



Von der Beobachtung zur Modellbildung – das Beispiel des Wasserhaushaltes

Dieter Böhn, Brigitta Schütt

Zitieren dieses Artikels:

Böhn, D., & Schütt, B. (2002). Von der Beobachtung zur Modellbildung – das Beispiel des Wasserhaushaltes. *Geographie und ihre Didaktik*, 30(2), S. 57–71. doi 10.60511/zgd.v30i2.273

Quote this article:

Böhn, D., & Schütt, B. (2002). Von der Beobachtung zur Modellbildung – das Beispiel des Wasserhaushaltes. *Geographie und ihre Didaktik*, 30(2), pp. 57–71. doi 10.60511/zgd.v30i2.273

GUID 31 (2002) S. 57 - 71	D. Böhn und B. Schütt: Von der Beobachtung zur Modellbildung
------------------------------	---

Von der Beobachtung zur Modellbildung – das Beispiel des Wasserhaushaltes

von Dieter BÖHN (Würzburg) und Brigitta SCHÜTT (Trier)

Zusammenfassung

Eine zentrale Aufgabe des Geographieunterrichts ist es, aus der Beobachtung der Umwelt heraus durch die gedankliche Verknüpfung der Beobachtungen Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. Damit werden wichtige Grundkenntnisse wissenschaftlichen Arbeitens vermittelt und die ersten Grundlagen eines Modellverständnisses gelegt. Dies wird am Beispiel des Wasserhaushaltes mit seinen unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Dimensionen aufgezeigt.

1 Didaktische Zielsetzung

Der Unterricht an der Schule verfolgt zwei grundlegende Ziele – erstens: die Vermittlung von Wissen, zweitens: die Vermittlung didaktisch relevanter Qualifikationen. Eine der zentralen Aufgaben des Unterrichts ist die Verknüpfung beider Ziele und damit die Anbahnung der Fähigkeit, über die Strukturierung von Wissen zu allgemeingültigen Aussagen zu gelangen. Die Fähigkeit, Wissen strukturieren zu können, bedeutet dabei, aus Beobachtungen Verallgemeinerungen abzuleiten. Dieses Vorgehen impliziert die vorherige Klassifizierung der Beobachtungen. Gefordert sind ein systemtheoretischer Ansatz (WIECZOREK 1999, S. 153), der sich zu einem systemtheoretischen Geographieunterricht weiterentwickelt (KÖCK 1999, S. 155). Dies ist der Beitrag des Geographieunterrichts zum wissenschaftspropädeutischen Arbeiten (ENGELHARD 1999, S. 108; Hemmer 1992). Leider bleibt jedoch der Unterricht oftmals in der reinen Wissensvermittlung stecken. Damit wird die Aufgabe verfehlt, den Schülern die geforderten Grundkenntnisse wissenschaftlichen Arbeitens zu vermitteln. Diese Grundkenntnisse wissenschaftlichen Arbeitens erfordern im Sinne eines induktiven Arbeitsansatzes die Ableitung von Verallgemeinerungen aus Beobachtungen, um dementsprechend eine Abstraktion des Beobachteten durch dessen Klassifikation herzustellen.

Wasser ist von hoher Relevanz für die Gegenwart und Zukunft des Schülers. Darüber hinaus ist von Vorteil, daß mit dem Thema Wasser zusammenhängende

Vorgänge vom Schüler in der Umwelt unmittelbar beobachtet werden können, so daß es ihm bei entsprechender Anleitung möglich ist, hieraus Rückschlüsse auf den allgemeinen Wasserhaushalt zu ziehen. Am Ende dieses Lernvorgangs steht die Formulierung der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung – und damit die Verallgemeinerung von Beobachtungen zum Thema Wasser auf dem höchsten Abstraktionsgrad.

Entsprechend nutzt dieser Beitrag das Thema Wasser, um aufzuzeigen, wie Schüler zum wissenschaftsorientierten Denken angeleitet werden können. Dies ist eine didaktische Aufgabe, die besonders der Kollegstufe zukommt, in Ansätzen aber bereits in der Sekundarstufe I zu leisten ist. Es wird gezeigt, wie alltägliche Beobachtungen geordnet, wie aus ihnen Schlußfolgerungen gezogen und wie aus Beobachtungen und Folgerungen Modelle abgeleitet werden können (vgl. BIRKENHAUER / WIECZOREK, S. 108).

Geographisch ist dabei zusätzlich relevant, daß der Weg von der Beobachtung von Wasser in der unmittelbaren Umwelt hin zur Verallgemeinerung der global gültigen Wasserhaushaltsgleichung nicht nur den Aufbau bestimmter Denkstrukturen verlangt, sondern gleichzeitig das Verstehen unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Maßstabebenen. Eine vertiefte Darstellung dieser Zusammenhänge kann bei NÜBLER (1989) und BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM für Landesentwicklung und Umweltfragen & BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM für Schulpädagogik und Bildungsforschung (2000) gefunden werden.

2 Die Beobachtung und Klassifizierung von Erscheinungen in der Umwelt

2.1 Ausgangsbedingungen

Wie nimmt der Mensch den Wasserhaushalt wahr? Komponenten des allgemeinen Wasserhaushaltes in ihren natürlichen Erscheinungsformen werden in der Umwelt in drei Bereichen besonders augenscheinlich:

- im Niederschlag in seinen verschiedenen Erscheinungsformen,
- im Auftreffen des Niederschlags auf die Erdoberfläche und sein Verhalten dort,
- im Wasser auf der Erdoberfläche in Form von Flüssen, Seen und Meeren.

Es gilt nun, durch möglichst genaue Beobachtungen zu ermitteln bzw. durch Kombination verschiedener Beobachtungen zu erschließen, was bei einem

Niederschlagsereignis, also der Zufuhr von Wasser auf die Erdoberfläche, geschieht.

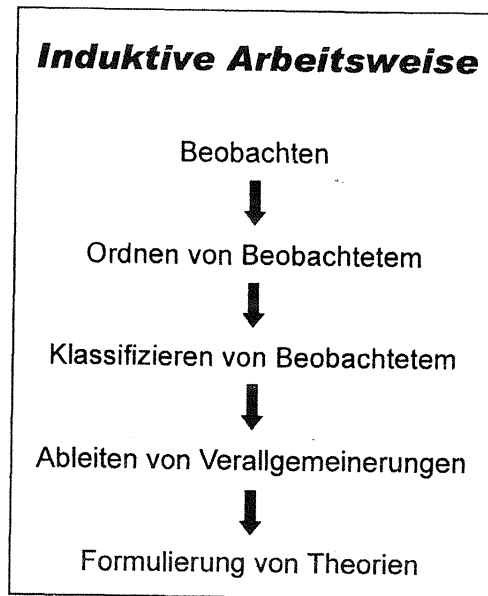


Abb. 1 Ablaufschema der induktiven Vorgehensweise (verändert nach Anderson & Burt 1998).

Bei der Umsetzung dieses Vorhabens kann didaktisch aufgezeigt werden, daß wissenschaftliche Überlegungen zu zwei gegensätzlichen Komplexitätsstufen führen:

- Die Vielfalt der Beobachtungen führt, besonders wenn man sich um die möglichst vollständige Erfassung und Verknüpfung der einzelnen Erscheinungsformen bemüht, zu einer Komplexitätssteigerung. Dies wird nachstehend an Beobachtungen zum Wasserkreislauf aufgezeigt, die überall von jedermann durchzuführen sind.
- Der Wissenschaftler ist bemüht, die wahrgenommene Vielfalt zunächst zu systematisieren und dann zu klassifizieren (vgl. Abb. 1), um so eine Komplexitätsreduktion zu erreichen. Es handelt sich hierbei um die klassische induktive Vorgehensweise (ANDERSON / BURT 1998). Die Benennung und Definition der Kategorien ist Bestandteil der Komplexitätsreduktion (Bsp.: Zusammenfassung aller Niederschläge, die in flüssiger Form fallen, als Regen).

2.2 Beobachten und Ordnen von Beobachtetem

Im einem zweiten Schritt gilt es, die unbewußte Wahrnehmung des Schülers von Komponenten des Wasserhaushaltes in eine bewußte Wahrnehmung zu überführen und dadurch die Voraussetzung für das Verstehen von Prozessen zu schaffen.

Vor diesem Hintergrund gestellte Fragen können wie im Folgenden formuliert sein, wobei zu den möglichen Beobachtungen gehörende Fachtermini kursiv gedruckt sind:

In welchen Erscheinungsformen kann Niederschlag auftreten? Niederschlag fällt flüssig oder fest („Regen“, „Schnee“) (*Aggregatzustand des Niederschlags*). In einer bestimmten Zeiteinheit kann die Menge des Niederschlags sehr unterschiedlich sein („es nieselt“, „es gießt“) (*Niederschlagsintensität*); auch die Dauer des Niederschlags ist verschieden („Dauerregen“, „Platzregen“) (*Niederschlagstyp*). Schließlich zeigen Klimadiagramme die im Jahresgang unterschiedliche Niederschlagsverteilung (*Saisonalität der Niederschläge*).

Was geschieht mit dem Niederschlag? Ein Teil des Niederschlags bleibt an der Oberfläche von Gegenständen hängen, vor allem an den Blättern von Pflanzen (*Interception*), und ein Teil des Niederschlags trifft direkt auf die Erdoberfläche. Von der Art der Bodenbedeckung und der Niederschlagsmenge hängt es ab, wie groß der jeweilige Anteil des Niederschlags ist, der an den Pflanzen hängen bleibt und der den Boden erreicht.

Was geschieht mit dem Niederschlag, der den Boden erreicht? Man kann beobachten, daß das Wasser, welches den Boden erreicht, entweder oberflächlich abfließt oder kurze Zeit an seiner Oberfläche stehenbleibt und dann verschwindet.

Weiterhin kann beobachtet werden, daß Wasser auf einer begrenzten Fläche an der Erdoberfläche austritt (*Quelle*). Dieses Wasser fließt im allgemeinen linear in einer langgestreckten Hohlform mit gleichsinnigem Gefälle ab (*Tal*), wobei die Wassermenge den Typ des Fließgewässers bestimmt: Bach, Fluß, Strom (*Flußordnung*), und die Regelmäßigkeit, mit der Wasser fließt, das Abflußverhalten charakterisiert: *perennierend*, *periodisch*, *ephemer*. Der Abfluß ist von den umgebenden Hängen auf die Täler hin gerichtet. Jedes Tal erfüllt damit die Funktion eines *Vorfluters*.

Das Wasser fließt langsam oder schnell (*Fließgeschwindigkeit*), es fließt ruhig oder turbulent (*Strömung*), es ist unterschiedlich trübe („sauber“, „verschlammt“) (*Schwebstoffführung*), es ist hart oder weich (*Carbonatgehalt*). Man kann auch beobachten, ob das Wasser kalt oder warm ist (*Temperatur*). Bei den einzelnen Gewässern läßt sich erkennen, daß größere die kleineren aufnehmen, die kleinere

sind *tributäre Flüsse (Tributär)*. Der Grund liegt darin, daß sich größere Gewässer tiefer und schneller eingeschnitten haben (*linienhafte Erosion*); weil das Wasser der Schwerkraft unterworfen ist, fließt es zum jeweils tiefsten Punkt (*Erosionsbasis*).

Bei genauer Beobachtung der Vorgänge bei einem Niederschlagsereignis ist zu erkennen, daß noch eine weitere Komponente hinzukommt: Auf den Blattoberflächen festgehaltenes Niederschlagswasser verschwindet, ohne zu Boden zu fallen. Diese klimatologische Größe der *Evaporation* ist meßbar; jedoch ist der zugehörige Prozeß der Verdunstung, d. h. des Übergangs des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand, bei der reinen Geländebeobachtung nicht beobachtbar. Zur Veranschaulichung dieses Prozesses kann auf eine Alltagserfahrung des Schülers zurückgegriffen werden: auf den Prozeß des Trocknens einer nassen Tafel durch Verdunstung!

2.3 Klassifizieren von Beobachtetem: Komplexitätsreduktion

In einem dritten Schritt werden ungeordnet vorliegende Beobachtungen anfangs noch unbewußt, dann gezielt Klassen zugeordnet und damit klassifiziert (vgl. Abb. 1). Über die Benennung der Klassen erfolgt eine erste Komplexitätsreduktion. Die auf diesem Weg geschaffene Nomenklatur bildet die Grundlage für die weitere Erforschung des Themas. Im Unterricht wird jedoch das Ergebnis dieses Schrittes vielfach vorgegeben, weil zur Erarbeitung solcher Klassifizierungen, d.h. von Fachbegriffen hohen Abstraktionsgrades, die Zeit fehlt.

Für die Erarbeitung des Themas 'Wasserhaushalt' gilt es zu überlegen, welche direkten Beobachtungen notwendig sind, um durch ihre Verknüpfung das System Wasserhaushalt zu erkennen. Dazu ist es erforderlich, von der Beschreibung von Komponenten des Wasserhaushaltes zu der Erfassung von Prozessen im Wasserhaushalt überzugehen. Wesentlich sind folgende vier Prozesse:

- Niederschlag fällt,
- Wasser versickert,
- Wasser verdunstet,
- Wasser fließt ab.

3 Die gedankliche Verknüpfung der Beobachtungen

Im Folgenden stellt sich die Frage, ob die einzelnen beobachteten Prozesse in einem Zusammenhang stehen, d. h. ob sie ein System bilden. Ein unmittelbarer Zusammenhang ist zunächst nicht zu erkennen. Damit werden weitere gezielte Beobachtungen bzw. Untersuchungen erforderlich. Diese werden durch folgende Fragen gesteuert:

Stehen die beobachteten Prozesse in einem Zusammenhang?

Wie sieht dieser Zusammenhang aus?

Die Erfassung der Zusammenhänge wird dadurch erschwert, daß es oftmals mehrere Möglichkeiten von Verknüpfungen und Folgeprozessen gibt. Wird beobachtet, daß Niederschlag fällt, knüpft hieran die Beobachtung an, daß dieser Niederschlag entweder direkt auf den Boden fällt oder auf Gegenständen wie z. B. Hausdächern oder Blattoberflächen bodenbedeckender Pflanzen landet. Fällt der Niederschlag auf den Boden, können wiederum zwei Folgeprozesse beobachtet werden: Das Wasser bleibt an der Oberfläche stehen, oder es fließt ab. Beim stehenden Wasser läßt sich spätestens nach dem Ende des Niederschlagsereignisses beobachten, daß die Menge des stehenden Wassers abnimmt – jedoch können wir nicht beobachten, welcher Prozeß dazu führt.

Die Schwierigkeit, Verknüpfungen zu erkennen, wird dadurch erhöht, daß vielfach Folgeprozesse nicht direkt beobachtet werden können. Sie müssen daher durch gedankliche Überlegungen hergestellt werden, die zu Hypothesen führen und die durch gezielte Untersuchungen (*Experimente*) zu verifizieren oder zu falsifizieren sind (HARVEY 1969). Solche Untersuchungen sind im Normalfall jedoch zeit- und kostenaufwendig und deshalb im Unterricht nicht bzw. nur in beschränktem Rahmen umzusetzen. In die Überprüfung der Hypothesen ist deshalb auch das Vorwissen des Schülers einzubeziehen. Entsprechend kann abgeleitet werden, daß das stehende Wasser entweder versickern oder verdunsten wird. Das versickernde Wasser bewirkt im Boden zunächst einen Zustand, den wir als 'feucht' (Durchfeuchtung) wahrnehmen. Versickert so viel Wasser, daß alle Hohlräume im Boden von Wasser gefüllt sind, nehmen wir diesen Zustand als 'naß' (Durchnässung) wahr.

Was passiert mit dem versickerten Wasser im Boden?

Die Überprüfung dieses Sachverhaltes im Gelände ist schwierig. Zur Veranschaulichung der im Boden nach der Versickerung des Wassers ablaufenden Prozesse kann hier als Experiment ein Beispiel aus dem Schulalltag herangezogen werden:

Experiment

Ein Tafelschwamm besteht wie ein Boden aus festem Material und Hohlräumen, in denen sich im trockenen Zustand Luft befindet. Wird auf einen Schwamm langsam Wasser gegossen, füllen sich die Hohlräume des Schwamms mit Wasser. Dabei ist zu erkennen, daß sich die Durchnässung langsam von oben nach unten durch den Schwamm fortpflanzt. Bei genauer Beobachtung wird weiterhin festzustellen sein, daß der Schwamm anfangs in den oberen Bereichen feuchter ist als in den unteren. Hält die Wasserzufuhr auf den Schwamm an, wird das Wasser irgendwann durch den Schwamm hindurchfließen. Wenn der Schwamm auf einer Tischplatte liegt, wird sich, da das Wasser nicht durch die Tischplatte hindurchdringen kann, nun am Boden des Schwammes langsam eine Pfütze bilden. Wenn das Wasser oben schneller nachgeschüttet wird als es unten aus dem Schwamm herausdringen kann, werden in dem Schwamm nun sukzessive von unten nach oben alle Hohlräume vollständig mit Wasser erfüllt werden. Bei Anhalten dieses Vorganges kann es passieren, daß der gesamte Schwamm wassergesättigt ist und an der Schwammoberfläche wieder Wasser ausdringt.

Führt man dasselbe Experiment mit einem Schwamm durch, der auf einer schrägstehenden Tischplatte liegt, wird zu beobachten sein, daß das an der Schwammunterseite nach Auffüllen der Hohlräume austretende Wasser nicht eine Pfütze bildet, sondern dem Gefälle der Tischplatte folgend abfließen wird.

Es gilt nun, diese Beobachtungen auf das konkrete Problem ‚Was passiert mit dem versickerten Wasser im Boden?‘ zu übertragen:

1. Das auf den Schwamm geschüttete Wasser entspricht den *Niederschlägen*.
2. Der Vorgang des Eindringens des Wassers in den Schwamm entspricht dem Prozeß der *Infiltration*.

3. Die Summe der Hohlräume im Boden wird als *Porenvolumen* bezeichnet.
4. Die wasserundurchlässige Tischplatte entspricht in der Realität dem *Grundwasserstauer*.
5. Die maximale Feuchtigkeit, die im Schwamm gehalten werden kann, ohne daß sich an der Unterseite des Schwammes eine Pfütze bildet, entspricht der *Feldkapazität* bzw. der *Wasserkapazität*.
6. Das an der Unterseite des Schwammes bei Überschreiten der Wasserkapazität austretende Wasser entspricht dem *Grundwasser*.
7. Auf der geneigten Tischplatte fließt dieses überschüssige Wasser dem Gefälle folgend ab - dem *Grundwasserabfluß* entsprechend.

Ergänzt man das Experiment dahingehend, daß ein Teil der schrägstehenden Tischplatte abgedeckt wird, so ist das auf der Tischplatte abfließende Wasser zunächst nicht zu sehen. Die Stelle, an der die Abdeckung endet und das abfließende Wasser sichtbar wird, entspricht einem *Quellaustritt*.

Aus dem vorgestellten Experiment können folgende Wasserhaushaltsprozesse abgeleitet werden: Bei einem Niederschlagsereignis wird ein Teil des Niederschlags auf die Bodenoberfläche treffen und infiltrieren. Hierbei kommt es zu einer Durchfeuchtung des Bodens, die mit zunehmender Dauer bzw. Menge des Niederschlags immer größere Tiefen erreicht. Im Untergrund befindliche undurchlässige Gesteinsschichten (*Grundwasserstauer*) stören jedoch diesen Prozeß der Versickerung, weshalb sich oberhalb dieser undurchlässigen Schichten bei anhaltender *Infiltration* langsam alle Hohlräume mit Wasser füllen werden und somit *Grundwasser* bilden. Ist diese Gesteinsschicht nicht horizontal gelagert, wird das Grundwasser entlang der Oberfläche der undurchlässigen Schicht in den Hohlräumen des *Grundwasserleiters* langsam dem Gefälle folgend abfließen. Wo die wasserundurchlässige Schicht an der Geländeoberfläche ausstreicht, wird es entsprechend zum Austritt des Grundwassers in einer *Quelle* kommen (*Schichtquelle*).

Entsprechend ist folgende Schlußfolgerung zu formulieren: Das Wasser folgt im Untergrund – ebenso wie das Wasser an der Erdoberfläche – den Gesetzen der Schwerkraft und fließt durch die Klüfte und Porenhohlräume des Grundwasserleiters über der wasserstauenden Gesteinsschicht, bis die Erdoberfläche diese

Gesteinsschicht schneidet. Dieser Punkt bestimmt den Ort des Grundwasseraustritts an die Erdoberfläche, der Quelle, von wo aus das Wasser oberirdisch weiterfließt.

Bislang wurden in die Überlegungen einbezogen: a) der Niederschlag, der fällt, b) der die Bodenoberfläche erreichende und oberflächlich abfließende Abfluß und c) der die Bodenoberfläche erreichende und infiltrierende Niederschlag. Weiterhin ist noch die Komponente Verdunstung zu berücksichtigen. Durch die Verdunstung, den Übergang des Wassers von der flüssigen in die gasförmige Phase, wird Wasser von der Atmosphäre in Form von Wasserdampf aufgenommen. Geht man davon aus, daß auch die Atmosphäre nur eine begrenzte Menge Wasserdampf aufnehmen kann, so muß der Zeitpunkt kommen, an dem die Aufnahmekapazität der Atmosphäre für Wasserdampf überschritten wird (*Kondensation*) und die überschüssige Menge wieder abgegeben wird. Die Beobachtung zeigt, daß dies (zumindest zum Teil) in Form von Niederschlag geschieht.

Damit wurde aus einer begrenzten Zahl von Beobachtungen durch qualitative Schlußfolgerungen ein Zusammenhang zwischen den vier beobachteten Prozessen des Wasserhaushaltes hergestellt. Durch Hinzuziehen der aus dem Experiment 'Tafelschwamm' gewonnenen Erkenntnisse wird der Wasserhaushalt als ein Kreislauf des Wassers erkennbar.

4 Das Aufzeigen von Gesetzmäßigkeiten

Wissenschaftsorientiertes Arbeiten begnügt sich besonders im Bereich der Naturwissenschaften nicht mit der Erkenntnis von Zusammenhängen, sondern zielt darauf hin, diese Regelmäßigkeiten in funktionalen Zusammenhängen auszudrücken. Dieser systemtheoretische Ansatz analysiert die regelhaften Beziehungen zwischen Prozessen und Prozeßeigenschaften (AHNERT 1996). Die bislang erschlossenen Wasserhaushaltskomponenten sind in ihrer räumlichen Verbreitung begrenzt, den sog. Speichern, denn Niederschlag kommt nur in der Atmosphäre vor (*Atmosphärespeicher*), Oberflächenabfluß nur auf der Geländeoberfläche (*Gewässerspeicher*), Grundwasser nur im Untergrund (*Grundwasserspeicher*) (vgl. HERRMANN 1977). Da innerhalb des Wasserhaushaltsmodells Wasser regelhaft nach einer beschränkten Zeit von einem Speicher in einen oder mehrere andere Speicher weitergegeben wird, wird hier in Anlehnung an CHORLEY /KENNEDY (1971) auch von einem Kaskaden-System gesprochen (Abb. 2).

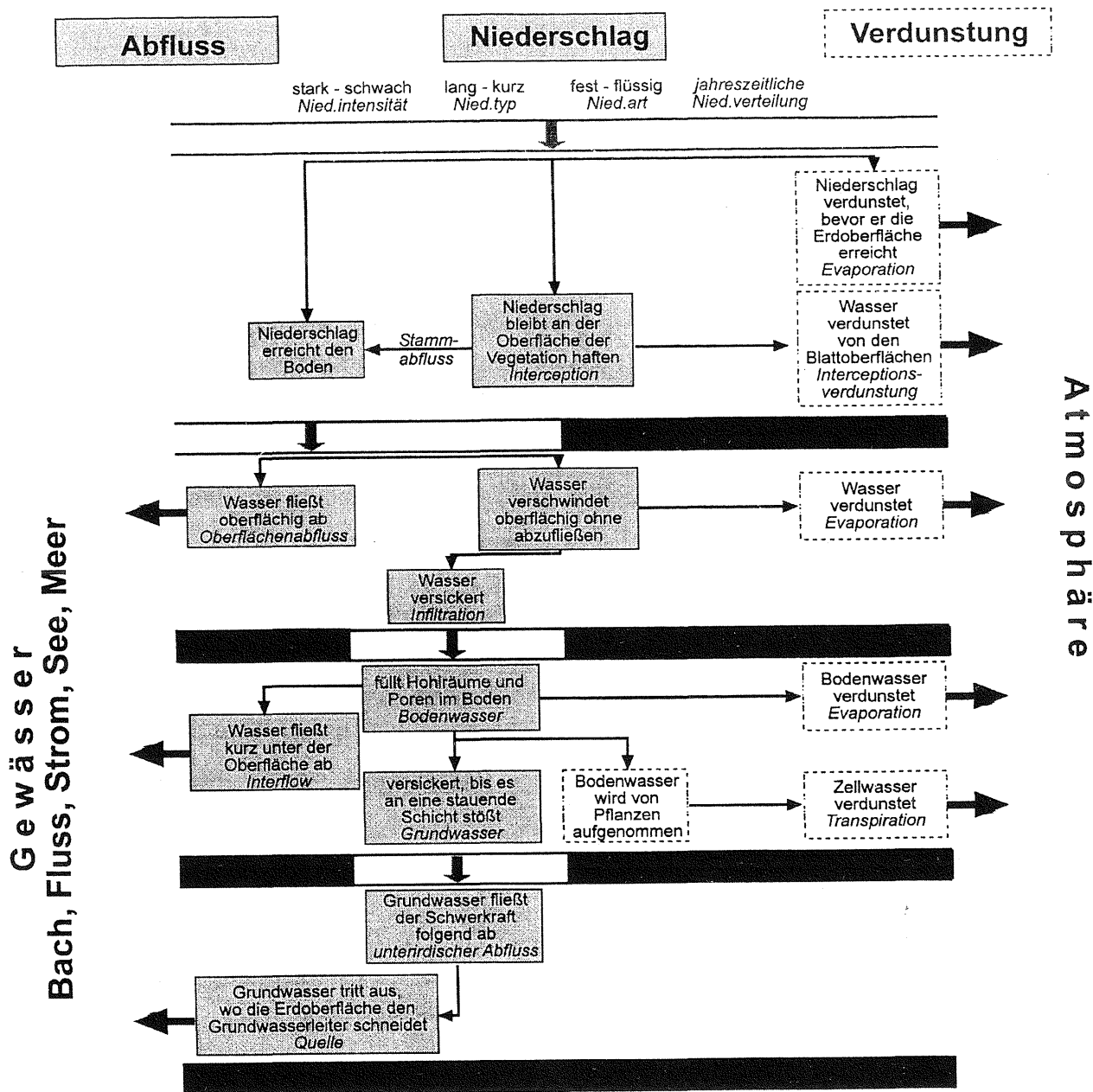


Abb. 2 Flussdiagramm zu den Beziehungen zwischen den einzelnen Komponenten des Wasserhaushalts. Grau unterlegt sind beobachtbare Erscheinungen und Prozesse, umrissen dargestellt sind erschließbare Erscheinungen und Prozesse.

$$\begin{array}{c}
 \text{Input} \qquad \qquad \qquad \text{Output} \\
 \boxed{\text{Niederschlag}} \quad = \quad \boxed{\text{Verdunstung}} \quad + \quad \boxed{\text{Abfluss}}
 \end{array}$$

Abb. 3 Ableitung der Allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung.

Die Dauer, die Wasser in einem Speicher verweilt bzw. die Geschwindigkeit, mit der es von einem Speicher in den nächsten übergeht, wird ebenso durch die Form- und Materialeigenschaften der Speichereinheiten gesteuert wie durch die Prozeßeigenschaften. So hängt die Geschwindigkeit, mit der Wasser im Boden versickern kann (*Infiltrationskapazität*), sowohl von der Menge der vorhandenen Hohlräume im Boden ab (*Porenvolumen*) als auch von Lagerungsart und Lagerungsdichte der Feststoffe – und damit den Fließwiderständen. Ist mithin die Niederschlagsmenge in einer gegebenen Zeiteinheit (*Niederschlagsintensität mm/h*) höher als die Infiltrationskapazität des Bodens, kommt es zur Bildung von Oberflächenabfluß (*Horton-Abfluß*). Umgekehrt können jedoch auch Niederschlagsereignisse geringer Intensität zu Oberflächenabfluß führen, und zwar dann, wenn während vorangegangener feuchter Witterungsperioden bereits eine Bodenwassersättigung erreicht wurde und der Boden kein weiteres Wasser mehr aufnehmen kann (*Sättigungsabfluß*). Obwohl diese Beziehungsgefüge bereits sehr komplex erscheinen, sind hier diverse Faktoren wie der Einfluß der jahreszeitlich wechselnden Vegetationsbedeckung, der saisonal schwankenden Evapotranspiration, des teilweise kleinräumig stark schwankenden Reliefs oder der verschiedenen Bindungsformen von Wasser im Boden noch nicht berücksichtigt.

Zur Umsetzung dieser komplexen funktionalen Zusammenhänge stehen verschiedene Modellansätze zur Verfügung, die sowohl qualitativer, quantitativer als auch semiquantitativer Art sein können (AHNERT 1981). Typische Formen quantitativer Modellansätze sind die mathematischen, die stochastischen oder die physikalischen Modelle (vgl. GREGORY / WALLING 1973; SCHMIDT 1984). Dem gegenüber stehen die qualitativen Modelle, die überwiegend deskriptiv angelegt sind, was jedoch weder ihre Präzision noch ihre Nachvollziehbarkeit beeinträchtigt. Alle drei Modellansätze stehen gleichwertig nebeneinander.

An dieser Stelle wird zur Erfassung des Wasserhaushaltes ein qualitativer Modellansatz verwendet, weil so ohne Ablenkung durch die bei Verwendung eines quantitativen Modellansatzes erforderlichen Datenmengen das Ziel eines Trainings wissenschaftlichen Denkens und Arbeitens im Vordergrund bleibt. Die Modelldarstellung erfolgt dabei als Flußdiagramm mit einfachen Entscheidungsabläufen (trifft zu/trifft nicht zu), bei dem die einzelnen Verknüpfungen durch Pfeile dargestellt werden (Abb. 2).

Jeder Modellansatz beinhaltet eine Komplexitätsreduktion. Im Verlaufe des Vorgehens wird aus der beobachteten Vielfalt der Wirklichkeit durch Klassifizierung

und Benennung der Klassen bereits eine Komplexitätsreduktion erreicht, womit entsprechend eine erste Modellstufe zur Verfügung steht.

Betrachtet man Abb. 2, so ist zu erkennen, daß die verschiedenen Prozesse innerhalb des Wasserkreislaufes in die drei Komponenten Abfluß, Niederschlag und Verdunstung eingeteilt werden können (oberste Zeile in Abb. 2). Unter der Voraussetzung, daß mit diesen drei Komponenten alle Prozeßbereiche erfaßt sind, die den Wasserhaushalt bestimmen, kann folglich ein Zusammenhang zwischen ihnen hergestellt werden. Aus der Abb. 2 geht deutlich hervor, daß der Niederschlag die einzige Eintragsgröße ist, während Abfluß und Verdunstung beide Austragsgrößen bilden. Entsprechend ergibt sich aus dieser Beziehung die allgemeine Wasserhaushaltsgleichung:

$$N = A + V$$

Daraus ergibt sich die Gleichung:

$$V = N - A$$

für: V = Verdunstung
 N = Niederschlag
 A = Abfluß

mit der die bislang nur erschlossene, aber nicht unmittelbar beobachtete Komponente der Verdunstung erfaßt wird.

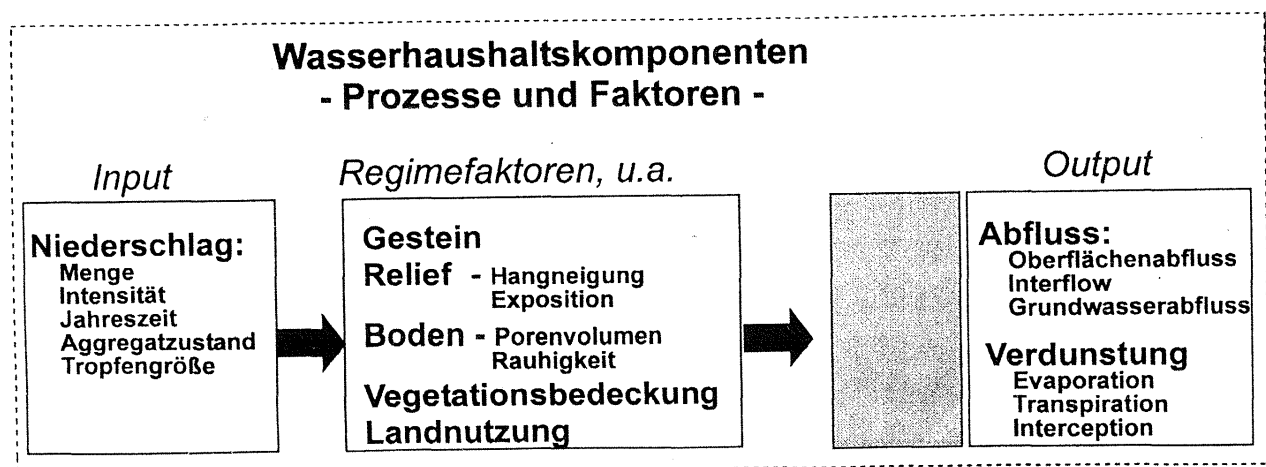


Abb. 4 Transfermodell zum Wasserhaushalt (*Grey-Box Modell*) (verändert nach Schütt 1993).

Das erforderliche Komplexitätsmaß des Modells ergibt sich dabei aus der räumlichen, v. a. jedoch aus der zeitlichen Dimensionierung des gestellten Problems. So ist z. B. die allgemeine Wasserhaushaltsgleichung in der oben vorgestellten Form (Abb. 3) nur bei Betrachtung ganzer (hydrologischer) Jahreszyklen und größerer Räume gültig. Auf Grund seiner einfachen Struktur ist es jedoch besonders geeignet, dem Schüler die Beziehungsgefüge innerhalb des Systems Wasserhaushalt zu verdeutlichen.

Demgegenüber kann das in Abb. 2 vorgestellte Kaskadenmodell auch auf einzelne Niederschlagsereignisse in Flußeinzugsgebieten unterschiedlicher Größe angewendet werden. Bei der Betrachtung einzelner Niederschlagsereignisse in einem kleinen Flußeinzugsgebiet ist der Gleichungsansatz der Allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung entsprechend zu modifizieren, da neben einer Differenzierung zwischen den verschiedenen Abflußkomponenten (*Grundwasserabfluß* A_G , *Oberflächenabfluß* A_o , *Interflow* A_I) und den Verdunstungs-Komponenten Transpiration (T) und Evaporation (E) auch eine Ausgliederung des Retentionsvermögens der Böden (*Bodenwasserspeicher* R_B), der Interception (*Interceptionspeicher* I) und der Wasserspeicherung in der Biomasse erforderlich wird (vgl. Abb. 2):

$$N = A_G + A_I + A_o + T + E + R_B + I$$

für: V = Verdunstung
 A_G = Grundwasserabfluß
 A_I = Interflow
 A_o = Oberflächenabfluß
T = Transpiration
E = Evaporation
 R_B = Retention im Bodenwasserspeicher
I = Interception

5 Integration von Regimefaktoren in die Modellbildung

Es gilt zu erkennen, daß die bisher genannten Faktoren nur einen Teil der Wirklichkeit abbilden. Bei den bislang in die Betrachtung bzw. Modellbildung aufgenommenen Komponenten handelt es sich ausschließlich um Prozesse, die beobachtet oder erschlossen werden können. Prozesse werden aufgrund des in ihnen enthaltenen Bewegungsmomentes bevorzugt wahrgenommen, während Eigen-

schaften des Raumes, in dem diese Prozesse ablaufen, aus der Perspektive des Betrachters quasi-stabil erscheinen und somit oft nicht wahrgenommen werden. Diese Raumeigenschaften, innerhalb der Hydrologie bei der Modellierung des Wasserhaushaltes auch als *Regimefaktoren* bezeichnet, steuern maßgeblich die den Wasserhaushalt kennzeichnenden Prozesse Niederschlag, Abfluß, Verdunstung. Die Allgemeingültigkeit der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung $N = V + A$ wird durch diese Zusammenhänge zwar nicht in Frage gestellt; doch erlaubt die Einbeziehung von Regimefaktoren in die Analyse schließlich eine Erfassung der Wirkungsgefüge (Abb. 4). Traditionell werden solche parametrischen Modelle für die Prognose eingesetzt. Eines der bekanntesten Anwendungsbeispiele ist sicherlich die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG) nach SCHWERTMANN et al. (1987), die für die Berechnung von Bodenerosionsabtragsraten eingesetzt wird und als Planungsinstrument für Bodenschutzmaßnahmen herangezogen wird.

Literatur

- AHNERT, F. (1981): Über die Beziehung zwischen quantitativen, semiquantitativen und qualitativen Methoden in der Geomorphologie. – In: Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., 39, S. 1 - 28.
- ANDERSON, E. / BURT, A. (1998): Die Methodik geomorphologischer Forschung. – In: A. Goudie (Hrsg.): Geomorphologie. Ein Methodenbuch für Studium und Praxis. Berlin, S. 1 – 16.
- ARBINGER, R. (2001): Vernetztes Denken - mehr als nur ein Schlagwort? -- Geographie und ihre Didaktik 29/1, S. 1 – 20.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM für Landesentwicklung und Umweltfragen & Bayerisches Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung (Hrsg.) (2000): Lernort Gewässer. - München.
- BIRKENHAUER, J. / WIECZOREK, W. (1999): Modelle. - In: D. BÖHN (Hrsg.): Didaktik der Geographie - Begriffe. – München, S. 108 - 109.
- CHORLEY, R. / KENNEDY, B. (1971): Physical Geography: A system approach. - London.
- CHRISTOPHERSON, R.W. (1994): Geosystems. - Englewood Cliffs/N.J.
- ENGELHARD, K. (1999): Wissenschaftsorientierung. - In: H. Haubrich et al.: Didaktik der Geographie konkret. München. S. 108.
- GREGORY, K. F. / WALLING, D. E. (1973): Drainage Basin Form and Processes. A geomorphological approach. – London.
- HARVEY, D. (1969): Explanation in Geography. - London.

- HEMMER, I. (1992): Untersuchungen zum wissenschaftspropädeutischen Arbeiten im Geographieunterricht der Oberstufe. - Geographiedidaktische Forschungen, Bd. 21. Nürnberg.
- HERRMANN, R. (1977): Einführung in die Hydrogeologie. - Stuttgart.
- HÖLTING, B. (1984): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. - Stuttgart.
- KÖCK, H. (1999): Systemtheoretischer Geographieunterricht. - In: D. BÖHN (Hrsg.): Didaktik der Geographie – Begriffe. – München, S. 155 - 156.
- NÜBLER W. (1989): Wasserkreislauf und Wasserbilanz. – In: H. NOLZEN (Hrsg.): Physische Geofaktoren. – Handbuch des Geographieunterrichts, Band 10/II, S. 18 – 24.
- PRESS, F. / SIEVER, R. (1995): Allgemeine Geologie. – Hamburg.
- SCHMIDT, K.-H. (1984): Der Fluß und sein Einzugsgebiet – Hydrogeographische Forschungspraxis. - Wiesbaden.
- SCHÜTT, B. (1993): Der Stoffhaushalt der Kall/Nordeifel - Untersuchungen zum Wasserhaushalt, Schwebstoffhaushalt und Haushalt gelöster Stoffe in einem Flußeinzugsgebiet auf silikatischen Gesteinen. – Aachener Geographische Arbeiten 27.
- SCHWERTMANN, U. / VOGL, W. / KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. – Stuttgart.
- STRAHLER, A. H. / STRAHLER, A. N. (1976): Physische Geographie. – Stuttgart.
- WIECZOREK, U. (1999): Systemanalytischer/systemtheoretischer Ansatz. – In: D. BÖHN (Hrsg.): Didaktik der Geographie – Begriffe. – München, S. 153 – 154.