

Ökologische Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen mit Hilfe der Fernerkundung

Rienk van der Ploeg und Jürgen von Hoyningen-Huene

During June 1979 an international measuring campaign was carried out near Hannover (West Germany). The campaign was sponsored by the Joint Research Centre of the Commission of the European Communities, Ispra Establishment (Italy). Objective of the campaign, in which soil scientists, meteorologists, agronomists, geographers, hydrologists and botanists were participating, was to investigate the usefulness of remote sensing techniques in water and heat budget evaluations of an agricultural area. During the campaign infrared images of the area were collected with the HCMM-Satellite and with an aircraft. The paper discusses principles and some first results of the new research method.

Evapotranspiration, remote sensing, temperature distribution.

1. Einführung

Regionale Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen bekommen zunehmend mehr Aufmerksamkeit, da es immer deutlicher wird, daß auch der Rohstoff Wasser (d.h. sauberes Süßwasser) nur in beschränktem Maße vorrätig ist. Zwar wird dieser Rohstoff durch natürlich ablaufende Recyclingprozesse (Kreislauf des Wassers) jährlich teilweise erneuert, doch gibt es in der Bundesrepublik Deutschland bereits viele Stellen, wo das Grundwasser schneller abgebaut als erneuert wird. Da zusätzlich auch die Qualität des Grundwassers sowie die des Oberflächenwassers vielerorts abnimmt, gewinnen Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen, die als Ziel haben, die zeitliche und räumliche Erneuerungsrate der Wasserressourcen zu quantifizieren, ständig an Bedeutung.

Jedoch haben solche Untersuchungen nicht nur wasserwirtschaftliche oder hydrologische Bedeutung. Sowohl in der Land- als in der Forstwirtschaft bestimmt das Wasserangebot des Bodens weitgehend Pflanzenwachstum und Ertrag. Durch gezielte Be- oder Entwässerungsmaßnahmen ist es möglich, Wachstum und Ertrag zu beeinflussen. Voraussetzung ist aber, daß zuverlässige Daten über den Bodenwasserhaushalt vorliegen, speziell wenn Bewässerungsmaßnahmen eingeleitet werden sollen. Da Bodenwasser ebenfalls als Transportmedium für gelöste Substanzen wie Düngemittel, Pestizide, Herbizide und andere Agrarchemikalien auftritt, ist es wichtig, beispielsweise in Wasserschutzgebieten, Versickerungs- und Verdunstungsraten des Bodenwassers genau und mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zu ermitteln, um das Ausmaß von Grundwasserverunreinigungen abschätzen zu können. Weiterhin kann bemerkt werden, daß eine Vielzahl von bodenphysikalischen, bodenchemischen und bodenbiologischen Prozessen stark vom Feuchtezustand des Bodens abhängt und daß die Beurteilung solcher Prozesse einschließlich deren regionale ökologische Bedeutung nur möglich ist, wenn zuverlässige Bodenwasserdaten vorliegen. Dementsprechend kommt regionalen Wasser- oder Energiehaushaltsuntersuchungen nicht nur wasserwirtschaftliche Bedeutung zu, sondern sie sind ökologisch bedeutsam und umweltrelevant.

2. Methoden und Material

2.1 Bisherige Untersuchungsmethoden

Bei Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen ist die Zielsetzung die Bestimmung einzelner oder mehrerer Komponenten der Wasser- oder Energiehaushaltsgleichung. Bezogen auf einen Bodenabschnitt im ebenen Gelände lautet die Wasserhaushaltsgleichung:

$$N = IET + S + \Delta R \quad [1]$$

N: Niederschlagsmenge während des betrachteten Zeitraums, IET: Gesamtmenge an Evapotranspiration (bestehend aus Interzeptionsverdunstung, Evaporation und Transpiration), S: Menge Sickerwasser, ΔR : Änderung der Menge Wasser, die im Bodenprofil gespeichert ist.

Die Energiehaushaltsgleichung für den gleichen Bodenabschnitt kann geschrieben werden als:

$$R_n = H + LE + \Delta G \quad [2]$$

R_n : Nettostrahlung, H: Menge fühlbarer Wärme, LE: Menge latenter Wärme (Verdunstungswärme), ΔG : Änderung der Menge Wärme, die im Bodenprofil gespeichert ist. Wärmeab- oder -zufuhr aus dem Bodenprofil in den Unterboden ist in [2] vernachlässigt. Gleichung [1] wird meistens für lang-

fristige Perioden (Monate, Jahre) verwendet, Gleichung [2] für kurzfristige (Stunden, Tage). Komponenten mit quantitativ geringer Bedeutung sind in [1] und [2] nicht aufgeführt.

Die älteste und immer noch häufig praktizierte Methode zur Untersuchung des Gebietswasserhaushalts besteht aus Niederschlags- und Abflußmessungen in einem Einzugsgebiet. Für längere Zeitabschnitte, wofür ΔR vernachlässigbar klein im Vergleich zu N wird, läßt sich IET berechnen, falls angenommen werden kann, daß der gemessene Abfluß mit der Versickerung S aus [1] identisch ist. Eine Voraussetzung für sinnvolle derartige Untersuchungen ist, daß Einzugsgebietsgrenzen eindeutig feststellbar sind und daß unterirdisch dem Gebiet kein Wasser entzogen oder zugeführt wird. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, so kann diese Methode Verdunstungs- und Versickerungswerte für das gesamte Einzugsgebiet liefern, jedoch ohne hohe Zeitauflösung und ohne räumliche Differenzierung. Oft kommt es vor, daß gerade da, wo Wasserhaushaltsuntersuchungen sinnvoll erscheinen, keine Einzugsgebiete festzustellen sind, z.B. wenn das Gelände eben ist. Es müssen dann andere Methoden angewandt werden. In der Wasserwirtschaft, in der Agrarmeteorologie und in der Bodenkunde sind dazu Verfahren entwickelt worden, die entweder unterschiedliche Komponenten aus den Gleichungen [1] und [2] erfassen, oder die gleichen Komponenten auf unterschiedliche Weise zu ermitteln versuchen.

Die häufigsten drei Methoden sind die Lysimetermethode, die Psychrometermethode und die Tensiometermethode. Die Lysimetermethode funktioniert ähnlich wie die Einzugsgebietmethode, und falls das Lysimeter wägbare ist, kann außer S auch ΔR bestimmt werden [1]. SCHROEDER (1976) und HOYNINGEN-HUENE, BRAMM (1978) berichten ausführlich über Einsatz und Aufbau von Lysimetern. Bei der Psychrometermethode werden über der verdunstenden Oberfläche Gradienten oder Profile von Temperatur und Luftfeuchte gemessen, um den Fluß von Wärme und Wasserdampf ermitteln zu können. Energiehaushaltsuntersuchungen mit Hilfe von Psychrometern sind beispielsweise von HOYNINGEN-HUENE, BRADEN (1978) und von WILMERS (1978) beschrieben worden. Die Tensiometermethode schließlich liefert Potentialgradienten des Bodenwassers (innerhalb und unterhalb der Wurzelzone) und erlaubt die Berechnung von S und ΔR aus [1]. Eine Beschreibung dieser Methode ist den Arbeiten von STREBEL et al. (1975) oder EHLERS, VAN DER PLOEG (1976) zu entnehmen.

Mit allen drei Methoden können prinzipiell zuverlässige Ergebnisse erzielt werden: mit der Psychrometermethode mit einer Auflösung von Minuten, Stunden oder Tagen, mit der Tensiometermethode von Wochen oder Monaten und mit nichtwägbaren Lysimetern von Monaten oder Jahren. Für alle drei Methoden gilt jedoch, daß sie sehr aufwendig sind, so daß räumliche Wiederholungsmessungen nur selten möglich sind. Dies bedeutet, daß die Ergebnisse von allen drei Methoden als Punktmessungen in einer Fläche zu betrachten sind. Wie repräsentativ solche Punktmessungen für größere Areale sind, läßt sich meistens nicht quantifizieren.

2.2 Neue Untersuchungsmethoden

Von mehreren Autoren, z.B. von SOER (1977a, b), von NIEUWENHUIS, KLASSEN (1978) sowie von HALLDIN et al. (1979) ist in den letzten Jahren eine Methode zur Energiehaushaltsbestimmung verwendet worden, die als abgeänderte Psychrometermethode aufgefaßt werden kann. Statt in mindestens zwei Höhen über dem Bestand Psychrometermessungen durchzuführen, wird nur noch in einer Ebene über der verdunstenden Oberfläche gemessen. Um trotzdem mit Temperatur- und Feuchtegradienten Wärme- und Wasserdampf Flüsse ausrechnen zu können, wird die Temperatur (sowie der Feuchtegehalt) der verdunstenden Oberfläche berechnet statt gemessen. Dies geschieht mit Hilfe von [2] und deren Äquivalent (Gleichung [4]), welche noch besprochen werden wird. Da sowohl R_n wie H und LE als Funktionen der Oberflächentemperatur zu betrachten sind, wird diese Oberflächentemperatur iterativ so lange geändert, bis gilt:

$$R_n - H - LE - \Delta G = 0 \quad [3]$$

Für die Berechnung von H und LE aus [3] werden natürlich auch die Meßwerte gebraucht, die über dem Bestand in der Luft gemessen werden. Auf diese Weise werden nicht nur H und LE berechnet, sondern auch die Bestandestemperatur. Für Einzelheiten sei auf die Arbeiten von SOER (1977a, b) und HALLDIN et al. (1979) verwiesen. Die Abb. 1 ist der Arbeit von SOER (1977a) entnommen und zeigt einen Vergleich zwischen errechneten Oberflächentemperaturen und gemessenen Werten. Untersucht wurde von Soer der Energiehaushalt einer Graslandfläche.

Diese Methode hat zwei Vorteile. Erstens wird die häufig recht schwierige Messung von Temperatur- und Feuchtegradienten umgangen. Zweitens liefert diese Methode als zusätzliche Größe (zusätzlich zu LE und H) die Temperatur der verdunstenden Oberfläche. Gerade diese Oberflächentemperatur ist sehr wertvoll, da sie fernerkundlich leicht zu erfassen ist und als Hinweis für die Verdunstung verwendet werden kann. Die Erfassung von Temperaturen an der Erdoberfläche mit Hilfe eines Flugzeuges oder eines Satelliten geschieht außerdem nicht punktförmig, sondern flächenhaft. In den nächsten Abschnitten wird hierauf näher eingegangen.

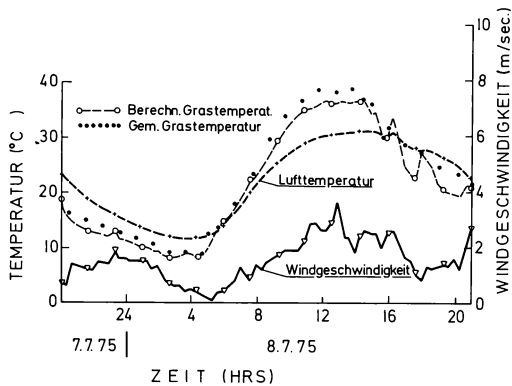


Abb. 1: Ein Vergleich zwischen errechneten Oberflächentemperaturen einer Graslandfläche und gemessenen Werten für den 7./8. Juli 1975 (nach SOER 1977a).

2.3 Die Fernerkundung

Die Anwendung der Fernerkundung bei der Erforschung von Vorgängen an der Erdoberfläche mit Hilfe von Flugzeugen oder Satelliten basiert auf unterschiedlichen Emissions-, Reflexions- und Absorptionseigenschaften hinsichtlich der elektromagnetischen Strahlung von Objekten am Erdboden. Für Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen scheinen besonders der sichtbare Bereich sowie der thermische Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums geeignet. Dies wird bei einer genaueren Betrachtung der Energiehaushaltsgleichung deutlich. Die Gleichung [2] kann geschrieben werden als:

$$(1-\alpha_k)R_k + (1-\alpha_l)R_l - \epsilon\sigma T_b^4 = \rho c \frac{T_a - T_b}{r_a} + \frac{\rho c}{\gamma} \frac{e_a - e_b}{r_a + r_s} + \Delta G \quad [4]$$

In [4] stellen α_k einen mittleren Reflexionskoeffizienten der verdunstenden Oberfläche für kurzwellige Strahlung dar, α_l das gleiche für einfallende langwellige Strahlung, R_k und R_l die einfallende kurzwellige und langwellige Strahlung, ϵ den Emissivitätskoeffizienten der verdunstenden Oberfläche, σ die Stefan-Boltzmannkonstante, T_b die Temperatur der verdunstenden Oberfläche, ρc die Wärmekapazität der Luftschicht über dem Bestand, T_a die Lufttemperatur, r_a den turbulenten Diffusionswiderstand der Luftschicht über dem Bestand, γ den Psychrometerkoeffizienten, e_a und e_b den Wasserdampfdruck der Luft und der verdunstenden Oberfläche und r_s den Gesamtwiderstand eines Pflanzenbestandes, bestehend aus Diffusionswiderstand der Stomata und weiteren Transportwiderständen.

Der Einsatz von Fernerkundungsmethoden bei Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen beruht auf der Möglichkeit, von einem Flugkörper aus die Größen α_k , α_l und T_b (und dementsprechend e_b) von [4] zu erfassen. Für Details wird auf die Arbeiten von SOER (1977a, b) hingewiesen. Dies geschieht am häufigsten mit Multispektralscannern, mit welchen gleichzeitig α_k und α_l für mehrere Kanäle sowie T_b ermittelt werden können. Senkrecht zur Flugbahn, in einem Streifen am Erdboden, der parallel mit der Flugbahn verläuft, werden für eine Vielzahl von gleichgroßen Flächen α_k , α_l - und T_b -Werte erfaßt. Die Größe der Flächen (Pixel) ist abhängig von den eingesetzten Geräten und von der Höhe, aus der die Befliegung erfolgt. Dies trifft auch zu für die Breite des Streifens am Erdboden (Swath), der während eines Fluges erfaßt wird. Pixelgröße oder Auflösungsgrad variieren von wenigen Quadratmetern bei niedrigfliegenden Flugzeugen bis zu mehreren Quadratkilometern bei manchen Forschungssatelliten. Die Streifenbreite variiert zwischen wenigen hundert Metern und vielen hundert Kilometern. Das erfaßte Datenmaterial kann als Luftbild reproduziert werden und auf dafür ausgerüsteten Rechenanlagen ausgewertet werden. Das von FERNANDEZ et al. (1976) entwickelte Digitale Bildauswertungssystem (DIBIAS) hat sich für die Auswertung von Thermalbildern besonders bewährt (s. GOSSMANN, HABERÄCKER 1980).

Eine Betrachtung von [2] und [4] zeigt, daß nicht alle zur Abschätzung von R_n , LE und H benötigten Größen mit Fernerkundungsmethoden ermittelt werden können; zusätzliche Messungen am Erdboden sind notwendig. Wenn aber mit der Befliegung gleichzeitig am Erdboden R_k , R_l , T_a , e_a und ΔG gemessen werden und r_a und r_s aus zusätzlichen Witterungs-, Boden- und Bestandesparametern errechnet werden, können dementsprechend alle Komponenten aus [2] oder [4] bestimmt werden (siehe SOER 1977a, b). Dies bedeutet, daß flächenweise die Verdunstungsrate LE mit Hilfe der Fernerkundung bestimmt werden kann. Es muß allerdings bedacht werden, daß bei einer Befliegung zwar räumlich sehr viele Wiederholungsmessungen gemacht werden, daß jedoch wegen des Aufwandes viele zeitliche Wiederholungen nicht möglich sind. Es ist daher empfehlenswert, die Fernerkundungsmethode zur Bestimmung des Wasser- und Energiehaushalts einer Region mit üblichen Methoden (Psychrometer, Tensiometer usw.) zu verknüpfen, damit sowohl in räumlicher als in zeitlicher Hinsicht das benötigte Datenmaterial zur Charakterisierung des Gebietswasserhaushalts erfaßt werden kann.

2.31 Das TELLUS-Projekt

Seit langem ist bekannt, daß am Erdboden sowohl tagsüber als auch nachts auf kleinstem Raum erhebliche Temperaturunterschiede auftreten können und daß sie fernerkundlich erfaßt werden können. Bei einer Befliegung in der Nähe von Euskirchen stellte LORENZ (1966) Temperaturunterschiede von 10°C und mehr zwischen verschiedenen Kulturarten und Landnutzungsformen fest. Eine Reihe von Gründen für die Entstehung von Temperaturunterschieden kann angeführt werden, und solche Differenzen können benutzt werden bei der Bearbeitung von einer Vielzahl von geo-

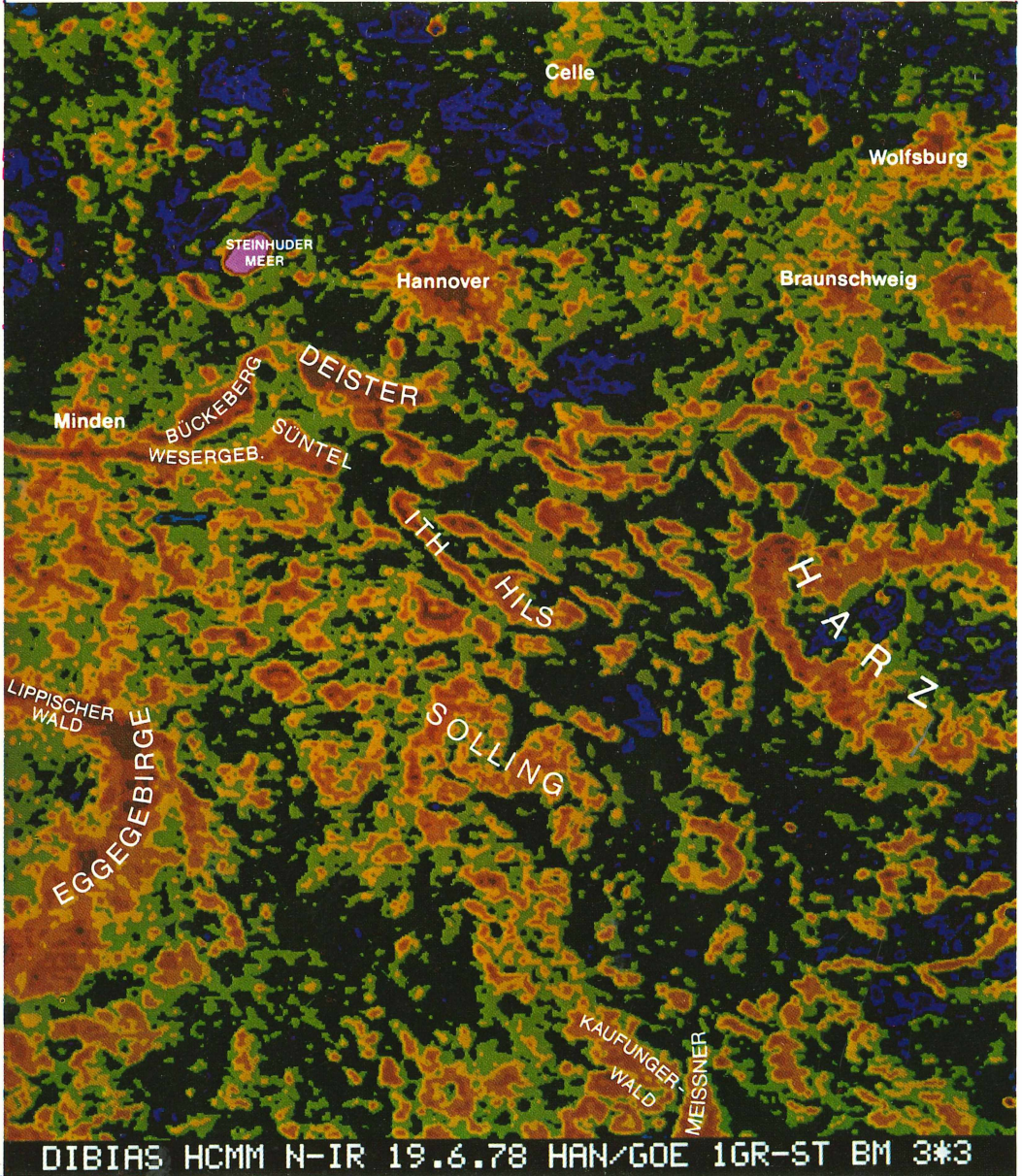


Abb. 2: HCMM-Thermalbild für den Raum Celle - Wolfsburg - Kassel - Bielefeld für die Nacht vom 19.6.1978.

(rosa $\hat{=}$ > 11°C, dunkelblau $\hat{=}$ 0-1°C; andere Farben sind Temperaturen dazwischen).

wissenschaftlichen Problemen. Sie wurden beispielsweise von GOSSMANN, NÜBLER (1977) verwendet bei der Bestimmung der Vegetationsverteilung in Freiburg und von GOSSMANN, HABERÄCKER (1980) bei der Identifizierung von großräumigen Landnutzungsformen in Baden-Württemberg. Auch in anderen Bereichen der Geographie, in der Geologie, Hydrologie, Meteorologie, Ökologie, Umweltforschung und Land- und Forstwirtschaft sind Thermalaufnahmen im In- und Ausland während der letzten Jahre erfolgreich benutzt worden. Meistens handelte es sich dabei um Thermalaufnahmen, die mit Flugzeugen hergestellt wurden. Die Verwendung von Thermalbildern für Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen in der Landwirtschaft ist ebenfalls vorgeschlagen worden, z.B. von ROSEMA (1975), HEILMAN et al. (1976), JACKSON et al. (1977) und SOER (1977a, b).

Die Nützlichkeit von Thermalbildern für die Erdwissenschaften hat die NASA (National Aeronautics and Space Administration) veranlaßt, im Frühling 1978 einen Forschungssatelliten in Umlauf zu bringen für die Erfassung von Erdbodentemperaturen (Heat Capacity Mapping Mission, HCMM). Dabei sollte untersucht werden, ob routinemäßig erfaßte Thermalaufnahmen, wie sie von dem HCMM-Satelliten geliefert werden, in gleichem Maße benutzt werden könnten wie Flugzeugaufnahmen. Die geplante Betriebsdauer des Satelliten war ein Jahr; er war jedoch auch im Sommer 1980 noch in Betrieb. Der HCMM-Satellit umfliegt die Erde in einer Höhe von etwa 600 km in einer polaren, sonnensynchronen Bahn. Seine Umlaufzeit beträgt etwa 100 Minuten, die Auflösung ist 500 x 500 m und die Swath-Breite ist 700 km. In zwei Spektralbereichen (0.5 - 1.1 μm und 10.5 - 12.5 μm) werden von der Erdoberfläche Aufnahmen gemacht.

Abb. 2 zeigt ein HCMM-Thermalbild. Es stellt den Norddeutschen Raum dar, ungefähr begrenzt von Celle im Norden, Kassel im Süden, Bielefeld im Westen und Wolfsburg im Osten. Abgebildet ist eine Nachtaufnahme vom 19.6.1978. Die größten Temperaturdifferenzen treten nördlich von Hannover auf: Das Steinhuder Meer (rosa Flecken) ist um 10°C wärmer als die Moore (dunkelblau). Ebenfalls als warme Stelle ist Hannover (rot) rechts vom Steinhuder Meer zu sehen. Der rote Bogen links unten im Bild stellt Teutoburger Wald, Eggegebirge und das Sauerland dar.

Am NASA-Experiment beteiligen sich 12 amerikanische und 12 andere geowissenschaftlich orientierte Forschungsgruppen. Einzelheiten über diese 24 Projekte und über die Heat Capacity Mapping Mission können der Veröffentlichung von McCORMACK und McROBERTS (1978) entnommen werden. Eines der 24 Projekte ist das TELLUS-Projekt (Projektleiter Dr. S. Galli de Paratesi vom Joint Research Centre der Commission of the European Communities in Ispra) mit dem Thema "Soil moisture and heat budget evaluation in selected European zones of agricultural and environmental interest". Im Rahmen dieses Projektes sind in den letzten Jahren an verschiedenen Stellen in Westeuropa Meßkampagnen organisiert worden. Dabei wurde untersucht, ob zwischen der Oberflächentemperatur einer verdunstenden Oberfläche und der Verdunstung selbst eine Beziehung besteht und wie sich die Temperaturverteilung einer verdunstenden Fläche am besten mit Hilfe der Fernerkundung erfassen läßt.

In diesem Sinne wurde im Juni 1979 bei Ruthe (südlich von Hannover) (vom Joint Research Centre veranlaßt) ebenfalls eine Meßkampagne mit internationaler Beteiligung durchgeführt. Sie wird bezeichnet als the Joint Measuring Campaign 1979 in Ruthe.

2.32 Die Joint Measuring Campaign 1979 in Ruthe

An dem gemeinsamen Flugmeßprogramm bei Ruthe im Juni 1979 beteiligten sich die folgenden Forschungseinrichtungen und Wissenschaftler:

- die Universität von Reading (Elkington, Jagger, Milton),
- das Institute of Hydrology in Wallingford (Blyth, Callender, Williams)
- das Joint Research Centre of the Commission of the European Communities in Ispra (Tassone, Toselli, Weber),
- die Zentrale Agrarmeteorologische Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Braunschweig (Braden, Fussy, Goedecke, Hoyningen-Huene),
- das Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover (Bangert, Elmdust, Scholz, Wienert, Wilmers),
- die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung Hannover (Strebel, Renger),
- das Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen (Beese, Benecke, Dua, Riedinger, Schlichter, van der Ploeg),
- das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen (Böhm, Köpke, Steinhardt)
- das Systematisch-Geobotanische Institut der Universität Göttingen (Grimme).

Als Versuchsfläche wurde eine 4 x 4 km große, landwirtschaftlich genutzte Fläche bei Ruthe gewählt, welche als repräsentativ für weite Bereiche im norddeutschen Raum betrachtet werden kann. Auf der Versuchsfläche wurden an 7 Stellen gleichzeitig Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen mit der Psychrometer- und mit der Tensiometermethode durchgeführt. Zusätzlich wurde eine Reihe von weiteren

Boden-, Pflanzen- und Witterungsdaten gesammelt, die benötigt werden für Temperatur- und Verdunstungsberechnungen unter Verwendung der Gleichung [4]. Die Meßperiode dauerte vom 8. bis 22. Juni 1979. Am 20. und 21. Juni wurden außerdem mit Hilfe eines Flugzeuges und mit dem HCMM-Satelliten Aufnahmen im sichtbaren und im Infrarotbereich gemacht. Das Flugzeug war ausgerüstet mit einem Multispectral Scanner (Daedalus) und machte Aufnahmen in 8 Bereichen von der Versuchsfläche (7 Kanäle im sichtbaren Bereich und 1 Kanal im Infrarotbereich). Sie ermöglichen die flächenhafte Berechnung der Verdunstung, mit welcher die 7 Punktmessungen verglichen werden müssen, um die Zuverlässigkeit der Fernerkundungsmethode zu überprüfen.

Diese Vergleiche sind zur Zeit noch nicht abgeschlossen, aber einige Ergebnisse aus der Kampagne liegen bereits vor. Für eine ausführliche Beschreibung der Meßkampagne wird auf den Bericht von van der PLOEG et al. (1981) hingewiesen.

3. Einige erste Ergebnisse

Fernerkundungsmethoden - wie oben beschrieben - sind besonders hilfreich, wenn Temperaturmessungen als Verdunstung interpretiert werden können. Dabei muß bedacht werden, daß die Oberflächentemperatur einer verdunstenden Fläche, etwa einer Pflanzendecke, von einer Reihe von Faktoren abhängt, z.B. von lokalen Strahlungs- und Windverhältnissen, von den thermischen Eigenschaften der Pflanzendecke und des Bodens, von der aerodynamischen Rauigkeit der Oberfläche, von der Wurzelverteilung, vom Bodenwassergehalt in der Wurzelzone und von der hydraulischen Leitfähigkeit des Bodens. Von SOER (1977a, b) wurde ein Modell (das TERGRA-Modell) entwickelt, mit welchem diese komplexe Beziehung zwischen Oberflächentemperatur und Umweltfaktoren beschrieben wird. Die wichtigste Komponente dieses Modells ist die Gleichung [4]. Mit diesem Modell wurden für einen Weizenbestand im Untersuchungsgebiet bei Ruthe Simulationsrechnungen durchgeführt. Die Abb. 3 zeigt einige Modellergebnisse. In der Abbildung ist für den 20. Juni die Oberflächentemperatur (als durchgezogene Linie) gezeigt. Außerdem sind Temperaturmessungen (Strahlungsthermometer) gezeigt, die aus 1.50 m Höhe über dem Bestand erhoben wurden. Die Übereinstimmung ist recht gut. Die Abb. 3 ist ein Hinweis für die Brauchbarkeit des TERGRA-Modells. Dies wird unterstrichen durch Abb. 4. In dieser Abbildung ist die vom TERGRA-Modell errechnete Verdunstung für den Weizenbestand am 20. Juni dargestellt (durchgezogene Kurve). Außerdem sind Psychrometer-Meßwerte eingetragen.

Die Abb. 3 und 4 zeigen, daß das TERGRA-Modell gleichzeitig die Verdunstung und die Oberflächentemperatur eines Weizenbestandes beschreiben kann, falls weitere Witterungs-, Boden- und Pflanzendaten vorliegen. Als wichtige Eingabegröße geht die Bodenfeuchte der Wurzelzone in das Modell ein. Umgekehrt können flächenmäßig Angaben über das Bodenwasser gemacht werden, wenn Oberflächentemperaturen vorliegen. Die Fernerkundung könnte dementsprechend in Zusammenhang mit einem Meßprogramm am Erdboden bei der Erforschung von Gebietswasserhaushaltsfragen benutzt werden. Die weitere Auswertung des Datenmaterials aus Ruthe muß zeigen, ob sich diese Methode für das gesamte Gebiet bewährt, das bei Ruthe untersucht wurde.

4. Schlußbemerkung

Der Bedarf an Gebietswasserhaushaltsdaten wächst bei Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Ökologie und anderen umweltorientierten Fachbereichen ständig. An die Qualität sowie an die räumliche und zeitliche Auflösung von solchen Daten werden hohe Anforderungen gestellt. Mit den herkömmlichen Untersuchungsmethoden ist wegen des Aufwandes dieser Bedarf nicht zu decken. Gleichzeitig kann festgestellt werden, daß es bereits jetzt eine Reihe von experimentellen und operationellen Satelliten gibt (beispielsweise LANDSAT, METEOSAT, NOAA und HCMM), die routinemäßig sehr umfangreiches Datenmaterial hinsichtlich der Temperaturverteilung an der Erdoberfläche liefern. Zwar läßt die räumliche Auflösung für einen sinnvollen Einsatz in der Landwirtschaft (für bundesdeutsche Verhältnisse) noch zu wünschen übrig, aber in absehbarer Zeit ist mit wesentlichen Verbesserungen zu rechnen. Es liegt daher auf der Hand zu untersuchen, inwieweit mit Thermaldaten Fragestellungen hinsichtlich regionaler Wasser- und Energiehaushaltsaspekte zu beantworten sind. Selbstverständlich muß weiter mit dem Einsatz von Flugzeugen gerechnet werden, und auch die Berücksichtigung anderer Bereiche des elektromagnetischen Spektrums (beispielsweise Radar) verdient eine Überlegung. Die Verwendung von Temperaturdaten für die Abschätzung der Verdunstung, wie sie in der vorliegenden Arbeit besprochen wurde, stellt nur eine Möglichkeit dar. Ohne Zweifel gibt es andere Möglichkeiten, die Verdunstung an Hand von Luftbildern abzuschätzen. Erste Ergebnisse aus Holland, Frankreich, England, Italien und aus Amerika stimmen hoffnungsvoll. Es bleibt daher zu hoffen, daß auch hierzulande verstärkt nach Möglichkeiten hinsichtlich des Einsatzes von Fernerkundungsmethoden bei Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen geforscht werden kann.

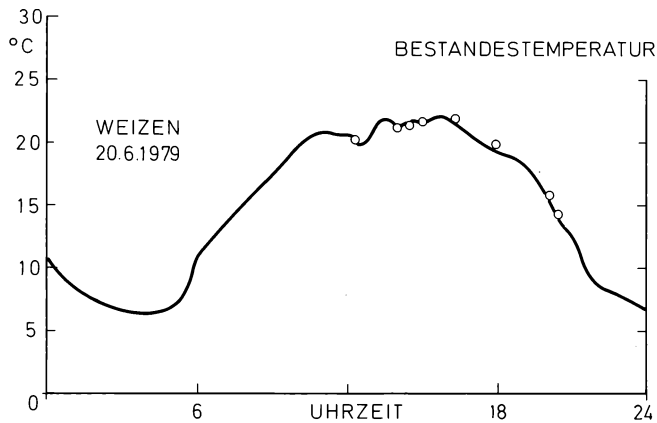


Abb. 3: Mit dem TERGRA-Modell errechnete Oberflächentemperaturwerte für ein Weizenfeld bei Ruthe am 20.6.1979 und einige Meßwerte.

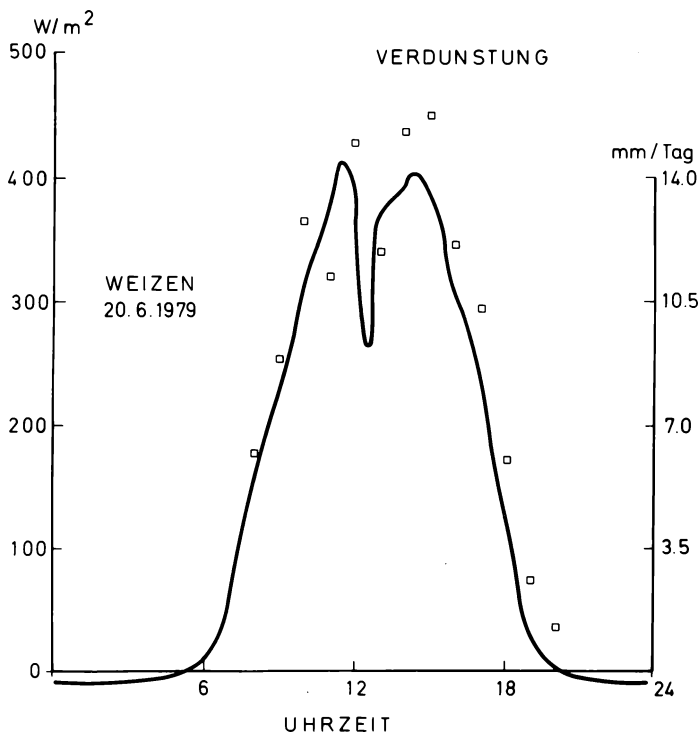


Abb. 4: Mit dem TERGRA-Modell errechnete Verdunstungswerte und Meßwerte für ein Weizenfeld bei Ruthe am 20.6.1979.

5. Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Anwendungsmöglichkeit einer Fernerkundungsmethode für ökologische Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen diskutiert. Die Arbeit beschränkt sich auf Methoden, die entweder den sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums oder den Infrarotbereich von 8-14 μm verwenden. Herkömmliche Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungsmethoden werden neuentwickelten Methoden gegenübergestellt. Auf die gegenseitige Ergänzung von bewährten und neuen Untersuchungsmethoden, speziell für lokale und regionale Wasserhaushalts-

untersuchungen, wird hingewiesen. Als Beispiel für solche Untersuchungen wird ein internationales Projekt besprochen, das im Sommer 1979 bei Ruthe (südlich von Hannover) in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt wurde. Einige vorläufige Ergebnisse aus diesem 'TELLUS-Projekt' werden gezeigt.

Die Flugzeugmeßkampagne bei Ruthe im Juni 1979 wurde teilweise aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert (Az. Pl 83/4). Den Herren Dr. H. Gossmann, Geographisches Institut I der Universität Freiburg und H. Lehner, DFVLR Oberpfaffenhofen, wird gedankt für die Herstellung des Thermalbildes dieser Arbeit.

Literatur

- EHLERS W., VAN DER PLOEG R.R., 1976: Evaporation, drainage and unsaturated hydraulic conductivity of tilled and untilled fallow soil. Z. Pflanzenern. Bodenk. 139: 373-386.
- FERNANDEZ S., HABERÄCKER P., KRAUTH E., KRITIKOS G., NOWAK P., TRIENDL E., 1976: DIBIAS-Handbuch. Oberpfaffenhofen (DFVLR Institut für Nachrichtentechnik).
- GOSSMANN H., NÜBLER W., 1977: Oberflächentemperatur und Vegetationsverteilung in Freiburg. Bildmessung Luftbildwesen 45: 105-113.
- GOSSMANN H., HABERÄCKER P., 1980: Image processing of HCMM-Satellite thermal images for superposition with other satellite imagery and topographic and thematic maps. Tellus-Newsletter 12. [Joint Res. Centre Comm. Eur. Comm., Ispra Establishment, 21020 Ispra].
- HALLDIN S., GRIP H., PERITTU K., 1979: Model for energy exchange of a pine forest canopy. In: (Ed. Halldin S.): Comparison of forest water and energy exchange models: Developments in agricultural and managed-forest Ecology 9. Amsterdam (Elsevier): 59-75.
- HEILMAN J.L., KANEMASU E.T., ROSENBERG N.J., BLAD B.L., 1976: Thermal scanner measurements of canopy temperatures to estimate evapotranspiration. Remote Sensing Envir. 5: 137-145.
- HOYNINGEN-HUENE J. von, BRADEN H., 1978: Bestimmung der aktuellen Verdunstung von landwirtschaftlichen Kulturen mit Hilfe mikrometeorologischer Ansätze. Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 26: 5-20.
- HOYNINGEN-HUENE J. von, BRAMM A., 1978: Die wägbare Unterdrucklysimeteranlage in Braunschweig-Völkenrode - Aufbau und erste Erfahrungen. Landbauforschung (Völkenrode) 28: 95-102.
- JACKSON R.D., REGINATO R.J., IDSO S.B., 1977: Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. Water Resour. Res. 13: 651-656.
- LORENZ D., 1966: Messungen der Bodenoberflächentemperatur von Luftfahrzeugen aus. Abschlußber. Forschungsauftrag T-270-I-203 Bonn (Bundesminister d. Verteidigung).
- MCCORMACK D., McROBERTS J., 1978: HCMM satellite to take Earth's Temperature. NASA News: Release No 78-60. [Washington D.C. 20546, AC 202 755-8370].
- NIEUWENHUIS G.J.A., KLAASSEN W., 1978: Estimation of the regional evapotranspiration from remotely sensed crop surface temperatures. Tellus-Newsletter 2 [Joint Res. Centre Comm. Eur. Comm., Ispra Establishment, 21020 Ispra].
- ROSEMA A., 1975: A mathematical model for simulation of the thermal behaviour of bare soils, based on heat and moisture transfer. NIWARS publication [Delft] 11: 92 p.
- SCHROEDER M., 1976: Grundsätzliches zum Einsatz von Lysimetern. Dt. Gewässerk. Mitt. 20: 8-13.
- SOER G.J.R., 1977a: Estimation of regional evapotranspiration and soil moisture conditions using remotely sensed crop surface temperatures. Nota 1003. Wageningen (Inst. Cultuurtechniek en Waterhuishouding).
- SOER G.J.R., 1977b: The Tergra Model - A mathematical model for the simulation of the daily behaviour of crop surface temperature and actual evaporation. Nota 1004. Wageningen (Inst. Cultuurtechniek en Waterhuishouding).
- STREBEL O., RENGER M., GIESEL W., 1975: Bestimmung des Wasserentzuges aus dem Boden durch die Pflanzenwurzeln im Gelände als Funktion der Tiefe und der Zeit. Z. Pflanzenern. Bodenk. 138: 61-72.
- VAN DER PLOEG R.R., TASSONE G., HOYNINGEN-HUENE J. von (Ed.), 1981: The Joint Measuring Campaign 1979 in Ruthe (West Germany). TELLUS-Newsletter : in print.
- WILMERS F., 1978: Energiehaushalt der Pflanzenbestände im Solling. Verh. Ges. Ökol. (Kiel 1977): 565-571.

Adressen

Dr. R.R. van der Ploeg
Institut für Bodenkunde u. Waldernährung
Universität Göttingen
Büsgenweg 2

D-3400 Göttingen

Dr. J. v. Hoyningen-Huene
Zentrale Agrarmeteorologische Forschungsstelle
des Deutschen Wetterdienstes
Bundesallee 50

D-3300 Braunschweig

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [9_1981](#)

Autor(en)/Author(s): van der Ploeg Rienk R., Hoyningen-Huene Jürgen
von

Artikel/Article: [Ökologische Wasser- und Energiehaushaltsuntersuchungen mit Hilfe der Fernerkundung 135-142](#)