Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 66 (1974)
Heft: 10

Artikel: Übersicht über neue Entwicklungen in der Hydrologie aus der Sicht der Wasserwirtschaft

Autor: Vischer, Daniel / Schram, Karin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921264

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ÜBERSICHT ÜBER NEUE ENTWICKLUNGEN IN DER HYDROLOGIE AUS DER SICHT DER WASSERWIRTSCHAFT [1])

Daniel Vischer und Karin Schram

DK 551. 49

Der Ruf nach einer integralen Wasserwirtschaft — wie er sich etwa im Entwurf für einen Wasserwirtschaftsartikel in der schweizerischen Bundesverfassung niederschlägt — ist gleichzeitig ein Ruf nach einer Intensivierung der hydrologischen Forschung. Deshalb erfährt diese heute eine erfreuliche Beachtung, sowohl hinsichtlich Fragen der Wasserquantität als auch der Wasserqualität.

Im folgenden wird auf einige vielversprechende Entwicklungen zur Erfassung der Wasserquantität hingewiesen. Dies geschieht aus der Sicht eines Binnenlandes, in welchem vor allem die Landphase des Wasserkreislaufes (Bild 1) interessiert. Im Vordergrund stehen dabei die Komponenten:

Niederschlag	N	Abflüsse	A
Verdunstung	V	Rückhalt	R.

Je nach der wasserwirtschaftlichen Fragestellung ist die örtliche und zeitliche Verteilung einer oder mehrerer dieser Komponenten von besonderem Interesse. Die entsprechenden Abklärungen zerfallen in

1. Messung der grundlegenden hydrologischen Daten
2. Verarbeitung der Messdaten zu den wasserwirtschaftlich interessierenden Daten
3. Formulierung der hydrologischen Zusammenhänge und Modellierung hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Systeme.

1. Die Messung hydrologischer Daten

Die Entwicklung eines bestimmten Messverfahrens muss gleichsam drei Stufen überwinden:

Stufe 1: Formulierung des Messprinzips
Stufe 2: Entwicklung einer Versuchsanlage
Stufe 3: Konstruktion eines verlässlichen Messgerätes.

Während die Formulierung des Messprinzips auf der Stufe 1 meist recht einfach erscheint, bietet deren Materialisierung in einer Versuchsanlage auf der Stufe 2 gewöhnlich grosse Schwierigkeiten. Denn dort zeigt es sich, dass die zur Messung benutzten Zusammenhänge durch mannigfache Störungen verzerrt werden, was Massnahmen zu deren Ausschaltung erzwingt. Manchmal erweisen sich diese Massnahmen dann als unmöglich, zu umständlich oder nur auf dem Versuchsstand realisierbar. Die technische Reife und damit die Stufe 3 erreicht ein Messverfahren aber nur, wenn es gelingt, ein Messgerät zu konstruieren, das sich auch ausserhalb des Versuchsstandes verlässlich anwenden lässt. Für die entsprechenden Anstrengungen gilt jedoch in besonderem Masse die landläufige Erfahrung: «der Teufel sitzt im Detail».

Wenn von neuen Messverfahren die Rede ist, muss deshalb nach der entsprechenden Entwicklungsstufe gefragt werden. Gerade in der Hydrologie wurden in den letzten Jahren viele Messverfahren beschrieben, die diesbezüglich sehr unterschiedlich zu bewerten sind. Im folgenden soll aber nur auf solche eingegangen werden, welche die technische Reife ganz oder doch nahezu erreicht haben. Im Blick auf die Komponenten des Wasserkreislaufes sind dies vor allem

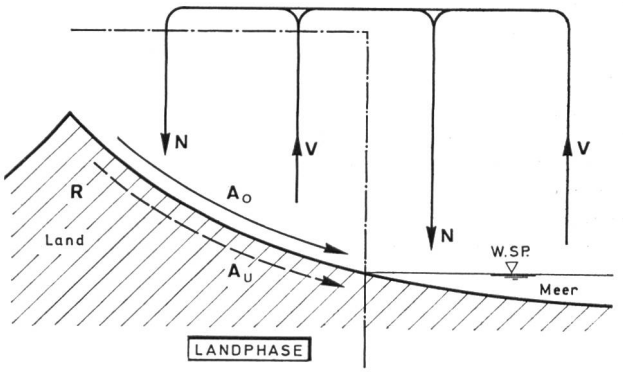
1. Die Niederschlagsmessung mit Radar
2. Die Abflussmessung mit Ultraschall
3. Die Verdunstungsmessung
   - 3.1. Wasserbilanz im Lysimeter
   - 3.2. Bestimmung aus meteorologischen Elementen
4. Die Messung des Rückhaltes
   - 4.1. Ultraschallauslotung oberirdischer Gewässer
   - 4.2. Nukleare Sonden zur Wassergehaltsbestimmung im Schnee und im Boden
   - 4.3. Einsatz künstlicher Erdsatelliten

Diese Messverfahren sollen die bisher verbreiteten ersetzen oder ergänzen.

[1]) gekürzte Fassung des Einführungsvortrages zum Fortbildungskurs für angewandte Hydrologie in Sursee, 24./28. Juni 1974

1.1. DIE NIEDERSCHLAGSMESSUNG MIT RADAR

Die konventionelle Niederschlagsmessung geschieht durch die bekannten Auffanggeräte, die als Regenmesser (Ombrometer, Pluviometer) oder Regenschreiber (Ombrographen, Pluviographen) bezeichnet werden. Deren weite Verbreitung darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass ihre Fehlerquellen trotz grosser Anstrengungen bis heute nicht behoben werden konnten. Denn einerseits stellt ihr Auffanggefäss mit einer Fläche von 200 bis 500 cm² nur eine Punktmessung im Niederschlagsfeld dar, und es ist fraglich, ob diese für ein grösseres Gebiet repräsentativ ist. Und andererseits wirft der Auffangvorgang selbst verschiedene Fragen auf, unter denen diejenige nach den Windeinflüssen im Vordergrund steht. Je nach Aufstellung stellt der Regenmesser nämlich ein Hindernis in der Windströmung dar und fängt dadurch im allgemeinen weniger Niederschlag auf, als in der Umgebung fällt. Der Fehler kann bis zu 50 % und mehr betragen.



LEGENDE: N = Niederschläge
V = Verdunstung
A_O = oberirdische Abflüsse
A_U = unterirdische Abflüsse
R = Rückhalt (Retention)

WASSERHAUSHALTGLEICHUNG: $N = A_O + A_U + V \pm R$

$A_O = N - A_U - V \mp R$

Bild 1 Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes. Links die sogenannte Landphase.

Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, wird seit einigen Jahren ein neuer Weg der Niederschlagsmessung beschritten: Es sind erfolgversprechende Versuche im Gange, Regen mit Hilfe der Radartechnik zu erfassen [1]. Das Prinzip ist einfach; es beruht darauf, dass Wasser die Radarwellen reflektiert. Von einem Radargerät wird ein Impuls bestimmter Wellenlänge ausgesandt und die reflektierte Energie registriert. Dieses Radarecho Z hängt mit der Niederschlagsintensität R, also mit der Niederschlagshöhe pro Zeiteinheit, durch folgende Gleichung, der sog. Z-R-Beziehung, zusammen:

$Z = a R^b$.

Die Grösse b ist annähernd eine Konstante, ihr Wert schwankt zwischen 1,5 und 1,6. Der Faktor a hängt jedoch stark vom Tropfenspektrum ab, das heisst von der Verteilung der Grösse der Niederschlagstropfen im betrachteten Volumen, und damit von der Art des Niederschlages. Versuche der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Locarno-Monti [2] haben für drei verschiedene Niederschlagstypen folgende Werte für a ergeben:

Nieselregen	a = 140
Landregen	a = 250
Gewitterregen	a = 500

In Einzelfällen schwankte der Wert zwischen 50 und 1000.

Diese starke Abhängigkeit der Z-R-Beziehung vom Tropfenspektrum steht bis heute einer routinemässigen Verwendung des Radars zur genauen quantitativen Bestimmung der Regenmenge entgegen. Es ist aber wohl nur eine Frage der Zeit bis es gelingt, diese in den Griff zu bekommen und damit die technische Reife des Messverfahrens zu erreichen.

Der grosse Vorteil der Regenmessung mit Radar besteht darin, dass in sehr kurzer Zeit ein ganzes Niederschlagsgebiet abgetastet werden kann: Das Radargerät (Bild 2) dreht sich um die eigene Achse und erfasst somit den vollen Winkel von 360 °, und die Zeit zwischen der Emission des Radarimpulses und dem Empfang des Echos bestimmt die Entfernung des Messvolumens vom Gerät und kann frei gewählt werden. Die Reichweite ist dadurch begrenzt, dass der Niederschlag oberhalb einer bestimmten Höhe nicht aus Wassertröpfchen, sondern ausschliesslich aus Eiskristallen besteht, deren Radarreflektivität viel kleiner ist als die von Wasser. In der Zone, in der die Eiskristalle zu schmelzen beginnen, schliessen sie sich zu grösseren Partikeln zusammen, die an ihrer Oberfläche bereits mit einer Wasserhaut überzogen sind. Die relativ grosse benetzte Fläche reflektiert viel Energie und erscheint wie ein riesiger Regentropfen. Dieses Gebiet des Ueberganges von Eis in Wasser zeigt sich auf dem Radarschirm als helles Band. In diesem hellen Band und darüber gilt also die einfache Z-R-Beziehung, wie sie oben beschrieben wurde, nicht mehr. Die Höhe des hellen Bandes über dem Boden variiert mit dem Temperaturprofil von Niederschlag zu Niederschlag und begrenzt bei gegebenem Elevationswinkel des Radarstrahles die Reichweite des Gerätes.

1.2. DIE ABFLUSSMESSUNG MIT ULTRASCHALL

Die heute gängigen Verfahren zur Erfassung der oberirdischen Abflüsse beruhen ausnahmslos auf der Voraussetzung, dass zwischen der Wasserführung Q eines Baches

[1] ... [10] Hinweis auf Literaturangaben am Ende dieses Berichtes

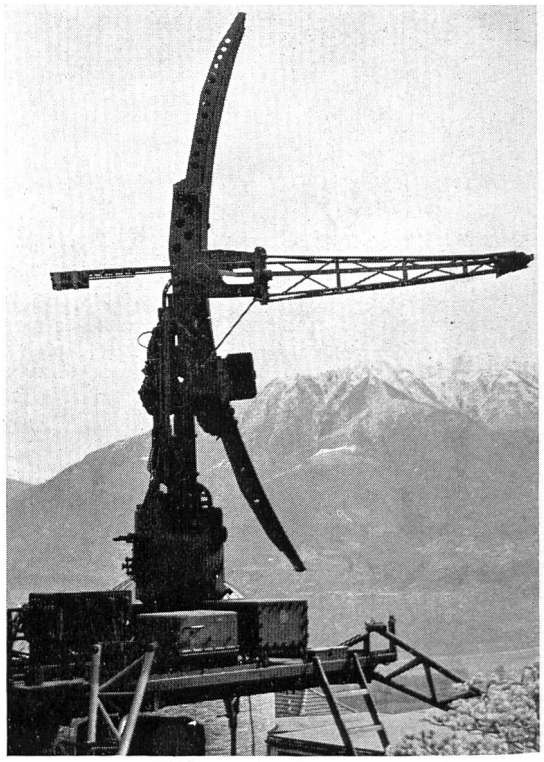


Bild 2 Radargerät zur Niederschlagsmessung am Osservatorio Ticinese der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Locarno-Monti. (Foto MZA)

oder Flusses und dem zugehörigen Wasserstand h eine eindeutige Beziehung von der Form

$Q = Q(h)$

besteht. Dies ist der Fall, wenn der Messquerschnitt des Baches oder Flusses

— stabil durchflossen wird (kein Wassersprung usw.)
— nicht eingestaut ist (durch Vorfluter oder Regulierwehr)
— unverändert bleibt (keine Erosion oder Auflandung).

Die Beziehung $Q = Q(h)$ ermöglicht dann die Bestimmung der Wasserführung aus einer einfachen Messung des Wasserstandes; sie stellt also gewissermassen die Eichkurve der mit Pegeln realisierten Messung dar. Um sie zu gewinnen, muss die Wasserführung durch einige vom Wasserstand unabhängige Messungen ermittelt werden. Hierzu dienen in der Schweiz vor allem zwei Verfahren: die Flügelmessung und die Messung mit Tracern (gewöhnlich mit Salzen). Wie die Erfahrung lehrt, eignet sich die Flügelmessung dort, wo die Strömungsverhältnisse gut überblickt werden können, also in Mittellandbächen und -flüssen. In den ausgesprochenen Wildbächen der Voralpen und Alpen ist die Messung mit Tracern dagegen vorteilhafter. Beide Messverfahren sind also gewissermassen komplementär und gestatten es in den meisten Fällen, die Oberflächenabflüsse mit grosser Genauigkeit (bis auf einige Prozente) zu erfassen. Sie sind deshalb nur in wenigen Fällen ergänzungsbedürftig. Zu diesen Fällen gehören Eichmessungen in sehr langsam fliessenden Gerinnen sowie laufende Durchflussmessungen in Gerinnen ohne eindeutige Pegelrelation (eingestaute Flüsse usw.) Hierfür wird zur Zeit der Einsatz einer Fliessgeschwindigkeitsmessung mit Ultraschall (sogenannte Ultraschallmessung) erprobt.

Die Ultraschallmessung beruht auf folgendem Prinzip: Von einem Sender am Gerinneufer wird unter Wasser ein Ultraschallstoss ausgesendet, der schräg zur Strömung zu einem Sender am gegenüberliegenden Ufer läuft (Bild 3).

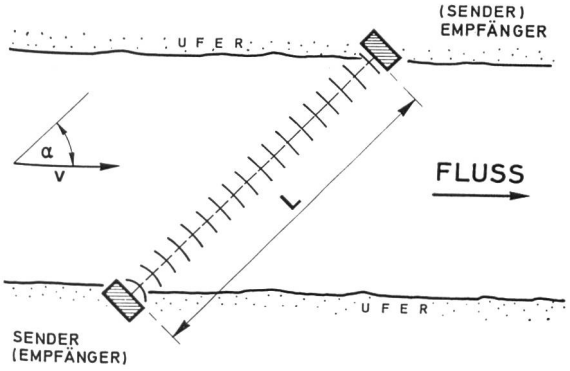


Bild 3 Schema der Ultraschallmessung in einem Fluss («Sing-Around-Method»).

Von dort wird elektrisch ein zweiter Ultraschallstoss ausgelöst, der dem ersten folgt usw. Die zugehörige Frequenz wird als Impulsfolgefrequenz bezeichnet und registriert. Dieses Dispositiv ist durch ein zweites gleichartiges ergänzt, welches die Impulsfolgefrequenz in der Gegenrichtung erhebt. Die Differenz $\triangle f$ beider Folgefrequenzen ist dann proportional zur mittleren Fliessgeschwindigkeit v längs der Messstrecke L. Es gilt

$$v = \triangle f \frac{L}{2 \cos \alpha}$$

wenn α den Winkel zwischen v und der Messstrecke einschliesst. Die Ultraschallmessung bedingt also bei gegebener Länge L und Lage α der Messstrecke eine Messung der Differenz $\triangle f$ der Folgefrequenzen. Sie liefert bei dieser Anordnung («Sing-Around-Method») Ergebnisse, die von der Schallgeschwindigkeit und damit Dichte des Wassers weitgehend unabhängig sind. Ihr Vorteil besteht darin, dass sie eine über die Messstrecke gemittelte Fliessgeschwindigkeit erfasst und folglich die zur Bestimmung der Wasserführung erforderliche Integration erleichtert.

Wie die vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft durchgeführten Grossversuche zeigen, ist die Ultraschallmessung bereits technisch reif für Anwendungen in Flüssen mit geringen Dichtegradienten. Bei Flüssen mit grossen Dichtegradienten — etwa bei Ausmündungen aus Seen — können sich jedoch Schwierigkeiten ergeben, weil die Messstrecke L infolge der Brechungseffekte nicht als gerade vorausgesetzt werden darf.

1.3. DIE VERDUNSTUNGSMESSUNG

1.3.1. Wasserbilanz im Lysimeter

Die als Evaporimeter bezeichneten konventionellen Verdunstungsmesser bestehen im wesentlichen aus wassergefüllten Becken, die

— praktisch keine Abflüsse A zulassen
— den Rückhalt R an einem Pegel oder einer Waage anzeigen
— in der Nachbarschaft von Regenmessern stehen, welche die Niederschläge N festhalten.

Die Verdunstung V aus dem Becken ergibt sich deshalb aus der Beziehung

$$V = N \mp R.$$

Die sogenannten Lysimeter enthalten anstelle eines Wasserbeckens eine gegenüber der Umgebung sorgfältig abgegrenzte Bodenprobe, deren Verdunstung errechnet wird, indem

— die Oberflächenabflüsse und die durch die Bodenprobe sickernden Abflüsse A aufgefangen und gemessen werden
— der Wassergehalt und damit der Rückhalt R der Bodenprobe durch Wägen ermittelt wird
— die Niederschläge N in benachbarten Regenmessern Berücksichtigung finden.

Es gilt dann die vollständige Wasserbilanzgleichung

$$V = N - A \mp R.$$

Die Evaporimeter können wesentlich einfacher gehandhabt werden und sind erheblich billiger als die Lysimeter. Diesen Vorteilen steht aber der schwerwiegende Nachteil gegenüber, dass sich die Messwerte selbst auf die nächste Umgebung nur in Ausnahmefällen extrapolieren lassen. Am besten geeignet sind Evaporimeter zur Bestimmung der Verdunstung grosser Wasserflächen, wenn die Messung auf dem Gewässer selbst vorgenommen wird. Wird das Gerät jedoch an Land aufgestellt, dann gibt es nur die Wasseraufnahmefähigkeit (das Sättigungsdefizit) der angrenzenden Luft wieder, ohne auf die Wasserabgabefähigkeit des Bodens oder der Pflanzen Rücksicht zu nehmen. Mit anderen Worten, es zeigt die potentielle Verdunstung, nicht aber die effektive an. Diese von Evaporimetern gemessene potentielle Verdunstung wird grösser sein als die effektive der Umgebung, wenn der Boden relativ trocken und wenig bewachsen ist, also wenn zu wenig Wasser zum Verdunsten zur Verfügung steht; sie kann aber auch kleiner sein, da die Pflanzen bei genügend feuchtem Boden wegen ihrer grossen Oberfläche viel Feuchtigkeit abgeben können.

Für Landflächen liefert das Lysimeter (Bild 4) zutreffendere Werte, falls die Bodenprobe, die es enthält, in bezug auf Bewuchs, Oberflächenbeschaffenheit, Wasserdurchlässigkeit, Wassergehalt im ungesättigten Boden sowie Kapillarsaum und Grundwasserstand im gesättigten Boden mit der Umgebung übereinstimmt. Aus dieser Aufzählung geht bereits die Hauptschwierigkeit der Verdunstungsmessung mit Lysimetern hervor: Die Bodenprobe darf nicht zu klein sein, sie muss vor allem genügend tief sein. Sie wird also ein relativ grosses Gewicht aufweisen, und es sollen die kleinen Gewichtsveränderungen gemessen werden, die von der Verdunstung verursacht werden. Grosse Lysimeter schwimmen daher in einer Flüssigkeit, deren Spiegelschwankungen in einem Steigrohr genau gemessen werden können. Bei noch grösseren Ausführungen wird der Feuchtigkeitsgehalt der Bodenprobe mit Neutronensonden bestimmt. Natürlich sind Lysimeter nur begrenzt anwendbar für Bodenproben mit relativ niedrigem Bewuchs und nicht zu tief reichenden Wurzeln, und ihre Messwerte gelten streng genommen nur für das Gebiet, für das die oben erwähnte Uebereinstimmung gilt. Dazu sind sie wegen ihrer aufwendigen Installationen ortsgebunden.

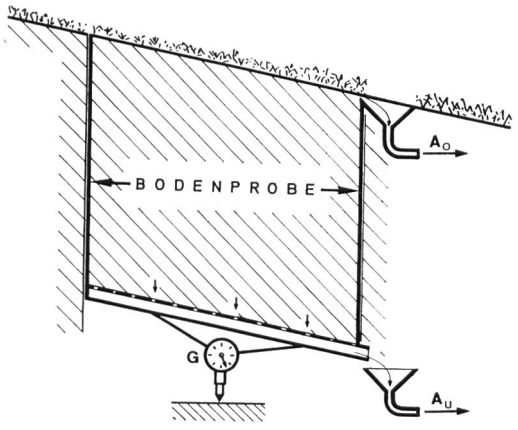


Bild 4 Schema eines Lysimeters zur Messung der Verdunstung von bewachsenem Boden.

Obwohl bereits seit vielen Jahren Prototypen von Lysimetern im Einsatz stehen, gibt es noch keine Standardgeräte. Trotz der Schwierigkeiten und des relativ grossen Aufwandes sind Lysimeter wegen ihrer hohen Genauigkeit immer noch sehr aktuell, und es wird intensiv an der Verbesserung der Messtechnik gearbeitet. [3, 4].

1.3.2. Bestimmung aus meteorologischen Elementen

Neben der Messung im Evaporimeter oder Lysimeter gibt es noch Verfahren, die Verdunstung aus meteorologischen Elementen zu berechnen [3]. Einen groben Anhaltspunkt über die potentielle Verdunstung gibt das sog. Daltonsche Gesetz, das besagt, dass die Verdunstung proportional dem Sättigungsdefizit ist, d.h. proportional der Differenz des Dampfdruckes e_s bei gesättigter Luft und des aktuellen Dampfdruckes e_a,

$$V = b\,(e_s - e_a).$$

Der Koeffizient b ist eine empirisch gefundene Grösse und hängt von vielen Parametern ab, vor allem von der Windgeschwindigkeit und vom Standort.

Ein genaues, aber aufwendiges Verfahren ist die Berechnung der Verdunstung aus der Wärmehaushaltsgleichung. Man misst die Energie, die auf den Boden einfällt, von ihm reflektiert, ausgestrahlt oder absorbiert wird, und die Differenz ist die Wärme, die für die Verdunstung verbraucht wurde. Ein empirisch gefundenes Gesetz erlaubt es, aus der Messung des Dampfdruckes und der Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen über dem Boden auf den Austausch der Luftmassen und damit auf die Verdunstung zu schliessen. Die beiden letztgenannten Methoden ergeben die aktuelle Verdunstung.

Diese indirekten Verfahren sind allerdings nicht geeignet für die routinemässige Erfassung der Verdunstung in einem Klimanetz. Sie werden vielmehr bei Spezialstudien des Wasserhaushaltes kleiner Einzugsgebiete oder zur groben Abschätzung der Verdunstung grosser Gebiete über längere Zeiträume verwendet.

1.4. DIE MESSUNG DES RÜCKHALTES

1.4.1. Auslotung von Oberflächengewässern mit Ultraschall

Der Rückhalt in oberirdischen Gewässern wird grundsätzlich durch Ausmessung der wassergefüllten Gerinne und Becken ermittelt, und zwar durch Wasserstandsmessungen und durch Auslotungen der Bäche, Flüsse und Seen.

Für ausgedehnte und tiefe Gewässer stehen hierfür seit einiger Zeit ausgereifte Echolote zur Verfügung, welche auf folgendem Prinzip beruhen: Von einem Schiff aus wird ein Ultraschallstoss in die Tiefe gesendet und nach seiner Reflexion an der Gewässersohle wieder aufgefangen. Ist die Schallgeschwindigkeit c_v im Wasser bekannt und über die ganze Tiefe einigermassen konstant, so besteht zwischen der gemessenen Reflexionszeit r_v und der gesuchten Wassertiefe t die einfache Beziehung

$$t = \frac{c_v\, r_v}{2}\,.$$

In Seen geschieht die Ortung des Schiffes gewöhnlich durch Vorwärtseinschneiden vom Ufer aus. In neuester Zeit steht hierfür auch eine Ultraschall-Distanzmessung zur Verfügung [5]: Sie beruht darauf, dass Ultraschallstösse in horizontaler Richtung ausgesendet werden, die von zwei Antwortgebern in verankerten Schwimmkörpern empfangen und mit einer anderen Frequenz zurückgesendet werden (Bild 5). Die Distanz d des Schiffes zu den Schwimmkörpern ist dann ebenfalls proportional zur Schallgeschwindigkeit c_h und zur Reflexionszeit r_h

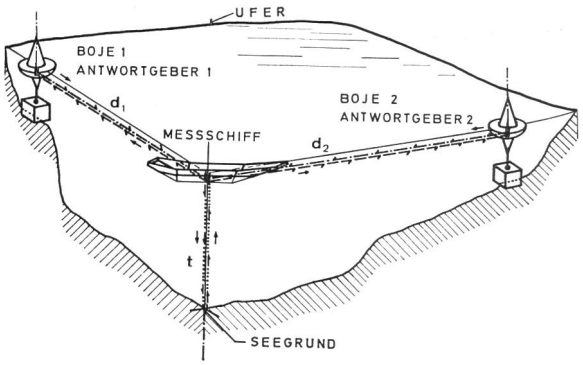


Bild 5 Schema der Auslotung eines Sees mit Ultraschall.

$$d = \frac{c_h\, r_h}{2}$$

(v und h stehen hier für vertikal und horizontal) und definiert die Lage des Schiffes.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die Messungen bei Nacht und Nebel durchgeführt werden können, dass keine Hilfskräfte am Ufer benötigt werden, und dass sämtliche Messwerte auf einem einzigen Echogramm (das den drei Echofrequenzen entsprechend drei korrespondierende Messkurven aufweist) aufgezeichnet werden können.

1.4.2. Wassergehaltsbestimmung im Schnee und im Boden mit nuklearen Sonden

Die Schneehöhe s wird gewöhnlich anhand von Schneepegeln oder Schneestechern, und das Raumgewicht w durch Wägen oder Schmelzen einer Schneeprobe ermittelt. Aus dem Produkt

$$h_s = w \cdot s$$

folgt dann die der Schneehöhe äquivalente Wasserhöhe h_s. Ein einfaches Gerät, mit dem der Wasserwert der Schneedecke direkt gemessen werden kann, ist das Schnee-Druckkissen. Ein flaches, mit Frostschutzlösung gefülltes Kissen wird vor dem ersten Schneefall ausgelegt und ein mit der Flüssigkeit verbundenes Steigrohr an einem Pegel in die Höhe geführt. Mit wachsendem Schneedruck nimmt der Druck im Kissen zu und die Flüssigkeit steigt im Rohr proportional zum Wasserwert des Schnees an.

Bei der Bestimmung des Rückhaltes in der Schneedecke erhebt sich in noch viel stärkerem Masse als bei der Niederschlagsmessung die Frage, wie weit die Aussage einer Punktmessung reicht. Die Ablagerung von Schnee und der Auf- und Abbau der Schneedecke sind ja nicht nur eine Funktion des Niederschlages, sondern hängen auch von den Windverhältnissen während des Schneefalles, von den topographischen Verhältnissen des Bodens sowie von der Exposition und Neigung der Oberfläche ab. Sowohl die Ausdehnung als auch der Wasserwert der Schneedecke sind daher örtlich und zeitlich variabel.

Die einfachste und herkömmlichste Art, den Rückhalt in Form von Boden- und Pflanzenfeuchte sowie im Grundwasser zu bestimmen, ist der Vergleich des Feucht- und Trockengewichtes von Proben. Auch hier ist natürlich die Uebertragung der Messwerte von einzelnen Proben auf eine weitere Umgebung sehr problematisch. Verhältnismässig einfach liegen die Verhältnisse bei ausgedehnten und einigermassen homogenen Grundwasserträgern. Dort genügt eine beschränkte Anzahl von Proben zur Ermitt-

lung des Wassergehaltes w des Bodens. Der Rückhalt R lässt sich dann anhand der Ausdehnung U des Grundwasserträgers aus der Beziehung

$$R = w \cdot U$$

errechnen. Die Ausdehnung wird mit Hilfe von Sondierungen aus dem Grundwasserstand und der unteren Grenze des Grundwasserträgers bestimmt. Hierfür werden Bohr- und Schlagsondierungen eingesetzt, allenfalls ergänzt durch geoseismische und geoelektrische Sondierungen.

In den letzten Jahren werden nun immer mehr Verfahren angewandt, den Wassergehalt der Schneedecke beziehungsweise des Bodens mit nuklearen Methoden zu messen, und zwar mit Hilfe von γ-Strahlen oder schnellen Neutronen. Bei der γ-Sonde (Bild 6) wird die gesetzmässige Intensitätsabnahme der γ-Strahlen beim Durchdringen von Materie ausgenutzt, die der Dichte des Materials proportional ist. Dies lässt bei Schnee direkt auf den Wassergehalt schliessen, bei der Bodenprobe muss jedoch die Dichte des trockenen Bodens bekannt sein. Besser geeignet zur Messung der Bodenfeuchte ist die Neutronensonde, die auf dem Prinzip beruht, dass schnelle Neutronen, von einer Quelle ausgesandt, durch elastischen Stoss mit Wasserstoffatomen gebremst, bzw. gestreut werden. Ein Detektor zählt die langsamen Neutronen, deren Anzahl ein Mass für den Wassergehalt der durchstrahlten Probe darstellt.

Es gibt bereits eine grosse Zahl von verschiedenen einsatzbereiten Sondentypen, Messeinrichtungen und Eichmethoden, die auf diesem Prinzip beruhen. Der grosse Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die Boden- bzw. Schneeprobe selber nicht gestört wird und die Messung beliebig oft wiederholt werden kann. Zudem können die Messwerte automatisch übertragen, aufgezeichnet oder gespeichert werden. Nachteile sind die relativ hohen Kosten und die Tatsache, dass bei der Bedienung der Sonden je nach dem verwendeten radioaktiven Präparat mehr oder weniger Vorsichtsmassregeln beachtet werden müssen.

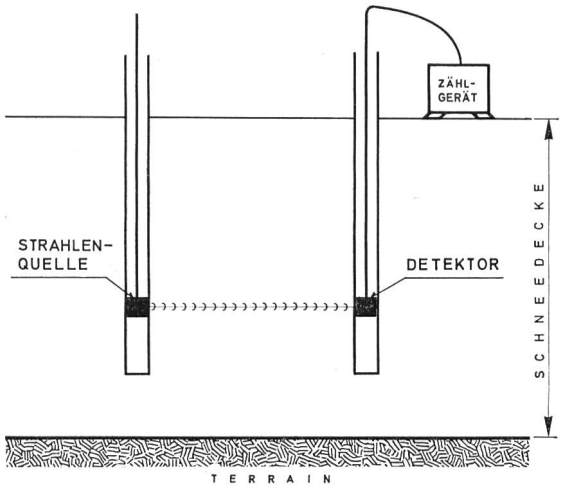


Bild 6 Schema einer γ-Sonde zur Messung des Wasserwertes der Schneedecke.

1.4.3. Einsatz künstlicher Erdsatelliten

Mit dem Start des ersten künstlichen Erdsatelliten im Oktober 1957 begann eine stürmische Entwicklung von neuen, bisher ungeahnten Methoden zur grossräumigen Erforschung der Erdoberfläche. Die Aufnahmen im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Bereich, die von Satelliten aus gemacht werden, bieten allen geowissenschaftlichen Disziplinen völlig neue Möglichkeiten. In den letzten Jahren gelang es, die Technik so zu verfeinern, dass man Satellitenbilder mit einer Auflösung von bis zu 60 m sofort («real time») erhalten kann. Von den vielen Satelliten, die für die wissenschaftliche Forschung die Erde umkreisen, sei hier nur der sogenannte ERTS (Earth Resources Technology Satellite) [6] herausgegriffen, da er vor allem auch für die Hydrologie interessante Daten sendet. Er überfliegt nach jeweils 18 Tagen wieder denselben Punkt der Erdoberfläche. Die Auswertung der von ERTS gesandten Aufnahmen umfasst unter anderem folgende Punkte:

— Kartierung der Wasservorräte
— Ausdehnung der Schneedecke und deren Veränderungen
— Unterschiede in der Temperatur der Bodenoberfläche (Aufnahmen im Infrarot-Bereich).

Die Anwendung der Satelliten, die unter dem Begriff «remote sensing» bekannt ist, gibt die Möglichkeit, hydrologische Elemente über grosse Flächen zu messen und damit eine Lücke bei den bisher verwendeten Methoden zu schliessen.

Auch die Schweiz beteiligt sich am Projekt ERTS [7], bei dem es noch viele Probleme der Interpretation der Aufnahmen zu lösen gilt (Bild 7). Zur Kartierung der Ausbreitung der Schneedecke und ihrer Veränderungen werden vor allem auch Luftaufnahmen herangezogen [8].

2. Die Verarbeitung der Messdaten; Datenverarbeitungssysteme

Eine noch so zuverlässige Messung ist wertlos, wenn sie nicht ebenso zuverlässig aufgezeichnet und verarbeitet wird. Deshalb muss jede hydrologische Messung innerhalb eines gut durchdachten Datenverarbeitungssystems vorgenommen werden. Bild 8 hält die Grundzüge eines solchen Systems anhand eines Flussdiagrammes fest.

Das gesamte hydrologische Datenverarbeitungssystem befindet sich zur Zeit im Umbruch. Die Ursache hierfür liegt im Zwang zur Rationalisierung — einem Zwang, der sich weltweit in allen Gebieten manifestiert und der in der Hydrologie noch durch das steigende Informationsbedürfnis der Wasserwirtschaft verschärft wird. Diese Rationalisierung strebt bewusst oder unbewusst ein ambitiöses Fernziel an, nämlich das integrierte Datenverarbeitungssystem. Darunter ist ein System zu verstehen, das von der Messung bis zur Verteilung einen vollautomatischen Prozess gewährleistet.

Offensichtlich führt dieser Weg dahin über drei Stufen:

Stufe 1: Entwicklung eines Prototyps zur Erfassung einer einzigen Messgrösse an einer einzigen Messstelle

Stufe 2: Erhebung des Prototyps zum Standardtyp zur Erfassung der gleichen Messgrösse an allen Messstellen

Stufe 3: Parallele Entwicklung für andere Messgrössen; Zusammenschluss der Standardtypen zur Erfassung sämtlicher Messgrössen.

Dieser Weg ist zwar noch weit, doch wurden auf ihm bereits einige Schritte zurückgelegt:

So werden für die laufende Aufzeichnung der Messwerte zunehmend Geräte eingesetzt, welche die übliche Ablesung oder graphische Aufzeichnung durch eine digitale Anzeige ergänzen oder ersetzen. Diese kann entweder unmittelbar über Telefon oder Funk übermittelt oder zu Han-

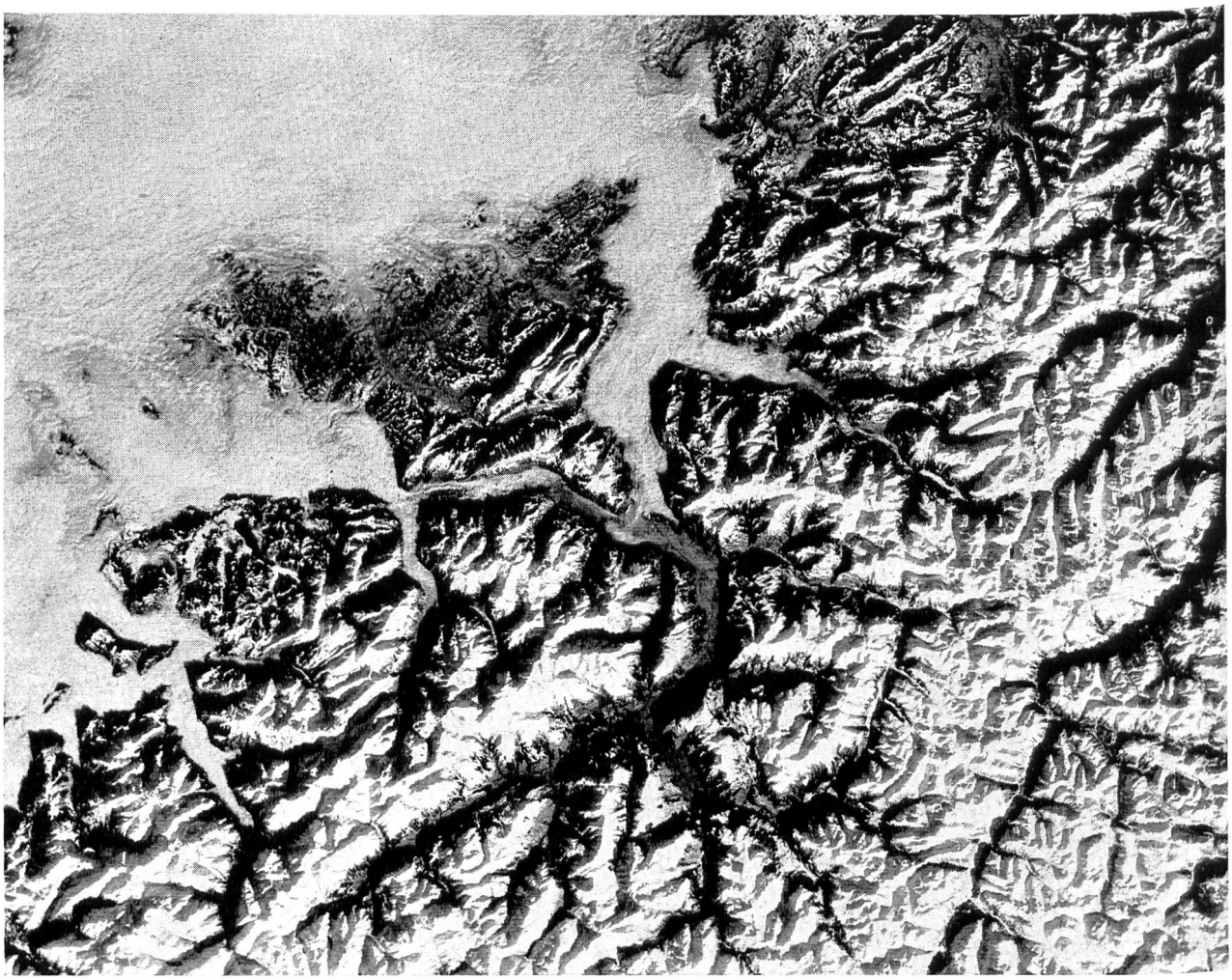


Bild 7 Aufnahme eines Teiles der östlichen Schweizer Alpen (Zentrum Chur) vom 18. Dezember 1972 vom ERTS 1 aus. Deutlich zu sehen die schneebedeckten Berge bei klarem Wetter und die Hochnebeldecke über dem Mittelland, die sich zum Teil in die Alpentäler hineinzieht. (Aufnahme: Nasa Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA.)

den einer späteren Uebermittlung auf Lochstreifen oder Magnetbändern festgehalten werden. Dementsprechend gibt es auch bereits Messstationen, die ihre Messwerte selbsttätig übermitteln, sobald sie vom zentralen Empfangsgerät dazu aufgerufen werden. Von der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt wird das sogenannte Projekt ANETZ ausgearbeitet, mit dessen Hilfe die meteorologischen Beobachtungsnetze automatisiert werden sollen. 60, in der ganzen Schweiz verteilte, automatische Stationen sollen 13 meteorologische Grössen wie Wind, Strahlung, Luftdruck, Niederschlag, Boden- und Lufttemperatur usw. messen. Zwei Zentralstationen werden diese jede Stunde, einige Elemente sogar alle 10 Minuten abfragen. Zusätzlich können an den Stationen auch Augenbeobachtungen, z.B. Sichtweite, Bewölkung, aktuelles und vergangenes Wetter, von Hand eingegeben werden.

Ein grossangelegtes Projekt in den Vereinigten Staaten sieht vor, die von den automatischen Stationen registrierten Werte von künstlichen Erdsatelliten abfragen und zu einer zentralen Bodenstation senden zu lassen. Der bereits genannte Wettersatellit ERTS hat ein solches sogenanntes «Data Collection System»: er überträgt von etwa 100 automatischen Klimastationen auf der Erdoberfläche die Messwerte zur Bodenstation.

Die Speicherung telefonisch oder per Funk übermittelter Messwerte ist ohne weiteres möglich. Es gibt heute mehrere Empfangsstationen, die mit Fernschreibern (Telex) ausgerüstet sind, um die digitalisiert übermittelten Messwerte zu entschlüsseln und festzuhalten. Darüber hinaus können einige Empfangsstationen die digitalisiert übermittelten Messwerte direkt im Kern-, Platten- oder Bandspeicher eines Computers aufnehmen. Sobald die Messwerte im Computer gespeichert sind, bietet ihre Auswertung keine besonderen Probleme; dies gilt jedenfalls für die mit einfachen Programmen zu erreichende erste Auswertung für Jahrbücher usw. Es besteht also durchaus ein Anreiz, selbst Messwerte, die an der Empfangsstation nicht in digitaler Form anfallen, umzuwandeln und im Computer zu verarbeiten. Messwerttabellen werden dabei abgelocht, Messstreifen durch sogenannte Digitizer abgetastet.

Neben einer schnellen Verarbeitung gewährleistet der Computer bei entsprechender Programmierung auch eine rasche und übersichtliche Darstellung der aufbereiteten Messwerte. Als Ausgabegeräte dienen sowohl Drucker wie Plotter (computergesteuerte Zeichenmaschinen).

Die Verteilung kann in verschiedener Hinsicht rationell gestaltet werden: Für die regelmässige Verteilung von im Computer aufbereiteten Messwerten in schriftlicher Form wird unmittelbar die schriftliche Computerausgabe verwendet. Ein Beispiel hierfür bildet das Hydrographische Jahrbuch der Schweiz, dessen Abflusstabellen den Offset-Fortdruck einer Computerausgabe darstellen. Zur Entlastung des telefonischen Informationsdienstes werden wichtige Messstationen mit einer Automatik ausgerüstet, die deren direkte telefonische Abfrage durch den Interessenten er-

laubt. Als Beispiel seien die zum Eidgenössischen Pegelnetz gehörenden 42 Pegel erwähnt, die bei telefonischer Anfrage ihren Stand durch Summzeichen angeben.

Bereits sind auch die ersten Studien im Gang, um dem Hydrologen und dem Wasserwirtschafter sämtliche Messwerte über eine hydrologische Datenbank verfügbar zu machen. Deren Kern besteht aus einem Computer, der sämtliche anfallenden Messwerte in einem grossen Speicher übersichtlich aufbewahrt und nach den verschiedensten Gesichtspunkten abgefragt werden kann. Die Grundsätze sind dieselben, wie sie bei den in der Schweiz im Aufbau befindlichen Datenbanken der Siedlungsplanung [9] und der Meteorologie [10] zur Anwendung gelangen.

3. Die Formulierung hydrologischer Zusammenhänge anhand mathematischer Modelle

Im vorangehenden Abschnitt ist von einer ersten Auswertung der Messdaten die Rede. Bei dieser handelt es sich gleichsam um eine Routinemassnahme zur Sichtung und ersten Ordnung des anfallenden Materials. Im folgenden wird nun die weitere Auswertung der Messdaten im Hinblick auf spezielle hydrologische und wasserwirtschaftliche Fragen mittels sogenannter mathematischer Modelle behandelt.

Das Wesen mathematischer Modelle wird geklärt, wenn es gelingt, die zwei Begriffe «System» und «Modell» als solche zu erfassen. Hierzu mögen folgende Definitionen dienen:

1. Unter einem System versteht man — ganz im Sinne der Systemtheorie — eine Menge von Elementen, welche durch eindeutige Beziehungen untereinander verknüpft sind.
2. Unter einem Modell versteht man eine (unvollkommene) Abbildung des Systems.

Diesen mehr oder weniger abstrakten Definitionen mögen die folgenden Erläuterungen beigefügt werden. Vorerst besteht ein System per definitionem ganz allgemein aus Elementen, welche untereinander verknüpft sind. Die Art dieser Verknüpfung ist hierbei beliebig und kann reversibel sein. Der weitaus häufigste Fall ist jedoch der, bei welchem gerichtete Kausalzusammenhänge zwischen Erregerelementen und Reaktionselementen bestehen. Zweck der Systemanalyse ist es, solche Kausalzusammenhänge zu erkennen, die Erreger- und Reaktionselemente zu identifizieren und mit Uebertragungsfunktionen die Kausalzusammenhänge zu beschreiben, um in eindeutiger Weise vom Erreger auf die Reaktion (Systemantwort) zu schliessen. Schreibt man solche Zusammenhänge für den hydrologischen Kreislauf oder einen Teil davon an, so definiert man offenbar ein hydrologisches System.

Der Begriff des Modells, wie er in der Definition festgehalten ist, scheint eigentlich selbstverständlich; praktisch unterscheidet er sich von jenem des Systems allerdings erst, wenn diese Abbildung nicht getreu oder nicht vollständig ist. Das Modell enthält also gerade nur jene Eigenschaften des Systems, die für das Studium eines ausgewählten Sachverhaltes von Bedeutung sind. Ganz allgemein gilt, dass alle in den Ingenieur- und Naturwissenschaften aufgestellten Gesetze Modelle der letztlich immer verborgenen Natur (System) sind.

Methodisch, und gleichzeitig den Begriff des Modells etwas einengend, unterscheidet man zur Beschreibung eines Systems mathematische und physikalische Modelle. Hierbei versteht man unter physikalischen Modellen jene verkleinerten Wiedergaben von Systemen, bei welchen natürliche Vorgänge versuchstechnisch nachgebildet werden. Der hydraulische Modellversuch gehört in diese Klasse.

In ihm werden im Modell mit physikalischen Methoden Antworten auf Erreger gesucht. Demgegenüber versteht man unter mathematischen Modellen jene Abbildungen von Systemen, in welchen der Zusammenhang zwischen Erreger und Reaktion mit mathematischen Beziehungen

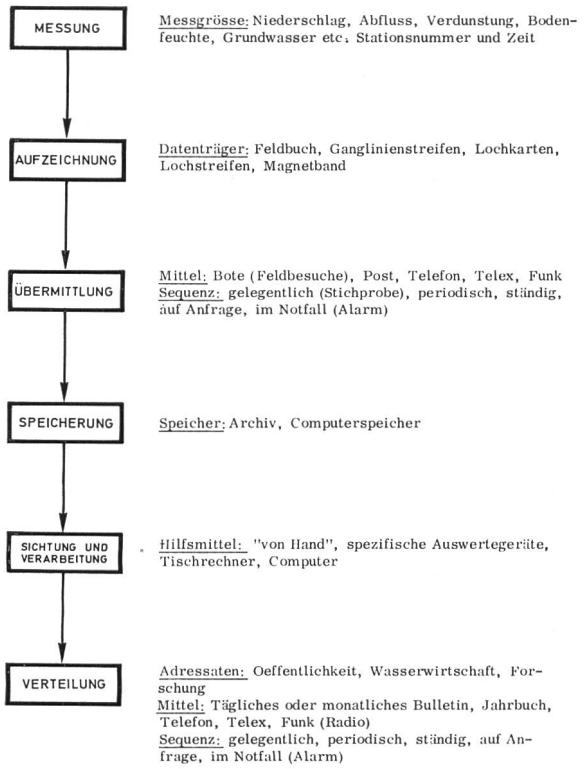
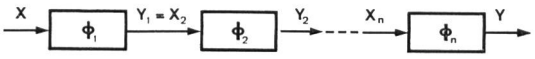
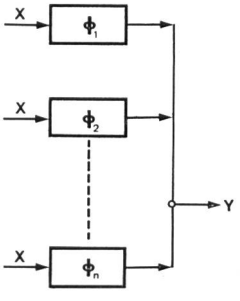


Bild 8 Flussdiagramm eines Datenverarbeitungssystems.

erfasst wird. Die Lösung der dabei entstehenden Gleichungen oder Differentialgleichungssysteme kann nebst rein mathematischen (numerischen) Methoden oftmals auch durch physikalische Analogien erfolgen. Verfahren von letzterer Art haben sich in der Hydrologie bewährt (z. B. Grundwasserströmung mittels elektrischer Analogie). Die



Serie - oder Kaskadenschaltung



Parallelschaltung

Bild 9 Typischer Aufbau von mathematischen Modellen der Hydrologie.

meisten heute verwendeten hydrologischen Modelle sind mathematischer Art.

Ein mathematisches Modell umfasst die Gesamtheit der mathematischen Beziehungen, die die einzelnen Elemente, welche die Abbildung des Systems beschreiben, verknüpft. Symbolisch kann man die Beziehung zwischen einem Satz von Erregerelementen x und von Reaktionselementen y mit der Uebertragungsfunktion ø kennzeichnen und in der Beziehung

$y = øx$

darstellen. x wird oft als Eingangssignal, Eingangsgrösse, Input, y als Ausgangssignal, Antwort oder Output bezeichnet (Bild 9).

So kann man den zum Abfluss gelangenden Niederschlag N_A eines Einzugsgebietes als Input und dessen Oberflächenabfluss A_o als Output betrachten. ø ist dann jene Vorschrift, welche den Niederschlag mit dem Oberflächenabfluss verknüpft. Das von Sherman bereits 1932 eingeführte Unit-Hydrograph-Verfahren beruht denn auch auf einer Beziehung der Form

$A_o = øN_A$.

In der Hydrologie war als Folge der raschen Computerentwicklung das vergangene Jahrzehnt durch eine starke Ausweitung der mathematischen Modelle geprägt. Man hat letztere daher zu klassieren versucht. Selbstverständlich können Klassierungen nach verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen werden. Hier sei nur auf eine recht grobe Einteilung eingegangen. Eine erste Unterteilung, nahegelegt durch die Methoden, mit welchen Systemmodelle behandelt werden, erhält man durch die Begriffe des deterministischen und des stochastischen Modelles. Es muss betont werden, dass diese Bezeichnungsweise wohl allgemein verwendet wird, jedoch zur Verwirrung Anlass geben kann. In der Regel sind nicht die Modelle stochastisch, sondern es sind vielmehr die Methoden stochastisch, mit denen Erreger- und Reaktionselemente behandelt werden.

Selbstverständlich kann man in der Unterteilung auch weitergehen. Wenn z. B. die Modelle nur einzelne Komponenten des Wasserkreislaufes erfassen, spricht man von Komponentenmodellierung. Diese hat sich bis heute in erster Linie mit der Beziehung zwischen den Niederschlägen und dem Abfluss innerhalb eines bestimmten Einzugsgebietes befasst. Als typisches Beispiel hierfür kann das bereits erwähnte Modell von Sherman, das sogenannte Unit-Hydrograph-Verfahren, erwähnt werden. Als eines der ersten hydrologischen Modelle beruht dieses auf einer meist rein empirisch bestimmten Uebertragungsfunktion, das heisst es handelt sich um ein Black-Box-Modell. Im folgenden entstanden dann aber Modelle, welche die Black-Box mehr und mehr durch physikalische Vorstellungen aufhellten. So wurden sogenannte konzeptuale Modelle entwickelt, um etwa die Uebertragungsfunktion für den Zusammenhang Niederschlag-Abfluss aus einer Annäherung des Einzugsgebietes durch ein System von parallelen und seriellen Speichern zu gewinnen (Bild 10). Dabei war es unumgänglich, die Oberflächenabflüsse über Land von denjenigen in den Bächen und Flüssen zu unterscheiden, weshalb auch für diese Teilkomponenten des Wasserkreislaufes entsprechende Teilmodelle entstanden. Unter den letzteren seien hier nur die Hochwasserabflussmodelle von Muskingum und Kalinin-Miljukov erwähnt. (Flood Routing Models). Eine ähnliche Komponentenmodellierung erfasste schliesslich auch die Versickerung und insbesondere den Grundwasserabfluss. Für diesen führte sie weit über die Möglichkeiten hinaus, welche die schon seit längerer Zeit bekannten elektrischen Analogiemodelle

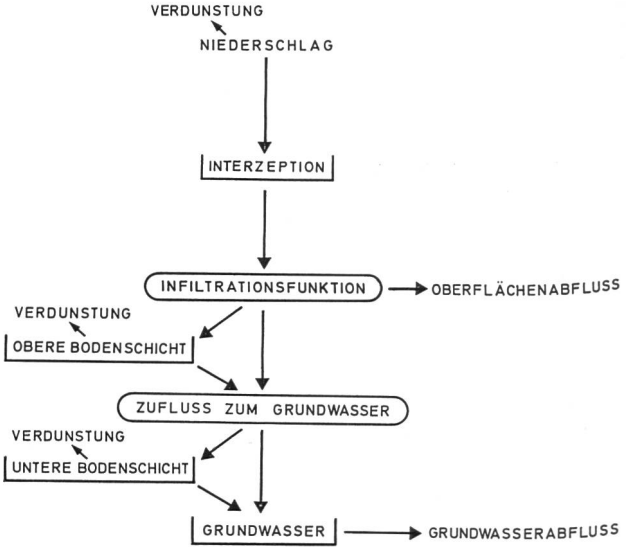


Bild 10 Vereinfachtes Flussdiagramm des «Stanford-Watershed-Models» als Beispiel für ein integrales Modell.

(leitendes Papier, elektrolytischer Trog, Widerstandsnetzwerk) boten.

Es gibt aber auch Modelle, die den gesamten Wasserkreislauf, oder doch mindestens dessen Landphase, zu beschreiben suchen. Sie bedienen sich der Komponentenmodelle, indem sie diese zu einem Gesamtsystem zusammensetzen. Man spricht von einer integralen Systemmodellierung. Als deren Anfang kann das Stanford-Watershed-Modell von Linsley und Crawford 1964 bezeichnet werden (Bild 10).

Es gehört zu den wichtigsten Hauptaufgaben der Hydrologie, die Erfassung hydrologischer Prozesse mit systemanalytischen Methoden zu erweitern und zu vervollkommnen.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] Kessler E. and Wilk K.E., Radar Measurement of Precipitation for Hydrological Purposes.
Report on WMO/IHD Projects, No. 5, 1968.

[2] Joss J., Schram K., Thams J.C. und Waldvogel A., Untersuchungen zur quantitativen Bestimmung von Niederschlagsmengen mittels Radar.
Veröffentlichungen der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt Nr. 14, 1969.

[3] Hounam C.E., Problems of Evaporation Assessment in the Water Balance. Publ. WMO No. 285, 1971.

[4] Primault B., A large-scale Electronic Weighing Lysimeter for Agricultural Meteorology.
Philips Serving Science and Industry, Vol. 16, no. 1, 1970.

[5] Pfeiffer Ch., Gewässervermessung mit Multilot.
Schweiz. Bauzeitung, 90. Jg., Heft 28, 1972.

[6] Kronberg P., Erfahrungen mit dem Erderkundungssatelliten ERTS 1. Umschau in Wissenschaft und Technik, 74. Jg., Heft 15, 1974.

[7] Haefner H. and Seidel K. Methodological Aspects and Regional Examples of Mapping Changes of Snow Cover from ERTS 1 and ERET Imagery in the Swiss Alps.
Proceedings of the Symposium on European Earth Resources Satillite Experiments, ESRO SP100, 1974.

[8] Martinec J., Evaluation of Air Photos for Snowmelt-runoff Forecasts. Proceedings Int. Symposia on the Role of Snow and Ice in Hydrology, Banff, Unesco-WMO-IAHS, 1973.

[9] Hidber C. und Hase K., Informationsraster.
Informationen zur Orts-, Regional- und Landesplanung, Sondernummer Disp. 24 des Institutes für Orts-, Regional- und Landesplanung, ETHZ, Juni 1972.

[10] Ginsburg Th., Aufbau einer meteorologischen Daten- und Informationsbank. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, 1972.

Adresse der Verfasser:
Prof. Dr. D. Vischer und
Dr. Karin Schram, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH, Gloriastrasse 37/39, 8006 Zürich

DIE SONDERMÜLLDEPONIE «SCHLAUEN» IN OESCHGEN IM KANTON AARGAU

DK 628. 44. 006,5:556. 3. 001,5

Hydrologische Grundlagen und technischer Aufbau der Deponie

VORWORT

Die Beseitigung von speziellen Abfällen aus unserer Wirtschaft über den Weg der Deponierung an geeigneten Standorten stösst auf steigende Schwierigkeiten, auch wenn alle Vorkehren getroffen werden, die zum Schutze der Gewässer und der Luft sowie für die Hygiene erforderlich sind.

Durch das gute und verständnisvolle Zusammenarbeiten der betroffenen Industrien, der Gemeinden, der Versicherungsgesellschaften, der Ingenieure und Experten mit der kantonalen Verwaltung konnte das im vorstehenden Beitrag dargestellte Werk einer Sondermülldeponie «Oeschgen» verwirklicht werden. Damit wird der Weg für die Sanierung des Grundwasservorkommens am Rhein im Raum Kaiseraugst frei.

Allen Beteiligten, die eine grosse Arbeit vollbrachten und sehr grosse finanzielle Mittel zur Sanierung aufbrachten, möchte ich den besten Dank aussprechen.

Regierungsrat Dr. Jürg Ursprung
Vorsteher des Baudepartementes des Kantons Aargau

1. EINLEITUNG

Erwin Märki

Bedenkenlos wurden sowohl die ober- als auch die unterirdischen Gewässer seit Jahrzehnten durch häusliche, industrielle, gewerbliche und landwirtschaftliche Abgänge aller Art verunreinigt und zum Teil weltweit derart entwertet, dass sie kaum mehr gebraucht resp. saniert werden können. Bei der Verunreinigung von Oberflächengewässern (Seen, Flüsse und Bäche) können die Schäden von jedermann beobachtet, beanstandet und auch angezeigt werden, weil damit vielfach grössere und kleinere Fischsterben verbunden sind und diese zu entsprechender Publizität führen. Der Ruf nach Abhilfe verhallt deshalb nicht ungehört, und dementsprechend sorgten Gemeinden, Kantone und Bund für den beschleunigten Vollzug der Gewässerschutzmassnahmen durch den Bau von kommunalen und regionalen Klärwerken.

Anders steht es mit den Versickerungen von Abgängen in den Untergrund und das unkontrollierte Vergraben von festen Abfällen wie Kadaver, Konfiskate, Industrierückstände aller Art. Selten wurde durch hydrogeologische Abklärungen geprüft, ob in irgendeiner Weise ein Wasservorkommen gestört oder gefährdet werden könnte.

Die zunehmende Nutzung der Grundwasservorkommen in unseren Talsohlen und auch derjenigen im karstigen Untergrund und die starke Ueberbauungstätigkeit führen zu einem immer dichteren Entnahmenetz, so dass die Wahrscheinlichkeit schnell wächst, mit den Sondierungen nach Grundwasser und bei Baugrunduntersuchungen auf eine «historische» Verunreinigung zu stossen. Solche «Ausgrabungen» rufen keineswegs die Archäologen auf den Platz, es sind vielmehr hydrogeologische Experten und Gewässerschutzfachleute, die sich dieser «Funde» annehmen müssen, um auch nach Jahren der Versäumnis die notwendigen Sanierungen einzuleiten. Vielfach lässt sich der Verursacher noch feststellen und auch rechtlich erfassen, damit die meist recht teuren Sanierungsmassnahmen auch finanziert werden können. Zahlreiche «Funde» von Verunreinigungen lassen sich aber leider für die Oeffentlichkeit nicht mehr mit Jahrzahl und Hersteller versehen; für die Sanierung solcher Belastungen des Bodens wird die Allgemeinheit belastet werden müssen. Weit verbreitet ist immer noch die Ansicht, dass Abfallgruben (Jauchegruben, Teerbassins, Stapelbecken u.a.m.) einmal gebaut, auf ewig dicht bleiben. Dem ist leider nicht so, denn die Erfahrung zeigt, dass unzählige Behälter Risse erhalten oder dass Behälter absichtlich einen Abfluss erhalten, damit die Grube nicht allzuhäufig entleert werden muss.

Gänzlich unmöglich ist es für kommunale und kantonale Behörden aus der Zeit, wo noch keine Bauordnungen in Kraft waren, zu eruieren, wo solche «schwarze» Gruben betrieben werden. Sicher ist allerdings, dass der Grundeigentümer und nicht der Betreiber solcher Anlagen für alle Schäden an den Gewässern haftbar gemacht werden muss. Dieser wird natürlich auf den Verursacher zurückgreifen.

Sowohl bei Oelunfällen als auch durch die Versickerung von häuslichen und industriellen Abwassern können Millionenschäden auftreten, die nicht finanzstarke Betriebe an den Rand des Ruines bringen, wenn keine Versicherung zahlt.

Dieses Beispiel möge eine Warnung an alle jene sein und zeigen, wohin die Fahrlässigkeiten in Betrieben und das Nichtbeachten von primären Schutzmassnahmen im Gewässerschutz führen können.

2. HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE UND GRUNDWASSERVERUNREINIGUNG IN KAISERAUGST

Hansjörg Schmassmann

Oberhalb des Dorfes Kaiseraugst (Landeskarte 1:25 000 Blatt 1068 Sissach) wurden in der Nähe des Rheins alte Industriebauten als Fabrikationslokale zur Herstellung chemischer Produkte benützt. Der Betrieb entnahm das von ihm benötigte Kühlwasser in einer Menge von rund 20 l/s einem auf dem Fabrikareal gelegenen Grundwasserbrunnen (Koord. 621 785/265 597). Das geförderte Grundwasser entstammte Karst-Hohlräumen, die natürlicherweise durch die Auslaugung von Gips im Felsuntergrund des Mittleren Muschelkalks (Anhydritgruppe) entstanden und mit Rheinschottern aufgefüllt worden waren. Die Gemeinde hatte seinerzeit beobachtet, dass die Schüttung einer von ihr genutzten, stromabwärts am Rheinufer austretenden Quelle (Koord. 621 668/265 680) durch den Betrieb des 144 m entfernten Industriebrunnens beeinträchtigt wurde. Pumpversuche bestätigten 1969 den hydraulischen Zusammenhang

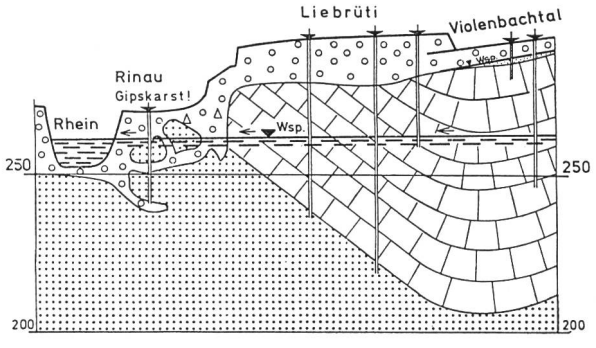


Bild 1
Schematischer hydrogeologischer Querschnitt durch die schweizerische Seite des Rheintals bei Kaiseraugst.
Zehnmal überhöht.
(Nach H. Schmassmann in Erläuterungen Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100 000, Blatt Bözberg-Beromünster, 1972.)

zwischen den beiden Wasservorkommen. Damals wurde auch festgestellt, dass das im Industriebrunnen geförderte Grundwasser durch geruchsintensive chemische Stoffe verunreinigt war, währenddem die von der Gemeinde genutzte Quelle diese Verunreinigungen nicht enthielt. Der durch den Betrieb des Industriebrunnens erzeugte Absenktrichter hatte wahrscheinlich eine Ausbreitung der Verunreinigung verhindert. Zum qualitativen Schutz des verbleibenden Quellertrags war es deshalb angezeigt, die durch die Brauchwassernutzung entstehende Abnahme des Quellertrags in Kauf zu nehmen und nur durch eine Entschädigung abgelten zu lassen.

Als dann die Firma 1971 ihren Betrieb verlegte, der Industriebrunnen nicht mehr betrieben wurde, die Grundwasserverunreinigung allein durch den bisherigen Pumpbetrieb nicht hatte beseitigt werden können und ein Abbruch der alten Fabrikgebäude in Aussicht stand, stellte sich jedoch das Problem weiterer Massnahmen zum Schutze des Grundwassers und zur Sanierung der Verunreinigung. Eine Sanierung drängte sich nicht nur wegen der am Rheinufer für die Trinkwassergewinnung genutzten Quelle auf, sondern vor allem auch deshalb, weil landeinwärts weit grössere Grundwasservorkommen durch Bohrungen im Felsuntergrund des Oberen Muschelkalks nachgewiesen worden waren. Dieses Grundwasser fliesst zwar natürlicherweise von Süden zu, geht aber vor seinem Austritt in den Rhein in das Vorkommen über, das im Gebiet der bisherigen Industriewassernutzung in ausgelaugten Gipsmergeln und Schottern zirkuliert und dort durch die örtlichen Verunreinigungen beeinträchtigt ist. Dieses verunreinigte Vorkommen setzt somit vorläufig der möglichen Absenkung des Muschelkalk-Grundwassers und damit der im Süden möglichen Grundwassernutzung eine von Natur aus nicht gegebene Grenze. Die hydrogeologischen Zusammenhänge zwischen dem bei «Liebrüti» und südlich davon erschlossenen Grundwasser, dem verunreinigten Vorkommen in der «Rinau» und dem Rhein gehen aus dem schematischen Querprofil in Bild 1 hervor.

Nachgrabungen auf dem Fabrikgelände ergaben zunächst, dass von einer undichten Neutralisationsanlage aus Abwässer, vermutlich während langer Zeit, in den kiesigen Boden versickert waren. In den von mehreren Laboratorien untersuchten Boden- und Wasserproben konnten die schon aus dem Industriebrunnen bekannten geruchintensiven Stoffe als bromierte Kohlenwasserstoffe (Alkylbromide) identifiziert werden, welche vom Industriebetrieb fabriziert worden waren. Bei den weiteren Grabungen zeigte sich, dass das Erdreich unter einem grossen Teil des ehemaligen Fabrikgeländes bis in das Grundwasser hinein mit solchen Stoffen verunreinigt war. Das Konzept der Sanierung bestand darin, das verunreinigte Erdreich wenigstens bis zum Grundwasserspiegel auszuheben, um auszuschliessen, dass die darüber vorhandenen Schmutzstoffe während nicht voraussehbaren Zeiten durch versickernde Niederschläge weiter mobilisiert werden konnten. Daran, auch alle Verunreinigungen, welche schon durch das Grundwasser lateral und vertikal verfrachtet worden waren, durch Aushub zu sanieren, konnte praktisch nicht gedacht werden. Diese Verunreinigungen müssen, soweit sie nicht bereits durch die beim Aushub notwendige Wasserhaltung ausgewaschen worden sind, später durch einen die Ausspülung befördernden intermittierenden Pumpbetrieb saniert werden. Dazu sind ausser dem bestehenden Industriebrunnen besondere Sanierungsbrunnen vorgesehen. Um hiezu in dem unregelmässig aus Schottern und Dolomitmergelfels bestehenden Untergrund günstigere Voraussetzungen zu schaffen und um zugleich auch im Grundwasserbereich einige Herde starker Verunreinigung zu beseitigen, wurde dort, wo verunreinigtes Erdreich ohnehin über dem Grundwasserspiegel ausgehoben werden musste, diesem im allgemeinen auch noch einige Meter unter das Niveau des ruhenden Grundwasserspiegels nachgegraben. Im Bereich der Spiegelschwankungen des späteren intermittierenden Pumpbetriebs kann damit eine zusammenhängende durchlässige Schicht eingebaut werden.

Bei den Sanierungsarbeiten fielen insgesamt rund 50 000 m³ verschmutzten Erdaushubs an. Zur Beseitigung dieses Materials zogen die Beteiligten verschiedene Verfahren in Betracht. Halbtechnische Versuche und wirtschaftliche Ueberlegungen ergaben, dass weder ein Auswaschen noch eine Wärme-Behandlung praktikable und innert nützlicher Frist realisierbare Lösungen gewesen wären. Als realistisch erwies sich nur die Beseitigung in einer sicheren Deponie.

3. ZIELE UND GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE DER DEPONIE IN OESCHGEN

Für die Anlage einer sicheren Deponie prüften wir mehrere Oertlichkeiten. Eine schon offene Tongrube, die unter Umständen die Möglichkeit einer von Natur aus dichten und hydrologisch unbedenklichen Deponie geboten hätte, war in einem in Betracht fallenden Umkreis nicht verfügbar. Die Anlage einer Deponie in tonigem Untergrund ausserhalb einer bestehenden Grube hätte wegen des Landerwerbs, des Rodungsbewilligungs-Verfahrens, des notwendigen Aushubs und der Verwertung des ausgehobenen Materials namentlich in zeitlicher Hinsicht unübersehbare Schwierigkeiten geboten. Deshalb musste in Aussicht genommen werden, an einem anderen Standort durch künstliche Dichtungsmassnahmen einen sicheren Deponieraum zu schaffen.

Die wichtigste an einen solchen Standort zu stellende Bedingung war, dass er die dauernde Stabilität der künst-

lich erstellten Dichtungs-Schichten und des abgelagerten Materials gewährleistet. Dazu eignete sich am besten ein in Kalkstein-Schichten angelegter ehemaliger Steinbruch. Unter den erwogenen Standorten dieser Art wurde schliesslich der von der Abteilung Gewässerschutz des aargauischen Baudepartements eruierte ehemalige Steinbruch im «Schlauen» bei Oeschgen für das Projekt ausgewählt (Landeskarte 1:25 000 Blatt 1069 Frick, Koord. ca. 642 500/263 500). In diesem Steinbruch waren ehemals am linken Rand des Sisseltales Bruchsteine aus flach gelagerten Schichten des Hauptmuschelkalks gewonnen worden. Der Fels stand an der nahezu senkrechten bergseitigen Steinbruchwand noch an. Beim seinerzeitigen Betrieb waren Teile des Steinbruchs mit dem angefallenen Abraummaterial aufgefüllt worden. Talseits hatte man aus solchem, im wesentlichen aus grobkörnigem Kalkschutt bestehenden Abraum einen Damm geschüttet. Durch Wiederaushub des Abraummaterials konnte die Felssohle des ehemaligen Steinbruchs wieder freigelegt und als Auflagerungsfläche der Deponie benützt werden. Der aus grobkörnigem Material bestehende Damm war der gegebene Ansatzpunkt für seine Ergänzung zu einem talseitigen Stützkörper der Deponie, welcher sich mit dem im Steinbruch selbst auszuhebenden ehemaligen Abraummaterial schütten liess. In bezug auf die Stabilität des Untergrundes erfüllte somit der gewählte Standort die an die Deponie gestellten Anforderungen.

Alle Wände und die Sohle der bereitzustellenden Deponie bestanden aus durchlässigen Fest- und Lockergesteinen; der Muschelkalk-Fels ist zerklüftet. Die auf das Areal fallenden Niederschläge versickerten deshalb natürlicherweise rasch in den Untergrund, und der Steinbruch erwies sich auch nach seiner Räumung von Abraumschutt als völlig trocken. Das am Talrand in den Muschelkalk versickernde Niederschlagswasser muss irgendwo in der Nähe des Steinbruchs unterirdisch in die anstossenden Schotter des Sisseltales übertreten und damit indirekt in den genutzten Talgrundwasserstrom gelangen. Deshalb musste, wie es auch bei anderen Kalksteinbrüchen notwendig gewesen wäre, unbedingt verhindert werden, dass während und nach der Anlage der Deponie aus ihrem Bereich Sickerwasser in den Untergrund eindringen konnte. Das grundsätzliche Konzept, das technisch zu lösen war, bestand darin, durch eine doppelte Abdichtung von Sohle und Wänden und durch ein über der Abdichtung verlegtes Drainagesystem allfällige Sickerwässer schon während des Aufbaus der Deponie an einem Eindringen in den Untergrund zu hindern, unter Kontrolle zu halten und unschädlich abführen zu können. Für die Zeit nach Beendigung der Ablagerungen war zudem durch eine Abdeckung mit wiederum zwei verschiedenen Dichtungs-Schichten zu verhindern, dass Niederschlagswasser überhaupt noch in das Deponiematerial einsickern kann.

4. TECHNIK DER SCHUTZMASSNAHMEN

Anton Jedelhauser

4.1 Abdichtungsmaterialien

Für die zu erstellenden doppelten Abdichtungen wurden folgende Materialien verwendet:

— Opalinus-Rohton: Dieser war in genügenden Mengen in der Grube Holderbank zu beziehen, im Gegensatz zu aufbereitetem Opalinuston, für welchen die vorhandene Aufbereitungsleistung kleiner war als die Einbauleistung
— PVC-Folie, Fabrikat Sarnafil, 2 mm stark

Beide Materialien wurden in Laborversuchen auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen die im verschmutzten Material vorhandenen Stoffe untersucht und als tauglich befunden [1]).

An verschiedenen Opalinus-Rohton-Proben wurden in Erdbaulabor-Versuchen ferner die erreichbaren Durchlässigkeitswerte ermittelt. Dabei zeigte sich, dass im Labor bei optimalem Ton-Wassergehalt und genügender Verdichtung die Durchlässigkeit auf $2 \cdot 10^{-7}$ cm/sek gesenkt werden kann [2]).

Um sicher zu sein, dass die entsprechenden Werte auch auf der Baustelle realisierbar sind, wurden in einem verlassenen Steinbruch Einbauversuche unter Baustellen-Bedingungen durchgeführt. An einer Vielzahl von Proben verdichteten Materials wurden wiederum im Labor die erreichten Raumgewichte sowie die zugehörigen Durchlässigkeitsbeiwerte ermittelt. Die festgestellten Werte zeigten, dass der zu verarbeitende Ton mit Sicherheit auf ein Raumgewicht von 1,77 t/m³ verdichtbar ist (max. erreichte Werte: 1,85 t/m³), und dass die Durchlässigkeit dann zwischen $1 \cdot 10^{-8}$ cm/sek und $5 \cdot 10^{-8}$ cm/sek liegt [3]).

[1]) vgl. Bericht des Institutes Bachema, Zürich, vom 24. 1. 74
[2]) vgl. Bericht BBL Baulaboratorium AG, Muttenz, vom 31. 1. 74
[3]) vgl. Bericht Laboratorium Schafir+Mugglin AG, Liestal, vom 4. 3. 74

Die durchgeführten Versuche im Feld erhärteten nicht nur die im Labor ermittelten Kennwerte; sie zeigten gleichzeitig auch die gangbaren Arbeitsweisen für den Einbau der Dichtungsmaterialien auf der Baustelle.

4.2 Aufbau der Abdichtung

4.2.1. Auf der Bodenfläche (Bild 2):

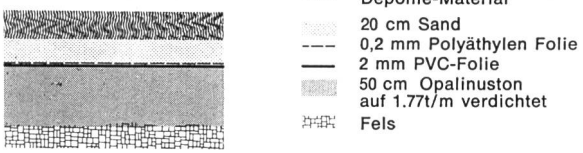


Bild 2 Schematische Darstellung der Abdichtung auf der Bodenfläche.

Auf der Bodenfläche, d.h. auf die von Lockermaterial gesäuberte Felsoberfläche, wurde der Opalinus-Rohton (Bild 3) in zwei Schichten mit einer Gesamtstärke von 50 cm geschüttet und mit Grossgeräten verdichtet. Dabei musste die Ton-Oberfläche überall ein Gefälle von mindestens 2 % gegen einen der beiden Sickerwasser-Sammelschächte aufweisen. Gleichzeitig als zweite Dichtung, aber auch als Schutz gegen ein Austrocknen des verdichteten Tons wurde so rasch wie möglich die 2 mm starke PVC-Folie verlegt und verschweisst (Bild 4). Lediglich im Bodenbereich verlangte die Lieferfirma Sarna Kunststoff AG Sarnen in ihren Garantiezusicherungen das zusätzliche Verlegen einer 0,2 mm Polyäthylen-Folie. Sie schützt die PVC-Folie während dem Bauzustand vor allzulanger Einwirkung der im Deponie-Material vorhandenen chemischen Stoffe. Die über den Folien aufgebrachten 20 cm Sand sind ein Schutz gegen mechanische Beschädigungen beim Einbau des Deponiematerials.

4.2.2. An den Böschungsflächen und Felswänden (Bild 5)

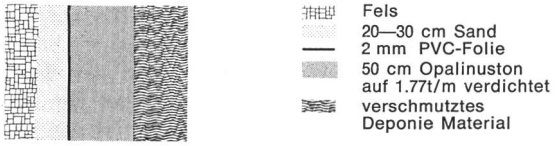


Bild 5 Schematische Darstellung der Abdichtung gegen die Böschungsflächen und die Felswände.

An der nahezu senkrechten Wand musste der Opalinuston schichtenweise und höhengleich mit dem zu deponierenden Material eingebaut und verdichtet werden. Aus diesem Grunde liegt die Folie in diesen Bereichen «luftseitig». Sie ist durch eine 20 bis 30 cm starke Sandschicht vor mechanischen Beschädigungen durch Felsspitzen geschützt. Praktiker auf der Baustelle entwickelten für diese Partien folgenden Einbauvorgang (Bild 6):

— Ausbreiten der Folie und Verschweissen derselben auf gegen den Fels gestellten Brettern
— Hochbinden der Folien mit Felshaken und Seilen
— loses Schütten von Opalinus-Rohton in ca. 30 bis 35 cm starker Schicht, 50 bis 70 cm breit
— Hinterfüllen von Sand auf die gleiche Höhe wie der Ton
— Einbau von Deponiematerial auf die gleiche Höhe
— Verdichten des Tons
— Neue Ton-Lage
— Sand
— Deponie-Material usw.

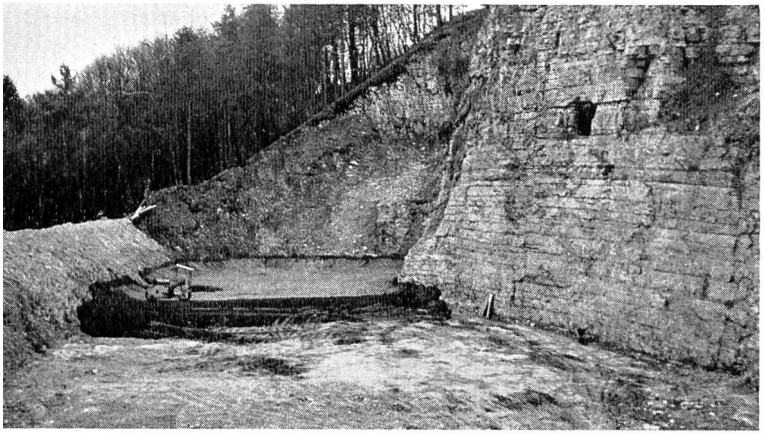
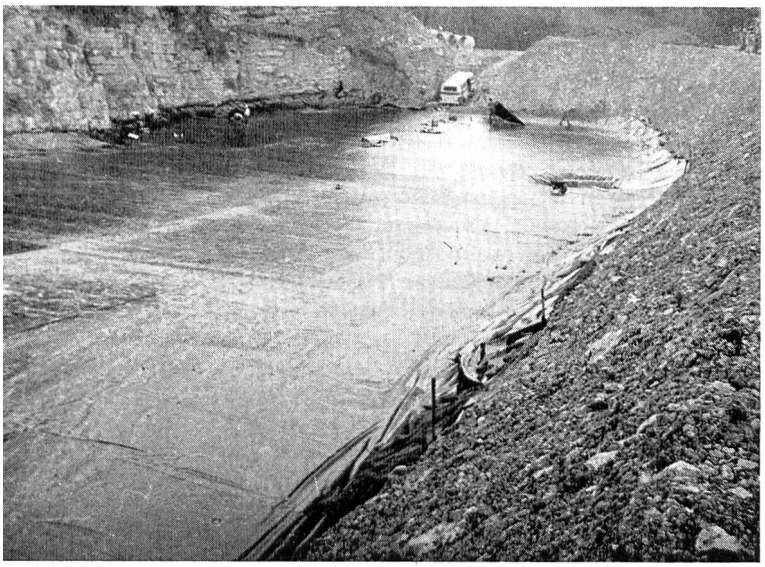


Bild 3

Bild 4



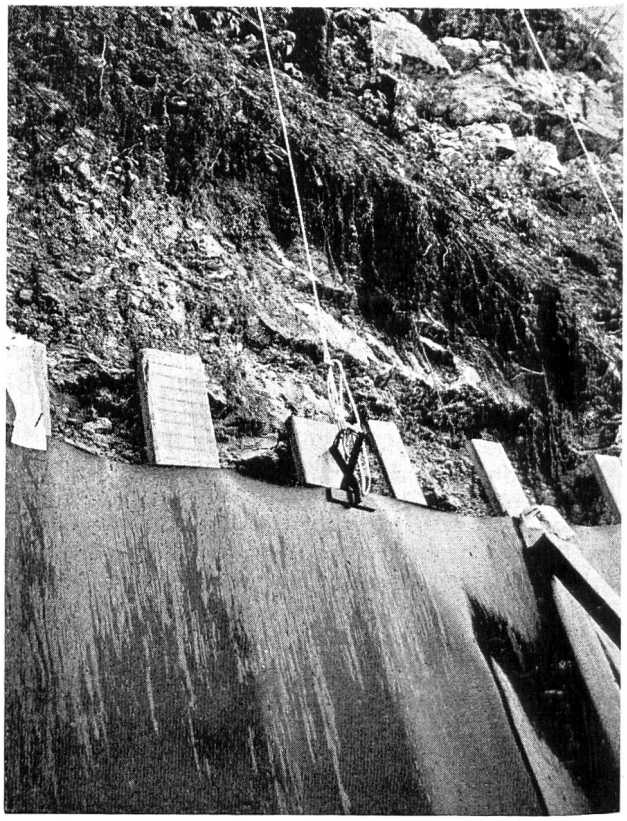


Bild 6 Hochziehen der Folien im Bereich der Felswand.

Bild 3 Einbau des Opalinus-Rohtons auf der Bodenfläche: zwei Schichten von gesamthaft 50 cm Stärke.

Bild 4 Folien-Abdeckung (2 mm PVC) auf der Bodenfläche des Deponie-Raumes.

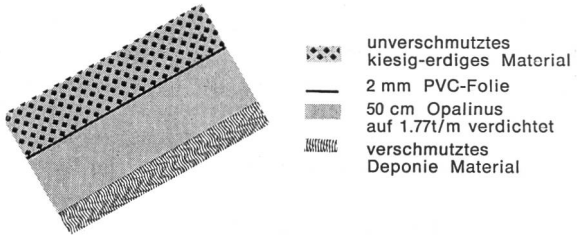


Bild 7 Schematische Darstellung der Abdichtung über dem verschmutzten Material.

4.2.3 Ueber dem Deponie-Material (Bild 7):

Die obere Abdichtung entspricht in ihrem Aufbau der Boden-Abdichtung. Die Neigung der abzudichtenden Böschung ist mit Stabilitätsberechnungen des «unverschmutzten Deckmaterials» festzulegen.

4.3 Entwässerung während der Bauzeit

Das während der Bauzeit anfallende Meteorwasser im Deponie-Bereich durchfloss das verschmutzte Material und musste deshalb schadlos abgeleitet werden.

Wie schon kurz erwähnt, wurden zu diesem Zweck zwei Sammelschächte errichtet. Die gesamte Deponie-Abdichtung weist gegen einen der beiden Schächte ein Gefälle auf. Die Schächte sind abflusslos, dafür aber mit niveaugesteuerten Pumpen ausgerüstet. Das geförderte Schmutz-Wasser wurde vorerst in einem 40 000-Liter-Tank gespeichert und von Zeit zu Zeit in eine naheliegende Kläranlage abgeführt.

4.4 Bau-Erfahrungen

Der Einbau der Folien, das Verlegen wie das Verschweissen, erfolgte ohne Schwierigkeiten. Lediglich die zweck-

mässige Halterung der verlegten Folien musste auf der Baustelle entwickelt werden. Der Erhaltung dieser dichten, unversehrten Auskleidung musste aber immer die allergrösste Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Schwieriger war die Verdichtung des Opalinus-Rohtons, besonders an den Böschungen und Felswandbereichen. Der anfängliche Einsatz von Grabenstampfern war ein Misserfolg. Eine Kleinst-Vibro-Walze führte zwar zu den verlangten Minimalwerten; der notwendige Arbeitsaufwand aber war zu gross und die Tagesleistung entsprechend zu gering. Eine plangemässe Tagesleistung bei gleichbleibender Verdichtungsqualität wurde erst mit dem Einsatz von Grossgeräten erreicht. Zu diesem Zweck wurden der zu verdichtende Ton und das Deponiematerial laufend auf die gleiche Kote geschichtet und gleichzeitig verdichtet.

5. KOSTEN

Der Aushub und die Deponierung des verschmutzten Materials ist zur Zeit noch nicht abgeschlossen.

Bisher wurden ca. 45 000 m³ Material ausgehoben und deponiert.

Allein diese Arbeiten verursachten folgende Kosten:

Aushub	ca. Fr.	985 000
Transport	ca. Fr.	625 000
Einbau in die Deponie	ca. Fr.	50 000
Total Materialverschiebung	ca. Fr.	1 660 000
oder	Fr.	36.90/m³

Für die Bereitstellung der Deponie in Oeschgen muss mit folgenden Kosten gerechnet werden:

Installation, Vorversuche	ca. Fr.	50 000
Erschliessung und Deponie-Pisten	ca. Fr.	130 000
Rodung und Räumung der Deponie-Grube	ca. Fr.	200 000
Opalinustonabdichtung ca. 7400 m²	ca. Fr.	330 000
Folienabdichtung, ca. 7400 m²	ca. Fr.	230 000
Sand-Schutzschicht	ca. Fr.	85 000
Entwässerung	ca. Fr.	55 000
Geschätzte Kosten für obere Isolation,	ca. Fr.	1 080 000
Ueberdeckung und Fertigstellungsarbeiten	ca. Fr.	530 000
Total Deponie-Bereitstellung:	ca. Fr.	1 610 000
oder	Fr.	35.80/m³

6. SCHLUSSFOLGERUNG

Für die Sanierung der Untergrund-Verschmutzung Kaiseraugst bot sich als gangbare Lösung nur die geschilderte an:

Aushub des verschmutzten Materials,

Abtransport desselben und Deponieren dermassen, dass die vorhandenen Schmutzstoffe nicht weiterhin in Wasser gelöst und verschleppt werden können.

Das bedingt den Bau einer wasserdichten Hülle um das Deponiergut herum. Dabei müssen die Dichtungsmaterialien während einer gewissen Zeitdauer (Bauzustand und Entwässerungsphase) gegenüber den vorhandenen chemischen Stoffen widerstandsfähig sein.

Sowohl die Anforderung «wasserdicht» wie «resistent gegen die chemischen Stoffe» erfüllen beide angewandten Dichtungsmittel.

Die Verwendbarkeit von Opalinuston wie auch der Folie war aber nicht zuletzt deshalb gegeben, weil der Einbau der Dichtungen und der Einbau des Deponiegutes gleichzeitig erfolgte.

Daraus folgt, dass der Opalinuston, in gewissem Masse auch die Folien, für das Abdichten von Deponien weniger geeignet sind, für welche eine lange Bewirtschaftungsdauer vorgesehen ist. Der einmal verdichtete Opalinuston verliert verhältnismässig rasch seine Dichtigkeit, wenn er nicht belastet ist oder wenn er austrocknet. Ebenso ist die Erhaltung einer unversehrten, leckfreien Folie während längeren, eventuell jahrelangen Einbauvorgängen schwierig, wenn überhaupt möglich.

Für den eben beschriebenen Fall der Deponie Oeschgen waren aber Materialien wie Bauvorgang zweckmässig und die Arbeiten mit normalen Geräten ausführbar.

Adressen der Berichtverfasser:

— Dr. E. Märki, Chef Abt. Gewässerschutz im Kanton Aargau, Aarau (Einleitung)
— Dr. H. Schmassmann, Bölchenstrasse 5, 4410 Liestal (Abschnitte 2 und 3)
— Dipl. Ing. A. Jedelhauser, Ingenieurbureau Holinger AG, Galmsstrasse 4, 4410 Liestal (Abschnitte 4, 5 und 6)

IM QUELLGEBIET DER DONAU

Exkursionen um die Ulmer Wasserwirtschaftstagungen 1974 zu deutschen Donauabschnitten

DK 061. 32:627 (282. 243. 7)

Josef Frohnholzer

1. VORBEMERKUNG

Wer die Donau nicht kannte, dem waren die beiden Fahrten in das oberste Gebiet der Donau und das Verfolgen ihres weiteren Weges bis zum nördlichsten Teil bei Regensburg ein Vertrautwerden mit den Geschicken eines Flusses mit allen Arten der Anwendung des Wassers. Dem Kenner der Donau jedoch, der Bereisungen zwischen Passau und Wien und dann mit der Donaufahrt von Wien zum Schwarzen Meer und zurück mitmachte, (wie sie zuletzt im Herbst 1972 vom Oesterreichischen Wasserwirtschaftsverband veranstaltet war, und worüber G. A. Töndury im Heft 3/4 vom März/April 1973 der schweizerischen «Wasser- und Energiewirtschaft» berichtet hat), waren diese Exkursionen sicher Bereicherung und Abrundung. Dem Berichterstatter war es bisher vergönnt, die Donau von Passau bis Wien und weiter nach Budapest kennenzulernen, kurz vor dem Aufstau der rumänisch-jugoslawischen Stufe Eisernes Tor ab Belgrad bis Kladovo bei km 943 zu befahren, unter dem Titel «Ein neues Bild der Donau» über die Tagung 1973 des Oesterr. Wasserwirtschaftsverbandes in der «Wasserwirtschaft» vom Oktober 1973