

TELMA	Band 50	Seite 45 - 60	7 Abb., 3 Tab.	Hannover, November 2020
-------	---------	---------------	----------------	-------------------------

Bodenhydrologische Langzeitentwicklung einer Tiefpflug-Sanddeckkultur im oberen Rhinluch

Long-term soil hydrological development of a deep ploughed sand-covered fen in the upper Rhinluch

UWE SCHINDLER, FRANK EULENSTEIN und LOTHAR MÜLLER

Schlüsselwörter: Bodenhydrologische Eigenschaften, organische Bodensubstanz, Wasserretentionsfunktion, pF Kurve, Pflanzenwasserversorgung, Kapillarität, HYPROP

Zusammenfassung

Im Zuge eines Pilotprojektes wurde 1988 eine flachgründige, sandunterlagerte Niedermoorfläche im oberen Rhinluch durch die Maßnahme der Tiefpflug-Sanddeckkultur (TSDK) umgestaltet. Eine wissenschaftliche Fragestellung war, wie sich unterschiedliche Torfanteile in der Sanddecke (0, 5, 10, 15 % organische Bodensubstanz) im späteren Pflughorizont (0-30 cm) auf die Standorteigenschaften auswirken. Seither wurde die Fläche als Acker genutzt. Etwa 30 Jahre nach Durchführung der Maßnahme wurde die Langzeitentwicklung der organischen Bodensubstanz im Pflughorizont und der bodenhydrologischen Standorteigenschaften auf der Basis von Feld- (Saugspannung, Grundwasserflurabstand) und Labormessungen (Kohlenstoff, Glühverlust, Wasserretentionskurve, hydraulische Leitfähigkeitsfunktion, Trockenrohdichte) untersucht. Die Gehalte an organischer Bodensubstanz der TSDK Varianten haben sich im Oberboden nahezu angeglichen und variierten 2019 zwischen 3,8 und 5,6 %. Die Streuung der Einzelwerte hat gegenüber 1988 stark abgenommen. Hydraulische Hemmnisse bestehen auf der TSDK nicht. Die Bodenwasserspeicherung im Pflughorizont und Unterboden ist ausreichend und in Verbindung mit der guten Kapillarität sind Acker- und Grünlandkulturen zu jeder Zeit ausreichend mit Wasser versorgt, auch wenn die Grundwasserflurabstände in Ausnahmen unter 1 m absinken würden. Auf den 0-Varianten unter Gras- und Ackernutzung hat sich der Anteil der organischen Bodensubstanz fast halbiert und liegt 2019 an der Grenze zum Anmoor. Das bestätigen auch die Wasserretentionsfunktionen und die Trockenrohdichte. Zusammenfassend kann 30 Jahre nach Einrichtung der Tiefpflug-Sanddeckkultur in Zithenhorst (Rhinluch) geschlussfolgert werden, dass die Zielsetzung, aus einem flachgründigen, vermulmten Moorstandort einen hochleistungsfähigen Ackerstandort zu schaffen, erreicht wurde.

Abstract

In 1988, as part of a pilot project, a shallow, fen site in the upper Rhinluch was meliorated using a deep-plough sand-cover measure (*Tiefpflug-Sanddeckkultur*, TSDK). One scientific question was how different peat fractions in the sand-cover (0, 5, 10, 15 % soil organic matter content) would affect the site properties in the later ploughing horizon at 0-30 cm. Since then, the area has been used as arable land. About 30 years after the implementation of the TSDK measure, the long-term development of the soil organic matter and the site's soil hydrology properties were examined on the basis of measurements in the field (tension, groundwater level) and the laboratory (carbon content, loss on ignition, water retention curve, hydraulic conductivity function, dry bulk density). Where different versions of TSDK were applied, the soil organic matter content had almost become the same; in 2019, it varied between 3.8 and 5.6 %. The variation in the individual values had decreased compared to 1988. There are no hydraulic restrictions at the TSDK site. Soil water storage in the plough horizon and subsoil is sufficient: thanks to this, and in connection with the good capillarity, arable and grassland crops would still be adequately supplied with water at all times even if the groundwater dropped below 1 m in exceptional cases. On the 0-variants, used for grazing and arable land, the proportion of soil organic matter content has almost halved, and in 2019 it had almost reached the point of being described as peat. This is also confirmed by the water retention functions and the dry bulk density. In summary, 30 years after the establishment of the TSDK in Ziethenhorst (Rhinluch), it can be concluded that the objective of creating a high-performance arable site from a shallow, marshy peat site has been achieved.

1. Einleitung

Heute stehen Moore mehr denn je im Spannungsfeld von Naturschutz, Klimaschutz und Landwirtschaft. Aufgrund der standörtlichen Heterogenität der Böden und des sub-humiden Klimas ist das Grundwassermanagement zum entscheidenden Faktor für Nachhaltigkeitsentscheidungen geworden. Es vermag aber nicht, die bestehenden standörtlichen Unterschiede auszugleichen und den Abbau der Kohlenstoffvorräte flächendeckend zu stoppen. Lokal differenzierte Maßnahmen sind erforderlich, um standörtliche Ressourcen optimal zu nutzen und die beträchtlichen Potenziale der Landschaft an Kohlenstoff und Biodiversität langfristig zu sichern (KRETSCHMER et al. 2001). Vor allem aus der Sicht von Klimaschutz und nachhaltiger Landwirtschaft bleibt die TSDK eine interessante Option. Das veranlasste uns, eine Versuchsfläche von 1988 nochmals zu beproben. Das Ziel war die Prüfung der Bodeneigenschaften aus der Sicht produktiver und nachhaltiger landwirtschaftlicher Nutzung.

Die Niedermoore Nordostdeutschlands entstanden im Spätglazial und Holozän (SUCCOW & JESCHKE, 1990). Niedermoore verändern durch Entwässerung und Belüftung infolge landwirtschaftlicher Nutzung ihre physikalischen, biologischen und chemischen Eigenschaften (SCHMIDT, 1994, SUCCOW & JESCHKE, 1990). Der unter Wasserüberschuss gebildete Torf wird oxidiert und in seiner Struktur verändert (SCHMIDT, 1994). Dabei wird Kohlendioxid (CO₂) in die Atmosphäre abgegeben. Nach SCHEFFER (1994) und BLANKENBURG (2015) beträgt der jährliche Höhenverlust, je nach Nutzung als Grünland oder Acker, auf Niedermoor zwischen 1 und 2 cm, wobei die größeren Werte unter Ackernutzung zu erwarten

sind. Nach JUNGHANS et al. (2013) betrug der Höhenverlust in der Lewitz (Mecklenburg-Vorpommern: Das Gebiet der Lewitz erstreckt sich im Südwesten Mecklenburgs südlich von Schwerin zwischen den Orten Crivitz, Parchim, Neustadt-Glewe und Banzkow) von 1974 bis 2011 durchschnittlich 29 cm bzw. $0,78 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$. Wird die Torfmächtigkeit dadurch geringer als 30 cm oder sinkt der Anteil der organischen Substanz im Torf unter 30 %, werden diese Standorte (AUTORENKOLLEKTIV, 2005) nur noch als Anmoor angesprochen. Die so veränderten Standorte können Nutzungseinschränkungen aufweisen, insbesondere bei Muddeunterlagerungen (SCHMIDT, 1994; SCHULTZ-STERNBERG et al. 2000).

In der Vergangenheit wurden flachgründige Moore oftmals mit einer Sandschicht überdeckt (ZEITZ, 2014). Damit sollte erreicht werden, dass einerseits die Landnutzung von Gras auf Acker geändert werden konnte. Ein weiteres Ziel dieser Maßnahmen bestand darin, die oxidative Torfumsetzung zu reduzieren. Später ergaben sich verbesserte technische Möglichkeiten, so auch die Tiefpflug-Sanddeckkultur (TSDK)(LORENZ & WIELAND, 1983). Sie sollte auf Standorten angewendet werden, die bei gleichbleibender Nutzung nur noch eine begrenzte Erhaltungszeit haben (LORENZ & WIELAND, 1983, SCHINDLER et al., 1988). Durch das Tiefpflügen wird das Bodenprofil so verändert, dass im Unterboden Torf- und Sandbalken geschichtet schräggestellt und die Oberfläche mit einer 20 bis 25 cm mächtigen Sandschicht aus dem Unterboden bedeckt wird. Dafür sollten vorwiegend hydrologisch funktionseingeschränkte Moorstandorte ausgewählt werden. Folgende Zielsetzungen stehen dabei im Vordergrund:

- i) Flachgründige, sandunterlagerte Niedermoorstandorte sollen in hochleistungsfähige Ackerstandorte umgewandelt werden.
- ii) Muddeunterlagerungen werden aufgebrochen und die bodenhydrologischen Eigenschaften verändern sich positiv.
- iii) Durch die Tieferlagerung des Torfkörpers werden Belüftung und die Torfumsetzung reduziert.
- iv) Die Minderung des Torfverzehr führt zu einer Senkung der CO_2 -Emmission.

Nachteile dieser Maßnahme sind:

- i) Die Pflanzengesellschaft ändert sich und die Biodiversität sinkt.
- ii) Die tiefgepflügte Fläche ist kein Moor mehr.

Die Moore im Oberen Rhinluch und am Standort Ziethenhorst sind überwiegend flach- und mittelgründige Versumpfungsmoore, vergesellschaftet mit tiefgründigen Verlandungsmooren ehemaliger Wasserläufe und Stillgewässer. Struktur der Bodendecke und aktuelle Bodeneigenschaften werden teilweise durch die prä- und frühholozäne Genese erklärt. Relief und hydrologische Verhältnisse beeinflussen die Variabilität des Bodensubstrates und in Kombination mit dem Grundwasser die aktuellen Bodeneigenschaften (MÜLLER et al. 2004, 2007a). Morphologische Parameter der Niedermoorlandschaft wie prä-holozänes Relief, Moormächtigkeit und Grundwasserflurabstand korrelieren mit

dem Zustand der durch die Entwässerung initiierten anthropogenen Bodenentwicklung und mit Funktionen wie Wasserretention und Bodenfestigkeit (MÜLLER et al. 2007b).

Während die mit der Entwässerung zusammenhängenden Eigenschaften der Moor- und Begleitböden bereits gut untersucht sind, war über die Wirksamkeit direkter mechanischer Eingriffe wie Tiefpflügen wenig bekannt. Der Anteil flachgründiger, degradierungsgefährdeter Moore mit potenzieller Eignung für die TSDK war am Standort Ziethenhorst besonders hoch.

Nach gründlicher standörtlicher Vorerkundung wurde 1988 eine relativ homogene, flachgründige, sandunterlagerte Niedermoorfläche im oberen Rhinluch durch eine Tiefpflug-Sanddeckkultur umgestaltet (SCHINDLER et al., 1994, SCHINDLER et al., 1999). Seither wird die Fläche als Acker genutzt.

Etwa 30 Jahre nach dem Tiefpflügen wurden die Gehalte der organischen Bodensubstanz (OBS) im Pflughorizont (Ap) und die bodenhydrologischen Standorteigenschaften im Bodenprofil untersucht. Eine angrenzende Moorfläche, überdeckt in den 1940er Jahren mit 20 cm Sand aus dem Unterboden, wurde in die Untersuchungen mit einbezogen.

2. Material und Methoden

2.1 Installation der Tiefpflug-Sanddeckkultur (TSDK)

Die Versuchsanlage TSDK Ziethenhorst im Rhinluch/Brandenburg wurde 1988 im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation zwischen dem Forschungszentrum Münchberg und dem Bodentechnologischen Institut in Bremen als Versuchsanlage eingerichtet. Die Durchführung erfolgte durch die Firma Ottomeyer aus Detmold. Abb. 1 zeigt die Pflugtechnik (3 Zugraupen – 500 PS, Planierraupe 150 PS und Pflug 1,6 m).



Abb. 1: Zugraupen, links und Pflug, rechts, Fa. Ottomeyer, TSDK Ziethenhorst
Caterpillars, left, plough, right, Company Ottomeyer, TSDK Ziethenhorst

Die sandunterlagerte Moorfläche Ziethenhorst (20 ha) wurde ausgewählt, da die Torfmächtigkeit nur noch zwischen 30 und 80 cm betrug und der Torfverzehr im Zuge der weiteren Nutzung flächenanteilig zu Anmooren und einer großen Variabilität auf der Fläche geführt hätte. Hinzu kamen Bewirtschaftungshemmnisse durch Muddeunterlagerung und verminderter Infiltrationskapazität in verschlammten Senken des Oberbodens. Die Pflugtiefe betrug in Abhängigkeit von der Moormächtigkeit zwischen 0,8 bis 1,6 m (Abb. 2).



Abb. 2: Flachgründiger Torf, links und Tiefpflügen, rechts
Shallow peat, left and deep ploughing, right

Durch das Pflügen wurden 4 Varianten mit unterschiedlichen Gehalten an organischer Bodensubstanz (0, 5, 10 und 15 %) in der Sanddeckschicht hergestellt (Abb. 3). Das erfolgte über die Anpassung der Pflugtiefe an die Moormächtigkeit und wurde während des Pflügens gesteuert. Seither wird die TSDK Fläche als Ackerstandort genutzt. Für die weitere Untersuchung der Torfentwicklung auf dem ursprünglichen Moorstandort wurden 0-Varianten unter der ursprünglichen Grasnutzung (V0 Gras) und unter Acker-
nutzung (V0 Acker) angelegt.

Die Zielsetzung bestand in der Untersuchung der Veränderung der hydrologischen und chemischen Standorteigenschaften, einschließlich Relief und Grundwasserbeschaffenheit. Das erfolgte bereits nach Versuchsdurchführung 1988 (SCHINDLER et al., 1994). Zusätzlich wurden die Standorteigenschaften 10 Jahre nach Fertigstellung 1998 analysiert (SCHINDLER et al., 1999). Nachfolgend wird die Entwicklung der Standorteigenschaften auf der TSDK nach etwa dreißigjähriger, ackerbaulicher Bewirtschaftung vorgestellt. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei gelegt auf die Entwicklung:

- i) der OBS im Pflughorizont,
- ii) der hydrologischen Standorteigenschaften,
- iii) der Veränderung der Torfeigenschaften auf den 0-Varianten unter Gras und Acker-
nutzung.

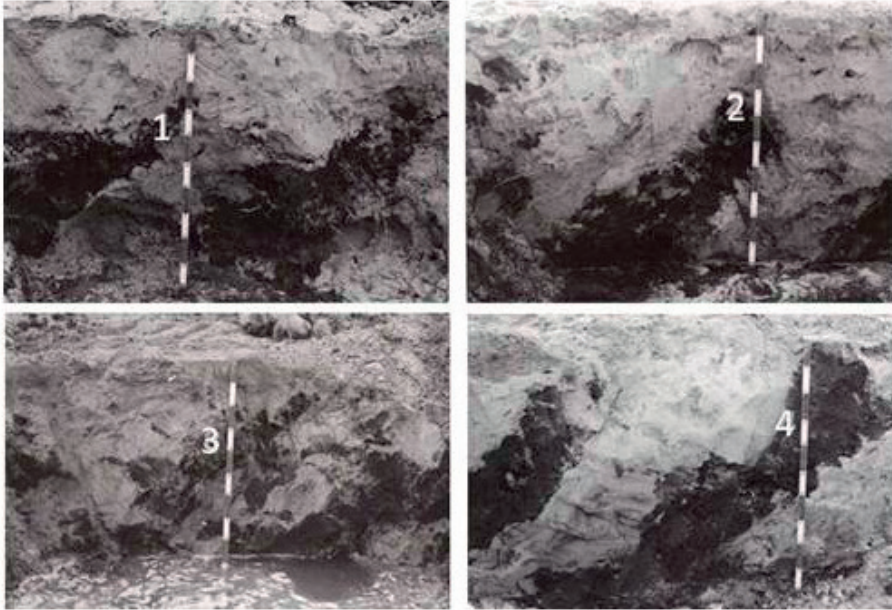


Abb. 3: Pflugprofile in 4 Varianten mit unterschiedlichen Gehalten an organischer Bodensubstanz (0, 5, 10 und 15 %) in der Sanddeckschicht
 Plough profiles in 4 variants with different organic matter content (0, 5, 10 and 15 %) in the sand cover

2.2 Labor und Feldmessungen

Die Messkampagne und Probenahme erfolgte von März bis Juli 2019. Abb. 4 zeigt den Versuchsplan mit den Punkten der Bodenprobenahme für Laboruntersuchungen und den Feldmessungen (Grundwasserflurabstand und Saugspannung). Die Saugspannung wurde in Trockenphasen in 0,1 m Tiefenstufen von 0,1 bis 0,5 m unter Geländeoberkante (GOK) gemessen. Die Beurteilung der kapillaren Wasserversorgung erfolgte auf der Basis des hydraulischen Gradienten (SCHINDLER et. al., 2003). Ungeminderte kapillare Wassernachlieferung wird angezeigt, wenn der hydraulische Gradient nur unwesentlich von 0 abweicht. Von allen Varianten wurden aus 10-15 cm Beutelproben in 6-facher Wiederholung für die Bestimmung der OBS und Glühverlust (GV) genommen. Zusätzlich wurden 250 cm³ Stechzylinder in 5-facher Wiederholung für die Messung der Wasserretentionskurve, der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion und der Trockenrohdichte im Labor mit dem HYPROP (**HY**draulic **PRO**perty analyzer) entnommen (SCHINDLER et al., 2010) und an ausgewählten Messpunkten (TSDK Torf- und Sandbalken) auch Proben aus 40 bis 50 cm Tiefe.



Abb. 4: TSDK Versuchsplan, Punkte = Probenahme, Quadrate = Feldmessungen
 TSDK Experimental design, points = sampling, squares = field measurements

HYPROP Verfahrensbeschreibung

Eine Bodenprobe (100 oder 250 cm³) wird mit Wasser gesättigt. Es werden zwei Tensiometer eingebaut, die Probe auf die Waage gestellt und die Probenoberfläche der freien Verdunstung ausgesetzt. Im Zeitintervall werden die Saugspannung und die Probenmasse online gemessen und aufgezeichnet. Nach Beendigung der Messung wird der Restwassergehalt durch Trocknung bei 105°C ermittelt. Aus den Messwerten – Saugspannung, Probenmasse und Trockenmasse – werden die Wasserretentionskurve, die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit und die Trockenrohddichte berechnet. Durch Berücksichtigung des Lufteintrittspunktes der Tensiometerkeramik kann der Messbereich bis nahe zum permanenten Welkepunkt erweitert werden (SCHINDLER et al., 2010). Die Messzeit ist abhängig von den Verdunstungsbedingungen und variiert zwischen 3 und 10 Tagen. Die Parallelmessungen von Proben ist möglich. Die statistische Bewertung der Messergebnisse erfolgt innerhalb der Auswertungs- und Fitting-Software (HYPROP-Fit, PETERS et al. 2015).

Aus den HYPROP Messwerten werden Kennwerte der Bodenwasserspeicherung und der Kapillarität abgeleitet. Letzteres wird auf der Basis der stationären kapillaren Aufstiegs-
höhe für eine Aufstiegsrate von 5 mm d^{-1} beurteilt (SCHINDLER 1982).

Der Glühverlust (GV) wurde nach DIN EN 12879 durch Verglühen bei $550 \text{ }^\circ\text{C}$ im Muf-
felfofen bestimmt. Der Gesamtkohlenstoffgehalt C_t wurde nach DIN EN 15936:2012-
11 gaschromatographisch gemessen und unter Berücksichtigung von C aus Kalk wurde
Corg abgeleitet. Der Humusgehalt (OBS) für den Mineralboden des TSDK Ap Horizon-
tes errechnet sich aus $C_{\text{org}} \cdot 1,72$ und für Torf aus $C_{\text{org}} \cdot 2$ (AUTORENKOLLEKTIV, 2005).

3. Ergebnis und Diskussion

3.1 Entwicklung der organischen Bodensubstanz in Pflughorizont und Torf und Erträge

Nach Fertigstellung der Tiefpflug Sanddeckkultur 1988 und dem ersten Pflügen variierten die OBS Anteile zwischen 1,9 und 5,8 % mit einer Standardabweichung von 3,6 % (SCHINDLER et al., 1999). Im Laufe der ackerbaulichen Nutzung des Standortes haben sich die OBS Gehalte im A-Horizont der TSDK Varianten nahezu angeglichen und variierten 2019, nach etwa 30-jähriger ackerbaulicher Nutzung nur noch zwischen 3,8 und 5,6 %, (Tab. 1), wobei die Streuung der Einzelwerte gegenüber 1988 und 1998 stark abgenommen hat. Darüber hinaus wurde der Glühverlust zur Abschätzung der OBS herangezogen (Tab. 2). Die daraus abgeleiteten Werte für die OBS variieren zwischen 3,1 und 4,2 %. Die Unterschiede zwischen den TSDK Varianten und auch die Streuung innerhalb der Varianten SD 0,04 bis 0,23 % sind gering (Tab. 2). Der Anteil an OBS im A-Horizont auf der Spülfläche hat sich von 1988 bis 2019 nur geringfügig verändert und ist mit 14,9 % 2019 fast so hoch wie 1988 (15,6 %).

Der Gehalt an Kohlenstoff und die daraus berechnete organische Bodensubstanz (OBS = $C_{\text{org}} \cdot 2$ für Torf nach AUTORENKOLLEKTIV, 2005) auf den 0-Varianten (V0-Gras, V0-Acker), unterschied sich 2019 nur geringfügig (Tab. 1). Bemerkenswert ist, dass sich der OBS-Gehalt innerhalb der 30 Jahre auf beiden 0-Varianten halbiert hat. Ergebnisse in JUNG-HANS et al. (2013) zeigen ähnliche Tendenzen. Mit 30,4 % auf V0-Gras und 33,4 % auf V0-Acker ist der OBS-Gehalt so weit abgesunken, dass er 2019 an der Grenze lag, noch als Torf angesprochen zu werden ($\geq 30 \%$, AUTORENKOLLEKTIV, 2005). Die Glühverlustwerte sind mit 33,9 % unter Ackernutzung und 42,5 % unter Gras nur geringfügig unterschiedlich (Tab. 2). Dass zwischen Grünland und Ackernutzung kaum Unterschiede im Torfverzehr bestehen, wird auch von BLANKENBURG (2015) mitgeteilt.

Tab. 1: Entwicklung der organischen Bodensubstanz (OBS in %) und Standardabweichung (SD in %) in 15 cm Bodentiefe
Development of soil organic matter (OBS in %) and standard deviation (SD in %) at a depth of 15 cm

Jahr	1988	1988	1998	1998	2019	2019
Variante	OBS	SD	OBS	SD	OBS	SD
V1	1,9	1,0	3,3	1,1	3,8	0,6
V2	2,6	1,1	3,3	1,0	5,6	1,3
V3	5,8	3,2	7,2	2,1	5,0	0,4
V4	4,4	3,6	4,7	1,6	5,6	0,5
V0-Gras	53,2	1,3			30,4	1,6
V0-Acker	51,3	0,1			33,4	2,2
Mittel (V1-V4)	3,7	2,2	4,6	1,5	5,0	0,7

Tab. 2: Glühverlust (GV in %) und Standardabweichung (SD in %) im Pflughorizont der TSDK der Varianten (V) und den 0-Varianten, Tiefe 10-15 cm
Loss on ignition (GV in %) and standard deviation (SD in %) in the plough horizon of the TSDK variants (V) and of the 0-variant, depth 10-15 cm

Variante	GV	SD
V1	3,4	0,1
V2	3,3	0,1
V3	3,1	0,2
V4	4,1	0,0
V0-Gras	42,5	1,0
V0-Acker	33,9	0,5

Hauptkultur war Mais, wobei zunehmend auch Sommergerste, Sommerweizen, Raps, Erbsen und Wintergetreide in die Fruchtfolge einbezogen wurde. Jährlich wurden 5 Tonnen Stallmist/ha zugeführt. Im Gesamtzeitraum lag der Maisertrag durchschnittlich zwischen 350 und 400 dt/ha Frischmasse, wobei die Maisentwicklung durch Frühjahrskälte speziell im Rhinluch gehemmt sein kann. Abb. 5 zeigt den Maisbestand auf der TSDK im Trockenjahr 2006, 17 Jahre nach Fertigstellung. Die Maishöhe betrug teilweise über 4 m bei einem geschätzten Ertrag von über 100 dt/ha Frischmasse. Weitere Erträge: 2018 – Erbsen 21,9 dt/ha (Kraut 1 m hoch, aber geminderte Fruchtbildung durch Erbsenkäferbefall – *Bruchus pisorum L.*), 2019 – Sommergerste 60,4 dt/ha, und 2020 – Raps 40 dt/ha. Auf einer benachbarten TSDK (1989 tiefgepflügt) wurde 2019 sogar Wintergerste mit einem Ertrag von 61,9 dt/ha geerntet. Der Anbau von Wintergerste ist auch auf dieser TSDK Fläche für 2021 geplant.



Abb. 5: Maishöhe im Trockenjahr 2006
Height of corn in the dry year 2006

3.2 Feldmessungen zum Wasserhaushalt

Der Grundwasserflurabstand variierte in Abhängigkeit von der Geländehöhe zwischen 0,65 und 0,80 m. Die Ergebnisse der Saugspannungsmessungen zeigten auf allen Varianten TSDK und auch auf den 0-Varianten keine messbaren Abweichungen vom hydrostatischen Zustand – d. h. die Saugspannung am Messpunkt entsprach der Entfernung zum Grundwasser. Das bestätigte das gute und ungestörte kapillare Wassernachlieferungsvermögen und hat sich gegenüber den Vorjahren (SCHINDLER et al., 1999) nicht verändert. Luftmangel tritt auf diesen Standorten nicht auf. Die kapillare Wasserversorgung für Ackerkulturen ist auf der TSDK zu jeder Zeit gewährleistet, auch wenn die Grundwasserflurstände in Ausnahmefällen unter 1 m absinken (Tab. 3).

3.3 Laborkennwerte zum Wasserhaushalt

Die physikalischen Kennwerte in Tab. 3 zeigen, dass sich innerhalb der dreißigjährigen Nutzung die hydrophysikalischen Standortbedingungen zwischen den TSDK Varianten angeglichen haben. Die Trockenrohdichte (DBD: 1,39-1,44 g cm⁻³) und das Porenvolumen (PV: 41-45,8 Vol.-%) variieren in den angegebenen Bereichen. Gegenüber den Werten aus 1998 (SCHINDLER et al., 1999) hat sich die Trockenrohdichte (1,48-1,55 g cm⁻³) vermindert und das Porenvolumen (33,6-39,6 Vol.-%) ist um fast 7 Vol.-% angestiegen. Abb. 6 zeigt die mittleren pF Kurven der TSDK Varianten (V1 bis V4) aus einer Entnahmetiefe von 15 cm.

Die zur Beurteilung der hydraulischen Leitfähigkeit herangezogene kapillare Aufstiegs-
höhe für eine Rate von 5 mm d^{-1} zeigt, dass in Verbindung mit dem Bodenwasserspeicher
die Wasserversorgung zu jeder Zeit ausreichend ist, um den Pflanzenwasserbedarf auch
bei zeitweise tieferen Grundwasserständen optimal abzusichern. Der Sand auf der TSDK
(Abb. 6 rechts, V4 SB 2019) hat sich gegenüber 1988 dichter gelagert und sich den na-
türlichen Bedingungen (V0 Sand 2019) angepasst.

Tab. 3: Physikalische Kennwerte der TSDK und 0-Varianten
Physical characteristics of the TSDK and 0-variants

Variante	Tiefe	PV	pF 2,5	pWP	TRD	CR 5mm/d
	cm		Vol.-%			
V0 Acker	15	61,5	46,0	23,5	0,85	97
V0 Gras	15	59,1	41,0	24,3	0,83	129
V1	15	41,7	11,7	4,1	1,44	98
V2	15	42,5	30,0	10,4	1,41	146
V3	15	41,0	24,1	8,2	1,44	188
V4 TB	45	80,8	67,2	29,7	0,38	127

TB = Torfbalken, PV = Porenvolumen, pWP = permanenter Welkepunkt, CR = Kapillare Aufstiegs-
höhe für eine stationäre Rate von 5 mm/d , TRD = Trockenrohdichte.

Die HYPROP Messungen bestätigen die Änderungen des OBS Gehaltes in den 0-Vari-
anten. So wie sich die Anteile an organischer Bodensubstanz zwischen den 0-Varianten
unter Acker und Gras nur unwesentlich unterscheiden, so sind auch die physikalischen
Kennwerte, Trockenrohdichte, kapillarer Wasseraufstieg und die pF Kurven sehr ähnlich
(Abb. 7, links, Tab. 3). Das Porenvolumen ist von 1988 bis 2019 von etwa 68 auf 60 Vol.-%
gesunken und die Trockenrohdichte von $0,61$ auf $0,83 \text{ g cm}^{-3}$ gestiegen und hat damit
Werte eines Antorf (HOTH & MEISEL, 2004) angenommen. Das zeigt auch der Vergleich
der pF Kurven der 0-Varianten mit der einer typischen Kurve für einen Antorf (SCHINDLER
et al., 2004). Die hydrophysikalischen Eigenschaften des Torfes im Torfbalken der Vari-
ante 4 (Entnahmetiefe 45 cm) in 1988 und 2019 (weitere Torfbalken wurden im Rahmen
dieser Studie nicht untersucht) haben sich nur unwesentlich verändert (Abb. 7, rechts).
Das Porenvolumen betrug 2019 80,8 Vol.-% und war damit etwa 20 Vol.-% höher als im
Torf der 0-Varianten. Auch die Trockenrohdichte war mit $0,38 \text{ g cm}^{-3}$ deutlich geringer.

4. Schlussfolgerungen

30 Jahre nach Einrichtung der Tiefpflug-Sanddeckkultur als Versuchsanlage in Ziethen-
horst im Rhinluch/Brandenburg kann festgestellt werden, dass die Zielsetzung, aus ei-
nem flachgründigen, vermulmten Moorstandort einen hochleistungsfähigen Ackerstand-

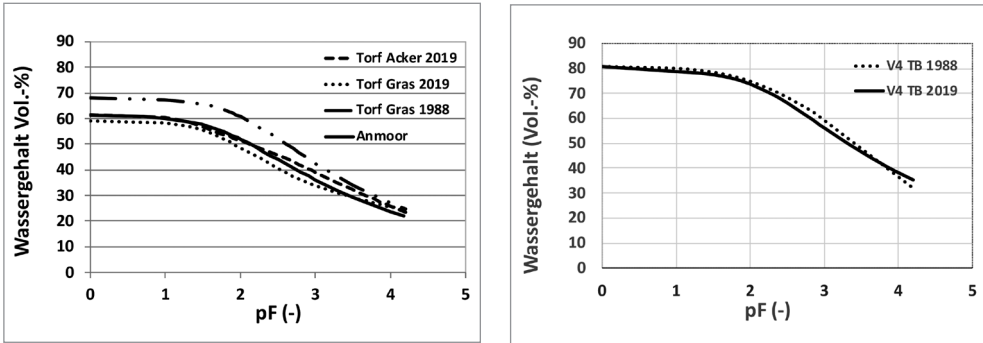


Abb. 6: pF Kurven der TSDK Varianten in 10 15 cm Tiefe 2019, links und vom Sand der 0-Variante und der Sandbalken 1988 und 2019, rechts
pF Curve of the TSDK variants in 10 15cm depth 2019, left and sand of the 0-variant and sand column 1988 and 2019, right

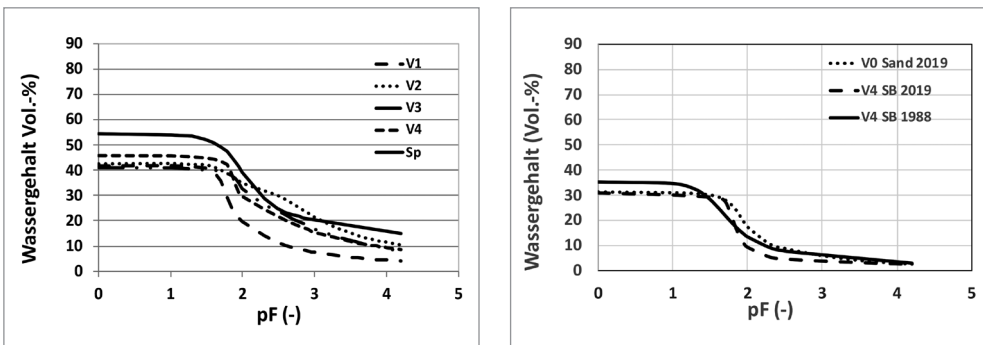


Abb. 7: pF Kurven der 0-Varianten der TSDK, links und Torf 1988 und 2019 und Torfbalken, rechts
pF curve of the 0-variant of the TSDK, left and peat 1988 and 2019 and peat column, right

ort zu schaffen, erreicht wurde. Die organische Bodensubstanz im Pflughorizont der TSDK betrug im Mittel aller Varianten 5 %. Die ursprünglich eingestellten Versuchsvarianten mit Unterschieden in der organischen Bodensubstanz im Pflughorizont haben sich durch die Bewirtschaftung nahezu angeglichen, so dass der Standort heute einheitlich ackerbaulich bewirtschaftet werden kann. Das Ertragsniveau ist für brandenburgische Verhältnisse überdurchschnittlich.

Hydraulische Hemmnisse bestehen auf der TSDK nicht. Die Bodenwasserspeicherung im Pflughorizont und Unterboden ist ausreichend und in Verbindung mit der guten Kapillarität sind Acker- und Grünlandkulturen zu jeder Zeit ausreichend mit Wasser versorgt, auch wenn die Grundwasserflurabstände in Ausnahmen unter 1 m absinken würden.

Auf den 0-Varianten unter Gras- und Ackernutzung hat sich der Anteil der organischen Bodensubstanz fast halbiert und liegt 2019 an der Grenze, noch als Torf angesprochen zu werden. Das bestätigen auch die Wasserretentionsfunktionen und die Trockenrohdichte.

Im Torfbalken der TSDK war noch gut erhaltener Torf nachweisbar. Eine Schlussfolgerung daraus abzuleiten, dass der Torfverzehr in den Torfbalken gemindert ist, lässt sich daraus noch nicht ableiten. Frühere Modellversuche in Grundwasserlysimetern hatten ergeben, dass es bei TSDK zu einer Anreicherung von Ammonium im oberflächennahen Grundwasser kommen kann (MÜLLER et al. 2001). Eine zeitliche Aussage zur Torfveränderung in den Torfbalken wäre nur durch punktgenaue Analysen zu den verschiedenen Zeitpunkten möglich gewesen. Weiterführende Untersuchungen sollten das präzisieren.

5. Literaturverzeichnis

- AUTORENKOLLEKTIV (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, KA5, Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten.
- BLANKENBURG, J. (2015): Die landwirtschaftliche Nutzung von Mooren in Nordwestdeutschland, *Telma* **5**, 39-58.
- DIN EN 12879, (2001): Charakterisierung von Schlämmen – Bestimmung des Glühverlustes der Trockenmasse, Beuth Verlag (Ort??).
- DIN EN 15936,(2012-11): Schlamm, behandelter Bioabfall, Boden und Abfall – Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) mittels trockener Verbrennung; Beuth Verlag (Ort??).
- HOTH, D. & MEISEL, St. (2004): Methode der einfachen Moorbodenansprache, Gutachten im Auftrag der Humboldt Univ. Berlin, Landw.-Gärtnerische Fakultät, Seite 12.
- JUNGHANS, V., MÖLLER, D. & ZEITZ, J. (2013): Moorbodenentwicklung von Versumpfungsmooren – untersucht für die Lewitz in Mecklenburg-Vorpommern, *Telma*, (**43**), 107-122.
- KRETSCHMER, H., ZEITZ, J., PFEFFER, H. (2001): 9.2.2 Ökologisches Entwicklungskonzept Oberes Rhinluch. In Succow M, Joosten H (eds.)(2001, zweite, völlig neu bearbeitete Auflage): Landschaftsökologische Moorkunde, Schweizerbart Science Publishers (Stuttgart).
- LORENZ, W.-D. & WIELAND, J. (1983): Tiefpflug-Sanddeckkultur – ein Verfahren zur Melioration flachgründiger, sandunterlagerter Niedermoorstandorte, In *Wiss, techn, Inform, Meliorationswesen*, Bad Freienwalde.
- MÜLLER, L., BEHRENDT, A., SCHINDLER, U. (2004): Strukturaspekte der Bodendecke und Bodeneigenschaften zweier Niederungsstandorte in Nordostdeutschland. *Archives of Agronomy and Soil Science* **50**, **3**, 289-307.

- MÜLLER, L., WIRTH, S., SCHULZ, E., BEHRENDT, A., HÖHN, A. & SCHINDLER, U. (2007a): Implications of soil substrate and land use for properties of fen soils in North-East Germany Part I: Basic soil conditions, chemical and biological properties of topsoils. *Archives of Agronomy and Soil Science* **53**, **2**, 113-126, <https://doi.org/10.1080/03650340701224823>.
- MÜLLER, L., SCHINDLER, U., BEHRENDT, A., SHEPHERD, T. G. & EULENSTEIN, F. (2007b): Implications of soil substrate and land use for properties of fen soils in North-East Germany Part II: Aspects of structure in the peat soil landscape. *Archives of Agronomy and Soil Science* **53**, **2**, 127-136, <https://doi.org/10.1080/03650340701223916>.
- MÜLLER, L., J. AUGUSTIN, F. EULENSTEIN, J. SEEGER, R. MEISSNER, A. BEHRENDT & U. SCHINDLER (2001): Einfluss unterschiedlicher Böden auf die Ausnutzung von Wasser und Stickstoff durch Weidelgras, Sommergerste und Mais auf einigen Grundwasserstandorten. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.*, **47**, 277-292, <https://doi.org/10.1080/03650340109366215>.
- PETERS, A. IDEN, S.C. & DURNER, W. (2015): Revisiting the simplified evaporation method: Identification of hydraulic functions considering vapor, film and corner flow, *Journal of Hydrology* **527**, 531-542, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.020>.
- SCHIEFFER, B. (1994): Stoffdynamik von Niedermoorböden, *NNA Berichte*, **7**, **H2**, 67-73.
- SCHINDLER, U., DANNOWSKI, R. (1982): Untersuchungen zum kapillaren Wasseraufstieg aus dem Grundwasser 1. Mitteilung. Methodik zur Quantifizierung des kapillaren Wasseraufstiegs. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, **26**, **3**, 125-132.
- SCHINDLER, U., LORENZ, W.-D. & ROHDE, S. (1988): Veränderungen der bodenhydrologischen Verhältnisse flachgründiger Niedermoorstandorte durch Tiefpflug-Sanddeckkultur, *Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, **32**, **2**, 93-99.
- SCHINDLER, U., QUAST, J., SCHÄFER, W., ROGASIK, H. & DANNOWSKI, R. (1994): Hydrologic properties of peaty soils in North-East Germany and possibilities of a site rehabilitation of degraded shallow peaty soils, In: *Proc, International Symposium on Conservation and Management of Fens*, 323-334, 6-10 June, Warsawa, Poland.
- SCHINDLER, U., MÜLLER, L. & SCHÄFER, W. (1999): Entwicklung der physikalischen und hydrologischen Eigenschaften einer Tiefpflug-Sanddeckkultur, *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung*, **40**, 1-7.
- SCHINDLER, U., MÜLLER, L., BEHRENDT, A. (2003): Field investigations of soil hydrological properties of fen soils in North-East Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **166**, **3**, 364-369.
- SCHINDLER, U., THIÈRE, J., STEIDL, J. & MÜLLER, L. (2004): Bodenhydrologische Kennwerte heterogener Flächeneinheiten – Methodik der Ableitung und Anwendungsbeispiel für Nordostdeutschland. *Fachbeitrag des Landesumweltamtes*, H.87, *Bodenschutz 2. Landesumweltamt Brandenburg. Potsdam*. 55 S. http://www.brandenburg.de/cms/media.php/2320/lu_a_bd87.pdf.
- SCHINDLER, U., DURNER, W., UNOLD, G. v. & MÜLLER, L. (2010): Evaporation method for measuring unsaturated hydraulic properties of soils: extending the measurement range, *Soil Science Society of America Journal* **74**, **4**, 1071-1083.

- SCHMIDT, W. (1994): Über den Einfluss der Entwässerung der Nutzung auf die Gefügeentwicklung in Niedermoorböden. – NNA Berichte, **7**, **H2**, 59-66.
- SCHULTZ-STERNBERG, R., ZEITZ, J., LANDGRAF, L., HOFFMANN, E., LEHRKAMP, H., LUTHARDT, V. & KÜHN, D. (2000): Niedermoores Brandenburgs, *Telma* **30**, 139-172.
- SUCCOW, M. & JESCHKE, L. (1990, 2. Auflage): *Moore in der Landschaft*. Urania-Verlag (Leipzig).
- ZEITZ, J. (2014): *Moorkulturen*. In: *Handbuch der Bodenkunde*. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9783527678495.hbbk2003006>, accessed on July 28, 2020.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. Uwe Schindler
E-Mail: schindler.rehfelde@gmail.com
Prof. Dr. Frank Eulenstein
E-Mail: eulenstein@mitak.org
Prof. Dr. Lothar Müller
E-Mail: agrarlandschaft@gmail.com
Mitscherlich Akademie für Bodenfruchtbarkeit (MITAK)
Prof. Mitscherlich Allee 1
D-14641 Paulinenaue

Prof. Dr. Frank Eulenstein
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung
Müncheberg (ZALF e.V.)
Eberswalder Straße 84
D-15345 Müncheberg
E-Mail: eulenstein@mitak.org

Manuskript eingereicht am 27. September 2020,
begutachtet und angenommen am 26. Oktober 2020