	7	5	2	0	0	4	2	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	4	27	26	0	0	28	23	11	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	5	5	3	0	0	5	9	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	4	6	4	0	0	6	8	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	5	4	5	0	0	6	7	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	2	5	12	0	0	13	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	1	3	1	5	0	0	5	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	7	5	10	5	0	0	19	15	11	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	8	5	5	1	0	0	0	2	3	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	2	20	8	0	0	15	10	6	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	1	5	15	6	0	0	10	8	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	3	0	0	8	5	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	5	0	0	10	5	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	6	9	15	12	0	0	21	8	11	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	9	8	3	4	0	0	5	4	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	4	24	3	0	0	16	13	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	5	28	4	0	0	22	18	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	2	5	4	0	0	9	6	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	2	7	5	0	0	8	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	1	1	24	6	0	0	19	8	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	2	2	3	1	0	0	4	6	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	4	1	0	0	12	4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	8	2	0	0	10	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	6	19	6	0	0	21	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	4	2	1	0	0	1	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Anlage 15: Verlauf der Sickerwassermenge der Varianten MK2, MK2+Ut2 und MK2+St2 bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2)

(1/4)

lfd. Nr.	Variante		Begrünung		Sickerwasser [mm]																		
					Termine 2003																		
		[cm]			10.6	17.6	24.6	1.7	8.7	15.7	22.7	29.7	5.8	12.8	19.8	26.8	2.9	9.9	16.9	23.9	30.9	7.10	14.10	21.10
31	MK2	200	unbegrünt	MW*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
32				StAbw*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
33		150	unbegrünt	MW	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	20	0	0	2	6	0
34				StAbw	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	8	0	0	3	6	0
35		100	unbegrünt	MW	2	2	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	4	0	26	0	0	3	6	0
36				StAbw	4	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	4	0	5	0	0	3	2	0
37		100	begrünt	MW	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
38				StAbw	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
39		50	unbegrünt	MW	16	0	0	0	0	10	0	5	0	0	0	0	6	0	24	0	0	2	5	0
40				StAbw	6	0	0	0	0	13	0	6	0	0	0	0	4	0	17	0	0	2	4	0
41	MK2+Ut2	200	unbegrünt	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42				StAbw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43		150	unbegrünt	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44				StAbw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45		100	unbegrünt	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46				StAbw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47		100	begrünt	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
48				StAbw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	0
49		50	unbegrünt	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
50				StAbw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
51	MK2+St2	200	unbegrünt	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52				StAbw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
53		150	unbegrünt	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	3	1	0
54				StAbw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	20	0	0	3	2	0
55		100	unbegrünt	MW	0	1	0	0	0	10	0	4	0	0	0	0	3	0	12	0	0	2	2	0
56				StAbw	0	1	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	6	0	16	0	0	5	5	0
57		100	begrünt	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
58				StAbw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
59		50	unbegrünt	MW	13	2	0	0	0	18	0	11	0	0	0	0	5	0	27	0	0	0	6	0
60				StAbw	3	1	0	0	0	5	0	4	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	2	0

*StAbw=Standardabweichung, MW=Mittelwert

Anlage 15

(2/4)

lfd. Nr.	Termine 2004																														
	4.11	11.11	18.11	25.11	2.12	9.12	16.12	23.12	30.12	6.1	13.1	20.1	27.1	3.2	10.2	17.2	24.2	2.3	9.3	16.3	23.3	30.3	6.4	13.4	20.4	27.4	4.5	11.5	18.5	25.5	1.6
31	0	0	7	0	34	0	0	0	21	0	38	15	0	36	2	0	5	7	0	2	0	0	0	1	0	1	0	22	0	4	0
32	0	0	2	0	13	0	0	0	7	0	0	3	0	5	1	0	5	1	0	1	0	0	0	2	0	1	0	2	0	6	0
33	0	0	11	0	32	0	0	0	31	0	21	11	0	41	2	0	6	13	0	10	1	0	0	1	0	2	0	15	0	1	0
34	0	0	6	0	4	0	0	0	2	0	0	3	0	5	1	0	3	2	0	3	1	0	0	2	0	2	0	17	0	1	0
35	0	0	7	0	34	0	0	0	21	0	22	11	0	32	1	0	7	7	0	4	1	0	0	3	0	2	0	30	0	1	0
36	0	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0	2	0	0	2	1	0	0	1	0	0	2	0	2	0	6	0	1	0
37	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	6	0	24	0	0	0	14	0	27	7	0	28	0	0	7	3	0	3	0	0	0	8	0	0	0	12	0	0	0
40	0	0	4	0	17	0	0	0	2	0	5	3	0	5	0	0	2	1	0	2	0	0	0	4	0	0	0	9	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9	0	14	8	0	9	11	0	5	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	9	0	2	7	0	3	6	0	6	2	0	0	2	0	1	0	1	0	1	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	13	9	0	18	10	0	8	9	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	16	8	0	3	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	1	0	15	0	0	0	7	0	23	11	0	23	4	0	8	2	0	8	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
48	0	0	2	1	9	0	0	0	8	0	15	1	0	3	3	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0
49	0	0	4	0	28	0	0	0	8	0	28	7	0	27	1	0	9	4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	2	0	4	0	0	0	1	0	11	0	0	3	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	9	0	38	0	0	0	24	0	38	18	0	24	7	0	12	7	0	3	0	0	0	1	0	1	0	22	0	2	0
52	0	0	3	0	6	0	0	0	5	0	0	4	0	2	1	0	1	1	0	2	0	0	0	1	0	2	0	5	0	1	0
53	0	0	3	0	21	0	0	0	21	0	17	19	0	25	8	0	6	9	0	7	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0
54	0	0	2	0	11	0	0	0	9	0	13	12	0	5	2	0	4	4	0	4	1	0	0	1	0	0	0	11	0	0	0
55	0	0	4	0	28	0	0	0	21	0	24	12	0	25	10	0	3	6	0	4	1	0	0	1	0	0	0	20	0	1	0
56	0	0	5	0	19	0	0	0	15	0	13	6	0	8	6	0	4	2	0	3	1	0	0	2	0	0	0	5	0	1	0
57	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	5	0	7	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
58	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	5	6	0	7	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
59	0	0	5	0	27	0	0	0	10	0	33	7	0	22	1	0	7	3	0	4	0	0	0	6	0	0	0	7	0	0	0
60	0	0	1	0	4	0	0	0	2	0	8	1	0	8	0	0	2	1	0	2	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0

Anlage 15

(3/4)

lfd. Nr.	8.6	15.6	22.6	29.6	6.7	13.7	20.7	27.7	3.8	10.8	17.8	24.8	31.8	7.9	14.9	21.9	28.9	5.10	12.10	19.10	26.10	2.11	9.11	16.11	23.11	30.11	7.12	14.12	21.12	28.12
31	7	2	6	9	1	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	8	0	22	15	3	0	0	49
32	3	1	1	0	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	3	0	19	2	0	0	0	0
33	2	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0	0	0	3
34	4	0	1	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	3	1	0	0	5
35	15	1	7	17	3	7	2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	11	2	0	12	0	21	10	1	0	0	21
36	5	1	4	5	2	4	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	1	2	0	7	0	0	3	1	0	0	2
37	0	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	4	0	19	4	0	0	0	6
38	0	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	7	0	4	1	0	0	0	5
39	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	6	0	0	4	0	16	1	0	0	0	5
40	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	2	0	0	5	0	5	1	0	0	0	7
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	2
42	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
47	2	1	1	5	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	2	0	3	0	47	11	2	0	0	16
48	3	2	1	4	2	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	3	0	4	0	0	0	1	0	0	4
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	8	0	3	5	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	14	3	1	0	0	4
52	4	0	2	4	0	4	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	9	4	1	0	0	5
53	0	2	0	2	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
54	0	3	1	4	5	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	3
55	8	3	2	9	3	3	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	7	3	0	3	0	21	12	2	0	0	16
56	4	3	2	5	4	2	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	5	2	0	4	0	0	3	1	0	0	6
57	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	19	3	0	0	0	0
58	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	6	1	0	0	0	0
59	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	35	0	0	0	0	1
60	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	21	0	0	0	0	3

Anlage 15

(4/4)

lfd. Nr.	Termine 2005																			
	4.1	11.1	18.1	25.1	1.2	8.2	15.2	22.2	1.3	8.3	15.3	22.3	29.3	5.4	12.4	19.4	26.4	3.5	10.5	17.5	24.5
31	0	0	0	7	38	14	0	0	32	12	18	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	5	6	2	0	0	3	6	4	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	1	10	0	0	6	7	16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	1	2	10	0	0	3	4	10	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	3	6	28	19	0	0	17	13	16	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	2	5	11	2	0	0	4	1	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	1	3	14	12	0	0	15	10	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	2	5	14	5	0	0	4	3	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	2	2	7	14	0	0	14	3	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	4	5	5	4	0	0	5	2	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	2	0	0	11	3	15	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	1	0	0	4	5	13	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	1	5	18	19	0	0	32	8	14	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	1	3	3	4	0	0	7	6	9	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	3	3	0	0	9	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	3	4	0	0	9	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	3	9	3	0	0	20	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	2	6	2	0	0	4	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	1	0	3	8	0	0	5	4	9	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	1	0	4	7	0	0	6	5	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0!	2	31	7	0	0	23	14	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0!	2	13	2	0	0	6	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	1	1	5	7	0	0	12	7	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	2	2	6	4	0	0	7	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
59	0	0	1	3	15	5	0	0	16	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	1	3	2	2	0	0	3	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anlage 16: Verlauf der Sickerwassermenge der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch)

(1/3)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit	Begrünung	Sickerwasser [mm]													
				Termine 2003						Termine 2004							
		[cm]		12.9	1.10	30.10	28.11	19.12	27.12	14.1	19.1	2.2	6.2	6.3	12.3	18.3	26.3
1	MK1	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3
3		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	2,6	4,0	0,3	0,0	0,5
4		50		0,7	1,6	1,4	0,0	0,0	1,0	7,0	4,6	0,0	4,8	4,8	0,5	0,2	1,0
5		200	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	3,2	2,8	0,3	0,0	0,6
8		50		0,1	0,0	0,6	0,0	0,0	0,5	3,1	1,8	0,0	1,4	0,0	0,1	0,1	0,1
9	MK1+Ut2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,7	0,8	0,0	0,0	0,0
12		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	4,0	1,6	0,0	0,0	0,3
13		200	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	1,2	0,1	0,1	0,1
16		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	2,3	0,0	2,4	0,0	0,4	0,6	0,6
17	MK1+St2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	7,4	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
20		50		2,1	0,0	2,5	0,8	4,9	2,2	3,4	4,5	0,0	4,8	0,0	1,0	0,0	1,1
21		200	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
23		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0
24		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,4	4,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 16

(2/3)

lfd. Nr.	8.4	16.4	23.4	30.4	14.5	19.5	28.5	4.6	11.6	16.6	23.6	2.7	9.7	16.7	22.7	29.7	7.8	13.8	19.8	10.9	1.10
1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	2,7	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0
2	0,2	0,0	0,0	0,1	3,7	0,6	0,4	0,0	1,8	1,3	1,2	0,6	1,0	1,9	0,5	2,4	0,8	0,4	0,2	0,6	2,5
3	0,6	0,0	0,0	0,6	17,1	1,0	0,2	0,0	2,8	1,7	1,0	0,9	2,8	4,2	1,2	5,5	1,4	1,0	1,2	1,9	0,5
4	0,3	0,0	0,9	1,1	23,2	2,4	1,4	2,0	1,0	2,1	1,2	2,1	8,1	5,9	4,0	4,7	0,0	4,9	0,0	0,5	0,0
5	0,0	0,0	4,6	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,6	0,0	0,2	0,1	0,3	1,0	0,9	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	1,6	0,9	0,2	1,2	0,0	1,0	0,0	1,2	0,3
8	0,2	0,0	0,1	0,0	3,5	0,2	0,3	0,0	0,6	0,0	0,4	0,0	1,7	0,5	0,8	1,5	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	3,8	0,0	0,0	2,5	0,1	0,1
11	0,0	1,0	0,1	0,0	4,7	1,4	1,3	1,0	4,0	1,8	1,2	1,0	2,7	3,7	1,6	5,5	0,0	1,8	2,0	4,1	0,0
12	0,0	0,0	0,2	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	2,6	0,2	0,6	0,3	0,3	0,7	0,0	1,7	0,0	2,6	0,0	2,5	0,3
13	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	3,0	0,2	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,6	0,0	10,2	0,6	6,0	0,5	0,0	5,3	0,0	0,8	0,0
17	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,7	2,0	1,0
18	1,3	4,5	1,1	0,3	4,1	0,8	2,4	4,6	1,4	7,0	2,2	3,1	0,0	8,8	3,9	8,4	4,8	4,5	5,4	7,3	2,2
19	0,1	0,0	2,4	0,3	11,5	2,2	0,8	1,3	6,7	3,0	1,7	1,7	1,9	3,3	2,9	5,3	1,8	2,2	1,4	2,0	0,0
20	0,1	0,0	0,0	0,4	12,5	1,0	1,1	1,4	5,7	0,5	2,7	0,8	2,9	2,3	0,0	3,8	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	1,6	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	3,7	0,3	2,6	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0

Anlage 16

(3/3)

lfd. Nr.	Termine 2005							
	8.10	29.10	12.11	3.12	7.1	21.1	16.3	28.4
1	0,1	0,0	0,0	3,2	2,1	0,0	14,0	2,6
2	0,1	0,0	0,0	5,6	1,4	0,0	4,2	1,5
3	0,2	0,0	0,2	10,8	4,2	0,8	10,6	3,6
4	0,0	0,0	1,7	14,3	4,4	1,4	13,1	1,8
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
8	0,0	0,0	0,3	9,9	0,0	0,0	1,9	1,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
11	0,6	0,0	1,1	14,9	6,6	1,9	12,9	3,1
12	0,0	0,0	1,5	2,8	0,4	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,9	1,4	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,1	0,0	0,0	0,0	4,8	1,1	0,0	4,8
18	1,2	0,0	0,6	6,8	8,1	3,8	9,9	3,0
19	0,4	0,0	0,3	7,6	7,6	1,0	5,3	1,7
20	0,2	0,4	1,5	13,9	2,2	0,5	0,0	0,1
21	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
23	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	3,2	0,0
24	0,0	0,0	1,1	9,2	2,0	0,0	0,0	1,5

Anlage 17: Verlauf des Bodenwassergehaltes der 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2)

(1/4)

lfd. Nr.	Variante	Begrünung		Bodenwassergehalt [mm]																			
				Termine 2003																			
				4.6	10.6	17.6	24.6	1.7	8.7	15.7	22.7	29.7	5.8	12.8	19.8	26.8	2.9	8.9	16.9	23.9	29.9	7.10	15.10
1	MK1	unbegrünt	MW*	358	398	410	406	401	399	402	425	451	433	426	417	411	441	435	458	441	447	446	451
2			StaAbw*	2	11	14	13	12	13	12	19	25	25	28	24	25	25	34	57	54	52	51	51
3		begrünt	MW	353	394	393	372	339	315	286	280	283	237	211	195	184	206	182	215	197	201	197	195
4			StaAbw	2	2	4	12	18	22	25	32	33	39	43	46	49	48	52	58	59	59	60	59
5	MK1+Ut2	unbegrünt	MW	197	248	253	246	236	234	235	265	287	263	251	231	225	255	242	274	258	265	267	273
6			StaAbw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	18	21	22	15	11	11	13	13
7		begrünt	MW	196	244	225	190	156	138	116	109	110	65	48	42	41	68	51	93	75	81	73	75
8			StaAbw	14	20	23	24	23	22	19	16	20	18	16	14	11	11	7	18	13	14	20	16
9	MK1+St2	unbegrünt	MW	209	248	253	249	244	243	245	273	294	273	264	265	260	289	278	291	277	285	284	286
10			StaAbw	1	5	7	7	6	6	6	9	10	9	10	10	10	10	10	6	8	8	8	9
11		begrünt	MW	208	237	229	209	185	173	159	168	176	137	118	98	95	118	96	126	107	114	110	106
12			StaAbw	2	10	0	6	10	12	14	19	23	28	31	34	34	32	33	37	33	34	34	35
13	MK2	unbegrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14																							
15		begrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16																							
17	MK2+Ut2	unbegrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18																							
19		begrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20																							
21	MK2+St2	unbegrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22																							
23		begrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*StAbw=Standardabweichung, MW=Mittelwert, -=keine Datenerhebung

Anlage 17

(2/4)

lfd. Nr.	Termine 2004																								
	21.10	28.10	4.11	11.11	18.11	25.11	2.12	9.12	16.12	30.12	13.1	20.1	27.1	3.2	10.2	17.2	24.2	2.3	9.3	16.3	23.3	30.3	6.4	13.4	20.4
1	444	422	425	423	438	431	443	439	422	387	372	382	376	371	370	370	368	366	364	362	363	358	363	363	363
2	50	22	25	25	32	32	32	33	28	23	22	23	22	21	21	21	21	20	20	19	19	18	18	18	18
3	188	185	185	180	190	181	201	198	217	211	237	253	259	265	265	264	264	265	262	259	249	237	236	228	220
4	60	63	61	61	63	63	67	67	64	66	68	69	68	68	67	67	67	67	69	70	68	65	62	59	56
5	269	269	272	269	281	278	290	291	282	272	276	282	280	278	273	268	267	265	262	258	256	249	251	250	250
6	13	11	12	12	17	17	31	27	18	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	8	7	9	7	7	7
7	66	65	65	61	75	65	91	87	110	103	137	99	106	112	114	116	114	113	110	107	100	88	83	77	71
8	16	16	15	15	18	17	21	20	25	26	25	88	93	99	100	102	101	100	97	95	89	79	74	70	66
9	281	280	281	278	289	283	290	288	295	274	276	283	281	280	275	270	269	268	265	261	260	256	261	260	259
10	9	9	8	10	8	9	10	8	12	10	13	11	12	12	12	11	11	12	11	10	11	11	13	12	12
11	100	99	99	95	110	102	125	121	137	123	151	166	173	180	180	180	180	180	176	173	160	148	144	136	129
12	34	33	33	33	33	33	33	33	35	28	31	32	30	28	28	28	26	24	22	21	23	24	25	27	29
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	316	320	321	321
14																									
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	197	190	182
16																									
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	285	287	287	287
18																									
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	195	191	182	174
20																									
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	160	143	130	117
22																									
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anlage 17

(3/4)

lfd. Nr.	27.4	4.5	11.5	1.6	8.6	15.6	22.6	29.6	6.7	13.7	20.7	27.7	10.8	7.9	14.9	21.9	28.9	5.10	12.10	19.10	9.11	23.11	7.12	21.12
1	370	369	374	378	379	376	378	383	384	385	385	387	361	369	363	359	372	374	379	380	394	394	380	369
2	18	19	19	21	21	20	20	21	20	20	19	18	20	22	22	22	23	23	21	23	23	21	22	23
3	215	201	220	156	147	125	124	132	131	131	124	128	110	126	122	120	132	134	146	159	181	209	204	210
4	53	43	43	12	5	0	3	7	6	4	3	3	7	12	12	12	12	13	17	22	23	30	31	30
5	257	250	265	261	267	261	266	276	274	273	272	273	239	253	244	238	251	253	263	267	282	282	270	266
6	9	10	9	11	9	10	10	9	9	10	10	10	7	11	11	10	12	12	11	11	11	9	10	10
7	73	72	89	75	79	74	82	97	100	103	100	105	89	92	85	80	86	83	91	98	102	129	124	124
8	68	67	82	71	75	71	78	90	91	92	89	93	79	83	79	76	82	79	86	92	95	118	114	115
9	264	261	269	259	271	266	270	277	273	270	264	259	245	256	247	250	260	259	266	262	283	285	270	271
10	11	11	10	13	11	11	11	12	13	14	17	22	18	16	19	15	16	16	15	8	14	16	16	9
11	128	118	168	103	104	90	96	114	112	110	109	107	81	89	81	76	82	78	92	105	122	167	157	159
12	31	33	25	41	45	41	42	48	47	47	44	42	33	26	21	19	21	18	17	15	16	17	18	19
13	328	327	331	331	335	331	334	340	340	340	340	340	317	316	310	309	312	313	327	330	342	340	330	318
14																								
15	178	169	190	43	167	158	165	181	186	191	197	203	188	201	196	195	203	204	219	234	255	264	252	223
16																								
17	294	291	301	296	304	299	304	312	311	310	311	312	283	277	273	268	274	273	288	294	386	313	302	296
18																								
19	170	155	177	131	126	110	121	139	137	135	135	135	151	135	129	125	138	135	150	162	171	198	187	185
20																								
21	112	104	118	96	97	91	99	112	110	107	106	105	87	104	97	93	102	99	112	125	139	176	171	170
22																								
23	134	94	118	165	43	37	38	51	49	48	52	56	36	55	48	44	57	53	64	71	77	123	118	113

Anlage 17

(4/4)

lfd. Nr.	Termine 2005					
	18.1	1.2	7.3	31.3	13.4	26.4
1	361	376	362	340	332	318
2	22	22	21	20	20	12
3	220	235	253	248	254	269
4	26	-	-	-	26	-
5	257	271	276	276	239	232
6	9	10	10	38	8	10
7	124	146	155	147	129	109
8	116	134	138	129	117	105
9	258	266	270	250	241	233
10	12	11	13	12	11	3
11	159	189	209	190	178	158
12	20	18	18	33	21	21
13	311	330	312	289	281	-
14						
15	243	270	257	243	219	-
16						
17	286	298	297	275	263	-
18						
19	188	215	227	222	209	196
20						
21	170	202	227	233	211	172
22						
23	124	158	165	217	118	65

Anlage 18: Verlauf des Bodenwassergehaltes der Varianten (Freilandversuch)

(1/2)

lfd. Nr.	Variante	Untersuchungs-tiefe	Begrünung	Bodenwassergehalt [Vol.%]											
				Termine 2003							Termine 2004				
		[cm]		14.7	18.8	15.9	22.9	3.10	16.10	14.11	19.12	16.1	14.3	16.4	19.5
1	MK1	0-40	unbegrünt	21	21	23	23	31	29	28	30	36	32	31	35
2		40-80		18	17	15	24	19	20	18	19	22	24	22	23
3		80-120		21	23	24	30	19	22	17	24	15	24	24	21
4		120-160		15	32	13	29	27	30	24	36	28	28	24	26
5		160-200		17	-	37	14	16	41	22	26	32	16	14	15
6		0-40	begrünt	20	18	17	25	24	24	33	32	34	29	21	20
7		40-80		21	18	24	20	23	20	24	26	28	25	34	25
8		80-120		24	22	21	21	25	26	25	10	25	22	21	25
9		120-160		14	23	22	19	27	22	23	44	20	20	18	24
10		160-200		16	-	26	20	26	23	25	28	15	17	19	24
11	MK1+Ut2	0-40	unbegrünt	16	21	21	28	29	28	31	35	35	40	32	32
12		40-80		19	21	22	22	25	23	24	27	33	31	29	26
13		80-120		12	12	12	15	11	12	12	13	14	17	15	16
14		120-160		26	25	29	27	25	24	22	25	24	37	31	20
15		160-200		20	-	26	23	33	21	29	26	29	30	32	33
16		0-40	begrünt	15	22	19	25	19	25	26	35	36	40	28	22
17		40-80		18	23	22	23	19	24	29	30	28	46	27	27
18		80-120		21	21	24	23	24	25	26	28	26	37	26	26
19		120-160		25	24	24	27	24	23	21	21	28	34	26	25
20		160-200		18	20	22	25	27	27	24	28	26	24	23	27
21	MK1+St2	0-40	unbegrünt	14	20	20	23	30	25	25	34	33	30	29	55
22		40-80		20	22	23	26	23	24	27	30	26	35	30	32
23		80-120		17	20	18	20	22	21	22	25	21	27	27	28
24		120-160		18	21	19	25	25	24	24	22	22	26	22	22
25		160-200		21	-	22	25	25	21	24	22	24	-	-	24
26		0-40	begrünt	16	22	24	26	16	22	22	27	35	31	22	22
27		40-80		20	21	13	23	22	24	23	26	29	35	23	22
28		80-120		18	19	17	19	18	22	21	22	24	31	25	27
29		120-160		17	20	20	33	20	20	21	27	25	30	21	27
30		160-200		20	-	26	22	19	19	21	24	22	-	20	22

Anlage 18

(2/2)

lfd. Nr.	Termine 2005							
	16.6	16.7	13.8	17.9	15.10	12.11	10.12	15.3
1	32	32	36	29	36	40	41	40
2	29	27	31	20	27	26	37	34
3	26	26	29	19	20	22	27	32
4	32	32	30	52	31	37	35	34
5	17	26	26	31	43	22	32	-
6	19	16	20	16	16	22	32	29
7	24	24	23	25	23	26	30	34
8	22	19	25	22	19	23	27	32
9	22	14	23	9	13	18	20	30
10	-	19	23	24	26	24	23	-
11	32	26	39	31	29	32	34	26
12	28	29	31	33	28	34	36	36
13	16	15	18	14	15	13	15	17
14	32	29	29	26	24	27	31	43
15	33	26	28	25	27	19	27	29
16	21	19	19	19	19	23	26	35
17	27	21	21	21	17	19	25	31
18	30	22	19	19	22	22	27	33
19	26	32	24	18	23	24	21	27
20	23	24	24	33	22	20	19	24
21	30	28	30	25	27	33	31	35
22	34	41	32	35	31	35	31	26
23	36	28	27	26	29	24	28	35
24	23	28	26	26	-49	29	27	56
25	24	24	23	27	20	27	27	-
26	19	15	16	16	18	25	24	30
27	22	16	15	17	14	14	20	23
28	23	20	20	35	15	14	21	27
29	24	26	16	20	17	15	18	22
30	24	26	19	23	19	18	26	-

Anlage 19: Verlauf von Evaporation und Evapotranspiration der 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2)

(1/4)

lfd. Nr.	Variante	Begrünung		Evapotranspiration (ET), Evaporation (E) [mm]																			
				Termine 2003																			
				4.6	10.6	17.6	24.6	1.7	8.7	15.7	22.7	29.7	5.8	12.8	19.8	26.8	2.9	8.9	16.9	23.9	29.9	7.10	15.10
1	MK1	unbegrünt	MW*		1	2	6	7	8	7	29	5	18	13	10	6	4	9	1	9	7	5	7
2			StaAbw*	2	5	5	1	1	0	1	2	5	0	3	1	1	4	10	8	3	2	2	1
3		begrünt	MW		0	16	24	35	30	38	66	33	45	32	25	11	13	8	11	18	9	12	16
4			StaAbw	2	14	5	16	6	4	3	4	1	6	4	3	3	2	9	9	1	0	1	0
5	MK1+Ut2	unbegrünt	MW		0	15	24	26	18	22	55	25	35	20	11	2	5	13	11	15	6	12	5
6			StaAbw	-	9	21	19	19	14	20	33	24	15	4	2	5	5	5	6	4	2	9	2
7		begrünt	MW	0	0	40	39	34	22	29	65	29	43	23	17	2	10	20	7	20	7	13	14
8			StaAbw	-	14	8	2	1	1	3	7	3	6	5	1	2	4	3	13	5	2	3	1
9	MK1+St2	unbegrünt	MW		14	10	7	7	7	7	32	6	21	15	11	4	6	10	3	14	5	7	10
10			StaAbw	1	5	2	0	1	0	1	2	7	0	1	2	1	3	6	2	2	2	1	3
11		begrünt	MW		24	21	23	25	18	23	54	26	39	25	15	3	13	25	12	19	6	12	18
12			StaAbw	10	8	10	6	4	2	2	5	5	5	4	4	2	1	2	13	4	1	1	2
13	MK2	unbegrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14																							
15		begrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16																							
17	MK2+Ut2	unbegrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18																							
19		begrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20																							
21	MK2+St2	unbegrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22																							
23		begrünt	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

StaAbw=Standardabweichung, MW=Mittelwert, -=keine Datenerhebung

Anlage 19

(2/4)

lfd. Nr.	21.10	28.10	4.11	11.11	18.11	25.11	2.12	9.12	16.12	30.12	13.1	20.1	27.1	3.2	10.2	17.2	24.2	2.3	9.3	16.3	23.3	30.3	6.4	13.4	20.4
1	6	5	2	2	0	0	0	3	0	3	1	0	1	0	1	0	0	3	0	6	7	5	10	10	3
2	1	3	3	1	6	5	32	5	17	5	6	2	6	10	2	0	2	3	3	1	2	2	1	1	0
3	7	9	8	5	2	12	1	1	1	6	6	3	0	1	4	0	14	0	14	11	18	11	17	23	10
4	1	2	2	0	3	0	2	0	3	1	3	1	1	2	0	0	0	0	1	1	2	3	3	3	3
5	6	5	5	2	1	0	0	3	3	0	0	3	1	1	2	3	0	3	8	10	11	12	16	18	6
6	2	1	3	1	5	3	6	5	17	15	3	9	7	11	1	4	6	3	5	4	5	6	6	7	6
7	7	7	8	3	0	7	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	5	9	19	18	27	27	15
8	2	1	1	2	2	2	10	8	24	23	3	2	1	1	0	0	4	4	2	2	4	3	5	5	5
9	5	5	7	1	0	1	1	1	3	3	2	0	0	0	0	0	7	4	7	9	8	5	9	13	4
10	0	3	1	2	5	1	7	3	8	18	21	12	1	6	1	1	3	3	1	3	1	2	1	1	1
11	6	7	8	3	0	11	1	1	0	18	4	5	0	1	3	0	15	0	14	11	21	11	19	23	10
12	1	1	0	1	2	1	4	0	4	8	4	1	2	2	0	0	2	2	1	1	2	1	2	2	2
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	11	13	2
14																									
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	18	23	10
16																									
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	13	15	3
18																									
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	20	23	11
20																									
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	31	28	16
22																									
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0

Anlage 19

(3/4)

lfd. Nr.	27.4	4.5	11.5	1.6	8.6	15.6	22.6	29.6	6.7	13.7	20.7	27.7	10.8	7.9	14.9	21.9	28.9	5.10	12.10	19.10	9.11	23.11	7.12	21.12
1	3	7	0	25	7	11	13	11	8	17	1	21	31	16	8	4	3	5	7	8	0	7	15	1
2	3	5	6	3	4	1	3	6	1	5	4	2	2	4	1	0	1	1	1	3	12	10	3	17
3	18	24	18	94	33	31	24	24	11	23	6	32	23	9	5	3	4	5	7	4	2	2	5	1
4	3	10	2	31	7	5	3	7	1	4	3	1	3	5	1	1	1	1	0	5	8	8	7	1
5	7	14	7	39	12	15	14	12	8	19	0	28	34	18	12	8	6	7	9	3	1	2	10	2
6	4	3	11	10	8	1	3	4	5	4	1	4	7	10	3	2	4	3	2	5	4	4	8	13
7	14	19	17	73	25	19	12	18	11	26	4	35	29	15	9	6	4	11	6	0	0	0	1	4
8	5	8	9	22	7	5	3	5	5	5	6	2	2	4	3	3	0	2	6	0	5	0	3	2
9	6	12	1	35	1	13	17	19	13	26	4	42	19	13	10	0	4	7	5	6	0	1	8	0
10	3	1	10	13	16	1	2	6	2	2	7	9	5	6	8	9	0	0	5	7	0	0	9	13
11	13	19	20	61	24	22	16	17	12	26	1	39	31	17	10	6	9	8	3	2	0	1	4	5
12	2	2	38	44	4	4	2	5	0	0	3	3	9	12	6	2	2	7	6	3	0	1	8	3
13	6	11	12	29	12	12	17	16	10	22	0	30	28	26	7	2	13	6	7	5	6	8	17	9
14																								
15	17	19	18	66	10	18	15	16	5	12	1	31	20	11	6	3	8	5	0	0	0	0	10	26
16																								
17	6	12	10	34	12	13	18	22	11	24	1	30	34	31	5	5	10	8	7	10	1	1	2	13
18																								
19	17	24	15	75	29	24	8	17	12	26	0	38	9	21	7	5	4	9	8	1	1	2	1	9
20																								
21	18	17	25	51	24	14	14	22	12	27	1	38	23	7	8	5	7	5	4	4	3	5	7	4
22																								
23	22	48	16	-19	147	14	21	22	12	20	2	33	25	6	8	5	3	10	12	9	2	1	1	9

Anlage 19

(4/4)

lfd. Nr.	18.1	1.2	7.3	31.3	13.4	26.4
1	10	0	21	0	14	10
2	15	2	15	4	9	1
3	7	0	21	6	33	9
4	2	-	-	-	11	-
5	20	6	15	3	31	31
6	10	5	7	4	20	24
7	12	0	10	1	30	34
8	11	3	10	7	5	13
9	29	20	20	23	21	20
10	13	9	6	13	1	3
11	21	11	13	28	24	34
12	1	2	9	24	22	0
13	5	10	31	17	12	-
14						
15	2	11	27	17	33	-
16						
17	22	10	20	19	22	-
18						
19	18	8	19	9	22	18
20						
21	21	8	20	8	34	45
22						
23	10	1	11	10	46	110

Anlage 20: Gehalte von Nitrat-, Ammonium-, organisch gebundenem Stickstoff, Kohlenstoff und C/N-Verhältnisse der Varianten (Gefäßversuch 2)

Variante	NO_3-N g/100g TM	NH_4-N g/100g TM	N_{org} g/100g TM	N_t g/100g TM	C_t g/100g TM	C/N
MK1	0,040	0,154	1,146	1,340	21,309	16
MK1 + Ut2	0,039	0,017	0,256	0,312	4,671	15
MK1 + St2	0,021	0,026	0,205	0,252	3,625	14
MK2	0,021	0,286	1,356	1,663	25,180	15
MK2 + Ut2	0,038	0,009	0,295	0,342	5,096	15
MK2 + St2	0,060	0,012	0,178	0,250	8,192	33
Ut2	0,002	0,000	0,018	0,020	1,684	86
St2	0,002	0,000	0,019	0,021	0,916	43

Anlage 21: Vorräte von Nitrat-, Ammonium-, organisch gebundenem Stickstoff, Kohlenstoff der Varianten (Gefäßversuch 2)

Variante	Mächtigkeit [cm]	LD g/cm^{-3}	NO_3-N kg/ha	NH_4-N kg/ha	N_{org} kg/ha	N_t kg/ha	C_t kg/ha
MK1	50	0,35	703	2700	20051	23454	372913
	100	0,33	1326	5091	37810	44228	703208
	150	0,32	1929	7405	54997	64331	1022848
	200	0,33	2652	10182	75621	88455	1406416
MK1 + Ut2	50	0,89	1732	754	11376	13862	207837
	100	0,92	3581	1559	23518	28658	429686
	150	0,93	5430	2364	35661	43454	651535
	200	0,9	7006	3050	46014	56070	840690
MK1 + St2	50	0,96	1025	1229	9847	12101	174002
	100	1,05	2243	2688	21540	26471	380630
	150	0,94	3011	3610	28925	35546	511132
	200	0,98	4186	5018	40208	49412	710510
MK2	50	0,32	342	4583	21689	26613	402875
	100	0,32	684	9165	43377	53227	805749
	150	0,3	962	12889	61000	74850	1133085
	200	0,3	1282	17185	81333	99800	1510780
MK2 + Ut2	50	0,75	1434	323	11081	12838	191087
	100	0,75	2868	647	22161	25676	382174
	150	0,75	4302	970	33242	38514	573261
	200	0,75	5737	1293	44323	51353	764348
MK2 + St2	50	0,89	2691	514	7933	11138	364562
	100	0,89	5383	1029	15865	22277	729124
	150	0,89	8074	1543	23798	33415	1093685
	200	0,89	10766	2057	31730	44553	1458247
Ut2	50	1,19	106	7	1056	1169	100183
	100	0,96	170	12	1704	1886	161640
	150	1,21	322	23	3221	3566	305601
	200	1,18	419	30	4189	4637	397365
St2	50	1,44	131	25	1377	1534	65966
	100	1,4	255	49	2678	2982	128268
	150	1,37	374	72	3931	4377	188279
	200	1,4	510	98	5356	5964	256536

Anlage 22: Gehalte von Nitrat-, Ammonium-, organisch gebundenem Stickstoff, Kohlenstoff und C/N-Verhältnisse der Varianten im Juli 2003 (Freilandversuch)

Variante	NO_3-N g/100g TM	NH_4-N g/100g TM	N_{org} g/100g TM	N_t g/100g TM	C_t g/100g TM	C/N
MK1	0,053 ± 0,030	0,323 ± 0,140	1,324	1,700 ± 0,100	20,000 ± 0,800	12,000 ± 0,470
MK1 + Ut2	0,031 ± 0,009	0,019 ± 0,025	0,350	0,400 ± 0,000	5,000 ± 0,600	13,000 ± 0,160
MK1 + St2	0,022 ± 0,006	0,007 ± 0,002	0,271	0,300 ± 0,000	4,000 ± 0,400	15,000 ± 0,890

Anlage 23: Verlauf des Gesamtstickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch)

(1/2)

lfd. Nr.	Variante	Untersuchungs-tiefe [cm]	Begrünung	Nt [g/100g TM] Termine 2003 14.7	18.8	15.9	16.10	14.11	19.12	Termine 2004 16.1	14.3	16.4	19.5	16.6	16.7
1	MK1	0-40	unbegrünt	1,67	1,68	1,64	1,59	1,57	1,55	1,59	1,56	1,52	1,48	1,46	1,34
2		40-80		1,59	1,22	1,41	1,60	1,52	1,51	1,55	1,68	1,66	1,33	1,85	1,44
3		80-120		1,56	1,35	1,40	1,45	1,50	1,51	1,36	1,34	1,51	1,19	1,54	1,47
4		120-160		1,80	1,33	1,34	1,35	1,35	1,40	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
5		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6		0-40	begrünt	1,67	1,42	1,55	1,68	1,71	1,76	1,66	1,70	1,69	1,59	1,38	1,56
7		40-80		1,59	1,62	1,65	1,69	1,65	1,57	1,76	1,80	1,66	1,68	1,51	1,52
8		80-120		1,56	1,37	1,50	1,64	1,45	1,38	1,47	1,64	1,59	1,45	1,24	1,23
9		120-160		1,80	1,24	1,36	1,48	1,17	1,20	1,48	1,43	1,39	1,37	1,38	1,39
10		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	MK1+Ut2	0-40	unbegrünt	0,39	0,39	0,39	0,39	0,42	0,37	0,31	0,35	0,35	0,32	0,33	0,32
12		40-80		0,37	0,56	0,60	0,65	0,42	0,35	0,35	0,35	0,33	0,29	0,34	0,33
13		80-120		0,33	1,76	1,08	0,40	0,37	0,35	0,33	0,38	0,34	0,33	0,30	0,32
14		120-160		0,44	0,37	0,34	0,31	0,31	0,31	0,25	0,25	0,25	0,32	0,32	0,26
15		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16		0-40	begrünt	0,39	0,42	0,79	1,16	0,37	0,35	0,34	0,35	0,33	0,33	0,29	0,33
17		40-80		0,37	0,35	0,43	0,51	0,38	0,34	0,34	0,38	0,41	0,35	0,38	0,37
18		80-120		0,33	0,35	0,36	0,36	0,37	0,39	0,36	0,36	0,25	0,34	0,27	0,33
19		120-160		0,44	0,36	0,76	1,16	0,33	0,33	0,40	0,40	0,35	0,32	0,28	0,31
20		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	MK1+St2	0-40	unbegrünt	0,33	0,31	0,34	0,38	0,31	0,33	0,30	0,27	0,29	0,30	0,28	0,27
22		40-80		0,33	0,39	0,36	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31	0,29	0,36	0,32	0,38
23		80-120		0,25	0,35	0,35	0,36	0,37	0,32	0,28	0,29	0,27	0,28	0,29	0,28
24		120-160		0,25	0,31	0,31	0,31	0,31	0,29	0,28	0,28	0,28	0,25	0,24	0,45
25		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26		0-40	begrünt	0,33	0,31	0,33	0,35	0,33	0,28	0,28	0,29	0,31	0,27	0,26	0,23
27		40-80		0,33	0,37	0,44	0,51	0,31	0,31	0,29	0,32	0,21	0,33	0,27	0,17
28		80-120		0,25	0,24	0,28	0,32	0,28	0,29	0,23	0,22	0,30	0,28	0,21	0,24
29		120-160		0,25	0,26	0,26	0,26	0,23	0,26	0,25	0,19	0,13	0,23	0,23	0,31
30		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anlage 23

(2/2)

lfd. Nr.	Termine 2005					
	13.8	17.9	15.10	12.11	10.12	15.3
1	1,43	1,40	1,50	1,51	1,46	1,57
2	1,60	1,58	1,68	1,72	1,79	1,75
3	1,43	1,53	1,49	1,74	1,73	1,73
4	1,49	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
5	-	-	-	-	-	-
6	1,61	1,52	1,58	1,51	1,62	1,52
7	1,66	1,61	1,70	1,49	1,92	1,93
8	1,62	1,47	1,80	1,82	1,98	1,75
9	1,53	1,38	1,66	1,56	1,40	1,40
10	-	-	-	-	-	-
11	0,36	0,32	0,30	0,30	0,32	0,34
12	0,30	0,34	0,36	0,37	0,38	0,35
13	0,31	0,28	0,26	0,26	0,36	0,41
14	0,26	0,25	0,23	0,28	0,33	0,33
15	-	-	-	-	-	-
16	0,26	0,31	0,32	0,30	0,32	0,34
17	0,28	0,34	0,38	0,33	0,32	0,39
18	0,28	0,26	0,35	0,33	0,32	0,37
19	0,30	0,29	0,29	0,32	0,23	0,23
20	-	-	-	-	-	-
21	0,25	0,25	0,28	0,27	0,30	0,30
22	0,29	0,28	0,21	0,32	0,31	0,28
23	0,38	0,27	0,29	0,28	0,36	0,27
24	0,30	0,24	0,31	0,32	0,30	0,31
25	-	-	-	-	-	-
26	0,22	0,25	0,24	0,31	0,29	0,27
27	0,22	0,26	0,28	0,21	0,24	0,31
28	0,32	0,26	0,29	0,22	0,23	0,24
29	0,26	0,18	0,30	0,20	0,25	0,25
30	-	-	-	-	-	-

Anlage 24: Gesamtstickstoffgehalte im März 2005 (einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich zwischen den N_t-Gehalten der Varianten, Freilandversuch)

Variante		Untersuchungs-tiefe [cm]	N_t [%TM]	Tukey-Test	p*
MK1	begrünt	0-40	1,52 ± 0,05	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2			0,34 ± 0,00	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1+St2			0,27 ± 0,01	MK1+Ut2 - MK1+St2	**0,022**
MK1		40-80	1,93 ± 0,14	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2			0,39 ± 0,02	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1+St2			0,31 ± 0,00	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,514
MK1		80-120	1,75 ± 0,00	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2			0,37 ± 0,01	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1+St2			0,24 ± 0,00	MK1+Ut2 - MK1+St2	**0,000**
MK1	unbegrünt	0-40	1,57 ± 0,88	MK1 - MK1+Ut2	**0,020**
MK1+Ut2			0,34 ± 0,00	MK1 - MK1+St2	**0,016**
MK1+St2			0,30 ± 0,05	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,991
MK1		40-80	1,75 ± 0,00	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2			0,35 ± 0,02	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1+St2			0,28 ± 0,09	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,341
MK1		80-120	1,73 ± 0,00	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2			0,41 ± 0,00	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1+St2			0,27 ± 0,00	MK1+Ut2 - MK1+St2	**0,000**

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den N_t-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 25: Verlauf des Nitratstickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch)

(1/2)

lfd. Nr.	Variante	Untersuchungs-tiefe [cm]	Begrünung	NO_3-N [mg/100g TM] Termine 2003 14.7	18.8	15.9	16.10	14.11	19.12	Termine 2004 16.1	14.3	16.4	19.5	16.6	16.7
1	MK1	0-40	unbegrünt	76	143	165	260	596	170	119	256	75	74	61	35
2		40-80		30	26	184	208	374	141	146	246	257	382	291	230
3		80-120		29	28	44	67	61	70	60	103	129	276	146	268
4		120-160		78	6	17	63	16	6	5	10	25	45	50	102
5		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6		0-40	begrünt	76	134	202	224	291	204	192	210	78	95	120	42
7		40-80		30	55	126	138	146	111	220	254	308	317	292	247
8		80-120		29	15	29	44	61	9	96	152	108	201	140	176
9		120-160		78	8	27	12	24	11	10	32	55	34	63	113
10		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	MK1+Ut2	0-40	unbegrünt	42	36	40	37	59	26	30	26	14	22	14	9
12		40-80		34	36	25	23	72	24	26	33	32	44	25	40
13		80-120		25	21	21	22	47	17	13	18	21	41	11	41
14		120-160		21	10	22	15	13	4	1	3	4	4	5	5
15		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16		0-40	begrünt	42	49	47	47	53	22	32	22	8	38	11	14
17		40-80		34	25	28	43	65	15	23	27	25	34	24	27
18		80-120		25	29	32	31	50	16	19	24	20	39	36	19
19		120-160		21	9	20	38	61	12	16	18	20	36	25	29
20		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	MK1+St2	0-40	unbegrünt	29	25	22	16	68	12	13	12	12	19	7	6
22		40-80		22	16	17	17	30	14	14	11	8	20	16	21
23		80-120		15	6	12	12	20	14	13	10	13	16	22	13
24		120-160		22	5	7	4	18	13	7	10	11	13	19	17
25		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26		0-40	begrünt	29	30	30	24	55	23	16	11	4	14	9	8
27		40-80		22	20	17	25	25	16	13	16	16	29	15	125
28		80-120		15	11	8	4	14	5	5	7	8	20	8	8
29		120-160		22	27	11	10	40	4	2	4	6	31	5	19
30		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anlage 25

(2/2)

lfd. Nr.	Termine 2005					
	13.8	17.9	15.10	12.11	10.12	15.3
1	51	73	35	30	41	37
2	262	367	238	285	243	303
3	256	364	327	391	321	318
4	183	128	279	270	245	239
5	-	-	-	-	-	-
6	116	51	35	70	39	45
7	239	216	337	313	420	423
8	184	184	260	302	305	319
9	120	116	193	194	163	160
10	-	-	-	-	-	-
11	12	4	3	6	2	2
12	25	21	23	31	28	25
13	9	28	34	37	26	30
14	11	4	6	34	3	5
15	-	-	-	-	-	-
16	9	9	2	3	10	5
17	14	20	19	21	25	33
18	19	18	17	11	27	21
19	25	15	27	34	26	24
20	-	-	-	-	-	-
21	7	3	2	2	2	2
22	10	10	10	6	14	11
23	10	20	11	13	12	15
24	6	13	11	4	19	10
25	-	-	-	-	-	-
26	9	6	2	5	2	4
27	11	16	13	19	19	14
28	23	7	9	8	8	4
29	12	10	15	4	12	9
30	-	-	-	-	-	-

Anlage 26: Verlauf des Ammoniumstickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch)

(1/2)

lfd. Nr.	Variante	Untersuchungs-tiefe	Begrünung	NH_4-N [mg/100g TM]											
				Termine 2003						Termine 2004					
		[cm]		14.7	18.8	15.9	16.10	14.11	19.12	16.1	14.3	16.4	19.5	16.6	16.7
1	MK1	0-40	unbegrünt	167	101	44	75	79	25	10	45	9	50	20	6
2		40-80		287	218	203	285	562	146	138	81	43	56	29	5
3		80-120		335	361	371	471	1042	254	111	144	63	164	54	6
4		120-160		504	381	397	738	1357	504	181	190	25	230	17	9
5		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6		0-40	begrünt	167	84	37	27	54	8	11	46	6	64	16	5
7		40-80		287	314	286	267	473	146	79	121	10	59	12	5
8		80-120		335	363	376	553	718	363	125	72	56	117	16	5
9		120-160		504	371	182	336	802	354	188	227	267	256	13	5
10		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	MK1+Ut2	0-40	unbegrünt	6	9	16	7	8	8	6	15	2	33	18	3
12		40-80		6	10	16	8	7	7	4	11	10	37	18	3
13		80-120		7	10	14	5	8	6	4	15	17	39	19	6
14		120-160		57	8	14	5	70	4	11	12	13	15	16	4
15		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16		0-40	begrünt	6	6	16	8	10	5	8	13	2	28	9	3
17		40-80		6	6	17	9	11	5	7	13	2	28	9	3
18		80-120		7	8	16	11	10	5	6	10	1	26	11	3
19		120-160		57	77	20	13	7	6	24	12	1	31	8	3
20		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	MK1+St2	0-40	unbegrünt	6	6	19	6	12	6	5	14	4	37	14	3
22		40-80		6	6	12	9	6	6	11	13	5	36	12	3
23		80-120		4	21	15	9	4	8	4	10	7	21	15	4
24		120-160		11	40	46	48	12	4	13	11	10	8	9	5
25		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26		0-40	begrünt	6	5	18	2	8	4	6	12	3	23	8	3
27		40-80		6	6	18	5	5	5	7	12	3	27	8	33
28		80-120		6	5	15	11	9	4	7	10	3	27	10	3
29		120-160		11	46	15	12	10	5	42	21	0	26	10	2
30		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anlage 26

(2/2)

lfd. Nr.	Termine 2005					
	13.8	17.9	15.10	12.11	10.12	15.3
1	8	2	1	1	1	1
2	6	1	1	1	1	1
3	6	1	2	1	1	1
4	5	2	1	1	2	2
5	-	-	-	-	-	-
6	7	2	6	1	1	1
7	5	2	1	1	1	1
8	5	1	1	2	1	1
9	27	2	75	6	1	1
10	-	-	-	-	-	-
11	3	0	2	0	0	0
12	3	0	0	0	0	0
13	4	0	1	1	0	0
14	6	0	7	1	0	0
15	-	-	-	-	-	-
16	2	0	1	0	0	0
17	2	0	0	0	0	0
18	2	0	0	0	0	0
19	2	0	1	1	0	0
20	-	-	-	-	-	-
21	3	1	2	0	0	0
22	3	0	0	0	0	0
23	3	1	1	0	0	0
24	5	1	0	0	1	1
25	-	-	-	-	-	-
26	2	0	1	0	0	0
27	2	0	0	0	0	0
28	3	1	3	0	0	0
29	2	0	5	0	0	0
30	-	-	-	-	-	-

Anlage 27: Ammoniumstickstoffgehalte im Juli, November 2003 und März 2005 (einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich der Untersuchungszeitpunkte der Varianten, Freilandversuch)

(1/2)

Variante		Untersuchungs-tiefe [cm]	Zeitpunkt	NH_4-N [mg/100g TM]	Tukey-Test	p*
MK1	begrünt	0-40	Jul 03	167,4 ± 182,7	Jul 03 - Nov 03	0,355
			Nov 03	54,1 ± 54,4	Nov 03 - Mrz 05	0,781
			Mrz 05	1,3 ± 0,4	Jul 03 - Mrz 05	0,137
		40-80	Jul 03	286,9 ± 48,0	Jul 03 - Nov 03	0,773
			Nov 03	472,7 ± 561,6	Nov 03 - Mrz 05	0,256
			Mrz 05	1,1 ± 0,6	Jul 03 - Mrz 05	0,562
		80-120	Jul 03	334,8 ± 18,7	Jul 03 - Nov 03	0,349
			Nov 03	717,7 ± 396,9	Nov 03 - Mrz 05	0,103
			Mrz 05	1,1 ± 0,4	Jul 03 - Mrz 05	0,423
	unbegrünt	0-40	Jul 03	167,4 ± 182,7	Jul 03 - Nov 03	0,534
			Nov 03	78,5 ± 72,7	Nov 03 - Mrz 05	0,614
			Mrz 05	0,9 ± 0,5	Jul 03 - Mrz 05	0,150
		40-80	Jul 03	286,9 ± 48,0	Jul 03 - Nov 03	0,475
			Nov 03	561,7 ± 467,9	Nov 03 - Mrz 05	0,098
			Mrz 05	0,9 ± 0,5	Jul 03 - Mrz 05	0,450
		80-120	Jul 03	334,8 ± 18,7	Jul 03 - Nov 03	**0,001**
			Nov 03	1042,5 ± 74,2	Nov 03 - Mrz 05	**0,001**
			Mrz 05	0,7 ± 0,2	Jul 03 - Mrz 05	**0,010**
MK1+Ut2	begrünt	0-40	Jul 03	6,0 ± 2,1	Jul 03 - Nov 03	**0,041**
			Nov 03	9,8 ± 2,3	Nov 03 - Mrz 05	**0,000**
			Mrz 05	0,4 ± 0,4	Jul 03 - Mrz 05	**0,005**
		40-80	Jul 03	5,8 ± 1,2	Jul 03 - Nov 03	0,212
			Nov 03	10,8 ± 5,4	Nov 03 - Mrz 05	**0,016**
			Mrz 05	0,3 ± 0,1	Jul 03 - Mrz 05	0,161
		80-120	Jul 03	6,9 ± 0,9	Jul 03 - Nov 03	0,504
			Nov 03	10,3 ± 4,6	Nov 03 - Mrz 05	0,066
			Mrz 05	0,2 ± 0,1	Jul 03 - Mrz 05	0,171
	unbegrünt	0-40	Jul 03	6,0 ± 2,1	Jul 03 - Nov 03	0,176
			Nov 03	8,3 ± 2,0	Nov 03 - Mrz 05	**0,000**
			Mrz 05	0,2 ± 0,0	Jul 03 - Mrz 05	**0,002**
		40-80	Jul 03	5,8 ± 1,2	Jul 03 - Nov 03	0,487
			Nov 03	7,2 ± 2,1	Nov 03 - Mrz 05	**0,003**
			Mrz 05	0,5 ± 0,3	Jul 03 - Mrz 05	**0,009**
		80-120	Jul 03	6,9 ± 0,9	Jul 03 - Nov 03	0,480
			Nov 03	8,1 ± 1,2	Nov 03 - Mrz 05	**0,007**
			Mrz 05	0,3 ± 0,1	Jul 03 - Mrz 05	**0,011**

Anlage 27

(2/2)

MK1+St2	begrünt	0-40	Jul 03	5,8 ± 1,0	Jul 03 - Nov 03	0,070
			Nov 03	8,4 ± 2,3	Nov 03 - Mrz 05	**0,000**
			Mrz 05	0,3 ± 0,1	Jul 03 - Mrz 05	**0,001**
		40-80	Jul 03	6,0 ± 2,1	Jul 03 - Nov 03	0,955
			Nov 03	5,5 ± 3,0	Nov 03 - Mrz 05	0,053
			Mrz 05	0,3 ± 0,1	Jul 03 - Mrz 05	**0,037**
		80-120	Jul 03	5,6 ± 1,3	Jul 03 - Nov 03	0,277
			Nov 03	8,7 ± 2,4	Nov 03 - Mrz 05	**0,027**
			Mrz 05	0,3 ± 0,1	Jul 03 - Mrz 05	0,088
	unbegrünt	0-40	Jul 03	5,8 ± 1,0	Jul 03 - Nov 03	0,078
			Nov 03	11,7 ± 5,7	Nov 03 - Mrz 05	**0,003**
			Mrz 05	0,3 ± 0,2	Jul 03 - Mrz 05	0,103
		40-80	Jul 03	6,0 ± 2,1	Jul 03 - Nov 03	0,641
			Nov 03	7,8 ± 3,8	Nov 03 - Mrz 05	**0,027**
			Mrz 05	0,3 ± 0,2	Jul 03 - Mrz 05	0,051
		80-120	Jul 03	5,6 ± 1,3	Jul 03 - Nov 03	0,253
			Nov 03	3,6 ± 1,1	Nov 03 - Mrz 05	0,096
			Mrz 05	0,4 ± 0,3	Jul 03 - Mrz 05	**0,028**

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NH_4-N-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 28: Ammoniumstickstoffgehalte im März 2005 (einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich der Varianten, Freilandversuch)

Variante		**Untersuchungs-tiefe** [cm]	**NH_4-N [mg/100gTM]**	**Tukey-Test**	**p***
MK1	begrünt	0-40	1,3 ± 0,4	MK1 - MK1+Ut2	**0,013**
MK1+Ut2			0,4 ± 0,4	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,811
MK1+St2			0,3 ± 0,1	MK1 - MK1+St2	**0,005**
MK1		40-80	1,1 ± 0,6	MK1 - MK1+Ut2	0,052
MK1+Ut2			0,3 ± 0,1	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,989
MK1+St2			0,3 ± 0,1	MK1 - MK1+St2	0,062
MK1		80-120	1,1 ± 0,4	MK1 - MK1+Ut2	0,091
MK1+Ut2			0,2 ± 0,1	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,965
MK1+St2			0,3 ± 0,1	MK1 - MK1+St2	0,110
MK1	unbegrünt	0-40	0,9 ± 0,5	MK1 - MK1+Ut2	**0,023**
MK1+Ut2			0,2 ± 0,0	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,823
MK1+St2			0,3 ± 0,2	MK1 - MK1+St2	0,058
MK1		40-80	0,9 ± 0,5	MK1 - MK1+Ut2	0,437
MK1+Ut2			0,5 ± 0,3	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,883
MK1+St2			0,3 ± 0,2	MK1 - MK1+St2	0,248
MK1		80-120	0,7 ± 0,2	MK1 - MK1+Ut2	0,168
MK1+Ut2			0,3 ± 0,1	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,890
MK1+St2			0,4 ± 0,3	MK1 - MK1+St2	0,252

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NH_4-N-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 29: Verlauf des mineralischen Stickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch)

(1/2)

lfd. Nr.	Variante	Untersuchungs-tiefe	Begrünung	N_{min} [mg/100g TM]											
				Termine 2003						Termine 2004					
		[cm]		14.7	18.8	15.9	16.10	14.11	19.12	16.1	14.3	16.4	19.5	16.6	16.7
1	MK1	0-40	unbegrünt	243	244	209	335	674	195	129	300	84	124	81	41
2		40-80		317	244	387	492	936	287	284	327	300	439	320	235
3		80-120		364	389	414	539	1104	324	171	247	192	439	200	274
4		120-160		582	386	413	802	1374	510	186	200	50	275	68	111
5		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6		0-40	begrünt	243	217	240	251	345	212	203	256	84	159	136	46
7		40-80		317	369	411	405	618	257	299	375	318	376	304	252
8		80-120		364	378	405	596	778	372	221	224	164	318	156	181
9		120-160		582	379	209	348	827	365	198	260	322	291	76	118
10		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	MK1+Ut2	0-40	unbegrünt	48	45	57	44	68	34	36	42	17	55	31	12
12		40-80		39	46	41	31	79	30	30	44	42	81	44	43
13		80-120		32	31	35	26	55	23	17	32	38	80	30	47
14		120-160		78	18	36	20	83	8	12	15	17	19	21	9
15		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16		0-40	begrünt	48	55	63	55	62	27	40	34	10	66	20	17
17		40-80		39	31	45	53	76	20	31	40	27	61	34	29
18		80-120		32	36	47	42	61	20	24	33	21	66	46	22
19		120-160		78	86	40	52	68	19	40	30	21	67	33	33
20		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	MK1+St2	0-40	unbegrünt	35	31	41	22	79	17	17	26	16	56	21	9
22		40-80		28	22	29	26	35	20	25	23	13	56	28	23
23		80-120		19	27	27	20	23	21	17	21	20	37	37	17
24		120-160		33	45	53	52	30	17	21	21	21	21	28	22
25		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26		0-40	begrünt	35	35	48	26	63	27	21	23	7	36	17	11
27		40-80		28	26	36	31	31	21	20	28	19	56	23	157
28		80-120		21	16	22	15	23	9	11	17	11	47	18	11
29		120-160		33	73	26	23	51	8	45	25	6	57	15	22
30		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anlage 29

(2/2)

lfd. Nr.	Termine 2005					
	13.8	17.9	15.10	12.11	10.12	15.3
1	59	75	36	31	42	38
2	267	368	239	286	243	304
3	261	365	329	392	322	318
4	189	130	280	271	247	241
5	-	-	-	-	-	-
6	123	53	41	71	40	46
7	243	218	338	314	421	424
8	189	185	261	304	306	320
9	147	118	268	200	164	161
10	-	-	-	-	-	-
11	15	4	5	6	2	2
12	28	21	23	31	29	25
13	13	28	35	38	26	30
14	16	4	12	34	3	5
15	-	-	-	-	-	-
16	11	9	3	4	11	6
17	16	20	19	22	25	33
18	21	18	18	12	27	21
19	27	15	28	34	26	24
20	-	-	-	-	-	-
21	10	3	4	2	2	3
22	13	10	11	7	14	12
23	14	21	12	13	12	16
24	10	13	11	5	20	11
25	-	-	-	-	-	-
26	11	6	3	6	2	4
27	13	16	13	19	19	15
28	26	7	12	8	8	4
29	14	11	20	4	12	9
30	-	-	-	-	-	-

Anlage 30: Mineralische Stickstoffgehalte im März 2005, einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich der Varianten; Freilandversuch)

Variante		Untersuchungstiefe [cm]	N_{min} [mg/100gTM]	Tukey-Test	p*
MK1	begrünt	0-40	46 ± 7	MK1 - MK1+Ut2	**0,000**
MK1+Ut2			6 ± 5	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,886
MK1+St2			4 ± 3	MK1 - MK1+St2	**0,000**
MK1		40-80	424 ± 225	MK1 - MK1+Ut2	**0,024**
MK1+Ut2			33 ± 19	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,983
MK1+St2			15 ± 3	MK1 - MK1+St2	**0,020**
MK1		80-120	320 ± 66	MK1 - MK1+Ut2	**0,012**
MK1+Ut2			39 ± 20	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,690
MK1+St2			4 ± 2	MK1 - MK1+St2	**0,009**
MK1	unbegrünt	0-40	38 ± 27	MK1 - MK1+Ut2	**0,026**
MK1+Ut2			2 ± 1	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,999
MK1+St2			3 ± 2	MK1 - MK1+St2	**0,028**
MK1		40-80	304 ± 86	MK1 - MK1+Ut2	**0,001**
MK1+Ut2			25 ± 5	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,941
MK1+St2			12 ± 5	MK1 - MK1+St2	**0,001**
MK1		80-120	318 ± 95	MK1 - MK1+Ut2	**0,028**
MK1+Ut2			30 ± 11	MK1+Ut2 - MK1+St2	0,966
MK1+St2			16 ± 12	MK1 - MK1+St2	**0,025**

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den N_{min}-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 31: Verlauf des organisch gebundenen Stickstoffgehaltes der Varianten (Freilandversuch)

(1/2)

lfd. Nr.	Variante	Untersuchungs-tiefe	Begrünung	N_{org} [mg/100g TM]											
				Termine 2003						Termine 2004					
		[cm]		14.7	18.8	15.9	16.10	14.11	19.12	16.1	14.3	16.4	19.5	16.6	16.7
1	MK1	0-40	unbegrünt	1428,4	1438,1	1427,0	1255,0	896,2	1358,2	1456,8	1259,5	1435,8	1353,2	1381,4	1302,5
2		40-80		1268,9	970,8	1018,5	1103,4	582,0	1226,6	1262,1	1355,0	1355,9	892,6	1532,5	1200,8
3		80-120		1193,9	961,7	988,1	915,6	392,3	1186,2	1186,1	1089,4	1312,7	752,9	1340,5	1197,8
4		120-160		1213,2	938,7	923,3	546,7	-25,4	886,2	1301,8	1287,5	1437,5	1212,5	1419,7	1376,1
5		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6		0-40	begrünt	1428,4	1197,8	1306,9	1426,8	1360,6	1543,5	1457,7	1442,3	1608,2	1430,0	1243,0	1516,6
7		40-80		1268,9	1251,0	1242,3	1282,1	1028,0	1317,6	1456,8	1422,7	1344,1	1301,2	1201,5	1268,7
8		80-120		1193,9	991,7	1098,1	1041,2	670,3	1006,1	1245,3	1416,7	1422,2	1132,1	1082,5	1045,2
9		120-160		1213,2	860,4	1149,2	1128,9	347,7	830,3	1282,5	1173,6	1064,8	1079,2	1303,8	1269,0
10		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	MK1+Ut2	0-40	unbegrünt	339,9	345,1	335,0	348,7	349,4	333,1	275,1	310,0	334,0	269,0	300,6	306,7
12		40-80		334,4	511,6	563,4	619,4	340,7	324,2	324,2	308,7	286,6	213,7	299,8	282,3
13		80-120		297,0	1728,0	1043,0	371,6	315,9	329,5	316,6	349,1	301,6	254,5	272,2	270,9
14		120-160		364,2	356,0	305,2	288,8	226,0	301,4	232,7	230,1	228,1	297,1	294,7	251,9
15		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16		0-40	begrünt	339,9	365,6	729,7	1109,4	311,8	326,3	298,5	320,5	321,5	261,9	274,3	309,4
17		40-80		334,4	322,7	387,4	459,7	308,3	323,5	306,2	335,8	382,4	293,4	343,4	336,3
18		80-120		297,0	309,2	307,6	322,7	305,6	368,9	337,9	328,8	227,9	277,3	219,2	306,2
19		120-160		364,2	273,9	720,9	1110,3	265,6	312,1	360,5	370,0	332,0	252,1	249,7	274,2
20		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	MK1+St2	0-40	unbegrünt	291,7	276,1	300,8	353,9	226,2	307,9	278,6	248,5	271,6	244,4	255,8	261,0
22		40-80		301,2	367,5	332,0	306,0	282,3	297,8	289,1	285,5	273,8	301,6	290,2	356,6
23		80-120		233,4	319,8	325,6	337,1	345,4	299,7	264,7	274,0	247,3	241,0	250,5	262,7
24		120-160		214,9	269,6	259,3	259,0	280,8	273,1	260,2	260,0	260,0	233,1	210,1	424,3
25		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26		0-40	begrünt	291,7	270,2	277,8	319,8	268,3	248,6	259,6	264,5	304,4	233,4	241,1	222,9
27		40-80		301,2	346,1	406,7	481,5	281,7	287,6	272,0	288,3	189,0	275,6	247,3	12,2
28		80-120		231,6	227,0	258,4	304,0	254,7	284,6	214,9	198,3	291,7	237,7	190,3	226,4
29		120-160		214,9	185,2	231,2	233,5	180,3	247,2	208,2	168,3	128,5	174,2	218,2	286,9
30		160-200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anlage 31

(2/2)

lfd. Nr.	Termine 2005					
	13.8	17.9	15.10	12.11	10.12	15.3
1	1375,5	1328,8	1468,7	1474,6	1414,4	1533,2
2	1333,0	1210,4	1442,5	1429,6	1547,2	1444,9
3	1164,3	1165,0	1156,9	1348,1	1409,2	1412,8
4	1299,0	1306,0	1156,6	1165,1	1189,8	1195,9
5	-	-	-	-	-	-
6	1488,2	1462,6	1534,3	1442,0	1580,9	1469,4
7	1419,7	1391,9	1362,8	1176,7	1496,7	1508,2
8	1432,6	1284,8	1536,2	1513,4	1674,7	1429,0
9	1377,7	1263,1	1395,8	1362,6	1238,5	1241,9
10	-	-	-	-	-	-
11	348,4	320,4	296,1	295,1	313,2	339,4
12	272,9	317,9	333,3	335,0	355,5	326,3
13	299,0	247,4	221,1	221,1	337,5	385,0
14	244,5	242,5	215,3	246,6	330,9	328,7
15	-	-	-	-	-	-
16	250,1	299,3	321,3	292,9	313,0	335,7
17	264,6	316,0	357,0	308,4	290,2	354,2
18	258,9	244,0	332,8	314,6	291,9	344,8
19	274,2	278,2	263,9	290,7	202,9	204,8
20	-	-	-	-	-	-
21	241,5	249,7	273,6	266,6	300,3	292,5
22	272,7	268,8	203,9	310,6	293,5	264,1
23	368,2	253,1	272,9	262,5	343,9	258,0
24	284,7	225,5	299,3	319,8	284,2	296,5
25	-	-	-	-	-	-
26	211,2	240,9	233,9	300,7	292,1	263,9
27	211,0	247,5	271,3	192,5	218,9	295,0
28	289,1	248,5	278,3	214,5	222,1	240,2
29	241,8	172,4	277,2	191,2	240,3	243,4
30	-	-	-	-	-	-

Anlage 32: Verlauf des mikrobiell gebundenen Kohlenstoffs der Varianten (Freilandversuch)

Variante Begrünung	Untersuchungs-tiefe [cm]		C_{mik} µC/g TM] Termine 2003 15.9	16.10	14.11	Termine 2004 19.12	16.1	14.3	16.4	19.5	16.6	17.9	12.11
MK1													
unbegrünt	0-40	MW*	638	568	812	526	746	701	654	583	648	-	1001
		StAbw*	116	111	215	74	76	241	176	118	166	-	436
	40-80	MW	1023	980	1132	934	695	702	653	488	521	-	482
		StAbw	413	460	476	274	92	212	277	72	119	-	223
begrünt	0-40	MW	521	557	832	473	688	752	1100	901	563	902	1002
		StAbw	91	150	100	238	189	47	190	147	152	544	136
	40-80	MW	851	869	934	792	844	633	790	679	491	694	633
		StAbw	188	288	473	282	373	370	285	245	133	264	208
MK1+Ut2													
unbegrünt	0-40	MW	197	247	259	284	189	292	300	206	201	-	360
		StAbw	58	21	37	38	98	17	58	53	36	-	57
	40-80	MW	198	230	255	312	314	393	296	227	232	-	257
		StAbw	56	22	68	134	308	250	41	82	41	-	43
begrünt	0-40	MW	206	242	295	240	339	359	353	234	191	330	418
		StAbw	74	45	45	50	141	71	83	30	72	89	41
	40-80	MW	220	244	288	222	281	304	410	227	235	323	335
		StAbw	45	91	76	130	44	147	63	36	140	68	72
MK1+St2													
unbegrünt	0-40	MW	195	207	190	174	152	231	221	134	182	-	243
		StAbw	25	14	53	5	27	27	70	40	28	-	15
	40-80	MW	162	166	198	142	184	205	228	147	150	-	188
		StAbw	49	35	18	9	44	39	30	20	14	-	31
begrünt	0-40	MW	179	189	232	270	260	297	298	245	157	167	258
		StAbw	17	49	45	85	84	35	24	81	35	100	50
	40-80	MW	147	148	215	258	259	309	241	235	200	163	178
		StAbw	67	77	41	195	126	72	13	111	62	42	2

*StAbw=Standardabweichung, MW=Mittelwert, -=keine Datenerhebung

Anlage 33: C_{mik}-Gehalte im September 2003 und November 2004 (einfaktorielle Varianzanalyse, Tukey-Test, Vergleich der Untersuchungszeitpunkte der Varianten, Freilandversuch)

Variante		Untersuchungstiefe [cm]	C_{mic} i g C / g TM Sep 03	C_{mic} i g C / g TM Nov 04	Tukey-Test* [p]
MK1	unbegrünt	0-40	638 ± 116	1001 ± 436	0,236
	begrünt		521 ± 91	1002 ± 136	**0,007**
	unbegrünt	40-80	1023 ± 413	482 ± 223	0,117
	begrünt		851 ± 188	633 ± 208	0,249
MK1+Ut2	unbegrünt	0-40	197 ± 58	360 ± 57	**0,026**
	begrünt		206 ± 74	418 ± 41	**0,012**
	unbegrünt	40-80	198 ± 56	257 ± 43	0,216
	begrünt		220 ± 45	335 ± 72	0,080
MK1+St2	unbegrünt	0-40	195 ± 25	243 ± 15	0,094
	begrünt		179 ± 17	258 ± 50	0,063
	unbegrünt	40-80	162 ± 49	188 ± 31	0,486
	begrünt		147 ± 67	178 ± 2	0,463

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den C_{mic}-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 34: Verlauf des mikrobiell gebundenen Kohlenstoffs der Varianten (Freilandversuch)

Variante Begrünung		C_{mik} [kg/ha] Termine 2003 15.9	16.10	14.11	19.12	Termine 2004 16.1	14.3	16.4	19.5	16.6	17.9	12.11
MK1												
unbegrünt	0-100cm	2823	2632	3306	2481	2449	2386	2222	1821	1986	-	1361
	MW*	1129	1053	1322	993	980	954	889	728	794	-	655
	StAbw*	371	396	307	393	49	1	0	92	122	-	2520
begrünt	0-100cm	2332	2426	3001	2150	2604	2354	3214	2687	1792	-	1363
	MW	933	970	1201	860	1042	942	1285	1075	717	-	861
	StAbw	318	300	98	307	150	114	298	214	69	-	2780
MK1+Ut2												
unbegrünt	0-100cm	1805	2181	2356	2727	2301	3133	2726	1983	1982	-	1318
	MW	722	872	942	1091	920	1253	1091	793	793	-	942
	StAbw	1	44	10	71	325	260	12	53	79	-	2826
begrünt	0-100cm	1950	2220	2669	2113	2838	3033	3492	2105	1953	-	1530
	MW	780	888	1068	845	1135	1213	1397	842	781	-	1228
	StAbw	36	5	19	46	151	144	146	18	114	-	3447
MK1+St2												
unbegrünt	0-100cm	1820	1903	1975	1612	1715	2225	2290	1434	1695	-	993
	MW	728	761	790	645	686	890	916	573	678	-	765
	StAbw	95	121	22	94	94	76	21	39	93	-	2198
begrünt	0-100cm	1665	1718	2280	2697	2647	3093	2746	2446	1824	-	1052
	MW	666	687	912	1079	1059	1237	1098	978	730	-	728
	StAbw	92	119	49	34	4	35	165	30	123	-	2226

*StAbw=Standardabweichung, MW=Mittelwert, -=keine Datenerhebung

Anlage 35: Verlauf des Metabolischen Quotienten (qCO_2) der Varianten (Freilandversuch)

Variante Begrünung	Untersuchungs-tiefe [cm]		qCO_2 Termine 2003 15.9	16.10	Termine 2004 4.1	19.12	16.1	14.3	16.4	19.5	16.6	17.9	12.11
MK1													
unbegrünt	0-40	MW*	19	23	17	20	20	18	18	23	19	-	21
		StAbw*	7	4	1	5	4	2	4	3	2	-	5
	40-80	MW	23	28	21	22	18	21	20	26	18	-	28
		StAbw	8	9	2	8	4	2	4	2	1	-	6
begrünt	0-40	MW	19	22	16	25	21	21	12	20	15	16	16
		StAbw	2	9	3	5	6	5	4	4	2	5	3
	40-80	MW	28	26	27	29	25	22	20	29	19	19	24
		StAbw	6	10	7	8	9	0	3	3	3	0	2
MK1+Ut2													
unbegrünt	0-40	MW	16	16	18	6	25	18	16	19	15	-	14
		StAbw	1	1	3	10	16	1	3	2	4	-	12
	40-80	MW	7	11	12	0	11	5	14	10	8	-	24
		StAbw	6	9	12	0	16	7	13	8	7	-	10
begrünt	0-40	MW	14	12	11	15	15	-	14	-	13	5	10
		StAbw	2	1	1	1	4	-	3	-	1	5	2
	40-80	MW	15	16	14	21	13	24	13	20	14	6	10
		StAbw	2	3	2	8	5	11	2	2	1	5	2
MK1+St2													
unbegrünt	0-40	MW	15	17	16	21	21	17	22	27	21	-	34
		StAbw	3	0	1	4	1	6	8	2	1	-	0
	40-80	MW	16	18	18	23	17	21	16	25	21	-	43
		StAbw	3	2	2	2	5	4	2	4	0	-	17
begrünt	0-40	MW	17	15	10	13	15	14	11	20	14	31	29
		StAbw	1	2	1	1	1	5	2	3	1	13	9
	40-80	MW	18	18	13	15	15	20	14	21	15	31	31
		StAbw	3	5	1	5	2	1	3	1	2	7	2

*StAbw=Standardabweichung, MW=Mittelwert, -=keine Datenerhebung

Anlage 36: Verlauf der mittleren NO_3-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2)

(1/6)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	NO_3-N [mg/l] Termine 2003												
				10.6	11.6	13.6	17.7	29.7	2.9	12.9	1.10	15.10	28.10	4.11	18.11	25.11
1	MK1	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	565,7	393,3	-	3787,2	853,1	-
2		150	unbegrünt	-	75,1	90,9	392,4	82,4	182,8	130,7	838,4	599,4	711,8	-	467,4	-
3		100	unbegrünt	203,8	680,8	684,8	1522,8	1180,1	1626,5	1435,3	3654,4	1834,9	1089,1	-	1409,3	1607,1
4		100	begrünt	3139,6	214,8	2467,9	1579,8	2317,7	6427,7	947,9	4289,7	5007,1	2177,4	-	2193,3	-
5		50	unbegrünt	2344,6	2781,1	2360,4	1512,7	-	330,2	419,3	1156,5	-	-	-	48,1	-
6	MK1+Ut2	200	unbegrünt	-	-	196,3	-	-	-	-	391,1	253,3	-	998,1	70,4	-
7		150	unbegrünt	-	7,4	163,9	-	274,7	99,3	111,8	-	128,6	-	-	56,4	-
8		100	unbegrünt	200,8	20,0	205,3	-	758,7	1147,0	197,9	3087,0	213,2	636,9	-	1491,7	2821,3
9		100	begrünt	33,9	-	1531,4	3873,2	2011,6	-	936,2	1322,5	2231,5	884,2	-	2759,4	-
10		50	unbegrünt	1641,0	1408,5	7107,0	-	-	-	121,6	-	-	-	-	-	-
11	MK1+St2	200	unbegrünt	-	-	486,2	-	-	-	-	5710,6	1597,0	2061,7	427,9	368,8	-
12		150	unbegrünt	-	345,6	170,9	8369,5	1866,8	8387,1	2895,8	3987,6	8055,8	3369,5	-	2139,8	-
13		100	unbegrünt	21,5	-	1204,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14		100	begrünt	9,8	-	77,3	-	67,2	-	159,6	-	-	-	-	-	-
15		50	unbegrünt	841,0	4124,2	5039,5	1110,2	944,2	3111,7	660,4	-	1220,8	3184,9	-	732,1	-

Anlage 36

(2/6)

lfd. Nr.	Termine 2004																					
	2.12	30.12	15.1	1.2	8.2	19.2	2.3	16.3	23.3	7.4	13.4	16.4	27.4	6.5	10.5	8.6	22.6	29.6	26.7	23.9	28.9	12.10
1	568,1	549,2	509,6	-	-	-	-	1733,5	-	-	2875,8	-	785,5	17,5	267,9	-	3,0	162,6	-	-	-	230,0
2	722,9	1294,4	724,4	-	-	-	-	-	-	-	2607,1	-	3357,6	2210,8	324,2	313,3	2,1	134,9	-	-	-	120,3
3	640,8	1434,7	441,7	-	925,1	396,2	403,3	898,3	2388,0	2455,0	2288,2	-	1568,2	566,9	299,8	839,4	140,7	497,1	77,0	-	136,6	22,2
4	830,1	1372,3	289,0	-	-	-	-	-	-	2153,2	1233,0	-	-	-	576,5	-	-	24,4	-	-	-	7,9
5	619,9	-	1113,0	1974,0	2662,7	-	-	-	-	-	-	-	-	197,4	-	-	-	4052,7	34,5	-	-	10,1
6	139,7	277,9	436,3	-	-	-	-	-	-	5699,6	978,0	-	1519,2	492,1	94,7	-	381,7	-	-	-	-	-
7	208,4	702,4	902,8	-	-	-	-	-	-	-	3050,2	-	-	2838,5	1201,4	3615,0	-	11,3	-	-	-	-
8	885,1	1315,3	1267,3	-	1550,3	1141,0	1407,8	1378,7	3224,4	-	3475,0	-	3643,8	346,0	1824,9	4766,3	2652,8	4031,7	559,4	-	-	243,8
9	609,0	1482,1	257,0	-	-	-	-	-	-	118,5	2049,4	-	-	-	-	-	1974,8	-	-	-	-	0,9
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57,5	-	-	-	-	-	-	-	-
11	184,7	1239,8	892,4	-	-	-	-	-	-	-	4424,4	-	3554,0	1416,8	222,4	1871,7	1303,0	990,9	-	-	-	-
12	1214,1	1828,5	795,6	-	339,0	695,8	1446,2	1716,9	-	2742,2	3280,8	-	3239,5	1675,9	333,3	1631,1	1383,4	1361,5	-	-	-	32,0
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	653,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2784,4	-	-	-	-	-	-	-	-
15	385,1	460,4	35,8	-	-	-	-	-	-	998,9	383,1	-	-	-	262,4	-	-	43,2	-	-	-	3,7

Anlage 36

(3/6)

lfd. Nr.	Termine 2005														
	19.10	26.10	10.11	24.11	1.12	7.12	28.12	18.1	21.1	1.2	3.2	22.2	11.3	15.3	1.4
1	237,8	500,3	111,8	6,3	-	-	-	-	-	100,0	100,0	148,0	9,5	9,5	-
2	147,4	-	87,1	41,2	-	-	-	-	-	3,0	3,0	3,0	6,6	6,6	6,6
3	8,1	9,3	11,7	12,1	-	-	-	-	-	3,9	3,9	3,9	5,8	5,8	8,5
4	7,8	-	10,4	6,5	-	-	-	14,0	14,0	2,0	2,0	2,0	8,7	8,7	-
5	1121,9	-	-	91,7	-	-	-	-	-	82,7	27,4	82,7	209,5	209,5	209,5
6	-	-	96,4	139,9	-	-	-	179,8	179,8	72,4	72,4	72,4	134,4	134,4	134,4
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	321,1	280,4	25,2	224,6	-	-	-	26,1	26,1	21,4	21,4	21,4	11,5	11,5	11,5
9	2,9	-	-	720,3	-	-	-	16,3	16,3	11,6	11,6	11,6	3,1	3,1	3,1
10	-	-	-	-	-	-	-	13,4	13,4	-	-	-	309,6	309,6	309,6
11	991,6	1037,2	801,1	226,3	-	-	-	-	-	86,7	26,5	26,5	24,9	24,9	24,9
12	46,2	60,2	20,7	9,5	-	-	-	15,0	15,0	7,0	7,0	7,0	9,6	9,6	14,5
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1794,1	-	-	204,3	-	-	-	-	-	166,0	166,0	166,0	497,4	270,2	146,7
15	8,4	-	9,9	4,6	-	-	-	-	-	2,6	2,6	2,6	4,7	4,7	5,5

Anlage 36

(4/6)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	Termine 2003 10.6	11.6	13.6	17.7	29.7	2.9	12.9	1.10	15.10	28.10	4.11	18.11	25.11
16	MK2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	126,7	146,9	-	-	37,3	-
17		150	unbegrünt	-	106,9	103,7	-	16,8	42,7	248,1	456,5	180,7	324,3	-	181,9	-
18		100	unbegrünt	90,2	-	191,9	164,3	-	104,4	30,8	-	11,4	36,6	-	44,5	-
19		100	begrünt	52,4	-	805,0	329,4	-	169,9	126,1	-	19,0	-	-	4,3	-
20		50	unbegrünt	901,2	-	2189,3	1218,0	610,0	2162,1	231,7	1057,6	999,8	678,9	-	593,0	-
21	MK2+Ut2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	1510,6	2828,2	2113,5	921,4	-
23		150	unbegrünt	-	-	-	-	83,3	37,0	93,6	361,8	392,6	294,8	-	328,2	-
25		100	unbegrünt	-	16,2	3848,2	288,0	403,6	49,7	66,7	-	2,0	25,7	-	145,5	-
27		100	begrünt	-	-	-	-	-	-	141,7	-	-	-	-	62,6	-
29		50	unbegrünt	1130,3	1652,4	2166,6	1277,3	2025,5	4859,0	742,4	8264,8	1537,8	2027,0	-	929,2	-
30	MK2+St2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31		150	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32		100	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	789,4	329,7	763,5	-	-	5465,0
33		100	begrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34		50	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	2631,4	-	3051,1	-	-	5722,4	-
35	Ut2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36		150	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37		100	unbegrünt	-	-	77,6	-	-	-	-	-	-	-	-	19,8	-
38		100	begrünt	7,4	-	200,2	-	-	-	-	-	-	-	-	7,1	-
39		50	unbegrünt	13,6	-	-	-	23,6	-	-	-	-	-	-	-	-
40	St2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41		150	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	1851,7	-	-	-	47,2
42		100	unbegrünt	-	-	-	35,3	161,3	-	-	-	-	-	-	23,4	-
43		100	begrünt	480,9	148,1	137,6	68,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44		50	unbegrünt	-	-	215,9	-	113,3	41,7	16,4	-	-	-	-	246,8	-

Anlage 36

(5/6)

lfd. Nr.	Termine 2004																					
	2.12	30.12	15.1	1.2	8.2	19.2	2.3	16.3	23.3	7.4	13.4	16.4	27.4	6.5	10.5	8.6	22.6	29.6	26.7	23.9	28.9	12.10
16	19,3	691,6	51,9	-	-	-	-	-	-	-	675,6	-	272,2	14,3	211,0	99,3	207,6	57,6	63,4	-	-	-
17	127,6	176,6	60,7	-	-	-	-	-	-	-	257,7	-	194,9	45,0	7,6	-	-	362,3	-	-	-	-
18	15,1	87,1	81,2	-	1,7	53,2	-	103,7	210,7	994,2	141,8	-	122,9	22,3	32,0	271,1	619,7	47,8	15,7	-	59,4	46,7
19	-	-	-	-	304,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	164,4	29,5	-	-	738,6
20	397,5	701,8	146,7	-	2760,8	-	-	-	-	1574,3	1501,4	-	-	40,4	599,8	-	707,1	55,2	-	-	-	22,1
21	667,7	2134,8	501,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1725,2	17,8	198,2	1019,8	-	2392,4	4,7	-	-	-
23	75,5	81,6	80,6	-	-	-	-	-	-	-	287,3	-	524,8	-	91,8	-	3,2	237,8	30,6	-	-	-
25	125,3	281,1	179,4	227,2	58,6	206,1	42,9	358,0	161,0	1685,0	1525,3	-	2324,1	993,8	93,0	1049,8	295,3	34,5	18,0	-	-	27,6
27	43,5	-	549,4	-	354,4	1043,3	-	1286,9	-	-	-	-	-	1156,4	2032,0	-	-	-	-	-	-	-
29	558,3	1263,9	148,2	-	-	-	-	-	-	462,2	667,7	-	-	-	385,6	-	-	45,6	-	-	-	9,3
30	-	-	654,7	-	-	-	-	-	-	4668,2	2822,8	-	2777,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	2782,8	955,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	1307,2	4442,2	231,1	-	977,5	1003,4	3416,6	1658,7	-	-	2203,3	-	-	-	2297,7	4217,4	6005,7	2487,3	683,0	-	-	624,7
33	-	-	920,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	1753,0	2949,7	805,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	692,8	-	-	-	-	-	-	-	394,8
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	58,6	-	-	-	-	-	-	-	123,3	-	-	-	7,6	-	-	-	-	-	-	-
37	19,4	113,8	17,6	-	29,1	-	-	47,1	-	-	-	-	-	50,4	9,7	104,4	-	-	4,8	-	-	41,3
38	-	-	-	-	58,4	8,0	-	8,7	-	-	-	-	-	5,4	19,3	31,3	-	20,8	-	-	-	-
39	-	77,3	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,3	-	-	-	-	-	-	-	0,5
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	152,0	30,9	-	-	-	-	-	-	-	249,3	-	-	-	15,3	-	-	-	-	-	-	-
42	4,9	8,8	5,1	-	1,2	49,0	-	46,7	-	-	520,5	-	-	1,1	2,6	38,8	-	2,9	14,8	-	-	18,2
43	45,2	-	17,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74,8	-	65,2	1,2	-	-	-
44	44,8	30,3	19,7	-	-	28,0	-	15,2	-	-	1261,9	-	-	6,8	132,2	26,0	-	8,4	17,9	-	-	-

Anlage 36

(6/6)

lfd. Nr.	Termine 2005														
	19.10	26.10	10.11	24.11	1.12	7.12	28.12	18.1	21.1	1.2	3.2	22.2	11.3	15.3	1.4
16	45,8	314,8	78,4	97,1	-	-	-	-	-	154,3	154,3	154,3	134,0	134,0	258,8
17	-	-	-	88,9	-	-	-	-	-	125,9	125,9	125,9	69,0	69,0	63,6
18	41,0	58,3	17,2	38,2	-	-	-	68,9	68,9	17,0	17,0	17,0	37,5	37,5	45,3
19	240,2	-	61,7	88,9	-	-	-	123,0	123,0	31,3	31,3	31,3	158,9	158,9	198,1
20	38,0	-	109,9	36,8	-	-	-	43,8	43,8	13,3	13,3	13,3	26,4	26,4	38,7
21	-	-	88,5	122,5	-	-	-	-	-	18,6	18,6	18,6	74,5	74,5	-
23	-	-	-	-	-	-	-	10,2	10,2	29,3	29,3	39,3	28,5	28,5	28,5
25	25,3	19,3	13,3	36,1	-	-	-	25,1	25,1	30,6	30,6	30,6	30,7	30,7	22,8
27	652,3	-	166,8	236,9	-	-	-	272,1	272,1	159,4	159,4	159,4	440,6	440,6	223,5
29	23,2	-	-	14,0	-	-	-	13,4	13,4	4,4	4,4	4,4	14,8	14,8	-
30	-	-	53,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	193,7	193,7	193,7
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74,4	-	-
32	518,3	706,2	209,6	208,8	-	-	-	95,4	95,4	102,8	102,8	102,8	189,7	189,7	189,7
33	-	-	-	64,4	-	-	-	-	-	-	-	-	223,1	223,1	-
34	312,3	-	-	-	-	-	-	-	-	114,3	114,3	114,3	16,8	16,8	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	1,3	1,3	-	-	-
37	6,8	28,1	2,2	1,5	-	-	-	2,9	2,9	1,6	1,6	1,6	4,6	4,6	4,6
38	-	-	9,2	1,4	-	-	-	-	-	0,7	0,7	0,7	38,9	38,9	38,9
39	0,8	5,3	0,3	0,9	-	-	-	0,2	0,2	0,9	0,9	0,9	1,3	1,3	1,3
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	2,7	-	-	-	0,7	0,7	2,2	2,2	2,2	3,3	3,3	-
42	10,8	-	18,7	1,7	-	-	-	-	-	0,8	0,8	0,8	-	-	-
43	6,1	8,9	1,2	1,0	-	-	-	0,5	0,5	3,5	3,5	-	2,5	2,5	2,5
44	-	-	7,0	1,9	-	-	-	-	-	1,0	1,0	1,0	-	-	-

Anlage 37: Mittlere NO_3-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlichen Mächtigkeiten sowie deskriptive statistische Angaben (Gefäßversuch 2)

Variante	Mächtigkeit	Begrünung	Stich-proben	NO_3-N	Konfidenzintervall		Min.	Max.	Spann-weite
	[cm]		[Anzahl]	[mg/l]	[-95%]	[+95%]	[mg/l]	[mg/l]	
MK1	200	unbegrünt	24	605 ± 934	211	999	3	3787	3784
	150	unbegrünt	30	523 ± 825	215	831	2	3358	3355
	100	unbegrünt	41	815 ± 868	541	1089	4	3654	3650
	100	begrünt	24	916 ± 1147	432	1400	10	4053	4043
	50	unbegrünt	29	1344 ± 1676	707	1982	2	6428	6426
MK1+Ut2	200	unbegrünt	24	548 ± 1154	60	1035	70	5700	5629
	150	unbegrünt	16	836 ± 1216	188	1484	0	3615	3615
	100	unbegrünt	40	1137 ± 1320	715	1560	11	4766	4755
	50	begrünt	28	1124 ± 1565	517	1731	0	7107	7107
	100	unbegrünt	11	245 ± 446	-54	545	0	1531	1531
MK1+St2	200	unbegrünt	26	1155 ± 1427	579	1731	25	5711	5686
	150	unbegrünt	24	973 ± 1028	539	1407	15	3519	3505
	100	unbegrünt	39	1201 ± 1237	800	1602	7	3988	3981
	50	begrünt	27	874 ± 1366	333	1414	3	5040	5037
	100	unbegrünt	14	512 ± 796	52	971	10	2784	2775
MK2	200	unbegrünt	24	175 ± 176	101	249	14	692	677
	150	unbegrünt	24	148 ± 113	101	196	8	456	449
	100	unbegrünt	42	97 ± 177	42	152	0	994	994
	50	begrünt	32	611 ± 742	343	879	13	2761	2748
	100	unbegrünt	23	173 ± 210	83	264	0	805	805
MK2+Ut2	200	unbegrünt	8	1445 ± 1745	-14	2904	53	4668	4615
	150	unbegrünt	3	1271 ± 1381	-2161	4703	74	2783	2708
	100	unbegrünt	29	1228 ± 1480	665	1791	95	5465	5370
	50	begrünt	14	1335 ± 1692	358	2312	17	5722	5706
	100	unbegrünt	4	358 ± 383	-251	967	64	921	856
MK2+St2	200	unbegrünt	20	823 ± 950	378	1267	5	2828	2824
	150	unbegrünt	24	134 ± 150	70	197	3	525	522
	100	unbegrünt	41	362 ± 756	124	601	0	3848	3848
	50	begrünt	28	1081 ± 1767	396	1766	4	8265	8260
	100	unbegrünt	20	493 ± 512	253	732	44	2032	1989
Ut2	200	unbegrünt	0						
	150	unbegrünt	8	24 ± 45	-13	62	0	123	123
	100	unbegrünt	26	23 ± 32	10	36	0	114	114
	50	begrünt	20	8 ± 18	0	16	0	77	77
	100	unbegrünt	20	25 ± 45	4	46	0	200	200
St2	200	unbegrünt	0						
	150	unbegrünt	15	158 ± 474	-105	420	0	1852	1852
	100	unbegrünt	27	36 ± 102	-5	76	0	521	521
	50	begrünt	21	51 ± 108	2	100	0	481	481
	100	unbegrünt	22	102 ± 268	-17	221	0	1262	1262

Anlage 38: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NO_3-N–Konzentrationen im Sickerwasser während der Zeiträume vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und vom 22.06.2004 - 26.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2)

Tukey-Test		(p)*	
		04.06.2003 - 08.06.2004	22.06.2004 - 26.04.2005
MK1	MK1+Ut2	0,907	0,557
MK1	MK1+St2	**0,026**	0,997
MK1	MK2	**0,024**	1,000
MK1	MK2+Ut2	0,301	0,119
MK1	MK2+St2	0,395	1,000
MK1+Ut2	MK1+St2	0,352	0,859
MK1+Ut2	MK2	**0,001**	0,574
MK1+Ut2	MK2+Ut2	0,858	0,948
MK1+Ut2	MK2+St2	**0,048**	0,520
MK1+St2	MK2	**0,000**	0,998
MK1+St2	MK2+Ut2	0,993	0,336
MK1+St2	MK2+St2	**0,000**	0,994
MK2	MK2+Ut2	**0,000**	0,123
MK2	MK2+St2	0,823	1,000
MK2+Ut2	MK2+St2	**0,004**	0,105

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NO_3-N-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 39: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NO_3-N–Fracht im Sickerwasser während der Zeiträume vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und vom 22.06.2004 - 26.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2)

Tukey-Test		(p)*	
		04.06.2003 - 08.06.2004	22.06.2004 - 26.04.2005
MK1	MK1+Ut2	0,995	0,761
MK1	MK1+St2	1,000	1,000
MK1	MK2	0,144	1,000
MK1	MK2+Ut2	1,000	0,927
MK1	MK2+St2	0,261	0,999
MK1+Ut2	MK1+St2	0,973	0,792
MK1+Ut2	MK2	0,410	0,590
MK1+Ut2	MK2+Ut2	0,995	0,999
MK1+Ut2	MK2+St2	0,596	0,543
MK1+St2	MK2	0,094	1,000
MK1+St2	MK2+Ut2	1,000	0,940
MK1+St2	MK2+St2	0,179	0,999
MK2	MK2+Ut2	0,264	0,820
MK2	MK2+St2	1,000	1,000
MK2+Ut2	MK2+St2	0,403	0,772

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NO_3-N-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 40: Verlauf der mittleren NO_3-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2)

(1/6)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	NO_3-N [kg/ha] Termine 2003												
				10.6	11.6	13.6	17.7	29.7	2.9	12.9	1.10	15.10	28.10	4.11	18.11	25.11
1	MK1	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	3,6	0,0	0,0	24,2	0,0
2		150	unbegrünt	0,0	7,3	2,2	0,7	4,2	3,0	29,0	41,9	20,8	120,5	0,0	35,6	0,0
3		100	unbegrünt	25,3	9,9	2,9	88,9	48,8	217,8	331,4	117,2	46,5	263,8	0,0	41,1	13,0
4		100	begrünt	36,0	1,6	1,7	13,4	0,0	5,5	38,4	0,4	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0
5		50	unbegrünt	302,8	29,8	8,6	331,8	227,9	135,2	326,4	53,6	254,0	63,1	0,0	81,8	0,0
6	MK1+Ut2	200	unbegrünt	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	2,2	0,0	0,0	2,6	0,0
7		150	unbegrünt	0,0	0,2	0,3	0,0	5,4	2,3	6,3	0,0	6,1	0,0	0,0	2,8	0,0
8		100	unbegrünt	6,3	0,0	1,4	0,0	9,2	16,4	27,2	12,1	4,3	215,2	0,0	10,9	28,0
9		100	begrünt	3,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10		50	unbegrünt	9,4	26,1	156,9	20,5	74,4	0,0	231,4	16,8	39,1	3,3	0,0	100,2	0,0
11	MK1+St2	200	unbegrünt	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	55,8	10,4	51,2	0,0	25,5	0,0
12		150	unbegrünt	0,0	2,6	0,5	0,0	5,0	32,8	275,9	101,8	76,9	140,0	0,0	44,4	34,0
13		100	unbegrünt	0,4	0,0	1,4	110,0	47,5	57,7	613,3	66,7	70,4	91,3	0,0	77,7	0,0
14		100	begrünt	0,3	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15		50	unbegrünt	79,7	9,4	18,9	106,8	76,6	49,3	105,3	0,0	29,1	19,8	0,0	16,9	0,0

Anlage 40

(2/6)

lfd. Nr.	Termine 2004																					
	2.12	30.12	15.1	1.2	8.2	19.2	2.3	16.3	23.3	7.4	13.4	16.4	27.4	6.5	10.5	8.6	22.6	29.6	26.7	23.9	28.9	12.10
1	157,1	268,5	65,1	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	0,0	0,0	48,0	0,0	10,8	0,9	19,6	0,0	0,1	26,1	0,0	0,0	0,0	3,7
2	176,5	606,3	98,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,5	0,0	57,8	51,7	26,2	9,7	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	2,4
3	273,0	971,3	49,4	0,0	278,3	17,1	18,8	29,8	6,7	14,3	74,1	0,0	29,2	21,6	72,3	110,8	10,8	108,7	6,3	0,0	0,9	2,4
4	20,0	0,0	6,3	0,0	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	143,1	0,5	0,0	0,0	0,1
5	250,2	668,0	23,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,7	49,2	0,0	0,0	0,0	27,3	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,5
6	13,6	30,0	63,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,4	36,1	0,0	29,9	29,1	4,7	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	28,1	238,8	192,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,0	0,0	0,0	68,6	15,3	17,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
8	199,1	577,2	112,8	0,0	391,0	75,0	50,6	54,7	22,4	0,0	34,2	0,0	37,3	18,3	195,7	246,8	34,9	429,2	6,3	0,0	0,0	4,8
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	188,3	535,7	16,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	73,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	43,6	409,8	91,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	87,2	0,0	20,0	50,6	2,0	44,0	29,4	32,9	0,0	0,0	0,0	0,0
12	386,6	399,0	83,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,3	0,0	26,7	18,9	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	335,6	871,6	143,2	0,0	82,3	44,6	48,0	26,5	0,0	7,7	85,1	0,0	23,3	40,7	75,0	161,5	15,0	112,2	0,0	0,0	0,0	1,6
14	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	60,4	152,9	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	12,6	0,0	0,0	0,0	18,1	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,2

Anlage 40

(3/6)

lfd. Nr.	Termine 2005														
	19.10	26.10	10.11	24.11	1.12	7.12	28.12	18.1	21.1	1.2	3.2	22.2	11.3	15.3	1.4
1	10,9	9,9	4,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,4	9,0	21,7	0,9	0,7	0,0
2	2,0	0,0	5,1	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1
3	0,9	0,1	0,5	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,1	1,0	1,5	0,5	0,6
4	7,4	0,0	0,0	16,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	1,1	7,3	20,6	12,4	12,4
5	0,5	0,0	0,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,6	0,0
6	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	4,6	3,5	2,7	1,7	6,9	10,4	7,5	4,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	15,4	1,1	0,9	23,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	3,8	1,5	2,9	1,1	0,5	0,5
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4	10,9	10,9
10	0,0	0,0	0,0	134,8	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	1,5	1,1	1,8	0,2	0,2	0,0
11	14,0	10,2	18,0	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,4	2,1	1,6	0,4	0,4
12	0,0	0,0	1,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6	1,2	1,3	1,2	0,2
13	3,4	0,5	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,8	0,4	1,5	0,5	0,1	0,1
14	2,5	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	1,6	6,2	16,8	3,6	1,1
15	0,2	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	0,0

Anlage 40

(4/6)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	Termine 2003 10.6	11.6	13.6	17.7	29.7	2.9	12.9	1.10	15.10	28.10	4.11	18.11	25.11
16	MK2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,3	0,0	0,0	1,8	0,0
17		150	unbegrünt	0,0	1,0	0,1	0,0	0,1	0,3	50,0	10,0	10,4	48,0	0,0	10,7	0,0
18		100	unbegrünt	1,9	0,0	0,3	2,8	0,0	6,9	8,0	0,0	0,4	3,5	0,0	2,0	0,0
19		100	begrünt	121,1	0,0	5,1	105,0	31,0	97,9	59,2	24,2	49,5	34,8	0,0	28,2	0,0
20		50	unbegrünt	2,3	0,0	0,2	6,7	0,0	0,3	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	MK2+Ut2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25		100	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	2,7	7,0	0,0	0,0	16,4
27		100	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29		50	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	238,2	0,0	5,7	0,0	0,0	143,2	0,0
30	MK2+St2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,5	0,0	42,7	0,0
31		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	6,9	3,9	24,7	0,0	9,6	0,0
32		100	unbegrünt	0,0	0,5	1,0	28,8	8,5	1,5	5,6	0,0	0,0	0,3	0,0	6,0	0,0
33		100	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
34		50	unbegrünt	139,2	21,9	10,1	218,0	220,4	189,6	204,4	15,5	87,0	29,7	0,0	46,6	0,0
35	Ut2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
37		100	unbegrünt	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0
38		100	begrünt	0,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
39		50	unbegrünt	0,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	St2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,2	0,0	0,0	0,0	2,5
42		100	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	1,2	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0
43		100	begrünt	0,0	0,0	4,5	0,0	1,1	1,4	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	21,2	0,0
44		50	unbegrünt	21,7	3,6	0,7	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 40

(5/6)

lfd. Nr.	Termine 2004																					
	2.12	30.12	15.1	1.2	8.2	19.2	2.3	16.3	23.3	7.4	13.4	16.4	27.4	6.5	10.5	8.6	22.6	29.6	26.7	23.9	28.9	12.10
16	7,5	210,4	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	1,7	0,1	2,4	2,0	5,9	2,8	0,4	0,0	0,0	0,0
17	41,0	91,3	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	3,4	0,1	1,7	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	5,0	37,4	10,7	0,0	0,5	4,0	0,0	4,2	1,3	0,9	7,7	0,0	3,2	1,9	6,7	28,5	33,4	8,9	2,3	0,0	0,6	1,7
19	90,4	232,1	10,7	0,0	171,3	0,0	0,0	0,0	0,0	56,8	51,7	0,0	0,0	0,6	59,7	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,8
20	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,2	0,0	0,0	4,6
21	0,0	0,0	59,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	10,6	0,0	17,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	170,1	78,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	175,5	960,9	26,4	0,0	85,5	81,3	61,5	124,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	111,9	100,1	67,7	95,4	9,6	0,0	0,0	5,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	467,7	1113,8	44,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8
30	181,1	883,4	55,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	0,4	11,2	42,8	0,0	21,0	0,1	0,0	0,0	0,0
31	14,9	35,7	15,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,0	0,0	6,0	0,0	0,0	5,0	0,7	0,0	0,0	0,0
32	34,8	107,4	24,1	0,0	30,1	4,6	0,0	9,1	1,1	1,6	14,3	0,0	8,7	3,9	10,5	166,2	3,8	3,0	0,2	0,0	0,0	2,5
33	1,0	0,0	28,7	0,0	40,0	18,1	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	148,4	530,8	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	28,9	0,0	0,0	0,0	25,7	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,3
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
37	9,1	46,6	2,7	0,0	10,7	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,9	0,8	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,2
38	0,0	0,0	0,0	0,0	17,3	0,8	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	3,8	3,8	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0
39	0,0	24,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41	0,0	57,2	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42	1,2	3,3	0,7	0,0	0,2	3,1	0,0	1,2	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,1	0,8	4,6	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,3
43	15,1	8,8	3,5	0,0	0,0	3,2	0,0	0,6	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,3	34,3	3,1	0,0	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0
44	4,8	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	5,4	0,1	0,0	0,0	0,0

Anlage 40

(6/6)

lfd. Nr.	Termine 2005														
	19.10	26.10	10.11	24.11	1.12	7.12	28.12	18.1	21.1	1.2	3.2	22.2	11.3	15.3	1.4
16	0,8	2,5	5,4	16,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,3	10,0	24,7	15,6	16,6	9,0
17	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	7,5	1,9	5,2	11,3	0,5
18	4,8	1,1	2,1	7,9	0,0	0,0	0,0	2,3	5,7	4,8	3,3	2,9	4,7	5,7	1,5
19	1,7	0,0	2,8	6,1	0,0	0,0	0,0	0,8	1,1	0,9	1,6	1,6	0,7	2,2	0,5
20	5,5	0,0	2,2	17,5	0,0	0,0	0,0	1,5	3,5	5,1	2,0	4,2	11,8	9,6	0,9
21	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	3,5	2,4
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0
25	19,1	7,7	7,2	73,6	0,0	0,0	0,0	1,4	0,9	18,7	20,2	31,3	18,7	26,3	19,5
27	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	13,4	0,0
29	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	4,0	9,5	0,2	0,5	0,0
30	0,0	0,0	1,6	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,5	2,7	8,4	2,7	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,8	2,0	2,4	1,2	1,6	0,5
32	0,0	0,6	0,4	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	8,2	2,5	6,2	4,4	1,8	0,4
33	6,2	0,0	1,6	31,5	0,0	0,0	0,0	2,3	2,6	5,1	4,8	7,1	30,5	20,7	3,6
34	0,3	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,2	0,6	0,6	0,6	0,0
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0
37	0,4	0,3	0,4	0,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	0,3	0,2	0,5	0,4	0,2	0,2
38	0,0	0,0	0,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	2,6	1,8	1,8
39	0,1	0,3	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,3	0,7	0,3	0,3	0,0
42	0,8	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
43	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
44	0,4	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,3	0,0	0,8	0,2	0,1

Anlage 41: Mittlere NO_3-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlichen Mächtigkeiten sowie deskriptive statistische Angaben (Gefäßversuch 2)

Variante	Mächtigkeit	Begrünung	Stich-proben	NO_3-N [kg/ha]	Konfidenzintervall		Min.	Max.	Spann-weite
	[cm]		[Anzahl]	[kg/ha]	[-95%]	[+95%]	[kg/ha]	[kg/ha]	
MK1	200	unbegrünt	23	32 ± 62	6	59	0	268	268
	150	unbegrünt	30	45 ± 114	2	87	0	606	606
	100	unbegrünt	41	81 ± 168	28	134	0	971	971
	100	begrünt	23	35 ± 99	-8	78	0	143	466
	50	unbegrünt	29	99 ± 157	39	158	0	668	668
MK1+Ut2	200	unbegrünt	22	13 ± 16	6	20	1	63	62
	150	unbegrünt	15	44 ± 74	3	85	0	239	239
	100	unbegrünt	39	74 ± 133	30	117	0	577	577
	100	begrünt	7	6 ± 6	1	11	0	14	14
	50	unbegrünt	25	65 ± 118	17	114	0	536	536
MK1+St2	200	unbegrünt	25	41 ± 81	7	74	0	410	409
	150	unbegrünt	25	68 ± 115	20	115	0	399	399
	100	unbegrünt	37	87 ± 174	29	145	0	872	871
	100	begrünt	14	5 ± 6	2	8	0	18	18
	50	unbegrünt	27	28 ± 42	12	45	0	153	153
MK2	200	unbegrünt	24	16 ± 42	-2	34	0	210	210
	150	unbegrünt	24	13 ± 22	3	22	0	91	91
	100	unbegrünt	38	6 ± 8	3	9	0	37	37
	100	begrünt	31	41 ± 56	20	61	1	232	232
	50	unbegrünt	22	4 ± 4	2	6	0	17	17
MK2+Ut2	200	unbegrünt	8	14 ± 19	-2	31	1	60	59
	150	unbegrünt	3	83 ± 84	-126	293	2	170	168
	100	unbegrünt	31	74 ± 171	11	136	1	961	960
	100	begrünt	3	6 ± 6	-10	22	1	13	13
	50	unbegrünt	13	157 ± 319	-36	349	0	1114	1114
MK2+St2	200	unbegrünt	19	67 ± 202	-30	165	0	883	883
	150	unbegrünt	22	6 ± 9	2	10	0	36	36
	100	unbegrünt	38	19 ± 37	7	31	0	166	166
	100	begrünt	20	12 ± 12	6	17	0	40	40
	50	unbegrünt	28	69 ± 118	24	115	0	531	531
Ut2	200	unbegrünt	0						
	150	unbegrünt	5	1 ± 0	0	1	0	1	1
	100	unbegrünt	24	3 ± 10	-1	7	0	47	47
	100	begrünt	18	2 ± 4	0	4	0	17	17
	50	unbegrünt	18	2 ± 6	-1	4	0	24	24
St2	200	unbegrünt	0						
	150	unbegrünt	13	8 ± 17	-2	18	0	57	57
	100	unbegrünt	22	1 ± 2	1	2	0	5	5
	100	begrünt	21	5 ± 9	1	9	0	34	34
	50	unbegrünt	20	2 ± 5	0	4	0	22	22

Anlage 42: Verlauf der NO_3-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch)

(1/3)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	NO_3-N [mg/l] Termine 2003					Termine 2004						
				12.9	1.10	30.10	28.11	19.12	27.12	14.1	19.1	2.2	6.2	6.3	12.3
1	MK1	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3		100		-	-	-	-	-	-	-	-	2834,8	3728,2	4361,4	3068,6
4		50		549,6	1224,8	-6,2	-	-	1824,7	2061,7	1705,7	1271,6	2696,8	3323,4	3058,7
5															
6		200	begrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8		100		-	-	-	-	-	-	-	2027,9	3475,7	2410,4	4037,3	2651,9
9		50		1,2	-	520,3	-	-	2410,8	2773,0	2398,5	3230,6	3311,5	-	3064,4
10	MK1+Ut2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12		100		-	-	-	-	-	-	-	1585,4	3630,6	1878,2	2192,5	-
13		50		-	-	-	-	-	-	-	1075,9	1080,0	884,7	1717,7	-
14															
15		200	begrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17		100		-	-	-	-	-	-	-	-	1411,8	1474,5	2408,4	1542,8
18		50		-	-	-	-	-	189,9	-	1411,9	1694,5	1693,8	-	2066,6
19	MK1+St2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21		100		-	-	-	-	-	-	-	1065,1	491,8	-	936,3	-
22		50		596,6	-	1042,5	850,9	294,1	488,3	1619,6	497,4	-	549,6	-	728,7
23															
24		200	begrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26		100		-	-	-	-	-	-	-	-	-	435,8	-	-
27		50		-	-	-	-	-	-	-	656,1	3098,3	858,6	2539,2	-

Anlage 42

(2/3)

lfd. Nr.	18.3	26.3	8.4	16.4	23.4	30.4	14.5	19.5	28.5	4.6	11.6	16.6	23.6	2.7	9.7	16.7	22.7	29.7
1	-	-	-	20,0	-	-	7195,7	5087,5	-	-	-	-	-	-	-	3367,9	-	3621,5
2	-	1471,0	3800,5	-	-	5664,7	1808,9	4155,4	4795,8	6294,9	2832,7	2933,3	5329,0	1336,2	858,8	865,6	998,1	846,6
3	-	5108,5	3822,1	-	-	4545,6	4654,0	4737,8	4622,0	-	3423,9	4507,8	5142,0	853,8	1045,2	1104,4	1880,1	853,5
4	4140,5	3973,7	5061,3	-	13053,3	2875,0	3939,7	3436,4	11961,9	4545,4	3694,8	1365,2	3058,8	616,6	1096,8	792,4	1128,3	665,1
5																		
6	-	-	-	-	3641,6	-	121,3	-	-	-	-	-	-	-	-	5348,2	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	3427,7	2845,6	-	4963,8	3567,7	4211,6	3875,3	2364,1	-	-	2419,8	3058,8	890,5	1354,7	1172,8	1101,2	1070,1
9	3781,8	5064,7	2923,1	-	5484,4	-	3168,2	2953,7	5362,8	-	3026,0	39,8	5443,7	-	1115,2	968,8	1161,5	589,9
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	98,1	-	-	-	-	-	-	242,2	-	184,2
12	-	-	-	5192,1	2527,8	-	1492,0	1698,5	3193,1	3995,1	2188,2	2776,9	4246,2	1222,5	862,7	1726,0	1204,3	600,8
13	-	2256,7	-	-	2295,5	-	1266,4	-	-	-	1206,3	3364,4	3038,9	906,2	1036,0	1036,0	-	675,9
14																		
15	-	-	-	-	130,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-19,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	1825,4	1950,0	1811,4	-	-	-	-	1390,9	580,4	-	-	-	1300,3	-	572,9	272,3	352,0	-
18	1997,2	4241,5	2580,7	-	-	-	2353,7	-	-	-	835,5	-	121,2	-	78,0	169,2	198,9	100,4
19	-	-	-	51,3	-	-	-	84,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	252,6	305,4	141,1	637,1	435,9	376,1	568,5	1334,9	372,1	737,1	350,3	729,6	365,3	244,4	319,0	360,2	647,4
21	-	2042,2	1439,2	-	1476,5	1420,4	547,3	767,5	1663,7	1595,5	694,5	5539,2	1121,9	667,6	612,8	882,8	819,8	311,0
22	1106,4	543,7	744,2	-	-	649,8	623,2	724,8	438,1	368,5	938,6	935,7	547,0	278,0	387,2	52,5	-	442,4
23																		
24	-	-	-	-	23,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2652,8	-	-	124,1	-	216,6	-
27	-	-	-	-	2146,3	-	1235,3	-	-	-	-	-	243,4	-	120,9	33,3	117,2	-

Anlage 42

(3/3)

lfd. Nr.	Termine 2005												
	7.8	13.8	19.8	10.9	1.10	8.10	29.10	12.11	3.12	7.1	21.1	16.3	28.4
1	-	-	6156,9	-	-	774,0	-	-	8542,1	664,6	-	333,9	409,1
2	612,0	80,2	1031,2	1126,0	166,3	596,3	-	-	165,1	402,7	-	394,5	309,9
3	1194,1	697,1	1255,0	1168,8	205,1	222,5	187,8	202,7	164,7	465,1	680,3	573,0	153,4
4	-	412,1	-	420,1	-	-	-	153,1	61,3	847,9	628,7	525,9	219,1
5													
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	628,2	-	939,5	230,0	-	-	-	-	-	-	-	548,1
9	-	606,7	-	-	-	-	140,2	478,0	341,7	-	-	151,9	932,8
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	510,4	13,3	-	99,3	-	-	-	-	-	-	187,9
12	-	976,5	1738,2	1065,6	187,8	229,8	-	177,9	73,1	377,8	560,6	532,6	188,7
13	-	746,4	-	1022,8	484,6	-	-	213,3	108,7	292,5	-	-	-
14													
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230,8
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	115,4	-	255,0	-	-	131,6	205,8	29,7	-	-	-	-
19	-	241,7	142,8	98,1	-	147,2	33,4	-	-	97,3	109,5	-	200,9
20	185,6	275,6	469,5	469,4	150,8	194,6	93,8	109,4	182,3	332,8	177,3	348,6	295,7
21	299,7	461,5	416,8	394,7	230,8	197,0	175,1	213,3	197,0	470,9	310,5	262,7	239,5
22	-	155,5	-	-	-	121,9	35,9	67,5	61,8	35,9	38,1	-	104,1
23													
24	-	-	-	-	-	-	-	-	387,7	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,4
26	-	-	-	-	-	-	-	-	44,6	-	-	103,6	-
27	-	63,5	-	-	-	-	-	213,3	53,5	396,8	-	-	872,4

Anlage 43: Mittlere NO_3-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch 2)

Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	n	NO_3-N [mg/l]	Konfidenzintervall [-95%]	[+95%]	Min. [mg/l]	Max. [mg/l]	Spannweite
MK1	200	unbegrünt	11	3288,5 ± 3088,0	1213,9	5363,0	20,0	8542,1	8522,1
	150		25	1955,0 ± 1934,9	1156,3	2753,7	80,2	6294,9	6214,7
	100		31	2176,2 ± 1846,3	1499,0	2853,4	153,4	5142,0	4988,6
	50		35	2468,3 ± 2906,6	1469,8	3466,7	0,0	13053,3	13053,3
	200	begrünt	3	3037,0 ± 2665,4	-3584,1	9658,2	121,3	5348,2	5226,9
	150		0	- ± -	-	-	-	-	-
	100		23	2316,2 ± 1360,3	1728,0	2904,4	230,0	4963,8	4733,8
	50		28	2194,5 ± 1783,4	1502,9	2886,0	1,2	5484,4	5483,2
MK1+Ut2	200	unbegrünt	0	- ± -	-	-	-	-	-
	150		7	190,8 ± 159,8	42,9	338,6	13,3	510,4	497,1
	100		29	1666,2 ± 1358,8	1149,4	2183,1	73,1	5192,1	5119,0
	50		20	1235,4 ± 885,9	820,8	1650,1	108,7	3364,4	3255,7
	200	begrünt	2	180,6 ± 71,0	-457,2	818,3	130,4	230,8	100,4
	150		1	0,0 ± -	-	-	0,0	0,0	-
	100		13	1299,5 ± 664,6	897,9	1701,1	272,3	2408,4	2136,1
	50		20	1023,5 ± 1174,4	473,9	1573,1	29,7	4241,5	4211,8
MK1+St2	200	unbegrünt	10	120,7 ± 64,3	74,7	166,7	33,4	241,7	208,3
	150		30	382,1 ± 251,7	288,1	476,1	93,8	1334,9	1241,0
	100		32	873,9 ± 992,4	516,1	1231,7	175,1	5539,2	5364,1
	50		32	502,1 ± 377,1	366,2	638,1	35,9	1619,6	1583,7
	200	begrünt	2	205,7 ± 257,3	-2106,1	2517,5	23,8	387,7	363,9
	150		1	13,4 ± -	-	-	13,4	13,4	-
	100		6	596,2 ± 1016,8	-470,8	1663,3	44,6	2652,8	2608,2
	50		15	843,2 ± 990,7	294,6	1391,9	33,3	3098,3	3065,0

Anlage 44: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NO_3-N–Konzentration im Sickerwasser während der Zeiträume vom 19.07.2003 – 22.07.2004 und vom 29.09.2004 - 28.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Freilandversuch)

Tukey-Test			(p)*	
			10.06.2003 - 08.06.2004	29.07.2004 - 28.04.2005
MK1	-	MK1+Ut2	0,036	0,181
MK1	-	MK1+St2	0,054	0,995
MK1+Ut2	-	MK1+St2	0,000	0,131

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NO_3-N-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 45: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NO_3-N–Fracht im Sickerwasser während der Zeiträume vom 19.07.2003 – 22.07.2004 und vom 29.09.2004 - 28.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Freilandversuch)

Tukey-Test			(p)*	
			10.06.2003 - 08.06.2004	29.07.2004 - 28.04.2005
MK1	-	MK1+Ut2	0,654	0,165
MK1	-	MK1+St2	0,399	0,096
MK1+Ut2	-	MK1+St2	0,100	0,975

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NO_3-N-Gehalten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 46: Verlauf der NO_3-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch)

(1/3)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	NO_3-N [kg/ha] Termine 2003 12.9	1.10	30.10	28.11	19.12	27.12	Termine 2004 14.1	19.1	2.2	6.2	6.3	12.3
1	MK1	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	375,2	94,5	173,5	9,8
4		50		1,4	9,7	0,1	0,0	0,0	9,0	72,2	39,4	0,0	64,4	79,3	8,2
5															
6		200	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,8	0,0	73,8	111,0	6,9
9		50		0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	11,0	95,0	47,1	0,0	46,1	0,0	3,7
10	MK1+Ut2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9	0,0	13,6	18,3	0,0
13		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	0,0	17,6	13,7	0,0
14															
15		200	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,2	28,7	1,2
18		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	32,0	0,0	40,0	0,0	7,4
19	MK1+St2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	36,2	0,0	18,6	0,0
22		50		12,3	0,0	26,1	4,4	9,6	9,4	54,8	21,0	0,0	26,2	0,0	7,2
23															
24		200	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0
27		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	0,0	12,9	50,5	0,0

Anlage 46

(2/3)

lfd. Nr.	18.3	26.3	8.4	16.4	23.4	30.4	14.5	19.5	28.5	4.6	11.6	16.6	23.6	2.7	9.7	16.7	22.7	29.7
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,6	194,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,1	0,0	85,0
2	0,0	18,7	8,0	0,0	0,0	2,9	67,0	25,0	18,1	0,0	55,4	37,9	63,6	7,5	8,9	16,1	5,4	20,0
3	0,0	27,8	17,5	0,0	0,0	27,1	827,1	46,0	28,1	0,0	96,9	75,7	49,9	7,4	29,2	46,6	21,4	45,2
4	3,3	19,0	8,1	0,0	58,2	15,7	457,9	41,3	81,4	44,9	214,4	14,4	36,0	6,3	44,5	23,5	30,1	15,7
5																		
6	0,0	0,0	0,0	0,0	168,1	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,2	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	19,1	23,1	0,0	10,7	4,8	13,6	37,0	10,1	0,0	0,0	1,4	8,5	2,0	22,1	10,3	2,2	12,9
9	2,9	6,9	6,4	0,0	6,5	0,0	42,7	5,2	13,4	0,0	9,0	0,0	19,5	0,0	18,6	4,4	9,7	9,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	0,0	7,0
12	0,0	0,0	0,0	51,6	2,2	0,0	63,4	24,3	42,5	38,5	92,8	52,4	51,4	12,2	26,2	68,8	18,9	34,4
13	0,0	3,0	0,0	0,0	2,4	0,0	14,7	0,0	0,0	0,0	15,5	8,0	16,9	1,5	1,4	3,4	0,0	5,6
14																		
15	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,9	1,3	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	1,2	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	17,1	0,5	4,8	0,0
18	11,9	24,2	8,2	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	3,1	0,0	9,2	1,0	12,8	0,5
19	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	39,0	3,7	6,4	7,1	1,3	16,9	4,5	29,3	17,2	10,3	24,4	15,9	13,5	12,3	37,2	16,9	45,7
21	0,0	0,9	1,8	0,0	35,6	3,6	54,5	16,8	13,4	20,6	46,4	164,9	19,3	10,7	11,4	27,9	23,5	16,4
22	0,5	6,2	0,4	0,0	0,0	2,4	52,0	7,3	4,7	5,3	36,6	4,5	14,9	2,2	10,2	1,2	0,0	16,0
23																		
24	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	0,0	0,0	1,9	0,0	1,5	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	4,4	0,1	3,0	0,0

Anlage 46

(3/3)

lfd. Nr.	Termine 2005												
	7.8	13.8	19.8	10.9	1.10	8.10	29.10	12.11	3.12	7.1	21.1	16.3	28.4
1	0,0	0,0	87,2	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	271,9	13,8	0,0	50,2	11,2
2	4,6	0,3	2,5	6,5	0,0	0,4	0,0	0,0	4,6	5,6	0,0	12,2	6,2
3	16,4	6,8	15,5	22,3	1,2	0,5	0,0	0,3	17,9	19,5	2,7	61,5	5,6
4	0,0	10,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	2,6	7,8	27,8	5,8	68,8	3,9
5													
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	6,0	0,0	10,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7
9	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	15,0	0,0	0,0	2,9	9,3
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	13,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8
12	0,0	17,4	40,2	44,2	0,0	1,4	0,0	1,9	5,3	23,8	5,2	69,1	5,9
13	0,0	9,8	0,0	12,6	1,6	0,0	0,0	3,2	1,5	1,2	0,0	0,0	0,0
14													
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	5,9	0,0	2,1	0,0	0,0	1,2	2,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	1,2	0,9	2,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	4,6	1,2	0,0	9,6
20	9,0	15,5	26,3	43,4	1,6	1,9	0,0	0,6	12,8	33,3	1,4	42,6	6,6
21	5,3	10,1	6,0	7,9	0,0	0,4	0,0	0,6	7,4	17,8	3,2	14,0	4,0
22	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	1,0	7,4	0,8	0,2	0,0	0,1
23													
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	3,3	0,0
27	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	5,1	8,2	0,0	0,0	13,2

Anlage 47: Mittlere NO_3-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch)

Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	n	NO_3-N [kg/ha]	Konfidenzintervall [-95%]	[+95%]	Min. [kg/ha]	Max. [kg/ha]	Spannweite [kg/ha]
MK1	200	unbegrünt	10	83,9 ± 87,2	21,6	146,3	1,0	271,9	270,9
	150		23	17,3 ± 19,9	8,7	25,9	0,3	67,0	66,7
	100		30	72,3 ± 159,8	12,6	132,0	0,3	827,1	826,8
	50		34	44,9 ± 83,5	15,8	74,0	0,1	457,9	457,8
	200	begrünt	3	82,7 ± 83,7	-125,2	290,6	0,8	168,1	167,3
	150		0	- ± -	-	-	-	-	-
	100		22	21,1 ± 28,0	8,7	33,5	0,6	111,0	110,4
	50		25	15,7 ± 21,2	7,0	24,5	0,0	95,0	95,0
MK1+Ut2	200	unbegrünt	0	- ± -	-	-	-	-	-
	150		7	4,8 ± 5,0	0,1	9,5	0,0	13,0	13,0
	100		27	31,3 ± 24,4	21,7	40,9	1,4	92,8	91,4
	50		19	7,8 ± 6,3	4,8	10,9	1,2	17,6	16,4
	200	begrünt	2	2,7 ± 1,1	-7,6	13,0	1,9	3,5	1,6
	150		1	-0,2 ± -	-	-	0,0	0,0	-
	100		12	8,2 ± 12,1	0,5	15,8	0,5	35,2	34,7
	50		19	9,5 ± 11,1	4,2	14,9	0,5	40,0	39,6
MK1+St2	200	unbegrünt	9	2,5 ± 3,0	0,2	4,8	0,2	9,6	9,4
	150		29	17,1 ± 14,2	11,7	22,5	0,6	45,7	45,0
	100		30	20,1 ± 30,5	8,7	31,5	0,4	164,9	164,4
	50		32	10,8 ± 14,3	5,7	16,0	0,1	54,8	54,7
	200	begrünt	2	8,3 ± 10,1	-82,0	98,6	1,2	15,4	14,2
	150		1	0,2 ± -	-	-	0,2	0,2	-
	100		6	4,4 ± 3,6	0,6	8,2	1,5	9,5	8,0
	50		14	8,3 ± 12,8	0,9	15,7	0,1	50,5	50,4

Anlage 48: Verlauf der mittleren NH_4-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2)

(1/6)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	NH_4-N Termine 2003												
				10.6	11.6	13.6	17.7	29.7	2.9	12.9	1.10	15.10	28.10	4.11	18.11	25.11
1	MK1	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,2	-	-	0,5	-
2		150	unbegrünt	-	0,0	0,0	-	2,9	2,5	0,8	1,5	0,6	0,4	-	0,2	-
3		100	unbegrünt	6,4	5,8	3,3	-	2,5	2,8	0,8	1,0	0,8	0,7	-	0,2	0,6
4		100	begrünt	16,8	6,0	9,9	-	-	9,7	1,1	3,1	-	-	-	1,4	-
5		50	unbegrünt	21,5	37,7	10,2	-	1,7	5,8	1,2	0,8	0,6	0,3	-	0,1	-
6	MK1+Ut2	200	unbegrünt	-	-	0,0	-	-	-	-	0,2	0,7	-	-	0,6	-
7		150	unbegrünt	-	0,0	0,9	-	1,8	2,1	0,4	0,6	0,1	0,7	-	0,1	-
8		100	unbegrünt	0,9	4,0	5,0	-	1,6	1,7	0,4	1,2	0,8	0,5	-	0,4	0,7
9		100	begrünt	8,1	16,3	2,9	-	35,3	-	1,0	-	-	-	-	-	-
10		50	unbegrünt	5,5	4,6	0,0	-	2,4	-	0,8	0,7	1,2	0,1	-	0,3	-
11	MK1+St2	200	unbegrünt	-	-	0,0	-	-	-	-	0,5	0,6	0,1	-	0,2	-
12		150	unbegrünt	-	-	0,0	-	1,7	5,9	0,8	0,6	0,9	1,3	-	0,5	0,2
13		100	unbegrünt	40,2	-	126,1	-	22,0	3,1	0,4	1,3	1,8	0,8	-	0,5	-
14		100	begrünt	28,5	-	23,4	-	30,2	-	0,3	-	-	-	-	-	-
15		50	unbegrünt	0,7	5,0	0,9	-	3,1	1,8	0,2	-	0,6	6,7	-	0,5	-

Anlage 48

(2/6)

lfd. Nr.	Termine 2004																					
	2.12	30.12	15.1	1.2	8.2	19.2	2.3	16.3	23.3	7.4	13.4	16.4	27.4	6.5	10.5	8.6	22.6	29.6	26.7	23.9	28.9	12.10
1	0,4	0,8	2,3	-	-	-	-	0,9	-	-	1,0	-	1,1	1,1	0,6	-	0,8	0,9	-	-	-	1,5
2	0,3	0,5	2,0	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-	1,0	1,1	0,4	0,3	1,3	2,4	-	-	-	2,4
3	0,3	0,7	2,9	-	0,5	0,8	1,4	0,8	1,3	-	0,7	-	1,4	0,5	0,1	0,4	0,6	0,6	0,5	-	-	0,5
4	0,9	-	3,1	-	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	-	-	3,8	0,6	-	-	0,3
5	0,3	0,6	2,0	-	1,4	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	0,8	-	3,2	0,5	3,1	-	-	0,7
6	2,0	1,6	0,8	-	-	-	-	-	-	-	0,9	-	1,3	0,8	1,0	-	0,8	-	-	-	-	-
7	0,3	0,5	1,4	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-	1,3	1,0	1,9	-	0,2	-	-	-	-
8	0,4	0,8	2,6	-	1,3	1,5	1,4	0,9	1,3	-	1,2	-	2,4	1,5	0,4	1,4	1,0	1,1	0,5	-	-	0,6
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,2	0,5	0,9	-	-	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	0,3	-	1,4	-	-	-	-	0,4
11	0,2	0,5	1,6	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	1,3	1,4	0,7	1,1	-	0,7	-	-	-	-
12	1,3	0,8	1,7	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	1,5	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-
13	0,3	0,5	1,4	-	0,2	0,9	1,4	1,1	-	-	0,6	-	1,5	1,7	0,7	0,6	-	0,6	-	-	-	0,5
14	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,2	2,6	1,0	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	1,4	-	-	0,3	-	-	-	0,4

Anlage 48

(3/6)

lfd. Nr.	Termine 2005														
	19.10	26.10	10.11	24.11	1.12	7.12	28.12	18.1	21.1	1.2	3.2	22.2	11.3	15.3	1.4
1	0,7	0,8	0,4	0,4	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,8	3,1	3,1	-
2	1,9	-	1,1	1,0	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5	4,0	4,0	4,0
3	0,4	0,4	0,5	0,3	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5	2,7	2,7	2,7
4	0,3	-	-	0,1	-	-	-	-	-	0,9	0,8	0,9	4,1	4,1	4,1
5	0,5	-	0,8	0,8	-	-	-	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	2,0	2,0	-
6	-	-	1,1	2,3	-	-	-	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	3,5	3,5	3,5
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0,2	0,3	0,2	0,2	-	-	-	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	1,8	1,8	1,8
9	-	-	-	-	-	-	-	1,1	1,1	-	-	-	2,9	2,9	2,9
10	0,0	-	-	1,7	-	-	-	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	1,0	1,0	1,0
11	0,9	0,9	0,6	0,5	-	-	-	-	-	0,7	0,7	0,7	3,2	3,2	3,2
12	-	-	1,0	1,8	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,6	2,4	2,4	3,3
13	0,3	0,5	0,7	0,4	-	-	-	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	2,1	2,1	2,0
14	1,1	-	-	0,5	-	-	-	-	-	0,7	0,7	0,7	1,5	1,3	1,5
15	2,7	-	0,8	0,7	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,7	0,7	0,6

Anlage 48

(4/6)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	Termine 2003 10.6	11.6	13.6	17.7	29.7	2.9	12.9	1.10	15.10	28.10	4.11	18.11	25.11
16	MK2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	0,9	0,9	-	-	1,3	-
17		150	unbegrünt	-	15,0	11,2	-	5,7	1,6	9,8	1,3	0,9	3,2	-	0,2	-
18		100	unbegrünt	93,3	98,1	183,8	-	4,3	3,2	0,4	0,7	0,6	1,3	-	0,5	-
19		100	begrünt	261,7	-	286,3	-	-	4,9	1,5	-	0,6	-	-	0,3	-
20		50	unbegrünt	83,6	-	0,5	-	2,3	5,3	0,6	0,6	0,6	0,1	-	0,1	-
21	MK2+Ut2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23		150	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25		100	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	4,3	3,4	1,6	-	-	0,9
27		100	begrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29		50	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	0,7	-	0,4	-	-	2,5	-
30	MK2+St2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	2,9	-	-	0,3	-
31		150	unbegrünt	-	-	-	-	2,3	1,1	0,6	0,2	2,6	0,2	-	0,2	-
32		100	unbegrünt	-	81,0	114,4	-	5,2	0,4	1,1	0,6	0,2	2,6	-	2,2	-
33		100	begrünt	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	0,7	-
34		50	unbegrünt	55,7	24,9	6,9	-	2,4	1,2	0,3	0,9	0,6	1,3	-	0,2	-
35	Ut2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36		150	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37		100	unbegrünt	-	-	10,6	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	-
38		100	begrünt	4,1	-	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-	5,2	-
39		50	unbegrünt	14,6	-	-	-	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-
40	St2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41		150	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,5	-	-	0,1
42		100	unbegrünt	-	-	-	2,7	1,9	-	0,2	-	-	-	-	0,5	-
43		100	begrünt	-	-	9,2	-	33,9	3,7	0,2	-	-	-	-	0,2	-
44		50	unbegrünt	7,4	-	1,8	1,6	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-

Anlage 48

(5/6)

lfd. Nr.	Termine 2004																					
	2.12	30.12	15.1	1.2	8.2	19.2	2.3	16.3	23.3	7.4	13.4	16.4	27.4	6.5	10.5	8.6	22.6	29.6	26.7	23.9	28.9	12.10
16	0,7	6,9	9,5	-	-	-	-	-	-	-	1,7	-	1,6	1,6	2,2	1,7	0,8	1,2	1,3	-	-	-
17	0,3	2,3	5,4	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-	1,2	1,2	0,2	-	-	4,3	-	-	-	-
18	0,2	1,8	4,4	-	0,6	1,2	12,2	1,0	1,7	-	1,1	-	3,0	0,8	0,5	0,6	1,4	0,8	0,6	-	-	1,0
19	0,6	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,9	0,5	-	-	1,7
20	0,2	1,4	1,8	-	231,0	-	-	-	-	-	0,5	-	-	1,9	1,1	-	-	0,2	-	-	-	0,6
21	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	1,4	0,6	-	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	0,6	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0,4	0,3	1,4	-	1,3	1,7	1,8	1,7	-	-	0,8	-	-	-	0,6	1,3	0,6	2,0	2,2	-	-	0,8
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	0,3	0,2	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5
30	0,4	1,7	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	0,5	1,0	1,0	-	1,3	0,5	-	-	-
31	0,6	1,5	5,7	-	-	-	-	-	-	-	1,3	-	1,2	-	4,1	-	0,2	0,5	0,4	-	-	-
32	1,8	7,5	17,8	-	7,4	6,9	8,4	3,2	0,2	-	3,1	-	2,7	2,8	6,8	3,0	1,5	5,6	1,0	-	-	3,3
33	0,2	-	0,6	-	0,2	0,2	-	0,4	-	-	-	-	-	1,1	0,4	-	-	-	-	-	-	-
34	0,3	1,1	1,6	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	1,8	-	-	0,2	-	-	-	0,2
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	3,4	-	-	-	-	-	-	-	3,4	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-
37	1,3	0,5	0,5	-	0,3	0,5	0,4	0,5	-	-	-	-	-	1,4	0,1	1,2	-	-	0,8	-	-	0,4
38	-	-	-	-	0,4	0,1	0,3	0,5	-	-	-	-	-	0,3	0,2	0,4	-	0,2	-	-	-	-
39	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,2	-	-	0,7	-	-	-	0,0
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	0,0	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-
42	0,3	0,3	0,7	-	0,1	0,3	0,4	0,3	-	-	0,4	-	-	0,2	0,1	0,2	-	0,3	0,7	-	-	1,0
43	0,0	0,2	0,3	-	0,1	0,4	0,3	0,3	-	-	0,2	-	-	0,2	0,1	0,2	-	0,1	0,5	-	-	-
44	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	0,2	0,3	-	-	-

Anlage 48

(6/6)

lfd. Nr.	Termine 2005														
	19.10	26.10	10.11	24.11	1.12	7.12	28.12	18.1	21.1	1.2	3.2	22.2	11.3	15.3	1.4
16	1,2	0,3	1,8	0,4	-	-	-	-	-	1,7	1,7	1,7	3,1	3,1	4,4
17	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,6	4,1	4,1	3,5
18	0,3	0,2	0,5	0,3	-	-	-	0,2	0,2	138,3	138,3	138,3	3,7	3,7	3,9
19	0,7	-	0,6	0,6	-	-	-	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	4,6	4,6	3,6
20	0,5	-	0,2	0,7	-	-	-	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	1,9	1,9	0,8
21	-	-	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7	2,7	2,7
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3	-	-
25	0,2	1,7	0,9	0,7	-	-	-	0,4	0,4	0,9	0,9	0,9	3,6	3,6	3,6
27	-	-	-	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	0,7	-
29	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,3	0,3	1,2	1,2	-
30	-	-	1,3	0,7	-	-	-	-	-	1,1	1,1	1,1	3,4	3,4	-
31	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,3	1,0	1,0	0,9	2,8	2,8	2,8
32	3,1	0,3	1,3	2,5	-	-	-	0,1	0,1	2,9	2,9	2,9	4,9	4,9	5,7
33	3,7	-	0,4	1,8	-	-	-	0,1	0,1	0,7	0,7	0,7	2,3	2,3	2,2
34	0,8	-	-	0,7	-	-	-	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	1,5	1,5	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	-	-	-
37	0,1	0,4	0,4	0,0	-	-	-	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
38	-	-	0,6	0,0	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5
39	-	-	0,0	0,2	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	0,3	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	-
42	0,1	-	0,1	0,0	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
43	-	-	12,4	0,0	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	-	-	-
44	0,1	0,1	0,0	0,0	-	-	-	0,1	0,1	-	-	-	0,1	0,1	0,1

Anlage 49: Mittlere NH_4-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Gefäßversuch 2)

Variante	Mächtigkeit	Begrünung	Stich-proben	NH_4-N	Konfidenzintervall		Min.	Max.	Spann-weite
	[cm]		[Anzahl]	[mg/l]	[-95%]	[+95%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
MK1	200	unbegrünt	23	1,0 ± 0,8	0,7	1,3	0,2	3,1	2,9
	150	unbegrünt	29	1,3 ± 1,2	0,9	1,8	0,0	4,0	4,0
	100	unbegrünt	38	1,3 ± 1,5	0,8	1,8	0,1	6,4	6,3
	100	begrünt	22	3,6 ± 4,1	1,8	5,5	0,1	16,8	16,7
	50	unbegrünt	30	3,4 ± 7,7	0,5	6,2	0,1	37,7	37,5
MK1+Ut2	200	unbegrünt	22	1,2 ± 1,1	0,8	1,7	0,0	3,5	3,5
	150	unbegrünt	17	0,8 ± 0,7	0,5	1,2	0,0	2,1	2,1
	100	unbegrünt	40	1,1 ± 1,0	0,8	1,5	0,2	5,0	4,8
	100	begrünt	11	6,9 ± 10,5	-0,1	13,9	1,0	35,3	34,4
	50	unbegrünt	26	1,0 ± 1,3	0,4	1,5	0,0	5,5	5,5
MK1+St2	200	unbegrünt	24	1,0 ± 0,9	0,6	1,4	0,0	3,2	3,2
	150	unbegrünt	24	1,4 ± 1,2	0,8	1,9	0,0	5,9	5,9
	100	unbegrünt	35	6,3 ± 22,1	-1,3	13,9	0,2	126,1	125,8
	100	begrünt	14	6,6 ± 11,3	0,0	13,1	0,3	30,2	29,9
	50	unbegrünt	25	1,3 ± 1,6	0,7	2,0	0,2	6,7	6,5
MK2	200	unbegrünt	24	2,1 ± 2,1	1,3	3,0	0,3	9,5	9,1
	150	unbegrünt	24	3,3 ± 3,8	1,7	4,9	0,2	15,0	14,8
	100	unbegrünt	39	21,7 ± 49,0	5,8	37,6	0,2	183,8	183,6
	100	begrünt	22	26,2 ± 80,3	-9,4	61,8	0,3	286,3	286,0
	50	unbegrünt	29	11,7 ± 44,9	-5,4	28,8	0,1	231,0	230,9
MK2+Ut2	200	unbegrünt	8	2,0 ± 0,9	1,2	2,8	0,6	2,9	2,4
	150	unbegrünt	3	1,4 ± 0,9	-0,7	3,5	0,6	2,3	1,7
	100	unbegrünt	30	1,5 ± 1,1	1,1	1,9	0,2	4,3	4,1
	100	begrünt	3	1,5 ± 1,4	-2,0	5,1	0,7	3,2	2,5
	50	unbegrünt	13	0,8 ± 0,7	0,4	1,2	0,2	2,5	2,3
MK2+St2	200	unbegrünt	18	1,4 ± 1,0	0,9	1,9	0,3	3,4	3,1
	150	unbegrünt	24	1,4 ± 1,4	0,8	2,0	0,2	5,7	5,5
	100	unbegrünt	38	8,5 ± 21,9	1,3	15,7	0,1	114,4	114,3
	100	begrünt	20	1,0 ± 1,0	0,5	1,4	0,1	3,7	3,6
	50	unbegrünt	26	4,1 ± 11,6	-0,6	8,8	0,2	55,7	55,5
Ut2	200	unbegrünt	0						
	150	unbegrünt	6	1,3 ± 1,7	-0,5	3,0	0,1	3,4	3,3
	100	unbegrünt	26	0,9 ± 2,0	0,1	1,7	0,0	10,6	10,6
	100	begrünt	19	1,4 ± 3,0	0,0	2,9	0,0	12,6	12,6
	50	unbegrünt	17	2,2 ± 6,1	-0,9	5,4	0,0	21,5	21,5
St2	200	unbegrünt	0						
	150	unbegrünt	16	0,2 ± 0,1	0,1	0,2	0,0	0,5	0,5
	100	unbegrünt	27	0,4 ± 0,6	0,2	0,7	0,0	2,7	2,7
	100	begrünt	23	2,7 ± 7,5	-0,5	6,0	0,0	33,9	33,9
	50	unbegrünt	17	0,8 ± 1,8	-0,1	1,7	0,0	7,4	7,4

Anlage 50: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser während der Zeiträume vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und vom 22.06.2004 - 26.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2)

Tukey-Test		(p)*	
		04.06.2003 - 08.06.2004	22.06.2004 - 26.04.2005
MK1	MK1+Ut2	1,000	0,980
MK1	MK1+St2	0,889	1,000
MK1	MK2	0,178	0,989
MK1	MK2+Ut2	1,000	0,912
MK1	MK2+St2	0,496	**0,003**
MK1+Ut2	MK1+St2	0,888	0,999
MK1+Ut2	MK2	0,187	0,769
MK1+Ut2	MK2+Ut2	1,000	0,499
MK1+Ut2	MK2+St2	0,503	**0,000**
MK1+St2	MK2	0,839	0,940
MK1+St2	MK2+Ut2	0,941	0,774
MK1+St2	MK2+St2	0,989	**0,001**
MK2	MK2+Ut2	0,358	0,999
MK2	MK2+St2	0,992	**0,024**
MK2+Ut2	MK2+St2	0,677	0,051

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NH_4-N - Konzentrationen der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 51: Verlauf der mittleren NH_4-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Gefäßversuch 2)

(1/6)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	NH_4-N [mg/l] Termine 2003												
				10.6	11.6	13.6	17.7	29.7	2.9	12.9	1.10	15.10	28.10	4.11	18.11	25.11
1	MK1	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
3		100	unbegrünt	0,8	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
4		100	begrünt	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5		50	unbegrünt	3,3	0,5	0,0	0,6	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	MK1+Ut2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8		100	unbegrünt	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9		100	begrünt	0,6	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10		50	unbegrünt	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	MK1+St2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
13		100	unbegrünt	0,5	0,0	0,1	0,1	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14		100	begrünt	0,5	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15		50	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 51

(2/6)

lfd. Nr.	Termine 2004																				
	2.12	30.12	15.1	1.2	8.2	19.2	2.3	16.3	23.3	7.4	13.4	16.4	27.4	6.5	10.5	8.6	22.6	29.6	26.7	23.9	28.9	12.10
1	0,1	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,2	0,3	0,4	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,1	0,4	0,2	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,2	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,1	0,2	0,3	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 51

(3/6)

lfd. Nr.	Termine 2005														
	19.10	26.10	10.11	24.11	1.12	7.12	28.12	18.1	21.1	1.2	3.2	22.2	11.3	15.3	1.4
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,7	0,3	0,2
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,2
5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
10	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
15	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0

Anlage 51

(4/6)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	Termine 2003 10.6	11.6	13.6	17.7	29.7	2.9	12.9	1.10	15.10	28.10	4.11	18.11	25.11
16	MK2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
17		150	unbegrünt	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
18		100	unbegrünt	1,9	0,8	0,2	0,7	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
19		100	begrünt	13,1	0,0	0,1	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20		50	unbegrünt	9,6	0,0	0,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	MK2+Ut2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25		100	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27		100	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29		50	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	MK2+St2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32		100	unbegrünt	0,0	0,7	0,2	3,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
33		100	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34		50	unbegrünt	6,7	0,4	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	Ut2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
37		100	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
38		100	begrünt	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
39		50	unbegrünt	0,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	St2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41		150	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42		100	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
43		100	begrünt	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44		50	unbegrünt	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 51

(5/6)

lfd. Nr.	Termine 2004																					
	2.12	30.12	15.1	1.2	8.2	19.2	2.3	16.3	23.3	7.4	13.4	16.4	27.4	6.5	10.5	8.6	22.6	29.6	26.7	23.9	28.9	12.10
16	0,2	1,8	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,1	1,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,1	0,8	0,5	0,0	0,2	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,4	0,1	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	!	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,1	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,1	0,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	0,5	3,8	1,4	0,0	2,3	0,3	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,5
33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	0,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
37	0,6	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
39	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
43	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 51

(6/6)

lfd. Nr.	Termine 2005														
	19.10	26.10	10.11	24.11	1.12	7.12	28.12	18.1	21.1	1.2	3.2	22.2	11.3	15.3	1.4
16	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,3	0,3	0,4	0,2
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,8	21,9	23,2	0,5	0,6	0,1
19	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,3
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
32	!	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	!	0,0	0,8	0,2	0,6	0,7	0,3	0,1
33	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0
34	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
37	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
39	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
43	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 52: Mittlere NH_4-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Gefäßversuch 2)

Variante	Mächtigkeit	Begrünung	Stich-proben	NH_4-N	Konfidenzintervall		Min.	Max.	Spann-weite
	[cm]		[Anzahl]	[kg/ha]	[-95%]	[+95%]	[kg/ha]	[kg/ha]	
MK1	200	unbegrünt	23	0,1 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,4	0,4
	150	unbegrünt	29	0,1 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3
	100	unbegrünt	41	0,1 ± 0,2	0,1	0,2	0,0	0,8	0,8
	100	begrünt	23	0,1 ± 0,1	0,0	0,2	0,0	0,6	0,6
	50	unbegrünt	32	0,2 ± 0,6	0,0	0,4	0,0	3,3	3,3
MK1+Ut2	200	unbegrünt	21	0,1 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3
	150	unbegrünt	16	0,0 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3
	100	unbegrünt	40	0,1 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,4	0,4
	100	begrünt	9	0,1 ± 0,2	0,0	0,3	0,0	0,6	0,6
	50	unbegrünt	26	0,0 ± 0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2
MK1+St2	200	unbegrünt	23	0,0 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2
	150	unbegrünt	23	0,1 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,4	0,3
	100	unbegrünt	36	0,1 ± 0,1	0,1	0,1	0,0	0,5	0,5
	100	begrünt	14	0,1 ± 0,1	0,0	0,2	0,0	0,5	0,5
	50	unbegrünt	26	0,1 ± 0,3	0,0	0,2	0,0	1,4	1,4
MK2	200	unbegrünt	24	0,2 ± 0,4	0,0	0,4	0,0	1,8	1,8
	150	unbegrünt	24	0,2 ± 0,4	0,0	0,4	0,0	1,4	1,4
	100	unbegrünt	42	2,4 ± 8,5	-0,3	5,0	0,0	46,8	46,8
	100	begrünt	23	0,7 ± 2,7	-0,5	1,9	0,0	13,1	13,1
	50	unbegrünt	30	0,9 ± 3,1	-0,3	2,0	0,0	14,3	14,3
MK2+Ut2	200	unbegrünt	8	0,0 ± 0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
	150	unbegrünt	3	0,1 ± 0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
	100	unbegrünt	31	3,3 ± 17,9	-3,3	9,9	0,0	100,0	100,0
	100	begrünt	3	0,0 ± 0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
	50	unbegrünt	13	0,0 ± 0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
MK2+St2	200	unbegrünt	18	0,1 ± 0,2	0,0	0,2	0,0	0,7	0,7
	150	unbegrünt	23	0,1 ± 0,2	0,0	0,2	0,0	0,8	0,8
	100	unbegrünt	40	5,5 ± 22,0	-1,6	12,5	0,0	1,0	1,0
	100	begrünt	20	0,0 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3
	50	unbegrünt	28	0,3 ± 1,2	-0,2	0,8	0,0	6,7	6,7
Ut2	200	unbegrünt	0						
	150	unbegrünt	5	0,0 ± 0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
	100	unbegrünt	26	0,1 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,6	0,6
	100	begrünt	19	0,0 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3
	50	unbegrünt	17	0,1 ± 0,2	0,0	0,2	0,0	0,9	0,9
St2	200	unbegrünt	0						
	150	unbegrünt	15	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	100	unbegrünt	27	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	100	begrünt	23	0,1 ± 0,2	0,0	0,2	0,0	0,8	0,8
	50	unbegrünt	17	0,0 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3

Anlage 53: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NH_4-N–Frachten im Sickerwasser während der Zeiträume vom 04.06.2003 – 08.06.2004 und vom 22.06.2004 - 26.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Gefäßversuch 2)

Tukey-Test		(p)*	
		04.06.2003 - 08.06.2004	22.06.2004 - 26.04.2005
MK1	- MK1+Ut2	1,000	1,000
MK1	- MK1+St2	1,000	1,000
MK1	- MK2	0,088	0,870
MK1	- MK2+Ut2	1,000	0,999
MK1	- MK2+St2	1,000	0,008
MK1+Ut2	- MK1+St2	1,000	1,000
MK1+Ut2	- MK2	0,071	0,715
MK1+Ut2	- MK2+Ut2	1,000	1,000
MK1+Ut2	- MK2+St2	1,000	0,003
MK1+St2	- MK2	0,104	0,818
MK1+St2	- MK2+Ut2	1,000	1,000
MK1+St2	- MK2+St2	1,000	0,007
MK2	- MK2+Ut2	0,079	0,782
MK2	- MK2+St2	0,121	0,204
MK2+Ut2	- MK2+St2	1,000	0,016

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NH_4-N - Frachten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 54: Verlauf der NH_4-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch)

(1/3)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	NH_4-N [mg/l] Termine 2003 12.9	1.10	30.10	28.11	19.12	Termine 2004 27.12	14.1	19.1	2.2	6.2	6.3	12.3
1	MK1	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3		100		-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,4	0,3	0,4
4		50		0,6	-	1,4	-	-	0,4	0,7	0,7	1,0	0,4	0,9	0,3
5															
6		200	begrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8		100		-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,6	0,4	0,2	1,0
9		50		2,5	-	1,7	-	-	8,9	1,4	0,8	0,8	0,4	-	0,8
10	MK1+Ut2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12		100		-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,2	0,3	1,4	-
13		50		-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,3	0,4	1,8	-
14															
15		200	begrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17		100		-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,2	0,4	0,6
18		50		-	-	-	-	-	0,1	-	0,5	0,5	0,7	-	1,4
19	MK1+St2	200	unbegrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21		100		-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,1	-	0,1	-
22		50		0,1	-	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,2	-	1,1
23															
24		200	begrünt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25		150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26		100		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-
27		50		-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,2	1,1	0,1	-

Anlage 54

(2/3)

lfd. Nr.	18.3	26.3	8.4	16.4	23.4	30.4	14.5	19.5	28.5	4.6	11.6	16.6	23.6	2.7	9.7	16.7	22.7	29.7
1	-	-	-	14,1	-	-	50,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	30,5	-	146,4
2	-	0,6	0,1	-	-	0,4	4,6	3,3	-	-	1,6	0,2	0,1	0,5	0,6	0,3	0,3	0,2
3	-	0,3	0,0	-	-	0,0	0,1	0,3	-	-	0,4	-	0,5	0,3	1,0	0,3	0,5	0,1
4	0,2	0,2	0,4	-	0,5	0,3	2,5	1,4	-	-	0,5	1,1	0,3	1,2	0,3	0,3	0,6	0,1
5																		
6	-	-	-	-	39,5	-	135,5	-	-	-	-	-	-	-	-	34,9	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	0,2	0,5	-	1,0	0,6	0,6	0,2	-	-	-	2,4	0,4	0,3	0,7	0,5	0,2	0,1
9	0,8	0,5	0,7	-	0,8	-	0,9	0,4	-	-	0,4	0,4	0,6	-	0,4	0,7	0,9	1,2
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-
12	-	-	-	0,9	0,3	-	0,2	0,1	-	-	0,4	-	0,2	0,6	0,2	0,2	0,2	0,0
13	-	0,1	-	-	0,4	-	0,4	-	-	-	0,4	-	0,3	0,2	0,3	0,5	-	-
14																		
15	-	-	-	-	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0,5	0,2	0,3	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	0,3	-	3,4	0,3	0,4	-
18	0,9	0,2	0,5	-	-	-	0,1	-	-	-	0,2	-	2,3	-	1,4	8,4	0,9	9,6
19	-	-	-	1,2	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	0,6	2,0	0,7	0,8	0,3	0,2	0,1	-	-	0,1	-	0,5	0,3	0,5	0,2	1,7	0,1
21	-	0,8	0,2	-	0,4	0,2	0,2	0,2	-	-	0,4	-	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1
22	5,3	0,1	0,3	-	-	4,5	0,2	1,0	-	-	0,1	0,1	0,4	0,2	0,4	0,0	-	0,1
23																		
24	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	0,1	-	0,3	-
27	-	-	-	-	3,5	-	0,3	-	-	-	-	-	4,1	-	0,4	0,8	0,4	-

Anlage 54

(3/3)

lfd. Nr.	Termine 2005												
	7.8	13.8	19.8	10.9	1.10	8.10	29.10	12.11	3.12	7.1	21.1	16.3	28.4
1	-	-	238,3	-	-	13,5	-	-	228,6	16,6	-	7,3	9,7
2	0,5	1,4	0,6	0,6	0,7	0,2	-	-	0,3	0,6	-	2,5	6,0
3	0,7	6,0	0,6	2,8	0,3	0,7	1,9	3,3	0,1	0,5	0,6	0,4	1,4
4	-	0,5	-	11,5	-	-	-	2,1	0,8	0,3	0,6	0,2	0,2
5													
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	5,7
9	-	4,7	-	-	-	-	0,2	-	0,7	-	-	2,9	0,6
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	0,1	0,2	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	0,4
12	-	-	0,3	0,4	0,1	0,3	-	0,3	0,5	0,7	0,8	0,6	0,7
13	-	0,6	-	0,1	0,9	-	-	0,3	0,3	0,3	-	-	-
14													
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,0
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	2,5	-	5,8	-	-	2,0	0,9	1,5	-	-	-	-
19	-	2,6	4,9	6,2	4,3	0,6	0,3	-	-	0,6	0,8	-	0,4
20	0,1	4,3	0,2	0,2	0,1	0,8	1,0	0,2	0,6	0,6	0,2	2,1	3,8
21	1,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,2	0,0	1,2	0,3	0,2	0,2
22	-	3,3	-	-	-	0,2	0,8	1,2	0,2	0,3	0,5	-	2,5
23													
24	-	-	-	-	-	-	-	-	11,9	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
26	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	-	-	1,1	-
27	-	3,5	-	-	-	-	-	1,3	0,2	12,1	-	-	0,6

Anlage 55: Mittlere NH_4-N-Konzentration im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch)

Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	n	NH_4-N [mg/l]	Konfidenzint. [-95%]	Konfidenzint. [+95%]	Min. [mg/l]	Max. [mg/l]	Spannweite
MK1	200	unbegrünt	11	68,7 ± 91,0	7,5	129,8	0,3	238,3	238,0
	150		23	1,1 ± 1,5	0,5	1,8	0,1	6,0	5,9
	100		29	0,8 ± 1,3	0,4	1,3	0,0	6,0	5,9
	50		32	1,0 ± 2,0	0,3	1,7	0,1	11,5	11,4
	200	begrünt	3	69,9 ± 56,8	-71,2	211,1	34,9	135,5	100,6
	150		0	- ± -	-	-	-	-	-
	100		21	0,8 ± 2,2	0,4	1,2	0,1	5,7	5,6
	50		26	1,4 ± 1,8	0,6	2,1	0,2	8,9	8,6
MK1+Ut2	200	unbegrünt	0	- ± -	-	-	-	-	-
	150		6	0,6 ± 0,6	-0,1	1,2	0,1	1,5	1,4
	100		25	0,4 ± 0,3	0,3	0,5	0,0	1,4	1,4
	50		18	0,4 ± 0,4	0,3	0,6	0,1	1,8	1,7
	200	begrünt	2	10,6 ± 9,0	-70,5	91,8	4,2	17,0	12,8
	150		1	0,3 ± -	-	-	0,3	0,3	-
	100		12	1,5 ± 0,9	0,1	1,2	0,2	3,4	3,2
	50		20	2,0 ± 2,7	0,7	3,3	0,1	9,6	9,5
MK1+St2	200	unbegrünt	11	2,0 ± 2,2	0,6	3,5	0,3	6,2	6,0
	150		27	0,8 ± 1,1	0,4	1,3	0,1	4,3	4,3
	100		29	0,3 ± 0,3	0,2	0,4	0,0	1,2	1,2
	50		30	0,8 ± 1,3	0,3	1,3	0,0	5,3	5,2
	200	begrünt	2	6,5 ± 7,6	-62,2	75,1	1,1	11,9	10,8
	150		2	0,3 ± 0,3	-2,4	3,1	0,1	0,6	0,4
	100		6	0,7 ± 0,6	0,0	1,3	0,1	1,7	1,6
	50		15	1,9 ± 3,1	0,2	3,7	0,1	12,1	12,1

Anlage 56: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NH_4-N–Konzentration im Sickerwasser während der Zeiträume vom 19.07.2003 – 22.07.2004 und vom 29.07.2004 – 28.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Freilandversuch)

Tukey-Test		(p)*	
		19.07.2003 - 22.07.2004	29.07.2004 - 28.04.2005
MK1	MK1+Ut2	0,830	0,064
MK1	MK1+St2	0,407	**0,031**
MK1+Ut2	MK1+St2	0,165	0,986

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NH_4-N - Konzentrationen der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 57: Verlauf der NH_4-N-Fracht im Sickerwasser der Varianten bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch)

(1/3)

lfd. Nr.	Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	NH_4-N [kg/ha] Termine 2003 12.9	1.10	30.10	28.11	19.12	27.12	Termine 2004 14.1	19.1	2.2	6.2	6.3	12.3
1	MK1	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
4		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5															
6		200	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	MK1+Ut2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14															
15		200	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	MK1+St2	200	unbegrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23															
24		200	begrünt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25		150		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26		100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27		50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 57

(2/3)

lfd. Nr.	18.3	26.3	8.4	16.4	23.4	30.4	14.5	19.5	28.5	4.6	11.6	16.6	23.6	2.7	9.7	16.7	22.7	29.7
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	3,6
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5																		
6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14																		
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23																		
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anlage 57

(3/3)

lfd. Nr.	Termine 2005												
	7.8	13.8	19.8	10.9	1.10	8.10	29.10	12.11	3.12	7.1	21.1	16.3	28.4
1	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,3	0,0	1,1	0,2
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
5													
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14													
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23													
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0

Anlage 58: Mittlere NH_4-N–Fracht im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch)

Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	n	NH_4-N [kg/ha]	Konfidenzint. [-95%]	[+95%]	Min. [kg/ha]	Max. [kg/ha]	Spannweite
MK1	200	unbegrünt	10	1,7 ± 2,4	0,0	3,4	0,0	7,3	7,3
	150		22	0,0 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2
	100		28	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	50		31	0,0 ± 0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
	200	begrünt	3	1,1 ± 0,7	-0,6	2,7	0,5	1,8	1,3
	150		0	- ± -	-	-	-	-	-
	100		19	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	50		23	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
				- - -	-	-	-	-	-
MK1+Ut2	200	unbegrünt	0	- ± -	-	-	-	-	-
	150		6	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	100		23	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	50		17	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	200	begrünt	2	0,2 ± 0,1	-1,1	1,4	0,1	0,3	0,2
	150		1	0,0 ± -	-	-	0,0	0,0	-
	100		11	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	50		19	0,0 ± 0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
				- - -	-	-	-	-	-
MK1+St2	200	unbegrünt	10	0,0 ± 0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
	150		26	0,0 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2
	100		27	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	50		30	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	200	begrünt	2	0,3 ± 0,3	-2,4	2,9	0,1	0,5	0,4
	150		2	0,0 ± 0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
	100		6	0,0 ± 0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	50		14	0,0 ± 0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3

Anlage 59: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (Tukey-Test) der durchschnittlichen NH_4-N–Fracht im Sickerwasser während der Zeiträume vom 19.07.2003 – 22.07.2004 und vom 29.07.2004 – 28.04.2005 im Vergleich der unbegrünten, 100cm mächtigen Varianten (Freilandversuch)

Tukey-Test		(p)*	
		19.07.2003 - 22.07.2004	29.07.2004 - 28.04.2005
MK1	MK1+Ut2	0,829	0,998
MK1	MK1+St2	0,489	0,369
MK1+Ut2	MK1+St2	0,238	0,314

*einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den NH_4-N - Frachten der Varianten (signifikante Werte sind fettgedruckt)

Anlage 60: Erträge [kg/ha TM] und Stickstoffentzug [kg/ha] des Welschen Weidelgrases (Gefäßversuch 2)

Termin	Variante	TM kg/ha	N_t %TM	N_t kg/ha
12.09.03	MK1	7241 ± 1456	3,3 ± 0,6	245 ± 85
	MK1+Ut2	5600 ± 998	3,5 ± 0,6	192 ± 4
	MK1+St2	5625 ± 726	3,8 ± 0,5	209 ± 17
	MK2	7068 ± 1034	3,0 ± 0,0	212 ± 31
	MK2+Ut2	7097 ± 286	4,0 ± 0,0	284 ± 11
	MK2+St2	6768 ± 345	3,5 ± 0,6	236 ± 31
	Ut2	869 ± -	1,0 ± -	9 ± -
	St2	636 ± -	2,0 ± -	13 ± -
17.06.04	MK1	11501 ± 4284	3,3 ± 0,0	374 ± 139
	MK1+Ut2	9146 ± 2214	3,5 ± 0,0	320 ± 77
	MK1+St2	8663 ± 1662	3,8 ± 0,0	325 ± 62
	MK2	13263 ± 2880	3,0 ± 0,0	398 ± 86
	MK2+Ut2	9616 ± 1986	4,0 ± 0,0	385 ± 79
	MK2+St2	13612 ± 3250	3,5 ± 0,0	433 ± 89
03.08.04	MK1	1012 ± 830	3,3 ± 0,0	33 ± 27
	MK1+Ut2	3734 ± 4254	3,5 ± 0,0	131 ± 149
	MK1+St2	2087 ± 572	3,8 ± 0,0	78 ± 21
	MK2	859 ± 630	3,0 ± 0,0	26 ± 19
	MK2+Ut2	3255 ± 1441	4,0 ± 0,0	130 ± 58
	MK2+St2	1471 ± 369	3,5 ± 0,0	51 ± 13

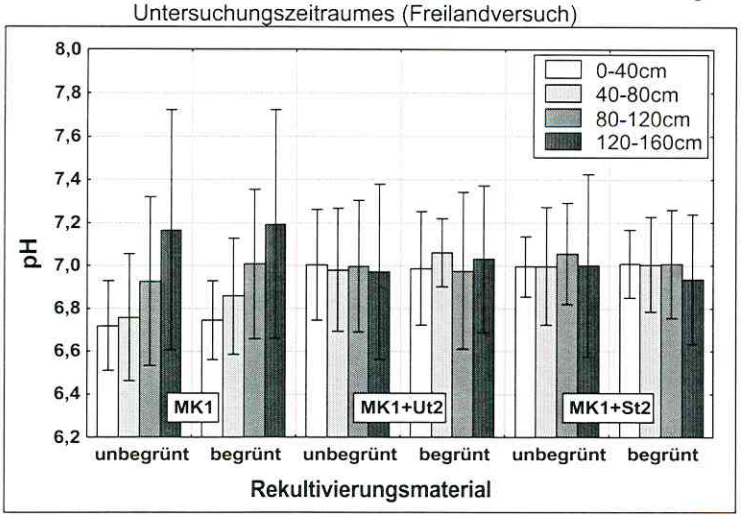
Anlage 61: Erträge [kg/ha TM] und Stickstoffentzug [kg/ha] des Welschen Weidelgrases bei unterschiedlicher Mächtigkeit (Freilandversuch)

Termin	Variante	Mächtigkeit	TM kg/ha	N_t %TM	N_t kg/ha
07.05.04	MK1	200	4401	3,8	169
		150	3686	4,6	171
		100	6183	4,0	246
		50	5403	3,9	213
	MK1+Ut2	200	5311	4,3	229
		150	6682	4,3	287
		100	6499	3,8	248
		50	6285	4,2	266
	MK1+St2	200	4585	4,5	207
		150	8020	3,8	306
		100	6719	4,8	321
		50	8274	4,2	349

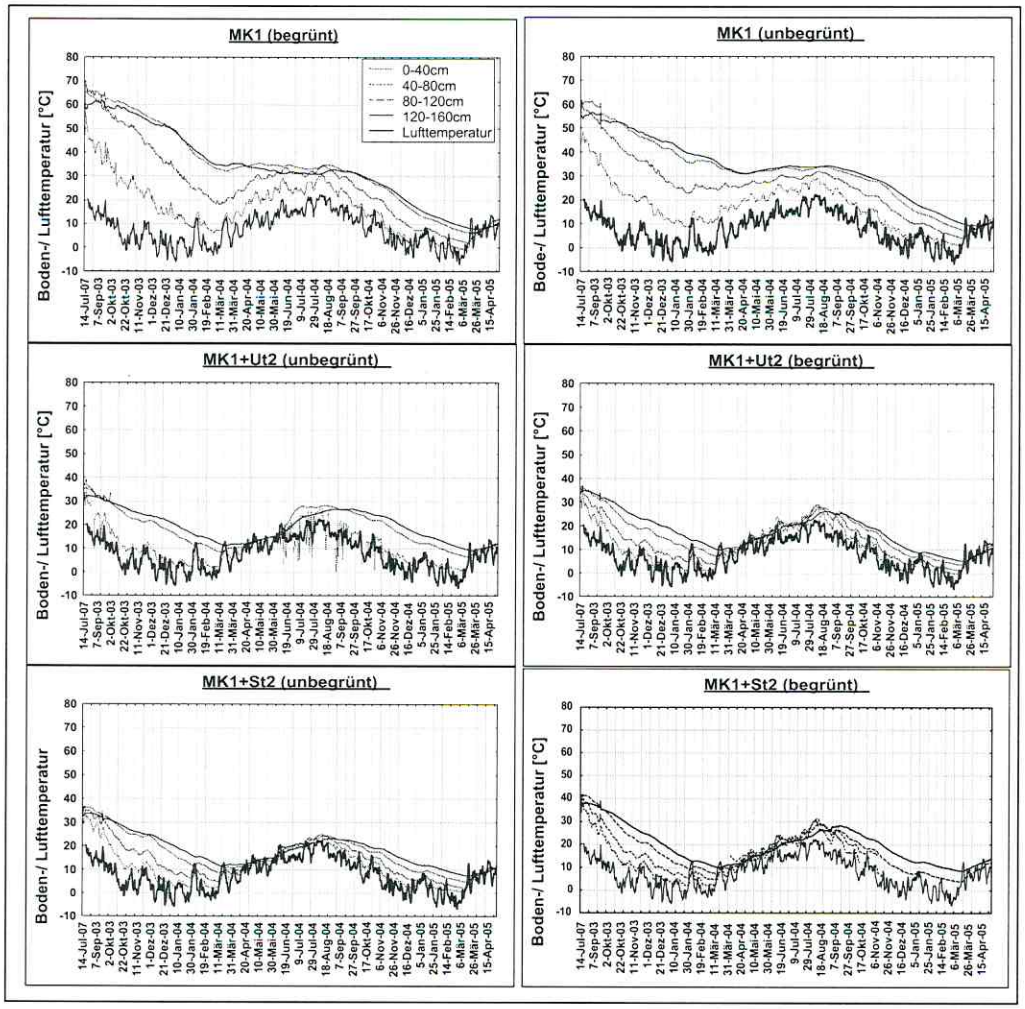
Anlage 62: Mittlerer pH im Sickerwasser der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei unterschiedlicher Mächtigkeit sowie deskriptive statistische Angaben (Freilandversuch)

Variante	Mächtigkeit [cm]	Begrünung	n	pH	Konfidenzintervall [-95%]	Konfidenzintervall [+95%]	Min.	Max.	Spannweite
MK1	200	unbegrünt	10	6,4 ± 0,6	6,0	6,8	5,0	7,1	2,1
	150		24	7,0 ± 0,4	6,9	7,2	6,3	7,8	1,5
	100		29	7,1 ± 0,6	6,9	7,4	6,4	8,4	2,0
	50		31	7,0 ± 0,4	6,9	7,2	6,5	7,9	1,4
	200	begrünt	3	6,5 ± 0,3	5,9	7,2	6,3	6,8	0,5
	150		0	- ± -	-	-	-	-	-
	100		22	7,4 ± 0,4	7,2	7,6	6,6	8,1	1,5
	50		24	7,2 ± 0,4	7,1	7,4	6,5	8,4	1,8
MK1+Ut2	200	unbegrünt	0	- ± -	-	-	-	-	-
	150		8	7,6 ± 0,6	7,1	8,1	6,9	8,4	1,5
	100		27	7,1 ± 0,4	6,9	7,2	6,6	8,0	1,4
	50		19	7,4 ± 0,5	7,2	7,7	6,7	8,1	1,4
	200	begrünt	2	7,9 ± 0,7	1,7	14,1	7,4	8,4	1,0
	150		1	8,4 ± -	-	-	8,4	8,4	-
	100		12	7,6 ± 0,5	7,3	7,9	6,6	8,4	1,8
	50		19	7,8 ± 0,7	7,5	8,2	7,1	9,4	2,2
MK1+St2	200	unbegrünt	10	7,7 ± 0,4	7,4	8,0	7,2	8,3	1,1
	150		29	7,4 ± 0,4	7,3	7,6	6,8	8,2	1,4
	100		29	7,3 ± 0,5	7,1	7,5	6,5	8,6	2,1
	50		30	7,7 ± 0,4	7,5	7,8	6,8	8,3	1,5
	200	begrünt	2	7,2 ± 0,4	3,5	10,9	6,9	7,5	0,6
	150		2	7,6 ± 0,6	1,9	13,3	7,2	8,1	0,9
	100		6	7,2 ± 0,3	6,9	7,5	6,8	7,5	0,8
	50		14	7,4 ± 0,5	7,1	7,7	6,8	8,6	1,7

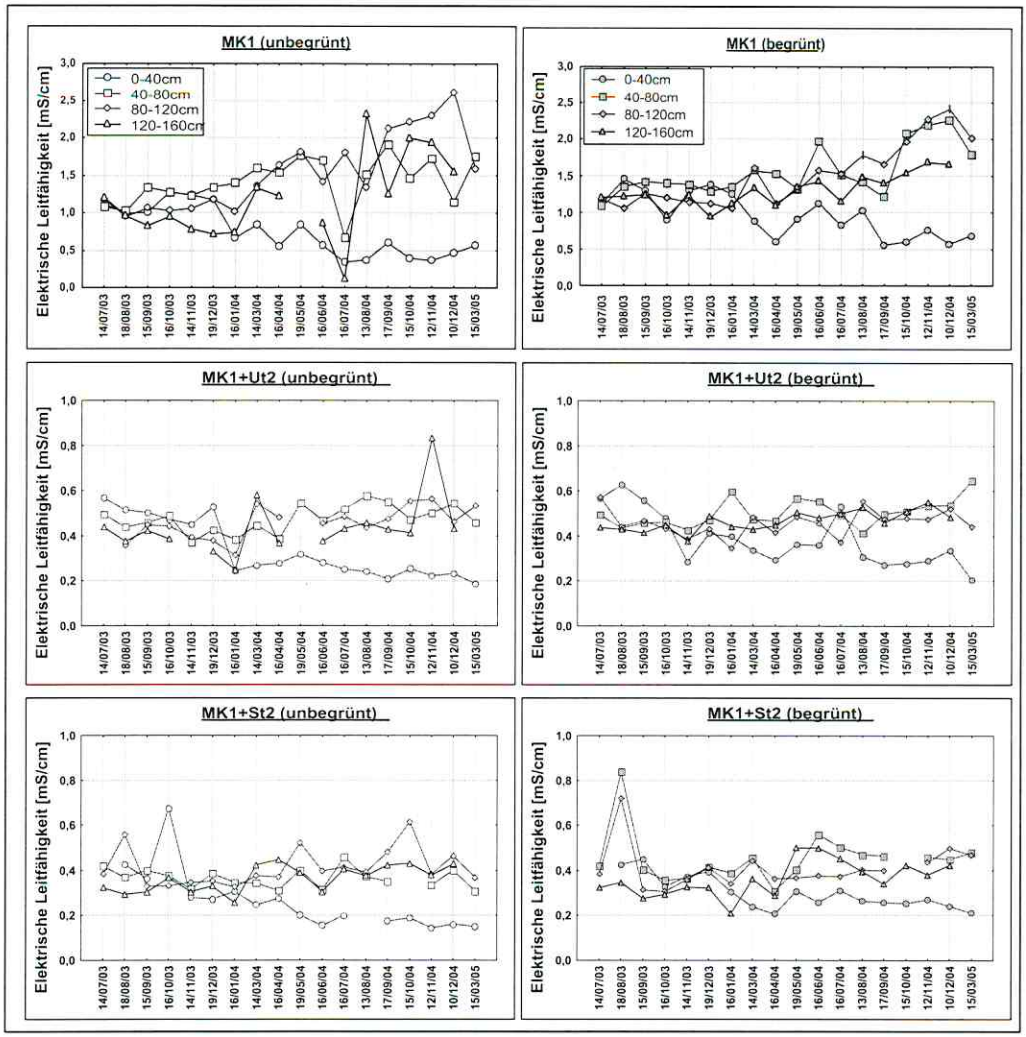
Anlage 63: Durchschnittliche pH-Werte der Varianten während des gesamten Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)



Anlage 64: Verlauf der Temperatur der Varianten in unterschiedlicher Tiefe während des gesamten Untersuchungszeitraum (Freilandversuch)



Anlage 65: Elektrische Leitfähigkeit der Varianten während des Untersuchungszeitraumes (Freilandversuch)



Danksagung

An erster Stelle danke ich Herrn Prof. Dr. R. Meissner für die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit, die fachlichen Hinweise und Anregungen, die ausführliche Korrekturarbeit meines Manuskriptes sowie die Herstellung von Kontakten zu Fachleuten.

Herrn Prof. Dr. G. Guggenberger und Herrn Prof. D. Orzessek danke ich für die fachliche Betreuung und Begutachtung meiner Arbeit.

Großer Dank gilt Frau Dr. S. Bernsdorf. Durch sie wurde ich bereits in der Zeit meiner Diplomarbeit mit umweltrelevanten Fragestellungen vertraut. Sie realisierte für mich die Finanzierung des Forschungsvorhabens und trug maßgeblich zur Entstehung meiner Arbeit bei. Ihre menschliche und herzliche Art und die stets angenehme fachliche Zusammenarbeit mit Frau Dr. Bernsdorf werde ich in guter Erinnerung behalten. Frau Dr. S. Bernsdorf stand mir unermüdlich bei jeder zu meisternder Situation zur Seite, brachte mir den Umgang mit Fachleuten sowie das Auftreten auf fachlichen Anlässen bei, wodurch ich mich in meiner Persönlichkeit stark entwickeln konnte.

Besonders danken möchte ich auch Frau R. Naundorf und Frau E. Naumann, die durch die Untersuchung unzähliger Proben maßgeblich zur Herstellung der Datengrundlage meiner Arbeit beitrugen.

Frau Dr. I. Berkner möchte ich für die Idee und Inhalt des Forschungsvorhabens und ihr Engagement bei der Kontaktaufnahme anderer Teilnehmer zur Realisierung des Projektes recht herzlich danken. Für die Finanzierung und die vielfältigen inhaltlichen Ratschläge bedanke ich mich bei Herrn Bormann (LAV GmbH), Herrn Dr. Bendler (REBO GmbH), Herrn Dr. Meisgeier (GEMES GmbH), Herrn Kohlenberg und Herrn Laise (KRD GmbH), Herrn Burggraf (SUC GmbH), Herrn Saal (MUEG GmbH), Herrn Lahmayer (Gebr. M. & W. Mayer GmbH), Herrn Beiler (VEBIRO GmbH), Herrn Frellstedt (ROMONTA GmbH) und Herrn Gennerich (URD GmbH).

Zur Bearbeitung des Forschungsvorhabens war die Verflechtung zwischen wissenschaftlichen Zusammenhängen und den Erfordernissen der Praxis notwendig. Für diese fachliche Vermittlung gilt Herrn Prof. Dr. D. Meyer und Herrn Prof. Dr. R. Kästner großer Dank. In diesem Zusammenhang möchte ich mich ebenso bei Herrn Dr. Haubod-Rosar (FIB e.V.) für die wertvollen fachlichen Hinweise aus praktischer und wissenschaftlicher Sicht bedanken. Darüber hinaus förderten die fachlichen Gespräche mit ihm im Rahmen von DWA-Veranstaltungen mein fachliches Verständnis zu der Thematik.

Ganz besonders möchte ich mich für den Rückhalt am eigenen Hause, dem Institut für Agrartechnik und Landeskultur und bei Herrn Prof. P. Pickel bedanken. Für die Mithilfe und die technische Umsetzung beim Aufbau des Versuchsfeldes und die zahlreichen Transportfahrten möchte ich Herrn D. Rost, Herrn W. Bartels, Herrn M. Engel und Herrn E. Krezschmar von der Werkstatt recht herzlich

danken. Besonderen Dank gebühren Herrn C. Richter, der mit Geduld und Sachverstand die Messtechnik und sämtliche Datenlogger installierte sowie deren Funktionstüchtigkeit aufrechterhielt und Herrn W. Fechner, der sich stets um die Computertechnik im Hause bemühte.

Ein herzliches Dankeschön an Herrn Dr. B. Hoffmann für die Bereitstellung der pF-Drucktopfanlage und für viele Hinweise bei der Auswertung bodenphysikalischer Parameter.
Für die Unterstützung bei der Untersuchung der Bodenproben bedanke ich mich recht herzlich bei Frau G. Polcher, C. Krenkewitz, Frau H. Oetzmann und Frau G. Hardt, den Laborantinnen des Zentrallabors.

Besonders danke ich Herrn Dr. Jurik Müller für die problemlose Unterstützung bei den Berechnungen von zahlreichen Modellierungen. In diesem Zusammenhang ein herzlichen Dankeschön an Herrn Dr. J. Döring für die stete Bereitstellung von Niederschlagsdaten.

Den Mitarbeitern der UFZ-Leipzig-Halle-GmbH, Herrn Prof. Dr. F. Stange und Herrn Apelt danke ich für die Kooperation zur Untersuchung des Sickerwassers recht herzlich.

Frau Dr. S. Tischer sei herzlich gedankt für die kritische Durchsicht der Arbeit und Frau Dr. K. Warnstorff für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten.

Für die Mithilfe und Kooperation bei der Untersuchung von Schwermetallen danke ich den Mitarbeitern des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.

Meinen Eltern danke ich für den familiären Rückenhalt.

Meiner Verlobten N. Böhlmann gilt für die fachliche Unterstützung und dem entgegengebrachten Verständnis mein ganz besonderer Dank.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name, Vorname:	Tauchnitz, Sebastian Joachim
Anschrift:	Feuerbachstr. 78, 06114 Halle
Geburtsdatum/-ort:	22.01.1976 / Leipzig
Familienstand:	ledig, ein Kind
Nationalität:	deutsch

Studium

10/1997 – 11/2002	Studium der Agrarwissenschaften an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Schwerpunkt: Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus

Werdegang

12.2002-05.2006:	Mitarbeiter des Forschungs- und Beratungszentrum für Maschinen- und Energiesysteme e. V. (FBZ) Merseburg An-Institut FBZ c/o FH Merseburg, Geusaer Str., 06217 Merseburg zur Projektbearbeitung „Einsatz von Klärschlammkompost als Substratbestandteil im nicht sensiblen Landschaftsbau“ als Grundlage für die Dissertation.
ab 09.2004	Mitorganisation des Workshop „Klärschlammkompost im Landschaftsbau“. am 23.11.2004 in Halle/Saale.
ab 04.2005	Mitglied der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft.
ab 06.2005:	Erarbeitung der „Empfehlungen zum Aufbau von Rekultivierungsschichten für Deponien in Sachsen-Anhalt aus mineralischen Materialien im Gemisch mit anderen Komponenten“ als „Ergänzung zum RdErl. des MLU vom 6. 4. 2004 – 36.1-67034-1-1 (Auswahl von alternativen Oberflächenabdichtungssystemen für Deponien)“ in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.
ab 09.2005:	Mitarbeit in der Projektgruppe „Untersuchungen zum Einsatz von Rekultivierungs-/ Methanoxidationsschichten auf Deponien des Landes Sachsen-Anhalt“ (FKZ:76213/04/05-3).
ab 01.2006:	Mitglied der DWA-Arbeitsgruppe AK-13.5 zur Erarbeitung des Merkblattes ATV-DVWK M 361 mit dem Arbeitstitel „Verwertung von Klärschlamm und klärschlammhaltigen Materialien bei der Rekultivierung im Landschaftsbau“.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Des weiteren erkläre ich, dass mit dieser wissenschaftlichen Arbeit noch keine vergeblichen Promotionsversuche unternommen wurden und keine Strafverfahren gegen mich anhängig sind.

Halle/ Saale, den 27.06.2006

Helmholtz-Zentrum
für Umweltforschung GmbH – UFZ
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
Internet: www.ufz.de