



# Feuchtwälder im Klimawandel – Bodenökologische Prozesse

Im BioFeuchtHumus-Projekt werden Humusformen und Bodenorganismen an Laubwaldstandorten mit Stauwassereinfluss im Münsterland untersucht. Diese Standorte sind besonders vom Klimawandel in Form von zunehmender Trockenheit beeinflusst. Neben Bodenfeuchtemessungen und der Kartierung der Feuchthumusformen werden Regenwürmer sowie Kleinringelwürmer als Indikatoren der Zersetzergesellschaft erfasst.

TEXT: TINA FRANK, ANNEKE BEYLICH, ULFERT GRAEFE, HANS-JÖRG BRAUCKMANN, GABRIELE BROLL

In den wechselfeuchten Wäldern des Kernmünsterlandes sind Feuchthumusformen auf Stauwasserböden (Pseudogleyen) weit verbreitet. Infolge des Klimawandels sind diese Standorte von zunehmender Trockenheit betroffen. Auswertungen der Bodenzustandserhebung Wald aus den 1990er-Jahren konnten aufzeigen, dass sich die Jahre mit erhöhtem Wasserstress für die Vegetation häufen [1]. Aufgrund des Klimawandels ist ein Rückgang des Bodenwasserangebotes zu erwarten.

Durch Trockenheit verschlechtern sich die Lebensbedingungen vor allem für feuchthäutige Bodenorganismen (Regenwürmer und Kleinringelwürmer), die an der Ausbildung der Humusform wesentlichen Anteil haben. Humusformen, bestehend aus den organischen Auflagehorizonten und dem obersten Mineralboden, sind das Resultat aus der Zersetzung und damit Mineralisierung der Streu sowie der Humifizierung an der Schnittstelle von Vegetation und Boden. Die Humusform dient dabei auch in Feuchtwäldern als Indikator für den Zustand der Bodenlebensgemeinschaft. Die Ansprache aerohydromorpher Humusformen (Feuchthumusformen) ist in der aktuellen Humusformen-Klassifikation der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5) nicht sehr differenziert, da eindeutige Merkmale sowie diagnostische Hori-



Abb. 1 Entwässerungsgraben im Inkmannsholz

zonte zur Klassifizierung fehlen [2]. Im vorgestellten Projekt soll daher auch diese Lücke geschlossen werden. Die Ausweisung eindeutiger diagnostischer

Merkmale für Humusformen in Feuchtwäldern ermöglicht die Weiterentwicklung der Systematik für aerohydromorphe Humusformen [3].

Im Rahmen von Klimaanpassungsmaßnahmen für die Forstwirtschaft und den Waldnaturschutz wird es zukünftig nötig sein, solche Indikatoren zu identifizieren, die schnell und einfach aufgenommen werden können. Der Zersetzergesellschaftstyp, also die für einen Waldbestand typischen Bodenorganismen, und die Humusform beeinflussen sich gegenseitig [4]. Ausprägung der Humusform und Artenzusammensetzung der Zersetzergesellschaft mit Regenwürmern und Kleinringelwürmern sind eng miteinander verknüpft und variieren in Abhängigkeit von Standort- und Umweltfaktoren. Die Bodenorganismen und damit die Humusform reagieren daher auf den Klimawandel.

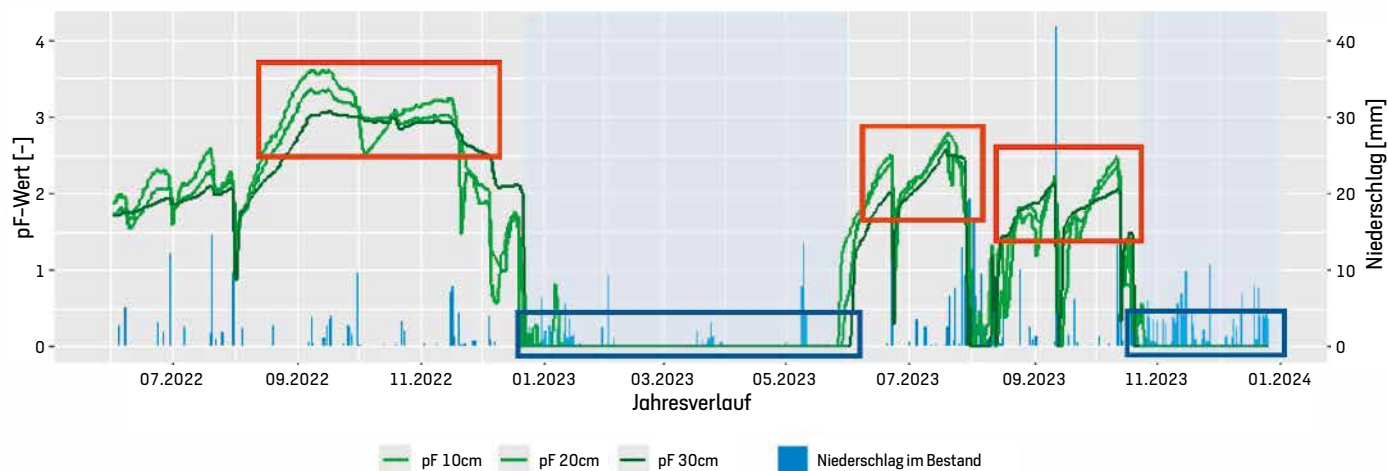
## Untersuchungsgebiet und Methoden

Die Untersuchungsstandorte Inkmannsholz/Davert und Wolbecker Tiergarten befinden sich in zwei Stieleichen-Hainbuchenwäldern südlich von Münster im Untersuchungsgebiet Kernmünsterland. Hier dominieren wechselfeuchte Pseudogleye [5].

Das Projekt beinhaltet Bestandsaufnahmen der Regenwürmer und Klein-

Foto: T. Frank

## Bodenwasserspannung im Jahresverlauf



**Abb. 2:** Jahresverläufe der Bodenwasserspannung (pF-Wert) für die drei untersuchten Bodentiefen 10, 20 und 30 cm und die Niederschläge im Bestand von Mai 2022 bis Dezember 2023 (735 gemessene Tage) am Intensivstandort A1 im Wolbecker Tiergarten. Die roten Kästen markieren die Trockenphasen, und die blauen Kästen zeigen komplette Wassersättigung (pF-Wert = 0) an.

Grafik: T. Frank

## „Humusformen sind Indikatoren für den Zustand von Waldökosystemen.“

**TINA FRANK**

ringelwürmer zusammen mit den Feuchthumusformen einmalig an 56 Standorten sowie in zeitlicher Wiederholung an acht Intensivstandorten. Die Untersuchungsparameter umfassen Artenspektrum und Siedlungsdichte beider Tiergruppen sowie Biomasse der Regenwürmer und Vertikalverteilung der Kleinringelwürmer. Die Erfassung der Regenwürmer erfolgte über eine Austreibung aus dem Boden mittels einer Senfsuspension auf 0,33 m<sup>2</sup> [6] mit anschließender Handauslese eines spattiefen Bodenblocks (0,03 m<sup>2</sup>) innerhalb der Senfextraktionsfläche. Für die Erfassung der Kleinringelwürmer wurden mit einem Stechrohr Bodenproben bis zu einer Gesamttiefe von maximal 21 cm (Auflage + Mineralboden) entnommen und vertikal in vier bis fünf Teilproben unterteilt.

Detaillierte Untersuchungen, inwieweit anaerobe Zustände durch Wassersättigung die Morphologie der Humusformen und damit den Lebensraum der Zersetzergesellschaft beeinflus-

sen, fehlen bislang. Das Projekt Bio-FeuchHumus widmet sich daher neben den Aufnahmen der Zersetzergesellschaft den Feuchthumusformen. Diese werden in Anlehnung an die Neuauflage der Bodenkundliche Kartieranleitung nach AG Boden [7] an 64 Flächen aufgenommen. Seit Frühjahr 2022 laufen an acht Intensivstandorten permanente Messungen zur Bodenfeuchte [8, 9]. Die Aufnahmen zum Bodenfeuchtemonitoring erfolgen mit Sensoren (Tensiomarks der Fa. Ecotec), die den pF-Wert (= Bodenwasserspannung) und die Bodentemperatur alle 30 Minuten in den Bodentiefen 10 cm, 20 cm und 30 cm aufzeichnen.

### Wasserhaushalt

Die Bodenwasserspannung beschreibt die Kraft, mit der das Bodenwasser im vorhandenen Porensystem „gehalten“ wird. Gleichzeitig repräsentiert sie die Kraft, die von der Pflanze aufgebracht werden muss, um dem Boden Wasser zu entziehen. Mit fortschreitender Austrocknung des Bodens aufgrund von Oberflächenverdunstung und Pflanzenentzug steigt die Bodenwasserspannung stetig an. Das verbleibende Wasser wird zunehmend fester in den Poren gebunden, je weiter der Boden austrocknet. Ab dem Permanenten Welkepunkt (PWP) bei einem pF-Wert von 4,2 ist die Bindung des Restwassers in den Bodenporen so stark, dass die meisten heimischen Pflanzen hinsicht-

lich der Wasseraufnahme an ihre Grenzen stoßen. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) ist damit erschöpft. Das in größeren Mengen in den Feinporen verbleibende Restwasser, insbesondere bei schweren Böden und mit einem pF-Wert über 4,2, wird als Totwasser bezeichnet.

Der Status quo des Wasserhaushaltes für den Jahresverlauf von Juni 2022 bis Dezember 2023 zeigt die wechselhaften Bedingungen der Standorte an (Abb. 2). Insbesondere im Herbst 2022 stiegen die pF-Werte aufgrund von ausbleibenden Niederschlägen in den Sommermonaten und mit Zunahme der Temperatur deutlich an und waren

## Schneller ÜBERBLICK

- » **Mull-Humusformen** können in Feuchtwäldern auch ohne tiefgrabende Regenwürmer entstehen
- » **Kleinringelwürmer** sind auch für Feuchtwälder ideale Indikatoren für den Abbau der organischen Substanz und die Humifizierung
- » **Der Einfluss** des Wasserhaushaltes ist sowohl zeitlich als auch räumlich gut anhand der Siedlungsdichte der Kleinringelwürmer nachvollziehbar





nahe am Permanenten Welkepunkt. Die Zersetzergesellschaft ist unter diesen trockenen Bedingungen weniger aktiv. Nach Niederschlägen zum Ende des Jahres 2022 und zum Anfang des Jahres 2023 sind die Wasserspeicher bis in den Juni komplett aufgefüllt. Zusätzlich wird sichtbar, dass dieser Standort bis zu 232 Tage lang eine vollständige Wassersättigung bis an die Bodenoberfläche aufweist. Unter diesen Voraussetzungen können sich die Feuchthumusformen insbesondere in Senken- und Grabenstrukturen ausbilden (Abb. 1). Denn diese Mikrorelief-Formen sind länger wassergesättigt. Auch ist die Ausbildung der Humusform sehr vom hier vorliegenden Bodentyp Pseudogley geprägt, da die Feuchthumusformen per Definition einen zeitweiligen Stauwassereinfluss – oder an anderen Standorten einen Grundwassereinfluss – benötigen, um sich zu entwickeln.

### Bodenorganismen

In der Bodenbiologie werden oft drei verschiedene Gruppen von Regenwürmern unterschieden (= Lebensformtypen), die durch ihre Tätigkeit in unterschiedlichem Maße zum Streuabbau sowie zum Erhalt der Bodenstruktur und des Porensystems beitragen [10]. Auf den untersuchten Standorten dominierten kleine, in der Auflage lebende (epigäische) Regenwurmarten. Im oberen Mineralboden grabende (endogäische) Regenwürmer kamen ebenfalls vor, jedoch deutlich zahlreicher auf Feuchtmull-Standorten als auf Feuchtmoder-Standorten. Die Streu wird an Mull-Standorten schneller umgesetzt als an Moder-Standorten. Tiefgrabende (anecische) Regenwürmer wurden nicht gefunden. Endogäische Arten sind im Vergleich zu epigäischen Arten weniger säuretolerant. Die pH-Werte an den untersuchten Standorten liegen unter Feuchtmoder mit Werten  $\leq 4$  an der Untergrenze ihres Toleranzbereichs [11, 12]. Tiefgrabende Regenwürmer sind sowohl wenig säuretolerant als auch empfindlich gegenüber Stau- und Grund-

wasser, wenn dieses ihre tiefreichenden Wohnröhren über einen längeren Zeitraum unter Wasser setzt [13]. Daher finden sie sowohl in Feuchtmoder- als auch in Feuchtmull-Standorten durch die Vernässung in Kombination mit sauren Bodenbedingungen keine geeigneten Lebensbedingungen. An der Entstehung aeromorpher Mull-Humusformen sind meist anecische und endogäische Regenwürmer maßgeblich beteiligt, indem sie organische Substanz in den Boden einarbeiten und den mineralischen Oberboden intensiv durchmischen. An den staunassen Untersuchungsstandorten konnten sich aerohydromorphe Mull-Humusformen (Feucht F-Mull und Feucht L-Mull) trotz des Fehlens anecischer Regenwürmer ausbilden. Die Bioturbation im humosen Mineralboden ist hier vor allem die Leistung endogäischer Regenwürmer sowie von *Lumbricus rubellus*. Unter den Regenwürmern waren Feuchtezeiger nur mit den feuchteliebenden Arten *Octolasion tyrtaeum* und *Eiseniella tetraedra* vertreten.

Kleinringelwürmer (Enchyträen u. a.) (Abb. 3) sind mit den Regenwürmern eng verwandt, tragen aber aufgrund ihrer geringeren Größe (mehrheitlich 1 bis 20 mm) auf einer anderen Skalen-

ebene zur Zersetzung, Durchmischung und Gefügebildung im Boden bei. An Mull-Standorten sind Kleinringelwürmer überwiegend im oberen Mineralboden aktiv, der durch die Tätigkeit der endogäischen Regenwürmer eine krümelige Struktur aufweist [14]. In Moder-Profilen besiedeln die Tiere dagegen überwiegend die organischen Auflagehorizonte und meiden den basenarmen Mineralboden. Diese für gut belüftete Standorte typische Tiefenverteilung wird an stark stauwasserbeeinflussten Standorten mit aerohydromorphen Humusformen zusätzlich durch hohe Wassergehalte und damit einhergehend Sauerstoffmangel beeinflusst. Kleinringelwürmer zeigen artabhängig unterschiedliche Toleranz gegenüber Versauerung und Vernässung. Hinsichtlich der Bodenfeuchte lassen sich drei Gruppen unterscheiden [15]:

1. *Frischezeiger*, die Vernässung meiden
2. *Feuchtezeiger*, die bevorzugt in nassen Böden vorkommen
3. *indifferente Arten*, die eine große Bandbreite von Feuchteverhältnissen vertragen

Insbesondere die Feuchtezeiger haben eine höhere Toleranz gegenüber nässebedingtem Sauerstoffmangel.

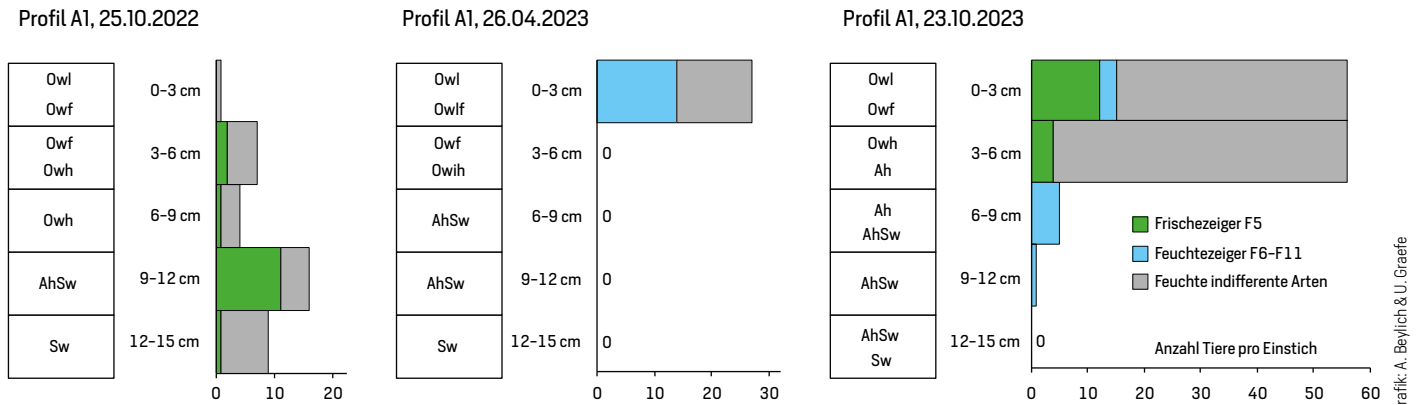
An den meisten untersuchten Projektstandorten wurden Feuchtezeiger nachgewiesen. Ihre Anteile schwankten jedoch sowohl zeitlich als auch räumlich erheblich. Abb. 4 verdeutlicht dies beispielhaft für den Intensivstandort A1. In Zusammenarbeit mit Abb. 2 zum Bodenwasserhaushalt zeigt sich: Die Tiefenverteilung der drei Zeigergruppen an jedem Untersuchungstermin spiegelt jeweils den aktuellen Staunäseeinfluss in der organischen Auflage und im oberen Mineralboden wider. Eine längere Trockenphase kann den vorübergehenden Wegfall der Feuchtezeiger zur Folge haben (Herbst 2022). Nach mehrmonatigem Wasserüberstau im Frühjahr 2023 konnten dagegen bei A1, wie auch den übrigen Intensivstandorten, keine Frischezeiger nachgewiesen



Abb. 3: Regenwurm und Kleinringelwurm

Foto: H. C. Fründ

## Anzahl der Kleinringelwürmer



**Abb. 4:** Vertikalverteilung der Kleinringelwürmer am Intensivstandort A1 zu den drei Probenahmeterminen im Frühjahr bzw. im Herbst. Humusform: feinhumusreicher Feuchtmoder.

werden. Die verbleibenden nassetoleranten Arten konzentrierten sich auf die obersten Zentimeter des Humusprofils. Die Zersetzungsleistung ist in dieser Situation eingeschränkt. Nach Abtrocnung des Bodens besiedelten auch Frischezeiger wieder die oberen Profilmeter, während die Feuchtezeiger im darunterliegenden, schlecht belüfteten Mineralboden vorherrschten (Oktober 2023). Die hohe jahreszeitliche Dynamik der Kleinringelwürmer in Abhängigkeit vom Wasserhaushalt kann als charakteristisch für aerohydromorphe Humusformen angesehen werden.

### Humusformen

Die Ergebnisse zur Aufnahme der Humusformen-Morphologie zeigen, dass sich an den Waldstandorten aufgrund der dort vorkommenden Standortsfaktoren Feuchthumusformen mit unterschiedlichen Eigenschaften ausprägen. An den 64 Untersuchungsstandorten wurden folgende Feuchthumusformen kartiert: Feucht L-Mull: 27 Standorte, Feucht F-Mull: 19 Standorte und Feuchtmoder: 18 Standorte. Bei den Feuchthumusformen ließ sich genau wie bei den aeromorphen Humusformen in der Abfolge Feucht L-Mull < Feucht F-Mull < mullartiger Feucht-

moder < Feuchtmoder eine zunehmende Akkumulation von organischer Substanz ausmachen. In den wechselfeuchten Laubwäldern des Münsterlandes lassen sich die mächtigen organischen Auflagen der Feuchthumus-Standorte durch die häufig anaeroben Bedingungen vor Ort erklären, welche insbesondere in den Senken und verschlossenen Grä-

ben des Gebietes vorkommen. Das Pflanzenmaterial wird durch die gehemmte Sauerstoffzufuhr langsamer abgebaut und mehr Kohlenstoff kann gespeichert werden [16, 17].

Häufig finden sich an Feuchtmull-Standorten erkennbare Redoxmerkmale bis an die organische Auflage. Schwarze „schmierige“ Blätter, die stapelartig im Owl- und Owf-Horizont zusammenliegen, zeigen einen eindeutigen Wassereinfluss (wasserbeeinflusst = w). Weitere Erkennungsmerkmale sind die häufig zu findende Krümelstruktur und ein erhöhtes Aufkommen von Regenwürmern insbesondere im mineralischen A-Horizont unter Feuchtmull (Abb. 5).

In Feuchtmoldern finden wir mächtige Owf-Horizonte, die sich noch weiter in Owlf- und Owhf-Horizonte gliedern lassen. Somit ist je nach Mächtigkeit eine Unterscheidung in feinhumusarmen (Owlf-Horizont dominierend) oder feinhumusreichen (Owhf-Horizont dominierend) Feuchtmoder möglich. Typisch für den Feucht-Moder ist auch das Vorkommen eines Owh-Horizontes.

Das Untersuchungsgebiet zeichnet sich durch stark saure bis sehr stark saure pH-Werte aus. Auf den Mull-Standorten sind etwas



**Abb. 5** Humusmonolith mit der Feuchthumusform Feucht F-Mull (03/2022) mit den wichtigsten Horizonten der organischen Auflage der Feuchthumusformen nach AG Boden [7]; Bodenhorizonte: O = Organische Auflage, l = Streu (= litter), f = fragmentiert, h = humifiziert, w = wasserbeeinflusst.



# Erfolgreich im Wald

Der Forst&Technik-Ratgeber Forstkulturen!

## Forstkulturen



**JETZT NEU!**  
**NUR 16,90 €\***  
(13,90 € für Abonnenten)

- ✓ **Flächenvorbereitung**
- ✓ **Saat und Pflanzung**
- ✓ **Naturverjüngung**
- ✓ **Kultur- und Jungwuchspflege**

\* zzgl. Versandkosten (4,50 € Inland bzw. 4,95 € Ausland).  
Ab 30 € Bestellwert versandkostenfrei.

**Jetzt bestellen unter:**  
[forstundtechnik.de/ratgeber](http://forstundtechnik.de/ratgeber)

**Telefon:** +49 89 12705-228  
**E-Mail:** [produkt@dlv.de](mailto:produkt@dlv.de)

höhere pH-Werte im mineralischen Oberboden (0 bis 5 cm) zu finden (pH 4 bis 5) als auf den Moderstandorten (pH 3 bis 4). Hauptsächlich an den Mull-Standorten fand sich eine aktive Zersetzergesellschaft aufgrund höherer pH-Werte. Das C/N-Verhältnis (12 bis 14) im Mineralboden ist eng bis mäßig eng und spricht für eine rasche Humifizierung und Mineralisierung. Durch das vereinzelte Erle- und Eschenvorkommen und eine häufig dichte Krautschicht findet sich eine schnell zersetzbare Streu. Die relativ engen C/N-Verhältnisse an diesen Standorten aufgrund der dort vorkommenden leicht zersetzbaren Streu unterstützen diese Aussage. Auch konnte dargestellt werden, dass besonders das Mikrorelief, welches im Untersuchungsgebiet aus kleinen Senken und verschlossenen Entwässerungsgräben besteht, eine diverse Krautvegetation fördert, sodass Zeigerpflanzen für die Feuchthumusformen ermittelt werden können [5].

### Folgerungen

Der Wasserhaushalt der Pseudogley-Standorte im Münsterland zeigt in den Jahren 2022 und 2023 einen typischen jahreszeitlichen Verlauf zwischen Trockenheit und Wassersättigung im Oberboden. Die Standorte waren daher ideal für die Untersuchung der morphologischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der Feuchthumusformen geeignet. Die morphologische Charakterisierung der Feuchthumusformen als ein Beitrag zur Erprobung einer neuen Humusformensystematik konnte anhand der Untersuchungen in den Feuchtwäldern im Münsterland erfolgreich ausgeweitet werden.

Charakteristisch für die Feuchtmull-Humusformen im Untersuchungsgebiet ist im Vergleich zu aeromorphen Mull-Humusformen das Fehlen tiefgrabender Regenwürmer. Die Durchmischung des humosen Mineralbodens ist somit an diesen Feuchtwald-Standorten vor allem die Leistung endogäischer Regenwürmer sowie der epi-

gäischen Art *Lumbricus rubellus*. Die jahreszeitliche Dynamik der Kleinringelwürmer sowie deren Tiefenverteilung im Humusprofil stehen in enger Abhängigkeit vom Wasserhaushalt der Feuchthumusformen auf diesen wechselseuchten Standorten.

Auch der Einfluss des Mikroreliefs konnte aufgezeigt werden. In den verschlossenen Gräben und kleinen Senken des Gebietes kommt es durch längere Wassersättigung aufgrund der anaeroben Bedingungen zu einem verzögerten und verringerten Abbau des organischen Materials, und die Mächtigkeit der O-Lagen nimmt zu. Die räumliche Variabilität der Feuchthumusformen wird im Rahmen des Projektes noch Gegenstand der Auswertung sein.

Im Zuge des Klimawandels wird die zukünftig häufigere Trockenheit auf den Stauwasserböden des Münsterlandes zu einer geringeren Verbreitung von Feuchthumusformen führen, da der prägende Einflussfaktor Wasser nicht wie in bisherigem Maße erhalten bleibt. Für das Fortbestehen des Lebensraums Feuchtwald-Ökosystem, mit der Eigenschaft, viel Kohlenstoff zu speichern und eine hohe Bodenbiodiversität vor allem durch eine hohe kleinräumige Variabilität unterschiedlich feuchter Mikrostandorte zu erzeugen, ist es somit unabdingbar, Optimierungen des Wasserhaushaltes durchzuführen.



**Dr. Tina Frank**

**Tina.Frank@uni-osnabrueck.de**

ist Projektmitarbeiterin im Projekt Bio-FeuchtHumus bei der Universität Osnabrück. **Ulfert Graefe** und **Dr. Anneke Beylich** vom IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH haben für die Universität Osnabrück die Kleinringelwürmer erfasst. **Dr. Hans-Jörg Brauckmann** und **Prof. Dr. Gabriele Broll**, die das Projekt Bio-FeuchtHumus leitet, sind ebenfalls an der Universität Osnabrück tätig

### Literaturhinweise:

Download des Literaturverzeichnisses in der digitalen Ausgabe von AFZ-DerWald (<https://www.digitalmagazin.de/marken/afz-derwald>) sowie unter: [www.forstpraxis.de/downloads](http://www.forstpraxis.de/downloads)