

Die Notwendigkeit des Meteorologieverständnisses zur Erarbeitung des Mikroklimas als ökologische Grundlage am Beispiel eines modellhaften Küstenabschnitts

Detlef Schreiber

The differing radiation-balance characteristics of soil and water and their role in the energy-balance are discussed, and also the modifications which are involved when vegetation is taken into consideration.

The coast is an example of ecosystems in which meteorological comprehension plays an important role.

Wenn der Meeresstrand für die Menschen als Reizklimagebiet gilt, dann erst recht für alle festgewachsenen lebenden Organismen, für die meisten Pflanzen also. Hier muß sich ein "Ökosystem der harten Bedingungen" entwickeln. Schon die edaphischen Voraussetzungen sind schlecht: junge, knapp mineralversorgte Böden, oft noch versalzt und dazu so wenig festgelegt, daß die oberste Schicht leicht verfrachtbar ist. Noch ärger aber beeinträchtigen die Atmosphärien den Pflanzenwuchs in dieser Grenzregion zwischen Wasser und Land. Das macht die Vegetation artenarm und ist maßgeblich für pflanzenmorphologische Veränderungen.

Zum Verständnis der Wirkung der atmosphärischen Einflüsse auf die Strandpflanzen und ihr Zusammenleben sind einige Vorkenntnisse aus der Physik der Atmosphäre, wie man die Meteorologie exakterweise nennt, nötig.

Die Windflüchter deuten Starkwindwirkungen an. Aber es wäre zu einfach, wollte man nur die reibungsbedingt größere Windgeschwindigkeit über der großen Wasserfläche, die viel weniger Oberflächenrauigkeit bietet als jede Art vegetationsbedeckter oder gar reliefierter Landschaft, dafür verantwortlich machen. Die reibungsabhängig zunehmende Auslenkung des Windes aus der Isobarenrichtung ergibt auch umso größeren Druckausgleich, je größer die Oberflächenreibung ist (Abb. 1). Das mindert den Druckgradienten und damit die Windgeschwindigkeit. Auch deshalb ist die Windgeschwindigkeit über Meer höher. Nun sind aber die Windflüchter gerichtete Baumformen. Deren "Wipfelfahnen" sind nicht wie im Hochgebirge nach Ost oder Südost gerichtet, deuten also nicht an, aus welcher Richtung in unserer Westwindzone die stärksten Winde wehen, sondern zeigen ins Land, sind also seewindbestimmt. Es dürfte demnach für diese Verformung das Land-See-Windsystem maßgeblich sein.

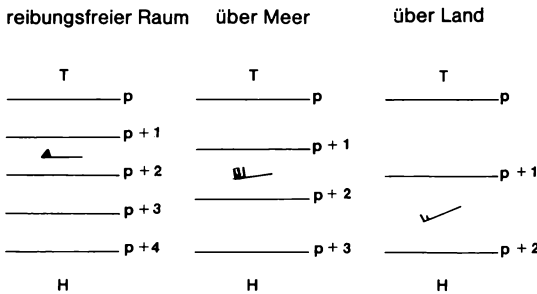


Abb. 1: Luftdruckunterschied, Windgeschwindigkeit und Windrichtung in Abhängigkeit von der Reibung

Für die Zusammensetzung der Strandvegetation heißt es, welche Arten können überleben, wie können Pflanzenarten überleben und wie steht es mit ihrer Konkurrenz und gegenseitigem Schutz? Um die volle Palette der Streßbedingungen der Strandvegetation zu erfassen, erscheint es zweckmäßig, die Unterschiede der Glieder der Strahlungs- und Energiebilanz im Grenzraum Wasser - Strand zu betrachten.

Ein Blick auf die Karte der Sonnenstrahlung von GEIGER zeigt an den Strandlinien zwischen Kontinenten und Meeren keine Sprungstellen, zeigt demnach *nicht den Empfang* der kurzwelligen Globalstrahlung, *sondern ihr Angebot*. Das ist, wenn man den Strahlungsmeßgeräten absolute Absorption zuerkennen könnte, die direkte Strahlung I und die indirekte (Himmelsstrahlung) H. Was die Oberfläche von I + H zurückgibt, zeigen uns alle im kurzwelligen Bereich aufgenommenen Satellitenbilder. Weiße Wolken- und Schneeflächen, graue Länder und schwarze Meere vermitteln den Eindruck vom Reflexionsgrad (Albedo), der besonders klein ist bei Wasser, besonders groß bei Wolken, Schnee und Eis und recht unterschiedlich über Landflächen, je nachdem wie groß die Oberflächenfeuchtigkeit ist, ob Salzkrusten, Dünen, Felsregionen, nackte Böden oder mehr oder weniger mit Vegetation bedeckte Flächen vorliegen.

Tab. 1: Unterschiedlichkeit von Wasser und Land (Sand)

Eigenschaft	Wasser	Land (Sand)
spezifische Wärme	1.0	0.20 trocken
cal/g grd		0.28 naß
Volumwärme	1.0	0.48 trocken
cal/g cm ³		0.67 naß
Reflexion	5%	40% trocken
(Albedo)		25% naß
transparente Schicht	20-30 m	1 cm
Wärmeverfrachtung	Transport (+ Leitung)	Leitung
Oberflächentemperatur	niedrig	hoch
(tags)		
Ausstrahlungsenergie	niedrig	hoch
Verdunstung	hoch	niedrig
turbulenter Massenaus-	niedrig	hoch
tausch mit der Luft		
Reibung	niedrig	hoch

Der Strahlungsempfang der Oberfläche an Globalstrahlung ist aber $S_K = I + H - R_{I,H}$. Die Reflexion R wird von verschiedenen Autoren besonders wegen der Unterschiedlichkeit von Böden, Pflanzenbedeckung und Einfallswinkel des direkten Sonnenstrahlungsanteils etwas unterschiedlich angegeben (DIRMHORN 1964, GEIGER 1960, SCHREIBER 1975, WEISCHET 1977). Die Werte liegen aber ungefähr in der gleichen Größenordnung, und alle Festlandsoberflächen reflektieren mehr als die Wasseroberfläche. Nach den bei WEISCHET angegebenen Werten können wir für trockenen Sand mit $R_{I,H} = 40\%$ und für nassen Sand mit 25% rechnen. Bei hoch stehender Sonne, wie bei uns mittags im Sommer, liegt $R_{I,H}$ für Wasser bei 10%. Von einer Kalorie Wärmeangebot dringen also 0.9 cal ins Wasser ein und nur 0.6 cal bzw. 0.75 cal in den Sand. Weil aber die spezifische Wärme von Wasser 4 bis 5 mal so groß ist wie die von Sand, wird 1 Gramm Sand durch 0.6 cal wärmer als 1 Gramm Wasser durch 0.9 cal. Selbst wenn man die Volumwärme $\rho \cdot c$ [cal/cm³grd.] in Rechnung stellt, tritt das noch ein. Sie ist für das Wasser 1.0, für nassen Sand 0.67 und für trockenen 0.48 (SCHREIBER 1975). Somit erwärmen 0.9 cal einen Kubikzentimeter Wasser um 0.9°C, 0.75 cal einen Kubikzentimeter nassen Sand über 1.1°C und 0.6 cal einen Kubikzentimeter trockenen Sand um 1.25°C unter der Voraussetzung, daß keine Wärme zur Verdunstung verbraucht wird. Das aber ist umso mehr der Fall, je feuchter das Substrat ist. Demnach werden diese Unterschiede in Wirklichkeit viel größer sein. Auch der Kubikzentimeter ist eine willkürliche Festsetzung. Beim Seewasser sind viele Meter durchsichtig, werden also von der Globalstrahlung gleichzeitig direkt erwärmt. Beim Sand ist das höchstens der oberste Zentimeter. Hinzu kommt, daß im Boden die Oberflächenwärme nur per Leitung in tiefere Schichten abgeführt wird, beim Wasser dagegen primär durch Durchmischung und Transport. Dies ergibt dann Temperaturunterschiede, wie wir sie an Sommertagen immer wieder erleben, wenn beispielsweise die Wasseroberflächentemperatur höchstens 20°C erreicht, während der nasse Sandstrand auf 25°C kommt und auf dem trockenen Sand bei über 40°C die Fußsohlen brennen.

Mit diesen Ansätzen läßt sich die sommertägliche Strahlungsbilanz aufstellen und die daraus resultierende Energiebilanz abschätzen. A = Ausstrahlung erfolgt nach dem Stefan-Boltzmann'schen Gesetz gemäß der Oberflächentemperatur nach $E_A = \sigma \cdot T^4$. Diese Energie für die Ausstrahlung des "schwarzen Körpers" läßt sich leicht ablesen aus dem Diagramm in SCHREIBER (1975a). Natürliche Oberflächen sind für die langwellige Ausstrahlung fast schwarze Körper. Es wird deshalb in den folgenden Ansätzen nur der trockene Sand als zu 90% und der nasse Sand als zu 95% als Schwarzkörper betrachtet. B (W) bedeutet Boden- bzw. Wassererwärmung, G atmosphärische Gegenstrahlung, L turbulenter Austausch in den Luftraum. Bei Boden und Wasser ist die Verdunstung eine reine Evaporation (E); sobald Vegetation hinzukommt, ist die Wasserabgabe Verdunstung und Transpiration (Evapotranspiration = ET).

Die Wasserabgabe an die Atmosphäre $E(T)$ verbraucht am meisten Energie. Der Restbetrag wurde bei den folgenden Abschätzungen nur der Einfachheit wegen gleichverteilt. In Wirklichkeit variieren die Anteile je nach Tageszeit stark. (Für die Zahlenbeispiele sind alle Dimensionen $\text{cal}/\text{cm}^2\text{min}$).

	$I + H - R_{I,H} - A + G = S = E(T) + B(W) + L$
Wasser	$1.00 - 0.10 - 0.61 + 0.50 = 0.79 = 0.71 + 0.04 + 0.04$
Sand trocken	$1.00 - 0.40 - 0.70 + 0.50 = 0.40 = 0.20 + 0.10 + 0.10$
Sand naß	$1.00 - 0.25 - 0.62 + 0.50 = 0.63 = 0.51 + 0.06 + 0.06$
Vegetationsdecke (Oberfl. temp. 25°C ET 80% S)	$1.00 - 0.15 - 0.65 + 0.50 = 0.70 = 0.56 + 0.07 + 0.07$

In der Nähe der Strandlinie kann die atmosphärische Gegenstrahlung nicht verschieden sein. Sie wurde hier mit 80% der Ausstrahlung über Wasser angesetzt. Die Strahlungsbilanz ist umso höher, je feuchter die Oberfläche ist, wird aber umso stärker auch für die Verdunstung beansprucht (90% bei Wasser, 50% bei trockenem und 80% bei feuchtem Sand). Das Ergebnis ist eine höhere Oberflächenerwärmung über Land besonders dann, wenn es trocken ist.

Das bedeutet Erwärmung der Luft und damit Verdünnung, und zwar um $1/273$ pro Grad (Ausdehnungskoeffizient der Luft $\alpha_T = 1/273$). Das entspräche nur etwa 0.37% der Luftdichte; bei über 1000 mb Normalluftdruck sind dies aber 4 mb Luftdruckunterschied, da Luftdichte und Luftdruck proportional sind. Solche Größenordnungen werden nie gemessen, sondern höchstens 0.5 mb. Also muß Luftdruckausgleich stattfinden, und der wird durch die aufsteigende Luftbewegung (Thermik) und die zur Auffüllung herangesaugte kühlere Luft von See her (Seewind) verursacht.

Beim Überstreichen trockenem, heißen Sandes erwärmt sich bodennah die Luft. Das Sättigungsdefizit steigt, und manche Pflanze beantwortet das mit Stomatenschluß und damit Assimilationsreduktion. Die dadurch verminderte Transpiration läßt aber das Sättigungsdefizit eher wachsen als abnehmen. Der Trockenstreß wenige Zentimeter über dem Sandboden nimmt zu. Hinzu kommt Sandfegen als mechanische Beeinträchtigung des Pflanzenwachses und dazu an den Meeresküsten noch besonders salzhaltige Luft, deren Konzentration verstärkt wird, wenn die auflaufenden Wellen sich überschlagen und Gischt erzeugen.

Der Stomatenschluß der Pflanzen wird aber nicht nur durch hohes Sättigungsdefizit der Luft verursacht, sondern auch noch durch hohe Windgeschwindigkeit, durch Bodentrockenheit und sogar durch hohe Beleuchtungsstärke. Auch die Beleuchtungsstärke ist im Strandbereich besonders groß. Saubere Seeluft, uneingeschränkter Horizont, Reflexstrahlung von hellem Sand und Totalreflexion bei einem bestimmten Strahleneinfall auf Wellen sorgen dafür. Dazu kommt, daß die Konstellation "tieferer Luftdruck über Land als über See"

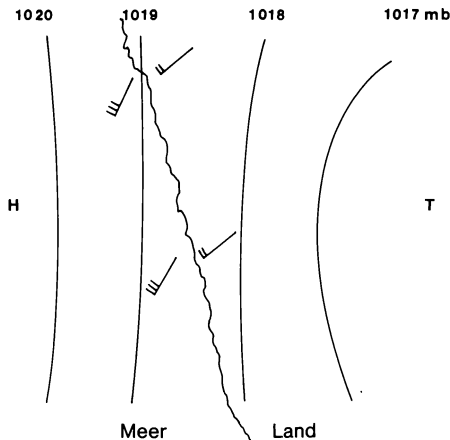


Abb. 2: Küstendivergenz

(das ist häufig der Fall, wenn ausschließlich die Tageszeiten in Betracht gezogen werden) zu Küstendivergenz (Abb. 2) führt. Das begünstigt absteigende Luftbewegung, läßt über der Strandlinie Wolken sich auflösen und schafft heitereres Sommerwetter am Strand als wenig weiter binnenwärts.

Also auch mehr Sonnenscheinstunden verlängern die Zeit schlechten Pflanzenwachstums. Pflanzen mit Transpirationsschutzeinrichtungen, genügsame, perennierende Arten und Tiefwurzler werden besonders gute Überlebenschancen an diesem Standort haben. Nur schwer schließt sich in der Vegetationsdecke der Bestand.

Es sollte verdeutlicht werden, wie wichtig das Meteorologieverständnis ist, um Ökosysteme grundlegend erfassen zu können, und wie bedeutend das gerade dort ist, wo zwei physikalisch unterschiedliche Oberflächen zusammentreffen. Ähnliches gilt für Eisrand- und Felsrandlagen.

Es bleibt die Frage, ist dies im Kursunterricht "Geographie" zu leisten und von wem? Sicher wird ein Studienrat der Fächerkombination Geographie/Biologie das können, wenn ihm in der Klimageographie das grundlegende Verständnis für die Meteorologie vermittelt worden ist. Ansätze dazu gibt es in der heutigen Lehrerausbildung, und mit den Heften SCHREIBER (1975a, b) oder WEISCHET (1977) ist das auch im Selbststudium zu erarbeiten. Das gilt natürlich auch für Biologen mit anderer Fächerkombination oder für Geographen mit anderen Zweitfächern, wenn sie hinreichend Neigung haben oder verständlich geschriebenes botanisches Schrifttum finden.

Schwieriger wird es für die Schüler. Ihre physikalischen Vorkenntnisse müßten meteorologisch untermauert werden. Auch das läßt sich in der Sekundarstufe II mit SCHREIBER (1975a) in den Fächern Physik und Geographie machen.

Bewußt wurde hier mit wenig Spezialliteratur und einfachen Rechengängen eine Abschätzung versucht, mit der man zu plausiblen Ergebnissen kommt, und die dann anregen sollen zu Messungen und Beobachtungen. Dies sollten all die Lehrer überdenken, die mit Klassen nicht gerade zur Badezeit ans Meer fahren und sich dann schwer tun, ihre Schüler sinnvoll und lehrreich zu beschäftigen.

Literatur

- DIRMHORN I., 1964: Das Strahlungsfeld im Lebensraum. Frankfurt (Akademische Verlagsgesellschaft).
- GEIGER R., 1960: Das Klima der bodennahen Luftschicht, 4. Aufl. Braunschweig (Vieweg & Sohn).
- , o.J.: Die Atmosphäre der Erde (Schulwandkarten). Darmstadt (Perthes).
- SCHREIBER D., 1975a: Meteorologie als Einführung in die Klimatologie. Bochum (Brockmeyer).
- 1975b: Klimatologie. Bochum (Brockmeyer).
- WEISCHET W., 1977: Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Stuttgart (Teubner).

Adresse

Prof. Dr. Detlef Schreiber
Auf dem Bachenberg 9
D-4630 Bochum 1

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: [7_1978](#)

Autor(en)/Author(s): Schreiber Detlef

Artikel/Article: [Die Notwendigkeit des Meteorologieverständnisses zur Erarbeitung des Mikroklimas als ökologische Grundlage am Beispiel eines modellhaften Küstenabschnitts 483-486](#)