

Rainer Tölle, Annette Prochnow und Sven Kraschinski, Berlin

# Messverfahren zur Bewertung der Befahrbarkeit von Niedermoorgrünland

*Messverfahren zur Bewertung der Befahrbarkeit von Niedermoorgrünland müssen die standortspezifische Tragfähigkeit der Fahrbahn mit genügender Genauigkeit widerspiegeln, einen ausreichenden Zusammenhang zur zulässigen mechanischen Belastung beim Befahren aufweisen und mit vertretbarem Aufwand im Feld durchführbar sein. Der Kegeleindringwiderstand ermöglicht nur eine unzureichende Abschätzung der Befahrbarkeit. Der Druckstempel ist grundsätzlich geeignet, sein Einsatz jedoch zu aufwändig. Der Scherflügel ermöglicht eine hinreichende Kennzeichnung der Tragfähigkeit der Fahrbahn und der zulässigen mechanischen Belastung und eignet sich somit für die Bewertung der Befahrbarkeit.*

Dr. Rainer Tölle, Dr. Annette Prochnow und Dipl.-Ing. sc. agr. Sven Kraschinski sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Fachgebiet Technik in der Pflanzenproduktion der Humboldt-Universität zu Berlin, Philippstr. 13, 10115 Berlin; e-mail: rainer.toelle@agrar.hu-berlin.de.

Referierter Beitrag der Landtechnik, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.

## Schlüsselwörter

Niedermoor, Befahrbarkeit, Scherflügel, Druckstempel, Penetrometer

## Keywords

Fen grassland, trafficability, shear vanes, plate test devise, penetrometer

Literaturhinweise sind unter LT 00322 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Niedermoore nehmen in Deutschland eine Fläche von 1,1 Mio. ha ein. Bewachsene organische Standorte sind hinsichtlich ihrer Fahrbahneigenschaften den vertikal geschichteten Böden zuzuordnen, wobei sich an der Oberfläche eine feste, durchwurzelte Schicht und darunter der weniger tragfähige Torf befinden [1]. Der Durchbruch der Grasnarbe ist sowohl aus fahrmechanischen als auch aus ökologischen Gründen zu vermeiden [1, 9]. Festigkeitsbestimmende Komponenten der Fahrbahn Niedermoorgrünland sind die Vegetation und der Boden. Die Stabilität der Fahrbahn kann mit den üblichen und bewährten Verfahren zur Erfassung der Bodenfestigkeit bestimmt werden.

Mit dem *Penetrometer* von verschiedenen Autoren auf organischen Böden ermittelte Kegeleindringwiderstände liegen im Bereich von 17 bis 1 500 kPa [6, 7, 8, 9]. [8] leitet im Ergebnis umfangreicher Befahrversuche mit Kettenfahrzeugen empirisch einen Befahrbarkeits-Index für Moore der nordamerikanischen Tundra ab. [6] erfasst Kegel-eindringwiderstände zweier Niedermoorstandorte in Nordostdeutschland und formuliert anhand von Analogieschlüssen Bereiche der Befahrbarkeit bei hohen Belastungen.

Mit dem *Druckstempel* erarbeitet [1] auf Mooren der nordamerikanischen Tundra grundlegende Zusammenhänge für Böden mit einer festen Deckschicht. Ausführliche Analysen von Druck-Einsinkungs-Kurven

auf zwei Tundramoorstandorten in Kanada nimmt [9] vor.

Für Feld- und Laboruntersuchungen existiert eine Vielzahl von *Schermessverfahren*. Auf Tundramooren Kanadas ermittelt [9] mit einem Scherring Scherspannungs-Bodenverlagerungs-Kurven. Auf ostdeutschen Niedermooeren werden für den Torf mit dem Scherflügel Scherfestigkeiten von 5 bis 25 kPa ermittelt [5].

## Ziele und Aufgaben

Für die Bewertung der Befahrbarkeit von Niedermoorgrünland ist eine einfache, praxisorientierte und übertragbare Methode zu entwickeln. Dafür sind Messverfahren zu erproben und auszuwählen, die die standortspezifische Tragfähigkeit der Fahrbahn mit genügender Genauigkeit widerspiegeln, einen ausreichenden Zusammenhang zur zulässigen mechanischen Belastung beim Befahren aufweisen und mit vertretbarem Aufwand im Feld durchführbar sind.

## Untersuchungen zu Messverfahren der Befahrbarkeit von Niedermoorgrünland

### Penetrometer

Für die Messung des Kegeleindringwiderstandes kam ein manuell zu bedienendes, schaftreibungsfrei messendes Penetrometer zum Einsatz. Der verwendete Kegel hatte eine Grundfläche von 3,23 cm<sup>2</sup> und einen Spit-

Tab. 1: Kegeleindringwiderstände CI von Niedermoorgrünland mit unterschiedlicher Vegetation und Bodenfeuchte

Table 1: Cone index of fen grasslands with different vegetation and soil moisture contents

Biotyp Boden- feuchte	Bewuchs- dichte	Flutrasen			Frischwiesen			Großseggenwiesen		
		gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
≤60 Vol%	CI [kPa]	402	967		773	393		823	567	
	n	2	3	n.b.	n.b.	102	14	n.b.	2	7
>60 bis 70 Vol%	VK %	37	33		57	57		43	53	
	CI [kPa]		367		473	590	497		470	340
>70 bis 80 Vol%	n	n.b.	13	n.b.	44	204	19	n.b.	10	5
	VK %		64		39	48	47		54	44
>80 Vol%	CI [kPa]		270	240	473	407	433		487	443
	n	n.b.	31	11	45	70	23	3	16	18
>80 Vol%	VK %		69	68	52	36	51	19	66	57
	CI [kPa]		264	266	316	307	298		454	404
>80 Vol%	n	n.b.	55	10	24	247	58	8	25	5
	VK %		63	54	50	64	62	53	57	43

Bewuchsdichte Boden- Prüfkörper feuchte Fläche Vol%		mittel		hoch	
		kleine Platte 185 cm <sup>2</sup>	große Platte 370 cm <sup>2</sup>	kleine Platte 185 cm <sup>2</sup>	große Platte 370 cm <sup>2</sup>
≤60	p <sub>max</sub> [kPa]	<b>439</b>	<b>344</b>	n.b.	n.b.
	n	3	1		
	VK %	5			
>60 bis 70	p <sub>max</sub> [kPa]	<b>420</b>	<b>337</b>	n.b.	n.b.
	n	3	4		
	VK %	7	10		
>70 bis 80	p <sub>max</sub> [kPa]	<b>392</b>	<b>325</b>	<b>422</b>	<b>351</b>
	n	28	12	10	6
	VK %	14	6	10	9
>80	p <sub>max</sub> [kPa]	<b>380</b>	<b>299</b>	<b>408</b>	<b>323</b>
	n	8	9	11	8
	VK %	10	14	7	15

Tab. 2: Druckmaxima p<sub>max</sub> aus Druck-Einsinkungs-Kurven für eine Frischwiese auf Niedermoor bei unterschiedlichen Bewuchsdichten und Bodenfeuchten

Table 2: Maximum pressures p<sub>max</sub> from load-penetration-curves for a fen grassland with different soil moisture contents and density of vegetation

zenwinkel von 60°. Aus 1047 Einzelmessungen auf Niedermoorgrünland geht hervor, dass sich der Kegeleindringwiderstand in den meisten Fällen mit abnehmender Bodenfeuchte erhöht (Tab. 1). Der Einfluss der Vegetation auf die Tragfähigkeit ist mit dem Kegeleindringwiderstand nicht nachzuvollziehen. Weder zum Biotoptyp noch zur Bewuchsdichte gibt es gerichtete Zusammenhänge. Regressionsfunktionen zur Abschätzung des erforderlichen Kegeleindringwiderstandes aus verschiedenen Belastungskennzahlen weisen sehr niedrige Bestimmtheitsmaße unter 0,17 auf.

Der Kegeleindringwiderstand kann somit zwar mit geringem Aufwand ermittelt werden, ermöglicht aber nur eine unzureichende Abschätzung der Befahrbarkeit. Als Ursache sind vermutlich die Kegelsonden zu klein, um die auf engstem Raum auftretenden erheblichen Festigkeitsunterschiede des Wurzelgeflechts repräsentativ zu erfassen.

#### Druckstempel

Bei dem verwendeten Druckstempel handelt es sich um ein von der Fritzmeier GmbH hergestelltes und von der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik umgebautes Bodenproben-Entnahmegesetz. Zur Messung werden mittels einer Hydraulik nacheinander runde Platten mit Flächen von 740 cm<sup>2</sup>, 370 cm<sup>2</sup> und 185 cm<sup>2</sup> bei einer Geschwindigkeit

von 3 cm/s in den Boden gedrückt. Die am Druck- und Wegsensor gewonnenen Signale werden digitalisiert und mit einem Computer aufgezeichnet.

Die Auswertung von 226 auf einer Frischwiese aufgenommenen Druck-Einsinkungskurven zeigt in 46 % der untersuchten Fälle ein mehr oder weniger ausgeprägtes Maximum des Drucks. Das Druckmaximum tritt im Mittel in einer Eindringtiefe von 9,4 cm auf. Unter sonst gleichen Bedingungen wird bei Anwendung kleiner Platten stets ein größeres Druckmaximum gemessen als bei großen Platten. Die Höhe des Druckmaximums wird von den Fahrbahnparametern Bodenfeuchte und Dichte der Vegetation beeinflusst (Tab. 2).

Die festgestellten Beziehungen ausgewählter Parameter von Druck-Einsinkungskurven zu Bodenfeuchte und Vegetation lassen das Messverfahren für die Bewertung der Tragfähigkeit von Niedermoorgrünland grundsätzlich geeignet erscheinen. Gleiches gilt für die Kennzeichnung der möglichen mechanischen Belastung beim Befahren. Die im Plattendruckversuch ermittelten maximalen vertikalen Belastungen sind jedoch nicht auf Fahrzeuge übertragbar. Für die erforderliche große Anzahl von Messungen ist der Einsatz des Druckstempels zu aufwändig.

#### Scherflügel

Zur manuellen Messung der Scherfestigkeit diente der Scherflügel GEONOR H-704 mit einem Durchmesser der Flügelsonde von 7,58 cm und einer Höhe von 13,96 cm [3]. Aus 3441 Datensätzen geht hervor, dass die Scherfestigkeit in erster Linie vom Biotoptyp und damit von der Zusammensetzung der Vegetation abhängig ist (Tab. 3). Innerhalb der Biotoptypen steigen die Scherfestigkeiten bei gleicher Bodenfeuchte mit der Bewuchsdichte. Schließlich verringern sich die Scherfestigkeiten mit zunehmender Bodenfeuchte. Im Ergebnis umfangreicher Befahrversuche kann die erforderliche Scherfestigkeit für das Befahren von Niedermoorgrünland aus Parametern der mechanischen Belastung durch die Technik mittels Regressionsfunktion abgeschätzt werden [4]. Die Funktion weist ein genügendes Bestimmtheitsmaß von 0,87 auf und zeigt eine hinreichende Übereinstimmung von gemessenen und berechneten Werten.

Der Scherflügel erfüllt somit die formulierten Anforderungen an die Messverfahren und eignet sich für die Bewertung der Befahrbarkeit von Niedermoorgrünland auf der Grundlage empirischer Zusammenhänge.

#### Schlussfolgerungen

Die untersuchten Messverfahren erfüllen die eingangs formulierten Anforderungen in sehr unterschiedlichem Maße. Die Scherfestigkeit ist unter den untersuchten Messverfahren am besten für die Bewertung der Befahrbarkeit von Niedermoorgrünland geeignet. Sie bildet daher die Grundlage für die Aufstellung von Tragfähigkeits- und Belastungsklassen und die Ausweisung funktionell geeigneter Technik [4]. Die Ergebnisse sind für fundierte Empfehlungen zur Technikauswahl nutzbar. Entscheidungshilfen zum operativen Technikeinsatz erfordern die großflächige Kartierung und damit eine weitere Steigerung der Effizienz des Verfahrens.

Tab. 3: Scherfestigkeit τ<sub>max</sub> von Niedermoorgrünland mit unterschiedlicher Vegetation und Bodenfeuchte

Table 3: Shearing strength τ<sub>max</sub> of fen grasslands with different vegetation and soil moisture contents

Biotyp Boden- feuchte	Bewuchs- dichte <sup>1)</sup>	Flutrasen			arme Feuchtwiesen			reiche Feuchtwiesen			Frischwiesen			Großseggenwiesen		
		gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
≤60	τ <sub>max</sub> [kPa]	n.b.	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>29</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>29</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	n.b.	<b>46</b>	<b>57</b>
	n		8	5	41	49	39	45	194	117	10	39	65		20	36
	VK %		21	21	10	10	13	14	16	12	15	18	16		13	14
60 bis 70	τ <sub>max</sub> [kPa]	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>33</b>	<b>39</b>	<b>33</b>	<b>39</b>	<b>44</b>	n.b.	<b>45</b>	<b>48</b>
	n	5	61	27	22	40	65	2	38	22	31	191	135		34	33
	VK %	10	28	25	9	20	19	31	18	8	15	20	17		15	18
70 bis 80	τ <sub>max</sub> [kPa]	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>27</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>37</b>	<b>28</b>	<b>36</b>	<b>44</b>	<b>31</b>	<b>40</b>	<b>46</b>
	n	24	125	44	60	91	97	64	63	6	12	146	157	6	31	44
	VK %	27	24	18	9	20	15	20	19	3	23	22	17	14	20	23
>80	τ <sub>max</sub> [kPa]	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>28</b>	<b>19</b>	<b>25</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>31</b>	<b>44</b>	<b>29</b>	<b>40</b>	<b>46</b>
	n	41	64	37	39	69	43	78	71	10	26	228	134	33	142	82
	VK %	36	31	21	10	17	15	27	24	9	13	23	24	20	26	20

<sup>1)</sup> Flächendeckungsanteile in den Bewuchsdichteklassen, bezogen auf die verbleibende Stoppel: gering < 40 %; mittel: 40 bis 80 %; hoch: > 80 %