

6. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war es, die reale Evapotranspiration eines Niedermoors zu bestimmen und eine geeignete Parameterisierung für die Verwendung des resultierenden latenten Wärmeflusses innerhalb der mesoskaligen Klimasimulation zu definieren. Niedermoore bieten aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten optimale Bedingungen, um durchgängig hohe Verdunstungsraten zu erreichen. Diese Hypothese konnte auf der Basis umfangreicher hydrologischer Messungen bestätigt werden.

Die Durchführung der meßtechnischen Erfassung von Klima- und Wasserbilanzgrößen unter realen Bedingungen auf Teilflächen im Niedermoorgebiet hat sich, im Gegensatz zu Versuchen mit isolierten Lysimetern, als sehr wertvoll erwiesen. Äußere Einflüsse, wie der Oaseneffekt, konnten weitestgehend ausgeschlossen werden. Die gemessenen Wasserbilanzgrößen zeigen trotz ihrer Variationsbreite ein hohes Maß an Konsistenz mit einer entsprechenden Aussagekraft. Von besonderer Bedeutung sind die gemessenen Grundwasserganglinien, die in hoher zeitlicher Auflösung aufgenommen wurden.

Aufgrund eindeutiger, zeitlich konstanter Signale bezüglich der Änderung der Grundwasserhöhe, war es möglich, diese Schwankungen als reale Evapotranspiration zu interpretieren. Zusätzlich konnten die erforderlichen bodenphysikalischen Parameter anhand dieser Messungen entwickelt bzw. bestätigt werden. Gleichzeitig muß angemerkt werden, daß sich diese Methode nur auf einer der beiden Versuchsflächen als nutzbringend erwiesen hat. Auf der Vergleichsfläche haben sich die ermittelten Endergebnisse jedoch bestätigt und eine Regionalisierung der Resultate erlaubt.

Die Unterschiede bezüglich der meßbaren Grundwassersignale zeigen die Bedeutung der sorgfältigen Einbeziehung aller Einflußgrößen auf. Gleiches gilt für die Datenerhebung und vor allem deren stetige Kontrolle. Die Verwendung automatischer Datenspeicher und Auswerteroutinen verschleiern oftmals mögliche Fehlerquellen. Der Vergleich der gemessenen Strahlung, die einen entscheidenden Anteil an der berechneten Evapotranspirationshöhe besitzt, zwischen den Stationen Wall und Paulinenaue hat dies im Verlauf dieser Arbeit auf eindrucksvolle Art bewiesen.

Die Vegetation stellt ein entscheidendes Glied in der Kette des vertikalen Wassertransportes dar. Pflanzen sind auf maximales Wachstum eingestellt und verwerten dafür alle verfügbaren Ressourcen. Sie passen sich in eindrucksvoller Form an die Standortbedingungen an und nutzen die verfügbare Energie, die durch die solare Einstrahlung bereit gestellt wird, konsequent und mit sehr kurzen Reaktionszeiten bei Veränderungen aus. Die Voraussetzungen für eine optimale Entwicklung und eine größtmögliche Ertragsmenge liefern Wasser, Energie und ein ausgeglichener Nährstoffvorrat. Jede einzelne dieser Bedingungen ist bei Niedermooeren erfüllt. Andere Einflüsse, wie die Temperatur oder das CO₂-Gefälle, spielen dagegen eine untergeordnete Rolle. Nicht von ungefähr gilt eine Art der Sumpfhyanthe als die Pflanze mit der höchsten Umsatzeffizienz von 4% der eingestrahnten Energie, im Gegensatz zu 1% bei durchschnittlichen Vegetationsarten (GERTHSEN ET AL., 1989).

Für die mathematisch-physikalische Beschreibung des latenten Wärmeflusses muß eine Formulierung verwendet werden, die alle diese Standorteigenschaften, einschließlich der Boden- und Vegetationsverhältnisse, berücksichtigt. Einfache Algorithmen, die mit wenigen Parametern auskommen, sollten nur in einem sehr eingeschränkten Umfang eingesetzt werden. Eine Übertragung auf andere Regionen ist nur mit der gebotenen Vorsicht bei der Interpretation ratsam. Innerhalb der hier verwendeten PENMAN-MONTEITH-Gleichung erfolgt eine Kombination der Transportkomponenten, die auf den latenten Wärmefluß wirken. Beide, der Energie- und der Transportterm, sind an Meßgrößen gebunden und im Prinzip standortunabhängig. Das Vegetationsverhalten kann durch einen Parameter, den Ober-

flächenwiderstand, angegeben werden. Er beinhaltet die spezifischen Merkmale der Pflanzen genauso, wie die Wasserverfügbarkeit im Boden. Je geringer dieser Widerstand ist, desto mehr Wasser wird von der Pflanze aufgenommen, während des Stoffwechsels umgewandelt und als Wasserdampf an die Umgebung abgegeben. Ist der Oberflächenwiderstand bekannt, kann diese Formel nicht nur bei Feldversuchen, sondern auch als Teil einer Grenzschichtformulierung innerhalb der Klimamodellierung angewendet werden. Der physikalische Ansatz der Gleichung erlaubt dabei die Übertragung auf andere Regionen gleicher Prägung. Komplizierte Modelle, mit mehreren Modellschichten für die Vegetation, sind wegen der Unsicherheit der notwendigen Parameter nicht unbedingt genauer (VOGEL ET AL., 1995, MONTEITH, 1981).

Die Bestimmung des Oberflächenwiderstandes für einen bestimmten Landschaftstyp muß in der Regel empirisch erfolgen. Ist zumindest die Größenordnung von r_s bekannt, kann von einer Zahl am unteren Rand des Wertebereiches ausgegangen werden, wenn eine sehr gute Wasser- und Nährstoffversorgung der Vegetation gegeben ist.

Aufgrund der Summe aller beobachteten Daten und Einflußfaktoren wurde ein Oberflächenwiderstand bestimmt, der mit einem Betrag von 15 s m^{-1} einen sehr niedrigen Wert annimmt. Die Verdunstung liegt damit nahe am Maximum, das durch die verfügbare Energie festgelegt ist. Die gleichbleibenden Bedingungen innerhalb des Gebietes drücken sich in einem nicht nachweisbaren Tagesgang für den Oberflächenwiderstand aus. Auch zur Zeit der maximalen Einstrahlung steht den Pflanzen offensichtlich genügend Wasser zur Photosynthese zur Verfügung. Tageswerte der Evapotranspiration erreichten Höhen vom umgerechnet mehr als 10 mm, Stundenwerte mehr als 1 mm, was einem Energiefluß von über 680 W m^{-2} entspricht. Die Jahressummen wurden im Untersuchungszeitraum mit über 1000 mm ermittelt. Sie liegen deutlich über den bisher in der Literatur zu findenden Angaben für das Rhinluch, die mit etwa 700 mm a^{-1} beziffert wurden (WESSOLEK, 1995, ZENKER UND SCHNOCK, 1993).

Ein Jahresgang des Oberflächenwiderstandes lies sich mit der hier vorgestellten Methode nicht feststellen. Dies liegt einerseits an den geringen Werten für die Verdunstung in den Winter- und Übergangsmonaten. Andererseits schlägt sich hier die zügige Entwicklung der Vegetation nieder. Sie setzt ein, sobald es die Witterungsverhältnisse zulassen. Es bleibt festzuhalten, daß die geringen Beträge der Evapotranspiration in den kritischen Jahreszeiten einen hohen *relativen* Fehler erlauben, ohne zu einem signifikanten *absoluten* Fehler zu führen.

Die unter Realbedingungen auswertbaren Zeiträume waren, innerhalb des Meßzeitraumes, auf relativ wenige Phasen beschränkt. Dennoch sind die Ergebnisse in ihrer Übereinstimmung und Deutlichkeit überzeugend, um von einer ausreichenden Sicherheit sprechen zu können.

Eine eingehende Überprüfung der Resultate, anhand von Lysimetermessungen der Forschungsstation Paulinenaue, hat ebenso zur Bestätigung beigetragen, wie die Modellierung signifikanter Szenarien auf der Untersuchungsfläche. Darüber hinaus hat sich erneut gezeigt, daß Messungen und Simulationen der Wasserbilanz im hydrologischen Modell sehr sorgfältig auf ihre Vollständigkeit hin überprüft werden müssen. In diesem Zusammenhang sei erneut auf die Rolle der Vegetation bei der Verdunstung hingewiesen.

Die Bedeutung der Ergebnisse drückt sich in der Gebietsstruktur der Niedermoore aus. Das Beispielgebiet, das Obere Rhinluch in Brandenburg, bezieht sein Wasser aus einer Region mit der 6-fachen Ausdehnung des eigentlichen Niedermoors. Bildet man über das ganze Einzugsgebiet den Mittelwert, unterscheidet sich dieser naturgemäß nicht, oder nur wenig, von der weiteren Umgebung. Physikalisch stellen Niedermoore aber Punktquellen für den atmosphärischen Wasserdampf dar, die beispielsweise

zu einer überdurchschnittlich ausgeprägten Konvektion führen können und, über den Energietransport in die Atmosphäre, auch höhere Luftschichten beeinflussen. Diesem Umstand sollte bei der Klimamodellierung durch eine geeignete Gitteranpassung, oder durch eine geeignete Parameterisierung von Subgrid-Prozessen, entsprechend Rechnung getragen werden.

Aufgrund der physikalischen Zusammenhänge liegt die Vermutung nahe, daß die Ergebnisse dieser Arbeit nicht nur für Niedermoore gelten, sondern auf andere Landschaftstypen mit einem vergleichbaren Wasserdargebot übertragbar sind. Zu diesen Gebieten gehören z.B. bewachsene Flußufer und -auen (SITTE ET AL., 1991). Auch bei den autochtonen Hochmooren ist ein ähnliches Verhalten zu erwarten, so lange es nicht in längeren regenfreien Phasen zu einem Austrocknen der oberen Bodenschichten kommt.