

Ökohydrologische Modellbildung auf der Grundlage von IVANOVs hydromorphologischer Theorie und Anwendungen im praktischen Naturschutz

Edom, F. (HYDROTELM Dresden); Dittrich, I., Kessler, K. & Goldacker, S. (Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz); Wagner, M. (TU Dresden, IHM); Golubcov, A.A. (HYDROTELM Kurgan/ Russland)

Einführung

In der FFH-Richtlinie der EU (Art. 3) wird die Errichtung eines „kohärenten europäischen ökologischen Netzes besonderer Schutzgebiete mit der Bezeichnung „Natura 2000““ gefordert. Bestandteil ist die Erhaltung und Entwicklung sogenannter Lebensraumtypen (LRT), die auch unterschiedliche Habitats der Moore und Moorwälder beinhalten.

Wie die Umsetzung der EU-Richtlinien in örtlich konkreten Mooren auszusehen hat, bedarf einer wissenschaftlichen Zielfindungsstrategie, die hydrologisches, moorkundliches und geobotanisches Wissen in sich vereinigt. Zu einer hydrologisch fundierten Modellierung von Ökosystemzuständen bietet sich die Weiterentwicklung solcher „klassischer“ hydrologischer Modelle an, die in weitgehend natürlichen Ökosystemen entwickelt und erprobt wurden. Für natürliche Moore ist dies z.B. die hydromorphologische Theorie von IVANOV [16].

Hydromorphologie und Hydromorphologische Theorie

Hydromorphologie ist das Teilgebiet der Geomorphologie, das sich mit **wassergeprägten Formenelementen** der Landschaft und ihren Zusammenhängen untereinander beschäftigt. Eine Kopplung mit Methoden der quantitativen Hydrologie erlaubt dann die kausale Erklärung, mathematische Modellierung sowie Entwicklungsvorhersagen für wassergeprägte Landschaftselemente. Dieses nennen wir Hydromorphologische Theorie (HT). Hydromorphologische Theorien gibt es z.B. für Moore [16], Flussbett- und Auendynamik [19], Küstendynamik sowie weitere mit dem Wasser verbundene Erosions- und Sedimentationsprozesse.

In diesem Sinne ist ein wachsendes Moor ein wassergeprägtes und –geformtes Landschaftselement. Ein ganzes Moor als wassergeprägtes Formenelement auf einer großen Skalenebene besteht wiederum aus Mustern unterschiedlicher wassergeprägter Elemente auf kleinerer Ebene, den sogenannten hydromorphologischen Strukturelementen. Diese sind z.B. Flach- oder Tiefrillen, Moorkolke, Bült-Schlenken-Komplexe, Flarke und Rimpies, Lags oder auch einzelne Vegetationseinheiten im Moor.

Als Hauptprinzip der HT für wachsende Moore kann das dritte moorhydrologische Theorem [6, S. 186] angeführt werden: „In wachsenden Mooren ist das Mesorelief der Mooroberfläche weitgehend parallel zur Moorwasserspiegeloberfläche. Damit können Mesoreliefformen eines Moores als Oberfläche eines Grundwasserkörpers dargestellt werden.“ Ein wichtiger mathematischer Ausdruck von IVANOVs HT ist seine „**hydromorphologische Grundgleichung**“, die in [6, 16, 22] abgeleitet und ausführlich diskutiert wird.

Zur Methodik der hydromorphologischen Analyse

Jedes Moor weist sein eigenes Mesorelief auf, das im Laufe der Moorentwicklung entstanden oder auch durch anthropogene Einflüsse verändert worden ist. Zu einer **hydromorphologischen Analyse** muss als erster Schritt das Relief erfasst werden, entweder durch flächendeckende terrestrische Vermessung oder durch Fernerkundung. Es lassen sich nun **Höhenkarten** und **Gefällekarten** herstellen. Senkrecht zu den Höhenlinien kann man für (potentiell) wassergesättigte Moore das **Netz der Stromlinien** konstruieren. Die Stromlinien zerteilen das Moor in Stromsektoren, die durch die Höhenlinien in Segmente unterteilt werden. Stromlinienbilder unterschiedlicher Moore und Moortypen finden sich in [14, 15, 16, 20].

In den Stromlinienbildern zeigen sich **divergente, parallele und konvergente Situationen**. Die Einbettung unterschiedlicher natürlicher und anthropogener Strukturen in die gegebene hydromorphologische Situation ergibt schon einige Möglichkeiten qualitativer Erklärungen. So führen konvergente Situationen meist zu einer Zunahme des Profildurchflusses. Rüllen und moorinnere Bäche finden sich meist in konvergentem Relief. Divergentes Relief beherbergt oft typische ombrogene Standorte.

Nimmt man eine oberflächennahe Strömung im wachsenden (selbstregulierten) Moorkörper an, fließt das Wasser in Richtung der Stromlinien. Die Verteilung der langjährig mittleren **spezifischen Profildurchflüsse** q_s im Segment i lässt sich nun flächendeckend berechnen:

$$q_s(i) = \frac{q_{CM} \cdot b_{CM} + \sum_{j=1}^i [A_j \cdot (P_j - ET_j + q_{GW}(j))]}{b(i)} \quad (1)$$

mit: q_{CM} = langjährigem mittleren Zufluss aus dem silikatischen Einzugsgebiet in das erste Segment $j=1$ eines Moorektors mit der Breite $b_{CM} = b_0$; A_j = Fläche des Segmentes j , $(P_j - ET_j + q_{GW}(j))$ = langjährig mittlere vertikale Wasserbilanz des Moor-Segmentes j . P = Niederschlag; ET = Verdunstung; q_{GW} = vertikaler Grundwasseraustausch.

Es ergibt sich eine **Karte** der räumlichen Verteilung **der** horizontalen **Profildurchflüsse** durch den Moorkörper oder - bei entsprechenden Moortypen - durch das Akrotelm. Nach

unseren Erfahrungen im Erzgebirge sind in Mooren mit ungestörtem Relief die Profildurchflüsse ziemlich gleichverteilt [4, 5, 9, 11]. Zonen höherer Wasserflüsse gibt es in natürlichen Abflussstrukturen wie Rüllen oder Bächen sowie in gestörten Bereichen. Durch das unterschiedliche Gefälle differenziert sich die Zonierung der Transmissivitäten

stärker. Gl. (1) dividiert durch das Gefälle $\frac{dy}{dl}(s)$ eines Segmentes (Länge s in Gefällerrichtung l) ergibt die Transmissivität $T_z(i)$ des im langjährigen Mittel durchflossenen Schichtpaketes des Mooresegmentes i bei langjährig mittlerem Wasserstand z_m [6, 7, 8, 12]:

$$T_z(i) = \frac{q_s(i)}{\frac{dy}{dl}(i)} = \frac{q_{CM} \cdot b_{CM}}{b(i) \cdot \frac{dy}{dl}(i)} + \frac{\sum_{j=1}^i [A_j \cdot (P_j - ET_j + q_{GW}(j))]}{b(i) \cdot \frac{dy}{dl}(i)} \quad (2)$$

Entsprechend erhält man eine **Karte der** Verteilung der durchströmten (selbstregulierten) **Transmissivitäten** [7, 8]. Weil in wachsenden Mooren die Moorvegetation selbst und der von ihr gebildete Torf das durchströmte Medium darstellen, also die hydraulischen Eigenschaften bestimmt, ist die Transmissivität eng korreliert mit langfristig stabilen Vegetationsformen [6, 7, 8, 16, 17]. Wenn sich also die Wasserspeisung oder die Klimabedingungen ändern, reagiert die Vegetation mit Selbstregulationsmechanismen, die zur Änderung der Transmissivität führen [6, 16, 18].

Die Bewertung des langjährig mittleren hydrochemischen Einflusses in einem Mooresegment gestaltet sich schwieriger. Eine methodisch einfachere Lösung ist die Berechnung von Mischungsverhältnissen der Wassermengen unterschiedlicher Herkunft. Unterschieden werden minerogene Wassermengen, die vor Durchströmung des Moorkörper schon mit einer silikatischen Gesteinsmatrix Kontakt hatten, und ombrogene Wassermengen, die direkt auf den Torfkörper auftreffen. Das Verhältnis des minerogenen Wassers zu dem gesamten das Segment i durchströmenden Wasser nennen wir die Obergrenze des Hang- und Quellwasseranteils, den genetischen Hang- und Quellwasseranteil oder den **Minerogenie-Quotient** $H_o(i)$:

$$H_o(i) := \frac{q_{CM} \cdot b_{CM} + \sum_{j=1}^i [A_j \cdot q_{GW}(j)]}{q_{CM} \cdot b_{CM} + \sum_{j=1}^i [A_j \cdot (P_j - ET_j + q_{GW}(j))]} \quad (3)$$

Nimmt man an, dass alles verdunstende Wasser mit seinem lokalen Gehalt an Nährstoffionen zur dauerhaften Akkumulation dieser Ionen in der Pflanzendecke oder im Torf führt, erhält man ein kleineres Mischungsverhältnis. Dieses nennen wir die

Untergrenze des Hang- und Quellwasseranteils, den trophisch wirksamen Hang- und Quellwasseranteil oder den **Minerotrophie-Quotient** $H_U(i)$:

$$H_U(i) := \frac{q_{CM} \cdot b_{CM} + \sum_{j=1}^i [A_j \cdot q_{GW}(j)]}{q_{CM} \cdot b_{CM} + \sum_{j=1}^i [A_j \cdot (P_j + q_{GW}(j))]} \quad (4)$$

Nehmen H_O bzw. H_U Werte von 1 an, ist das Wasser vollständig minerogen bzw. minerotroph. Ist der Wert gleich Null, handelt es sich um ombrogene bzw. ombrotrophe Standorte. Mit Gl. (3) und (4) lassen sich **Karten der Hang- und Quellwasseranteile** berechnen (Abb. 1).

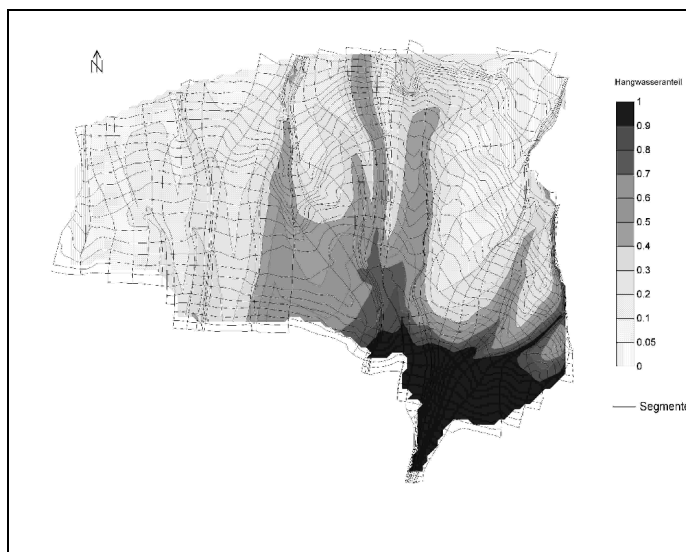


Abb.1: Zonierung der potentiellen trophisch wirksamen Hangwasseranteile in der Großen Säure bei Carlsfeld /Erzgebirge (aus [11])

Für die Ableitung resultierender Ökotoptypen, die ein standörtlich mögliches Spektrum an Vegetationstypen ergeben, wurde eine Matrix aus Klassen der Torfmächtigkeit, der Transmissivität und der trophisch wirksamen Hangwasseranteile erstellt [9]. Grundlage ist eine Parallelisierung russischer und erzgebirgischer Vegetationstypen [6, 7, 8, 24] sowie die kontinuierliche Einbindung mit geobotanischer Erfahrungen (z.B. [10]). Es ergeben sich **Karten der potentiellen Ökotoptopzonierung** von wachsenden Mooren unter aktuellen Relief- und Wasserhaushaltsbedingungen.

In einem aktuell wachsenden Moor mit stromlinienförmig abgestimmten Akrotelmen entspricht dies der aktuellen Ökotoptopzonierung. In solchen Mooren ist es möglich, die Modellansätze durch Kartierung der Vegetation oder der hydraulischen Parameter zu

eichen. In einem regenerierenden Moor oder einem durch Maßnahmen zu revitalisierenden Moor ist dies eine prognostische Ökotopzonierung. Die prognostische Ökotopzonierung zeigt die Entwicklungsrichtung der Sukzession regenerierender Moore [10] bzw. im Falle zu planender Naturschutzmaßnahmen ein realistisch anzustrebendes (und nicht durch Wunschvorstellungen überzogenes) **Leitbild**. Da Regenerationsprozesse im oberen Erzgebirge bis zu zwei Jahrhunderte dauern können [10], sind *Beweise* der prognostizierten Ökotopzonierung nur sehr langfristig möglich. In den bisher hydromorphologisch analysierten Mooren des Erzgebirges häufen sich aber aus unterschiedlichen Geländebeobachtungen, Kartierungen der Vegetation und der Moorstratigraphie *Belege* über die Richtung der Ökotopentwicklung.

Viele Ökotope natürlicher Moore sind LRT des Anhangs 1 der FFH-Richtlinie. Für das Erzgebirge sind das die LRT 3160 (Dystrophe Stillgewässer), 7110* (lebende Hochmoore), 7120 (noch renaturierungsfähige Hochmoore), 7140 (Übergangs- und Schwingrasenmoore), 7150 (Torfmoor-Schlenken), 91D1* (Birken-Moorwälder), 91D3* (Bergkiefern-Moorwälder), 91D4* (Fichten-Moorwälder) sowie einige torfmoos- oder seggenreiche Ausprägungsformen vom LRT 9410 (montane Fichtenwälder). Da man jetzt **Karten der hydromorphologisch potentiellen FFH-LRT** [9] herstellen kann, liefert die hydromorphologische Analyse Planungsgrundlagen für das FFH-Management.

Hydromorphologische Modellierung von Torf-Wachstum

Aus der hydromorphologischen Theorie konnte eine Gleichung für das **Höhen- und Massenwachstum** in einem Segment des Torfkörpers abgeleitet werden [12]. Das Wachstum eines Segmentes ist dabei abhängig von seiner Morphologie, von der Verteilung der hydraulischen und chemischen Torfparameter über die Tiefe (Torfschichtung) sowie von wasserchemischen Parametern. Durch Zusammenfassung einiger Parameter konnte diese komplexe Gleichung zur - bisher als konzeptionell zu bezeichnenden - Wachstumsgleichung von CLYMO [1, 2, 3] vereinfacht werden. Die vielfach experimentell bestimmten CLYMO-Parameter bekommen damit einen tieferen Sinn, deswegen kann die Gleichung jetzt als **CLYMO-Gesetz** bezeichnet werden.

Anwendungen im praktischen Naturschutz

a) Revitalisierungsplanung

Soll für ein durch Gräben gestörtes Moor eine Revitalisierungsplanung gemacht werden, so erfolgt nach der Durchführung der Vermessung und der anderen Geländearbeiten die Erstellung bzw. Berechnung aller zuvor beschriebenen Karten. In den Karten ist dann jeweils die Einbettung der Gräben in ein potentiell natürliches hydrologisches und trophisches Regime sowie in eine potentielle Ökotopzonierung erkennbar. Nach Analyse dieser Karten wird ein **räumlich und zeitlich gestaffelter Maßnahmenplan** erarbeitet [4,

5, 11]. Aufgrund der Zeitdauer der Regenerationsprozesse und der damit verbundenen langsamen Entstehung neuer wasserdurchlässiger Akrotelme schlagen wir verschiedene Zeithorizonte der (Stau- und Rückbau-) Maßnahmen vor.

b) Modellierung von Änderungen durch Eingriffe

Gibt es unterschiedliche Alternativen der Durchführung von Revitalisierungsmaßnahmen oder sollen bestimmte Einflüsse oder Eingriffe auf ein Moor bewertet werden, bietet sich eine Modellierung mit der Erstellung unterschiedlicher Szenarien an. Dabei werden für die verschiedenen Szenarien jeweils wieder das gesamte Set der Karten erarbeitet. Zum Vergleich der Szenarien bieten sich **Unterschiedskarten** an. Bei den berechneten Parametern ist das die flächige Darstellung von Differenzen der Profildurchflüsse, Transmissivitäten usw.. Die Unterschiede der Entwicklung von Ökotypen bzw. FFH-LRT lassen sich in Karten mit den entstehenden Sukzessionsflächen darstellen (Abb. 2).

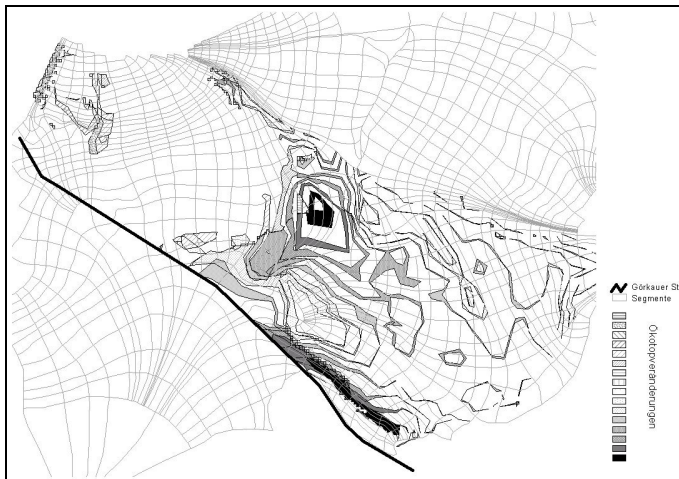


Abb. 2: Durch Rückbau des Weges (schwarze Linie) im Moor zu erzielende Sukzessionsflächen zu nasseren Ökotypen (aus [9])

Durch Rückbau des Weges in einigen Teilen des Moores sind flächig größere Effekte zu erzielen bzw. es können in einigen Teilen wertvollere oder seltenere Ökotope entstehen. Man kann damit auswählen, in welchem Stromsektor man den Weg entfernt (Abb. 2).

Morphologie, Vegetation und Abflussbildung

Die entwässerbaren Porositäten n_e und die hydraulischen Leitfähigkeiten k_f im Akrotelm unterschiedlicher Ökotope sind stark von der Tiefe unter der Mooroberfläche abhängig [6, 16, 17, 21, 22]. WAGNER [23] hat einige dieser Literatur-Messwerte an eine Tiefenfunktion der Form

$$k_f(z) = k_{Kat} + (k_0 - k_{Kat}) \cdot e^{\frac{z}{m}} \quad (5) \quad \text{bzw.}$$

$$n_e(z) = n_{Kat} + (n_0 - n_{Kat}) \cdot e^{\frac{z}{m}} \quad (6)$$

angepasst. (Index *kat*: Größe des Parameters im Katotelm, 0 an der Mooroberfläche; z = Tiefe, nach unten negativ; m = ökotopspezifischer Parameter).

Diese Tiefenabhängigkeit erschwert die Anwendbarkeit des klassischen Prinzips des Einzellinearspeichers in der Beschreibung der Abflussbildung. Deswegen hat WAGNER [23], aufbauend auf der Kontinuitätsbeziehung mit dem Niederschlag *P*, dem tiefenabhängigen Ausfluss *Q(z)* und Speicher *S(z)*, der Tiefe *z* und der Zeit *t*, eine neue analytische Ausflussfunktion hergeleitet. Mit dieser WAGNERschen Ausflussfunktion wurde der Einfluss der Stromsektorenform auf das Abflussverhalten eines Standardsegmentes untersucht. In den Abbildungen 3 und 4 sind vergleichend die Grundwasserstandsentwicklungen und breitenbezogenen Ausflüsse *q* mit unterschiedlichen Anfangswasserständen *z₀* und unter Einfluß von Regenereignissen dargestellt.

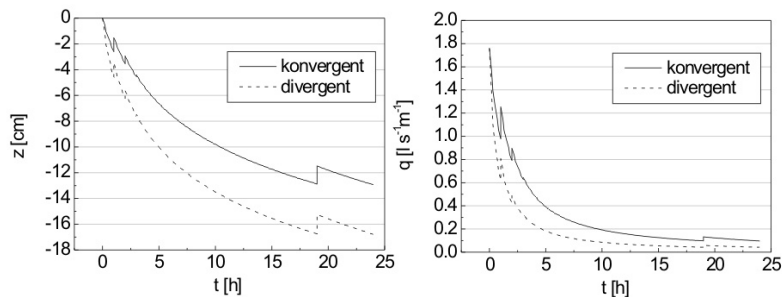


Abb. 3: Grundwasserstandsentwicklung und breitenbezogener Ausfluss bei $z_0 = 0$ cm

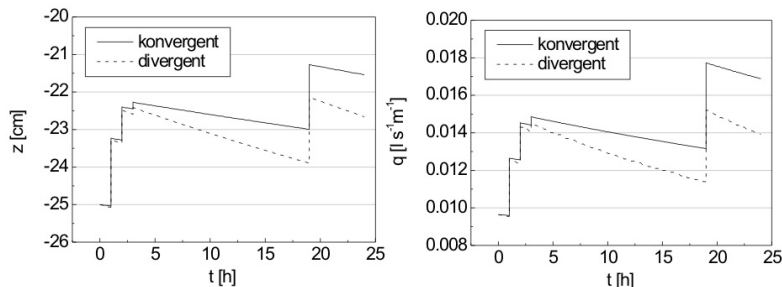


Abb. 4: Grundwasserstandsentwicklung und breitenbezogener Ausfluss bei $z_0 = -25$ cm

Es wird deutlich, dass konvergierende Stromröhren zwar einen größeren breitenbezogenen Ausfluss generieren, aber durch ihre geringere Ausflussbreite das

Wasser generell höher halten als divergierende Stromröhren. Daraus kann abgeleitet werden, dass Moore bevorzugt unter konvergenten Verhältnissen entstehen.

Weiterhin ist zu erkennen, dass der bei Sättigung bis zur Oberfläche (Abb. 3) wesentlich schneller absinkt als in Trockenzeiten (Abb. 4).

Außerdem kann mit der WAGNERschen Ausflussfunktion eine Aussage über die Wirkung von Ökotope mit unterschiedlichen Tiefenfunktionen hydraulischer Parameter getroffen werden. Abb. 5 zeigt für fünf Ökotope die berechneten Rückgangskurven eines 121 m langen und 1 m mächtigen Torfkörpers mit einheitlichem Gefälle und ohne Regenereignis.

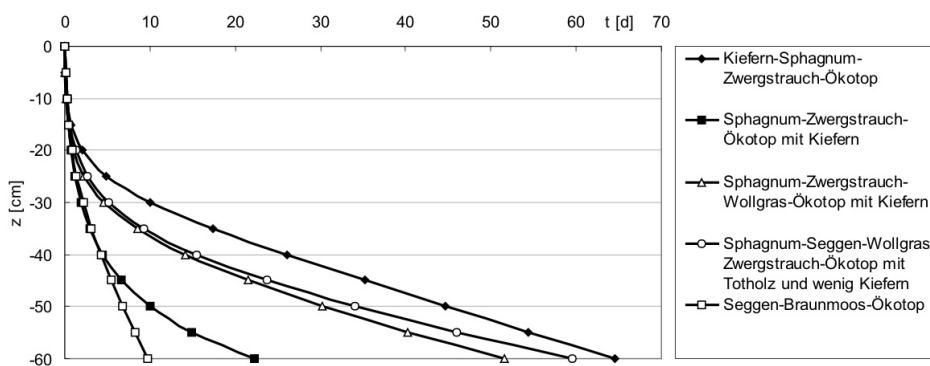


Abb. 5: Rückgangskurven verschiedener Ökotope

Es konnte gezeigt werden, dass eine veränderte Vegetation oder ein verändertes Relief zu anderen Reaktionsmustern der Abflussbildung führt. Das heißt, dass ohne die Möglichkeit der Beschreibung der Vegetations- und Ökotopeentwicklung Abflussbildungsprozesse in Mooren nicht hinreichend, d.h. nur für den kurzzeitigen Ist-Zustand, verstanden werden können.

Danksagung

Wir danken dem Umweltfachbereich des Regierungspräsidiums Chemnitz und dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie dafür, dass sie für die entsprechenden Planungen und Studien [4, 5, 9, 11] uns und damit unsere Methodik ausgewählt haben. Damit waren auch einige der in diesem Artikel dargestellten Weiterentwicklungen der Methodik möglich. Für die ständige vegetationskundliche Rückkopplung danken wir vor allem Dirk WENDEL (Tharandt). Der Erstautor dankt seinem Lehrer in der Moorhydrologie, Dr. Igor KALJUŽNYJ (Iličevo), für den jahrelangen uneigennützig fachlichen Rat. Für die Möglichkeit des Arbeitens an naturschutzorientierten ökologischen Instituten dankt er Prof. Peter A. SCHMIDT (Tharandt) und Prof. Michael SUCCOW (Greifswald). Ohne ihr Engagement hätte er nie so viele Moore kennenlernen und

verstehen lernen können. Prof. Gerd PESCHKE (†), Peggy ZINKE (Chemnitz) und Prof. Konrad MIEGEL (Rostock) haben sich als erste Dresdener Hydrologen mit seinen Arbeiten kritisch auseinandergesetzt.

Lieber Prof. Siegfried DYCK, Ihnen wollen wir sagen, dass aus Ihren Schülern auch Ökohydrologen hervorgegangen sind.

Literatur

- [1] Clymo, R.S., (1978): A model of peat bog growth. *Ecol. Stud.* 27: 187-223.
- [2] Clymo, R.S., (1984): The limits to peat bog growth. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* B303: 605-654.
- [3] Clymo, R.S., (1992): Models of peat growth. *SUO* 43: 127-136.
- [4] Dittrich, I., Edom, F. & Goldacker, S. (2004a): Hydrologisches Gutachten für die wasserrechtliche Genehmigung von Entwicklungsmaßnahmen zur Revitalisierung des Moorgebietes Löffelsbach. Im Auftrag des Staatlichen Umweltfachamtes Chemnitz. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz & HYDROTELM Frank Edom, Dresden. 18 S., Anlage & Anh..
- [5] Dittrich, I., Edom, F. & Goldacker, S. (2004b): Hydrologisches Gutachten für die wasserrechtliche Genehmigung von Entwicklungsmaßnahmen zur Revitalisierung des Tuchermoores. Im Auftrag des Staatlichen Umweltfachamtes Chemnitz. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz & HYDROTELM Frank Edom, Dresden.
- [6] Edom, F. (2001): Moorlandschaften aus hydrologischer Sicht (chorische Betrachtung). In: Succow, M. u. Joosten, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*. Zweite, völlig neu bearbeitete Auflage, Schweizerbart, S. 185-228, Stuttgart.
- [7] Edom, F. & Golubcov, A.A. (1996a): Prognose einer potentiell-natürlichen Ökotopzonierung für Mittelgebirgsregenmoore durch Berechnung hydrologischer Parameter. *IHI-Schriften H.2* (1996): 103-111 (Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. G. PESCHKE), Internationales Hochschulinstitut Zittau.
- [8] Edom, F. & Golubcov, A.A. (1996b): Zum Zusammenhang von Akrotelmeigenschaften und einer potentiell natürlichen Ökotopzonierung in Mittelgebirgsregenmooren. *Verhandl. der Gesellsch. f. Ökol.* 26: 221-228, Stuttgart.
- [9] Edom, F. & Keßler, K. (2006): Hydrologische Auswirkungen der Görkauer Straße auf das FFH - Gebiet „Mothhäuser Haide“. Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. HYDROTELM Frank Edom, Dresden & Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz.
- [10] Edom, F. & Wendel, D. (1998): Grundlagen zu Schutzkonzepten für die Hang-Regenmoore des Erzgebirges. In: *Ökologie und Schutz der Hochmoore im Erzgebirge*. 31-77. Dresden Sächsische Landesstiftung für Natur und Umwelt.
- [11] Edom, F., Dittrich, I., Goldacker, S. & Keßler, K. (2005): Hydrologisches Gutachten für die wasserrechtliche Genehmigung von Maßnahmen zur Wiedervernässung des Moorgebietes „Große Säure“. Im Auftrag des Staatlichen Umweltfachamtes Chemnitz. Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz & HYDROTELM Frank Edom, Dresden.
- [12] Edom, F.; Golubcov, A. A.; Dittrich, I.; Zinke, P. & Solbrig, B.(2007): Using IVANOV's hydromorphological theory in mire-ecology – an introduction. In: *Proceedings of the international conference W3M "Wetlands: Monitoring, Modeling, Management"*,

- Wierzba, 22.-25.9.2005, Poland. p. 239-247. Taylor & Francis / Balkema Publishers, Leiden.
- [14] Galkina, E.A. et al. (1959): Torfjanye bolota Karelii. (Torfmoore Kareliens): Trudy Karel'skogo Filiala Akademii Nauk SSSR 15, Petrozavodsk.
- [15] Ivanov, K.E. (1953): Gidrologija bolot. (Hydrologie der Moore). Gidrometeoizdat, Leningrad.
- [16] Ivanov, K.E. (1975): Vodoobmen v bolotnych landšaftach. (WATERAUSTAUSCH IN MOORLANDSCHAFTEN). Gidrometeoizdat, Leningrad.
- [17] Ivanov, K.E.; Novikov, S.M. (1976): Bolota Zapadnoj Sibiri, ich stroenie i gidrologičeskij režim. (Moore Westsibiriens, ihr Aufbau und hydrologisches Regime), Gidrometeoizdat, Leningrad.
- [18] Joosten, H. (1993): Denken wie ein Hochmoor: Hydrologische Selbstregulation von Hochmooren und deren Bedeutung für Wiedervernässung und Restauration. TELMA 23: S. 95-115.
- [19] Kondrat'ev, N.E., Popov, I.V. & Sniščenko, B.F. (1982): Osnovy gidromorfologičeskoj teorii ruslovogo processa. (Grundlagen der hydromorphologischen Theorie des Flußbett-Prozesses.) Gidrometeoizdat, Leningrad.
- [20] Kuz'min, G.F. (1993): Bolota i ich ispol'zovanie. (Moore und ihre Nutzung). Vsesojuznyj naučno-issledovatel'skij institut torfjanoj promyšlennosti. Sb. naučnych trudov 70, St. Peterburg.
- [21] Quinton, W.L. et al. (2000): Subsurface drainage from hummock-covered hillslopes in the Arctic tundra. Journal of Hydrology, Vol. 237, S. 113-125.
- [22] Van der Schaaf, S. (1999): Analysis of the hydrology of raised bogs in the Irish Midlands. Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University.
- [23] Wagner, M. (2005): Ableitung und Diskussion einer hydromorphologischen Impulsantwortfunktion zur Beschreibung des Abflußverhaltens naturnaher Mittelgebirgsmoore. Diplomarbeit, TU Dresden.
- [24] Zinke, P.; Edom, F. (2006): Hydraulische und hydrologische Erklärung von Ökotoptstrukturen am Regenmoor Kriegswiese im mittleren Erzgebirge. Archiv Naturschutz & Landschaftsforschung 45 (2), S. 43-60.