

TELMA	Band 35	Seite 61 - 70	1 Abb., 1 Tab.	Hannover, November 2005
-------	---------	---------------	----------------	-------------------------

Wie schnell fließt Wasser aus einem Hochmoor? - Eine alte Diskussion wiederbetrachtet

How fast is discharge from a raised bog? - An old discussion revisited.

SAKE VAN DER SCHAAF

Zusammenfassung

Eine alte Diskussion über die Frage ob und wie Hochmoore Abflüsse regulieren, wird in diesem Aufsatz wiederbetrachtet. Zuerst wird eine einfache Hypothese über die lineare Beziehung zwischen Transmissivität des Akrotelms und Abflusspende entwickelt. Diese Hypothese wird mit einer Gleichung, die den zeitlichen Rückgang des Abflusses aus einem sich leerenden linearen Speicher beschreibt, kombiniert. Das Ergebnis ist die Beziehung eines charakteristischen Wertes des Speichers zur Abflusspende. Dies bedeutet ein nicht-lineares Verhalten des Moorabflusses, wobei der Abfluss zwar kurzfristig hohe Werte hat, aber auch, dass der relative Rückgang des Abflusses sich bei niedrigerem Abfluss immer langsamer vollzieht. Die Hypothese wurde mit Daten vom irischen Hochmoor Raheenmore Bog erfolgreich bestätigt.

Abstract

An old discussion on the question to what extent bogs may be regarded as discharge-regulating systems is re-examined. At first, a simple theoretical model on the linear relationship of acrotelm transmissivity and specific discharge is developed. Then the model is combined with the equation for recession of the discharge from an emptying linear reservoir. The result is a relationship between reservoir characteristics and specific discharge. This implies a non-linear behaviour of bog discharge, where the outflow shows high peaks with a rapid recession, which, however, gradually turn into low peaks with long recession times at smaller discharges. The model was tested successfully on discharge data from Raheenmore Bog, Ireland.

1. Einführung

Besonders in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hat es einen langen Streit gegeben über die Frage, ob Hochmoore in natürlichem Zustand abflussregulierend wirken oder, dass im Gegenteil der Abfluss aus Hochmooren nur von kurzfristigen hohen Abflussmengen charakterisiert wird. Wie üblich bei Sachen mit einer relativ großen und um-

strittenen wirtschaftlichen Bedeutung, war in der Diskussion ein bestimmter Opportunismus zu erkennen. Der erstgenannten Auffassung, die laut UHLEN (1951) von A. v. HUMBOLDT stammt, hingen (und hängen) meist Naturschützer an, während letztere eher unter Kulturbauingenieuren und anderen an der Kultivierung von Moorflächen Beteiligten anzutreffen war.

Aus unterschiedlichen Untersuchungen an Hochmooren (z.B. BADEN & EGGELSMANN 1964, EGGELSMANN 1967) wurde klar, dass der Abfluss aus unkultivierten Hochmoorflächen tatsächlich relativ große Höchstwerte aufwies, die oft höher waren als jene aus in Grünland umgewandeltem Hochmoor. Aus den von UHLEN (1967) veröffentlichten Abflussganglinien lässt sich jedoch auch ablesen, dass Abflüsse aus kultivierten Hochmooren oft größere Höchstwerte erreichen als diejenige aus naturnahen Hochmooren. Dieses Verhalten sollte vor allem charakteristisch sein für junges Grünland aus Hochmoor (EGGELSMANN 1967).

In fast allen in Deutschland ermittelten Abflussganglinien fällt auf, dass der Abfluss aus unkultivierten Hochmoorteilen nach hohen Niederschlagsmengen unmittelbar danach Höchstwerte aufweist und dann mit kleineren Mengen langfristig anhält. Auch in meinen eigenen Abflussmessungen aus Hochmooren in Irland war dies der Fall. Dies deutet darauf, dass bei niedrigeren Abflüssen Hochmoore vielleicht doch eine bestimmte regulierende Rolle spielen könnten. In diesem Aufsatz wird eine Hypothese vorgestellt, die durch Messungen bestätigt wird.

2. Hypothese

In den letzten Jahrzehnten ist die diplotelmische Annäherung der Wasserströmung in Hochmooren in der Welt weitgehend akzeptiert worden. Sie wurde aber schon in den fünfziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts in der damaligen Sowjetunion entwickelt (IVANOV 1965, IVANOV 1981, ROMANOV 1968, INGRAM & BRAGG 1984).

Es werden dabei in einem Hochmoor zwei Hauptschichten unterschieden, das Akrotelm und das Katotelm. Das Akrotelm enthält die dünne und sehr durchlässige junge obere Schicht und das Katotelm den wenig durchlässigen Torfkörper. Das Akrotelm ist deswegen der Aquifer des Moores und das Katotelm der Aquitard. Sie sind allerdings keine Bodenhorizonte im bodenkundlichen Sinne, sondern gehen ohne erkennbare Grenze ineinander über. Für die meisten hydrologischen Zwecke ist es unwichtig, ob man zwischen beiden eine genaue Grenze ziehen kann.

In einem natürlichen, gewölbten Hochmoor entspricht das Oberflächengefälle etwa dem hydraulischen Gradienten, weil der Grundwasserspiegel etwa parallel der Oberfläche liegt.

Deswegen kann man in der Darcy-Gleichung:

$$v = -k \frac{dH}{ds}, \quad (1)$$

mit v [LT^{-1}] der Filtergeschwindigkeit der Grundwasserströmung, k [LT^{-1}] der Durchlässigkeit und $\frac{dH}{ds}$ [1] dem hydraulischen Gradienten, den Gradienten durch das Oberflächegefälle I ersetzen. Wenn es sich um Wassermengen statt Strömungsgeschwindigkeiten handelt, ersetzt man am besten k durch die Transmissivität T_a [L^2T^{-1}] des Akrotelms. Die Beziehung zwischen T_a und k lautet:

$$T_a = \int_{z_{AK}}^{z_w} k dz, \quad (2)$$

wobei z_w [L] die Höhe des Grundwasserspiegels und z_{AK} [L] die Höhe der Grenze zwischen Akrotelm und Katotelm ist. Infolge der starken Verringerung von k mit zunehmender Tiefe hat der Wert von z_{AK} nur einen geringen Einfluss auf T_a (VAN DER SCHAAF 2002a). Dies zeigt, dass die genaue Lage des Übergangs zwischen Akrotelm und Katotelm hier tatsächlich unwichtig ist.

Damit geht v in den Volumenabfluss pro Strombahnbreite q_a [L^2T^{-1}] über. Wenn man das Oberflächegefälle so definiert, dass das Minuszeichen in Gleichung (1) verschwindet, erhält man:

$$q_a = T_a I \quad (3)$$

Gleichung (3) zeigt die Proportionalität zwischen q und T_a mit I als Proportionalitätskoeffizient. Dies bedeutet, dass T_a sich dem Abfluss anpasst, weil I nahezu unveränderlich ist. Der Anpassungsmechanismus liegt in der nach oben stark zunehmender Durchlässigkeit k , so dass T_a bei steigendem Wasserspiegel ebenfalls stark zunimmt (IVANOV 1957 zitiert von ROMANOV 1968, IVANOV 1981). Wenn sich bei größeren Abflüssen offenes Wasser bildet, bleibt Gleichung (3) gültig solange die Strömung laminar ist. T_a und I sollen dann aufgefasst werden als Mittelwerte einer Fläche, die aus mehreren Bulten und Schlenken besteht.

Dass T_a über ein ganzes Moor gesehen tatsächlich ungefähr linear mit dem Abfluss variiert, wurde sowohl in Irland wie auch in Estland festgestellt (VAN DER PLOEG et al. 2003, CUSTERS & GRAAFSTAL 2005).

Wenn man q_a am Moorrande über die Randlänge integriert, erhält man den Volumenabfluss Q_a [L^3T^{-1}]. Die Abflussspende v_a [LT^{-1}] ist Q_a geteilt durch die ganze Moorfläche A [L^2]:

$$v_a = \frac{Q_a}{A} \quad (4)$$

Für Einzugsgebiete die nur einen Teil des Moores einnehmen, gilt Gleichung (4) ebenfalls. Selbstverständlich beziehen sich dann Q_a und A auf das Einzugsgebiet.

Wenn man nun das Moor während eines Zeitabschnittes mit einer Dauer t [T] als linearen Speicher betrachtet, dessen Abfluss proportional zur übergebliebenen Füllung ist, gilt die Gleichung:

$$v_{at} = v_{a0} e^{-\frac{t}{j}} \quad \text{oder} \quad j \ln \frac{v_{a0}}{v_{at}} = t, \quad (5)$$

wobei das Suffix 0 den Anfangszeitpunkt und das Suffix t den Endzeitpunkt angibt und j [T] eine Speicherkonstante ist (nicht mit dem dimensionslosen Speicherkoeffizienten zu verwechseln!). Verdunstung und andere Verluste wie vertikale Versickerung sollen dabei vernachlässigbar sein.

Gemäß Gleichung (5) wird sich der Abfluss am Zeitpunkt 0 nach einem Zeitabschnitt mit der Dauer j um einen Faktor e verringert haben. Ein großes j bedeutet also sich langsam ändernde Abflüsse, ein kleines j schnelle Änderungen mit hohen und kurzfristigen Abflussmengen.

Für parallele Dräne oder Gräben wurde von KRAIJENHOFF VAN DE LEUR (1958) folgende Beziehung für j abgeleitet:

$$j = \frac{\mu L^2}{\pi^2 T}, \quad (6)$$

wobei μ [1] der Speicherkoeffizient ist, L [L] der Dränabstand und T die Transmissivität. Obwohl es in natürlichen Hochmooren eben keine Dräne gibt, zeigt Gleichung (6), dass j proportional zu $\frac{\mu}{T}$ ist, und in diesem bestimmten Falle ist $\frac{L^2}{\pi^2}$ Proportionalitätskoeffizient. Nach den Gleichungen (3) und (6) ist j umgekehrt proportional zu q_a , wenn man die Abhängigkeit von μ und q_a vernachlässigt. Letzteres ist vermutlich akzeptabel, weil sowohl in irischen Hochmooren wie auch im Hochmoor Männikjärve in Estland T_a sich bei relativ kleinen Wasserstandsschwankungen von 10 bis 15 cm um einen Faktor zwischen 10 und 100 änderte und μ nur um etwa einen Faktor 2 (VAN DER SCHAAF 1999; CUSTERS & GRAAFSTAL 2005). Deswegen gilt:

$$j = C_1 \frac{\mu}{T_a} \approx \frac{C_2}{v_a} \quad \text{und} \quad C_2 \approx j v_a, \quad (7)$$

wobei C_1 [L²] und C_2 [L] systemeigene Konstanten sind. Genaugenommen ist C_2 nur annähernd konstant, weil die Änderung von μ mit der Wasserhöhe vernachlässigt wurde.

Hiermit zeigt sich, dass Gleichung (5) für ein Hochmoor wesentlich nichtlinear ist, weil j von v_a abhängt. Wenn v_a während des Abflusses um einen bestimmten Faktor abnimmt, nimmt j gemäß Gleichung (7) gleichzeitig um etwa den gleichen Faktor zu. Dadurch verläuft die Entleerung des vom Moore gebildeten Wasserspeichers immer langsamer und das Moor wandelt sich von einem schnell reagierenden System allmählich in ein langsames.

Diese Hypothese beinhaltet, dass die Anhänger beider in der Einführung erwähnten Gesichtspunkte in bestimmtem Sinne recht hatten: die Moorkultivierer bei hohen Abflüssen und die Naturschützer bei niedrigen. Die Hypothese war aber noch zu prüfen.

3. Prüfung der Hypothese

Die Prüfung erfolgte an Hand stündlich registrierter Abflussdaten eines etwa 30 ha großen Einzugsgebietes im Hochmoor Raheenmore Bog in Irland (Lage: 53° 20' N, 7° 20' W). Das Moor ist etwa 125 ha groß. Der Abfluss wurde mit einem Messwehr und Pegelschreiber registriert (VAN DER SCHAAF 1999). Gemessen wurde von September 1990 bis Mitte Juli 1993. Die Kurven wurden im „Office of Public Works“ in Dublin digitalisiert. Weil die Größe des Einzugsgebietes bekannt war, konnten aus den gemessenen Abflussvolumina Abflussspenden in mm pro Tag berechnet werden.

Für eine sinnvolle Prüfung teilt man den Abflussverlauf am besten in so kurze Zeiträume ein, dass man den Abfluss innerhalb eines Zeitraumes annähernd als linear betrachten kann, d.h. dass j sich während des Zeitraumes nicht allzu viel ändert. Dazu soll die Dauer des Zeitraumes vorzugsweise beträchtlich kleiner als dessen mittlere j sein.

In Abhängigkeit der Größe der Abflussspende wurden Zeitabschnitte von 10, 15 und 30 Stunden mit abnehmendem Abfluss und ohne Niederschlag ausgewählt. Diese lagen meist in den Monaten November bis Februar um Effekte der Verdunstung zu minimieren. Nur Intervalle von 10 und 15 Stunden wurden auch für andere Monate verarbeitet, aber ausschließlich bei Abflussspenden > 5 mm/Tag. Weil die vertikale Versickerung im Moor nur etwa 15 mm pro Jahr betrug (VAN DER SCHAAF 1999) wurde sie vernachlässigt.

Mit Hilfe der Berechnung der linearen Regression wurde mit Gleichung (5) aus den Abflussdaten für jeden ausgewählten Zeitabschnitt ein Wert für j ermittelt. Das Ergebnis wurde nur berücksichtigt, wenn die vom Regressionsmodell errechnete Varianz wenigstens 95% der ursprünglichen war, d.h. $r^2 \geq 0,95$. Dies war für mehr als 80% der Zeitabschnitte der Fall. Der Mittelwert der Abflussspende während des Zeitraumes wurde ebenfalls berechnet, womit der Wert von C_2 in Gleichung (7) berechnet werden konnte.

Die Daten wurden dann mit einem Verfahren der linearen Regression ausgeglichen, gemäß:

$$\frac{1}{j} = a + \frac{1}{C_2} v_a \quad (8)$$

Der Wert von a soll gemäß Gleichung (7) null sein. Das Verfahren wurde für die Winterhalbjahre 1990/91, 1991/92 und 1992/93 getrennt durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Abb. 1 gezeigt.

Alle Kurven in Abbildung 1 zeigen eine gute lineare Beziehung zwischen $\frac{1}{j}$ und v_a , weil a in allen drei Fällen kaum von 0 abweicht. Dies bestätigt die oben entwickelte Hypothese, dass der Abfluss zwar kurzfristig hohe Werte hat, aber auch dass der Rückgang des Abflusses bei niedrigeren Werten immer langsamer wird. Bei Werten von v_a über 6 mm pro Tag beträgt j nur 1 Tag oder etwas weniger, während bei niedrigeren Werten, von z.B. 0,5 mm pro Tag, der Wert von j zehnfach höher ist. Im Herbst und im Winter kann dies während längerer, regenloser Perioden einen durchgehenden, aber kleinen Abfluss zufolge haben. Im späten Frühling und im Sommer ist die Verdunstung meistens so hoch, dass der Abfluss aus dem Moor relativ schnell völlig aufhört.

Die Beziehungen sind für die jeweiligen Jahre ungleich. Die Unterschiede scheinen zu groß, um sie dem Zufall zuzuschreiben. Ein statistischer Test soll deswegen angeben, ob die Datensätze der drei Jahre statistisch unterschiedlich sind. Falls ja, soll eine Erklärung gefunden werden.

Die Systemkonstante C_2 in Gleichung (7) und (8) ist die zu prüfende Größe. Sie wurde für jeden ausgewählten Zeitabschnitt von 10, 15 oder 30 Stunden berechnet. Darauf wurden für die drei unterschiedlichen Jahreszeiten der Mittelwert, dessen Standard-Fehler und der 95%-Vertrauensbereich berechnet. Tabelle 1 zeigt das Ergebnis.

Die Vertrauensbereiche von 1991-92 und 1992-93 sind statistisch nicht signifikant unterschiedlich, obwohl der Wert von C_2 in der letzten Saison etwas höher liegt. Beide liegen aber völlig außerhalb des Vertrauensbereiches für 1990-91. Man muss also annehmen, dass sich während des Sommers von 1991 im Moor etwas geändert hat.

Eine glaubhafte Erklärung wäre, dass der Sommer von 1991 in Raheenmore Bog relativ trocken war, mit nur 257 mm Niederschlag zwischen dem 1. Mai und dem 1. Oktober. Das ist etwa ein Drittel unter dem langjährigen Mittel (1951-1980) von etwa 370 mm (eigene Daten und Daten des irischen meteorologischen Dienstes Met Éireann). Unter solchen Umständen wäre anzunehmen, dass das Wachstum des Akrotelms im Sommer von 1991 relativ klein und die Zersetzung relativ groß gewesen ist. Dies könnte die Regulierungsfähigkeit des Akrotelms verringert haben. Diese Annahme wird von der leichten Zunahme von C_2 nach dem Sommer von 1992 (374 mm Niederschlag) unterstützt.

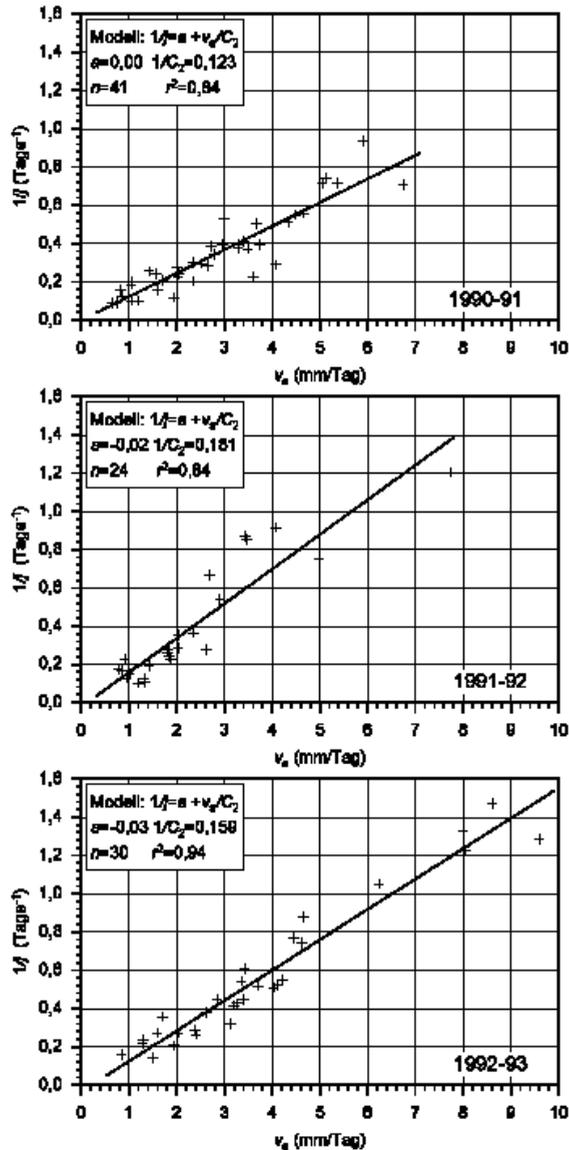


Abb. 1. Die Speicherkonstante j (als $1/j$) des Einzugsgebietes in Raheenmore Bog gegen die Abflussspende v_a für die hydrologischen Jahre 1990-91, 1991-92 und 1992-93 (Die Werte von r^2 bedeuten nach SHANNON & WEAVER (1949) einen Informationsgehalt von 39/100 ($r^2=0,84$) und 69/100 ($r^2=0,94$))

The reservoir coefficient j (presented as $1/j$) of the Raheenmore Bog catchment versus the specific discharge v_a for the hydrological years 1990-91, 1991-92 and 1992-93 (According to SHANNON & WEAVER (1949), the values of r^2 imply an information content of 39/100 for $r^2=0,84$ and 69/100 for $r^2=0,94$)

Tab. 1: Mittelwerte der Proportionalitätskonstante C_2 aus Gleichung (7) und deren, auf einer t -Verteilung basierten, zweiseitigen Vertrauensbereich (95%) für die hydrologischen Jahre 1990-91, 1991-92 und 1992-93

Means of the proportionality constant C_2 of Equation (7) and their t -distribution based 95% two-sided confidence interval for the hydrological years 1990-91, 1991-92 and 1992-93

Periode	Anzahl der Daten	Mittelwert von C_2	Standard-Fehler	Vertrauensbereich
1990-91	41	8,53 mm	0,43 mm	7,66 - 9,39 mm
1991-92	24	6,58 mm	0,42 mm	5,70 - 7,45 mm
1992-93	30	6,95 mm	0,27 mm	6,40 - 7,51 mm

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Aufgrund der Daten scheint die entwickelte Hypothese weitgehend richtig zu sein. Man sollte aber bedenken, dass die Daten aus einem relativ kleinen Hochmoor stammen, wo die Stromlinien des gemessenen Einzugsgebietes mit etwa 1 bis 1,3 km nicht sehr lang sind und das Oberflächengefälle mit 1 bis 5 m pro km relativ groß ist.

In größeren und flacheren Hochmooren könnte bei längeren Stromlinien die Annäherung zum Verhalten des beschriebenen nicht-linearen Speichers schlechter werden. Der Abfluss wird aber in solchen Mooren auch nicht sehr viel anders verlaufen, weil die Grundlage der Hypothese, die auf dem beschriebenen Akrotelmverhalten beruht, sich mit der Größe des Moores nicht wesentlich ändert.

Das Akrotelm von Raheenmore Bog war in den Jahren 1990-93 nicht optimal entwickelt (VAN DER SCHAAF 1999). Ein Vergleich von Messungen der Akrotelmtransmissivität und Abfluss in diesen Jahren und in 2002-03, zeigte einen starken Zuwachs in zehn Jahren (VAN DER PLOEG et al. 2003). Die neuen Abflussmessungen wurden erst vor kurzem beendet. Sie sind wahrscheinlich etwas weniger genau als die Messungen von 1990-93, weil sie mit Druckaufnehmern statt einem Pegelschreiber registriert wurden. Ob sie so analysiert werden können wie die älteren Daten, ist noch nicht geprüft. Falls dies möglich ist, wäre ein Vergleich interessant.

Eine andere Konsequenz ist, dass die Abflussdaten, die in den fünfziger bis siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts in der Diskussion eine so große Rolle gespielt haben, dafür weniger geeignet waren als damals angenommen wurde. Wenn in Irland schon ein trockener Sommer für eine messbare Änderung des Abflussverhaltens genügt, kann man sich vorstellen, dass in norddeutschen Resthochmooren das Akrotelm und deswegen auch die Abflüsse von den Kultivierungsarbeiten im angrenzenden ehemaligen Moorgebiet beeinflusst worden waren. In Irland wurde festgestellt, dass Strompfad-

länge und Oberflächengefälle nicht nur einen weitgehenden Einfluss auf die Vegetation haben, sondern auch auf die Transmissivität T_a des Akrotelms (VAN DER SCHAAF & STRE-
EFKERK 2002, VAN DER SCHAAF 2002b).

Bei der Umwandlung von Moor in Grünland wird die Strompfadlänge im Restmoor verkürzt und die folgende Moorsackung wird das Gefälle im Restmoor meist vergrößern. Beide Effekte verringern das Abflussregulierungsvermögen des Akrotelms. Es ist darum nicht unwahrscheinlich, dass das damals gemessene Abflussverhalten von Moorflächen schon nicht mehr repräsentativ war für ein natürliches Hochmoor.

5. Literaturverzeichnis

- BADEN, W. & EGGELSMANN, R. (1964): Der Wasserkreislauf eines nordwestdeutschen Hochmoores. Eine hydrologische Studie über den Einfluß von Entwässerung und Kultivierung auf den Wasserhaushalt des Königsmoores. - Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen **12**: 1 – 156; Hamburg (Verlag Wasser und Boden).
- CUSTERS, J. & GRAAFSTAL, H. (2005): Characterisation of the water flow in a pool-ridge microtope in a bog. A case study of Männikjärve Bog, Estonia. – 66 S. Unveröff. Diplomarbeit; Wageningen/Tallinn.
- EGGELSMANN, R. (1967): Oberflächengefälle und Abflußregime der Hochmoore. - Wasser und Boden **19**(8): 247-252; 6 Abb., 5 Tab.; Hamburg.
- INGRAM, H.A.P. & BRAGG, O.M. (1984): The diplotelmic mire: some hydrological consequences reviewed. Proc. 7th Int. Peat Congress Dublin, June 18-23 1984, Vol **1**: 220-234; Helsinki.
- IVANOV, K.E. (1965): Fundamentals of the theory of swamp morphology and hydromorphological relationships. - Soviet Hydrology. Selected Papers **4**: 224-258. 17 Abb. 3 Tab.; Washington.
- IVANOV, K.E. (1981): Water Movement in Mirelands. 276 S.; London (Academic Press).
- KRAIENHOFF VAN DE LEUR, D.A. (1958): A study of non-steady groundwater flow with special reference to a reservoir coefficient I. De Ingenieur **70B**: 87-94. 7 Abb.; Amstelveen.
- PLOEG, M.J. VAN DER, HEGGELER M.M.A. TEN, SCHAAF, S. VAN DER & VUURENS, S.H. (2003): Acrotelm development on Raheenmore Bog (Ireland). In: JÄRVET, A. & LODE, E.: Ecohydrological processes in Northern wetlands. Selected papers of International Conference & Educational Workshop Tallinn, Estonia 30 June – 4 July 2003: 99-104; 4 Abb., 1 Tab.; Tallinn-Tartu (Tartu University Press).
- ROMANOV, V.V. (1968): Hydrophysics of bogs. - 299 S.; Jerusalem (Israel Program of Scientific Translations).
- SCHAAF, S. VAN DER (1999): Analysis of the hydrology of raised bogs in the Irish Midlands. A case study of Raheenmore Bog and Clara bog. – 375 S; Wageningen (Dissertation).
- SCHAAF, S. VAN DER (2002a): Bog hydrology. - In: SCHOUTEN, M.G.C.: Conservation and Restoration of Raised Bogs: 54-109; Dublin (Dúchas).

- SCHAAF, S. VAN DER (2002b): Using surface topography to assess potential and actual ecological conditions in Irish Midland raised bogs. - *Annals of Warsaw Agricultural University. Land Reclamation* **33**: 49-56. 4 Abb. 1 Tab.; Warschau.
- SCHAAF, S. VAN DER & STREEFKERK, J.G. (2002): Relationships between biotic and abiotic conditions. In: SCHOUTEN, M.G.C.: *Conservation and Restoration of Raised Bogs: 186-209*; Dublin (Dúchas).
- SHANNON, C.E. & WEAVER, W. 1949: *The Mathematical Theory of Communication*. – 117 S.; Urbana (University of Illinois Press).
- UHDEN, O. (1951): Verschlechtert die Entwässerung und Kultivierung der Moore die Wasserverhältnisse der Unterlieger? - *Wasser u. Boden* **3(8)**:180-182., 1 Abb; Hamburg.
- UHDEN, O. (1967): Niederschlags- und Abflußbeobachtungen auf unberührten, vorentwässerten und kultivierten Teilen eines nordwestdeutschen Hochmoores, der Esterweger Dose am Küstenkanal bei Papenburg. - *Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen* **15(I)**: 1 - 99; Hamburg (Verlag Wasser und Boden).

Anschrift des Verfassers:

Dr. S. van der Schaaf
Universität Wageningen,
Abt. für Umweltwissenschaften, Sektion Wasserhaushalt
Nieuwe Kanaal 11
NL-6709PA Wageningen, Niederlande
E-mail: v.d.schaaf@hccnet.nl oder Sake.vanderschaaf@wur.nl

Manuskript eingegangen am 19. Mai 2005