

Die reale Evapotranspiration von  
Niedermoorgebieten

-

Ermittlung und Parameterisierung nach dem  
Penman-Monteith-Konzept

von

Gunnar Böhm

Niebüll

April 2001

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades,  
eingereicht im Fachbereich Geowissenschaften der  
Freien Universität Berlin

**Datum der Disputation: 17. Juli 2001**

**Erstgutachter:**

Prof. Dr. Martin Claußen,  
Freie Universität Berlin und Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung,  
Potsdam.

**Zweitgutachter:**

Prof. Dr.-Ing. Joachim Quast,  
Institut für Landschaftswasserhaushalt,  
Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V.,  
Müncheberg.

Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft,  
Forschung und Technologie gefördert (Förderkennzeichen: 07 VWK 01/6).

## Kurzfassung

Die Beschreibung der realen Evapotranspiration über bewachsenen Landoberflächen ist teilweise mit erheblichen Fehlern behaftet. Dies gilt insbesondere für Landschaftsformen, die bislang nicht näher auf ihre Eigenschaften bezüglich der Energiebilanz untersucht wurden.

Zu diesen Gebieten gehören die Niedermoore. Sie zeichnen sich vor allem durch eine überdurchschnittliche Wasserverfügbarkeit und eine üppige Vegetation aus. In der vorliegenden Arbeit werden die Auswirkungen dieser Merkmale auf den latenten Wärmefluß ermittelt, quantifiziert und mit Hilfe der PENMAN-MONTEITH-Gleichung mathematisch beschrieben. Dieses Verfahren ermöglicht die relativ einfache, physikalisch jedoch vollständige Implementierung der Ergebnisse in die mesoskalige Klimasimulation.

Die Grundlage zur Ermittlung der realen Evapotranspiration lieferten differenzierte Untersuchungen der hydrologischen und meteorologischen Standortbedingungen. Die Vegetation fungiert als wichtiges Bindeglied zwischen den jeweiligen Prozessen. Ihr kommt bei der Verdunstung von Landoberflächen eine Schlüsselrolle zu.

Mit Hilfe zeitlich hoch aufgelöster Messungen der Grundwasserverhältnisse und der meteorologischen Parameter wurden auf dem untersuchten Niedermoorstandort ganzjährig überdurchschnittlich hohe Verdunstungsraten ermittelt. Die Ergebnisse ließen sich sowohl durch vergleichende Untersuchungen mit Lysimetern, als auch durch Modellrechnungen verifizieren. Die Durchführung der erforderlichen Messungen unter den natürlichen Standortbedingungen ist in diesem Zusammenhang als besonderer Vorteil zu werten.

Die Einbeziehung aller relevanten meteorologischen, hydrologischen und botanischen Einflußfaktoren hat, zusammen mit der Ergebniskontrolle durch verschiedene Methoden, zu einer hohen Belastbarkeit der Resultate geführt. Sie zeigen auf, daß der latente Wärmefluß über Niedermooren bislang oftmals unterschätzt wurde. Je nach Flächenanteil, den diese Gebiete einnehmen, kann dies zu signifikanten Unsicherheiten innerhalb der mesoskaligen Klimasimulation führen. Dies gilt auch für ähnlich geprägte Landschaftsformen, wie Flußufer und Auen.

## **Abstract**

The description of the real evapotranspiration of vegetated land surfaces is partly affected with considerable errors, especially for those landscapes, where the influence on the energy balance was not investigated in detail as yet.

An example for such a landscape is the fenland area. It is characterized by a water availability above the regional mean and a well developed vegetation. In this study, the effects of these properties are examined, quantified and described with the PENMAN-MONTEITH equation. This method is a relatively simple but physically correct way, to implement the results into the mesoscale climate modelling.

Basically, the determination of the real evapotranspiration is performed by detailed investigations of the hydrological and meteorological landscape properties. The vegetation layer is an important link between these processes and has a remarkable influence on the latent heat flux.

High resolution time series of the measured groundwater height and the meteorological parameters resulted in evapotranspiration rates with magnitudes significantly above the regional mean. The results were verified by comparisons with lysimeters as well as by model calculations. In this context, the sampling of the requested data sets inside the questionable region has to be mentioned as a particular advantage.

The inclusion of all relevant meteorological, hydrological and botanical influences and the verification of the results with different methods led to a high reliability of the results. They show that the latent heat flux of a fen is often underestimated. Dependant from the area size, covered by fens, this can cause significant errors in the mesoscale climate modelling. This is also valid for similar landscapes like riverbanks and well watered meadows.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Liste der verwendeten Symbole</b>	<b>iii</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Meteorologischer Teil</b>	<b>4</b>
2.1.1	Aktuelle (reale) und potentielle Evapotranspiration	4
2.1.2	PENMAN-MONTEITH-Konzept	5
<b>2.2</b>	<b>Hydrologischer Teil</b>	<b>9</b>
2.2.1	Bodenwasser und vertikaler Wassertransport	9
2.2.2	Horizontaler Wassertransport	12
<b>2.3</b>	<b>Bedeutung der Pflanzen für die Evapotranspiration</b>	<b>13</b>
2.3.1	Allgemeines	13
2.3.2	Standortfaktoren und Anpassungsfähigkeit	13
2.3.3	Strahlung und Lichtausbeute	15
2.3.4	Temperatur, CO <sub>2</sub> -Konzentration und Photosynthese	16
2.3.5	Wasserverbrauch und Wachstum	17
<b>2.4</b>	<b>Landschaftstyp Niedermoor</b>	<b>18</b>
2.4.1	Moorarten, Entstehung und Verbreitung	18
2.4.2	Untersuchungsgebiet "Oberes Rhinluch"	19
<b>2.5</b>	<b>Niedermoor und Evapotranspiration</b>	<b>22</b>
2.5.1	Hypothese	22
2.5.2	Schätzwert der maximal möglichen Verdunstung im Oberen Rhinluch	23
<b>3</b>	<b>Methodik und Daten</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Grundkonzept</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Auswahl und Instrumentierung der Teilflächen</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Übersicht über das Datenmaterial</b>	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b>Entwicklung der PENMAN-MONTEITH-Gleichung für die gegebenen Standortbedingungen</b>	<b>33</b>
3.4.1	Allgemeines	33
3.4.2	Direkt bestimmte Variablen der PENMAN-MONTEITH-Gleichung	33
3.4.3	Parameterisierte Variablen der PENMAN-MONTEITH-Gleichung	34
3.4.3.1	Strahlungsbilanz am Erdboden $R_N$	34
3.4.3.2	Bodenwärmestrom $G$	39
3.4.3.3	Aerodynamischer Transportwiderstand $r_a$	41
3.4.3.4	Abschätzung des Oberflächenwiderstandes $r_s$	45
3.4.3.5	Fehlerabschätzung der Parameterisierung	48

---

<b>3.5</b>	<b>Hydrologische Untersuchungsmethoden</b>	<b>52</b>
3.5.1	Allgemeine Wasserbilanz	52
3.5.2	Flächenwasserbilanz	55
3.5.3	Grundwasserganglinien als Bilanzierungsgrundlage	56
<b>3.6</b>	<b>Kontrollverfahren</b>	<b>58</b>
3.6.1	Lysimetermessungen	58
3.6.2	Modellrechnungen	58
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>61</b>
<b>4.1</b>	<b>Klimatologische Charakterisierung der Jahre 1995/96</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>Vergleich der Datenreihen Wall/Paulinenaue 1995/96 - Der Oaseneffekt</b>	<b>62</b>
<b>4.3</b>	<b>Abschätzung der Evapotranspiration im Oberen Rhinluch 1995/96</b>	<b>65</b>
<b>4.4</b>	<b>Bestimmung des Oberflächenwiderstandes <math>r_s</math> aus hydrologischen Messungen</b>	<b>67</b>
4.4.1	Hydrologische Gesamtsituation auf der Fläche GWR17	67
4.4.2	Bestimmung des lateralen Wasserflusses auf der Fläche GWR17 aus der Flächenwasserbilanz	71
4.4.3	Hydrologische Gesamtsituation auf der Fläche Wall	72
4.4.4	Bestimmung des lateralen Wasserflusses auf der Fläche GWR17 aus Grundwasserganglinien	74
<b>4.5</b>	<b>Ermittlung des Oberflächenwiderstandes <math>r_s</math></b>	<b>79</b>
4.5.1	Bestimmung des Oberflächenwiderstandes $r_s$ für den August 1995	79
4.5.2	Bestimmung des Oberflächenwiderstandes $r_s$ für den August 1996	86
4.5.3	Oberflächenwiderstand $r_s$ in anderen Monaten	88
<b>4.6</b>	<b>Regionalisierung der Ergebnisse</b>	<b>92</b>
<b>4.7</b>	<b>Jahressummen der Evapotranspiration in den Jahren 1995/96</b>	<b>94</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>96</b>
<b>5.1</b>	<b>Vergleich mit Lysimetermessungen</b>	<b>96</b>
<b>5.2</b>	<b>Modellierung der Grundwasseroberfläche</b>	<b>97</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>106</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>109</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>117</b>
	<b>Erklärung zu den verwendeten Quellen</b>	<b>118</b>
	<b>Lebenslauf</b>	<b>119</b>