

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 68 (1976)
Heft: 5

Artikel: Forschung zum schweizerischen Wasserhaushalt
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939288>

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: 10.02.2026

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

Der schweizerische Bundesrat hat als Thema für eine erste Serie nationaler Forschungsprogramme auch zwei Hauptprobleme des schweizerischen Wasserhaushaltes vorgeschlagen und für Forschungen auf diesem Gebiet 5 Mio Franken bereitgestellt.

Eine Expertengruppe, in der auch die Bundesverwaltung massgebend mitgewirkt hat, hat das Forschungsprogramm ausgearbeitet. Nachfolgend veröffentlichen wir dieses Programm im Wortlaut. Um die vorhandenen begrenzten Mittel nicht allzu stark aufzusplittern zu müssen, werden koordinierte Forschungsanstrengungen mit zwei Schwerpunkten vorgeschlagen: Schichtungs- und Strömungsprobleme in schweizerischen Seen sowie eine bessere qualitative und quantitative Erfassung unserer Grundwasservorkommen.

Anfangs April wurde dieses Forschungsprogramm (zusammen mit einem parallel laufenden Programm zur Erforschung der Arteriosklerose) öffentlich ausgeschrieben. Die Ausschreibung richtet sich an Institute und kantonale Verwaltungen, aber auch an Einzelpersonen und private Forschungsteams. Gesuche um Teilnahme an diesen Forschungsarbeiten können bis zum 15. Juli 1976 dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung, Wildhainweg 20, 3000 Bern, eingereicht werden. Der Nationalfonds wurde vom Bundesrat mit der Durchführung der Forschungsprogramme betraut. Insgesamt steht dem Nationalfonds für das laufende Jahr ein Bundesbeitrag von 116 Mio Franken zur Verfügung (1975: 100 Mio Franken). Rechnet man noch die Subventionen hinzu, die 1975 nicht vollständig ausgeschöpft wurden, ergibt sich ein Gesamtbetrag von 119,2 Mio Franken (1975: 108,8 Mio Franken).

GW

Ausführungsplan für das Nationale Forschungsprogramm

«Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes»

1. Ist-Zustand

Das Wasser ist für Leben jeglicher Art unersetzlich, aber auch für die Wirtschaft eines Landes bedeutend. Obwohl die Schweiz ein relativ wasserreiches Land ist, sind die Wasservorkommen nicht unerschöpflich und müssen deshalb haushälterisch genutzt werden.

Seit langer Zeit, vor allem aber im Verlaufe der letzten Jahrzehnte, erfolgten zum Teil wesentliche Veränderungen im schweizerischen Wasserhaushalt, wobei in vielen Fällen die mengen- und/oder gütemässigen Verhältnisse in ober- und unterirdischen Wasservorkommen und damit die Nutzungsmöglichkeiten nachteilig beeinflusst wurden. Verschiedentlich war damit auch eine Veränderung der Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser verbunden. Die Ursachen beschränken sich nicht nur auf die technischen Massnahmen am Wasser (Wasserentnahmen, Aufstau, Bach- und Flusskorrekturen, Abwasser-einleitung, Entwässerungen); sie sind teilweise auch auf andere Eingriffe zurückzuführen, wie beispielsweise die zunehmende Oberflächenabdichtung (Verstädterung, Straßenbau).

2. Zielsetzung

2.1 Gesichtspunkte bei der Auswahl der Schwerpunkte

Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes liegen im weiteren Sinne darin, die notwendige

gen hydrologischen Kenntnisse zu schaffen, um die Wasservorkommen haushälterisch zu nutzen, sie zu schützen und schädigende Auswirkungen des Wassers abzuwehren. Um diese Probleme zu lösen, bedarf es wissenschaftlich fundierter Arbeitshilfen und Beurteilungsgrundlagen.

Wesentliche Lücken bestehen nach Ansicht der Expertengruppe vor allem bezüglich einer umfassenden mengen- und gütemässigen Beurteilung von Eingriffen in Seen und Grundwasservorkommen, da diese für verschiedene Nutzungen und zwar insbesondere für die Versorgung mit Trink- und Brauchwasser von grosser Bedeutung ist. Von den Problemen, die sich in bezug auf die Oekologie sowie die Nutzung der Gewässer ergeben, stehen deren zwei im Vordergrund, die auch die an ein Nationales Forschungsprogramm gestellten Anforderungen erfüllen:

1. Schichtungs- und Strömungsprobleme in Seen
2. Grundwasserdargebot; quantitative und qualitative Aspekte

Weil ein konzentrierter Einsatz der knappen zur Verfügung stehenden Mittel unbedingt notwendig ist, verzichtete die Expertengruppe auf die Wahl eines dritten, ebenfalls als wichtig erachteten Forschungsschwerpunktes, der sich mit der Abschätzung der Abflüsse in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessung hätte befassen sollen.

Die Forschung in der Schweiz ist in der Lage, in den zwei ausgewählten Problemkreisen vorhandene Wissenslücken durch eine koordinierte Anstrengung weitgehend zu schliessen. Es bestehen in der Schweiz zahlreiche Forschungsanstalten und Hochschulinstitute, die sich sowohl mit den Problemen der Grundwasserhydrologie, der qualitativen Beeinträchtigung von Grundwasser, mit der Hydromechanik und den Mischungsverhältnissen in Seen sowie der Einwirkung dieser Mischungsvorgänge auf den Zustand oder die Nutzungsmöglichkeiten dieser Seen befassen. So haben einzelne Kantone und die Bundesverwaltung auf dem Gebiet des Grundwasserdargebots bereits wesentliche Mittel eingesetzt, um abschätzen zu können, welche Wassermengen in einem Grundwasserleiter verfügbar sind. Mit Hilfe von Bundesmitteln wurden auch sehr aufwendige Untersuchungen des gütemässigen Zustandes von ober- und unterirdischen Gewässern unternommen. Die Wirkung der Gewässerschutzmassnahmen einerseits, die Effekte von Veränderungen der Strömungsverhältnisse und die ökologischen Zusammenhänge andererseits könnten besser beurteilt werden, wenn die noch vorhandenen Lücken geschlossen sind.

Forschungen in den erwähnten Bereichen sollten es innerhalb von fünf Jahren ermöglichen,

- das Verhalten eines Sees bei verschiedenen Belastungen unter natürlichen und künstlich erzeugten Strömungsverhältnissen zu erfassen,
- eine verbesserte, praxisbezogene Methodologie zur Erfassung von Grundwasserdargeboten zu entwickeln, die sowohl der Wechselwirkung zwischen ober- und unterirdischen Wasservorkommen als auch den gütemässigen Aspekten Rechnung trägt.

2.2 Beschreibung der Forschungsschwerpunkte

2.2.1 Schichtungs- und Strömungsprobleme in Seen

Unsere Seen werden ständig intensiver genutzt. Für immer mehr Menschen werden sie zu Stätten der Ruhe und Erholung. Als Folge des hohen Wasserverbrauchs der

schweizerischen Bevölkerung müssen sie zunehmend in den Dienst der Trinkwasserversorgung gestellt werden. Sie dienen jedoch auch als Vorfluter für gereinigtes Abwasser und erwärmtes Kühlwasser sowie energiewirtschaftlichen Interessen.

Sollen unsere Seen in der Lage sein, auch in Zukunft diesen und allfälligen weiteren Aufgaben gerecht zu werden, dürfen die einzelnen Nutzungen im Seegefüge keine wesentlich nachteiligen Auswirkungen verursachen.

Das Verhalten eines Sees gegenüber den verschiedenen Belastungen wird stark durch interne Mischungs- und Transportvorgänge bestimmt. Die Kenntnis der vorhandenen Strömungen und die Auswirkungen künstlich erzeugter Strömungen auf das Seegeschehen ist demnach unerlässlich. Wegen der für die meisten Seen typischen sommerlichen Schichtstruktur kommt dem vertikalen Austausch besondere Bedeutung zu.

Im Gegensatz zu den Meeren sind in Seen Wasserbewegungen meistens stark variabel, da sich diese rasch an die ständig wechselnden meteorologischen und andern äussern Bedingungen anpassen. Obwohl die theoretischen Grundlagen aus der Hydromechanik im Prinzip bekannt sind, wurden bisher Mischungsphänomene in Seen in der Praxis wenig erforscht. Besonders die kleinräumigen turbulenten Wasserbewegungen, welche beim vertikalen Wasseraustausch eine dominierende Rolle spielen, wurden in mathematischen Modellen nur selten erfasst.

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Wasserhaushalt» sollen diesbezügliche theoretische und experimentelle Wissenslücken, welche für das Verständnis der im See ablaufenden Prozesse wichtig sind, geschlossen werden. Aus der Vielfalt der Probleme wurden die zwei folgenden, eng miteinander verbundenen Forschungsobjekte ausgewählt.

Experimentelles und numerisches Erfassen der für den allgemeinen Seezustand wichtigen Mischungs- und Strömungsprozesse

Die klein- und grossräumigen Wasserbewegungen in einem See werden vor allem durch den Wasserdurchfluss, die Korioliskraft, Luftdruckschwankungen, Sonneneinstrahlung und den Wind bestimmt. Die bisherigen Erforschungen solcher Phänomene beschränken sich in der Schweiz weitgehend auf die experimentelle Ermittlung von horizontalen Geschwindigkeitskomponenten mit Schwebegeräten und Schaufelrädern.

Zielsetzung: Die experimentelle und numerische Erfassung von Strömungs- und Mischungsfragen sollte die Zusammenhänge zwischen Mischvorgängen und dem biochemischen Zustand des Sees als Funktion interner (morphologischer) und externer (Nährstoffbelastung) Parameter aufzeigen, so dass die Auswirkungen künstlicher Eingriffe wie zum Beispiel Wasserentnahmen und -einleitungen besser beurteilt werden könnten. Ferner sollen Unterlagen geschaffen werden für die Beurteilung, ob sich durch künstliche Eingriffe Strömungsverlagerungen erreichen lassen, durch welche die biologischen Verhältnisse bestimmter Seeregionen verbessert werden können.

Schwerpunkte: Im Vordergrund steht die Darstellung derjenigen Mischungsvorgänge, welche die biologisch-chemische Entwicklung des Sees in erster Linie beeinflussen. Dabei sind rechnerische und falls nötig auch methodologische und instrumentelle Hilfsmittel für die Praxis bereitzustellen, wobei die Kenntnisse und technischen Voraussetzungen derjenigen Personen zu berücksichtigen sind, die sich ihrer bedienen.

Randbedingungen: Es ist zu prüfen, ob sich bereits verfügbare numerische Modelle zur Behandlung der gestellten Probleme eignen und inwieweit sich vorhandene Daten über Wasserbewegungen in Seen mit den Modellrechnungen vergleichen lassen.

Ferner soll das Modell die verschiedenen seetopographischen, hydrologischen und meteorologischen Bedingungen berücksichtigen und damit auf beliebige Seen übertragbar sein.

Natürliche und künstlich erzeugte Strömungen

Dieses Forschungsobjekt basiert teilweise auf Ergebnissen des ersten Themas. Es befasst sich mit lokalen Strömungserscheinungen (Situation bei Zu- und Abflüssen, Ausbreitung von Trübe-Strömungen, künstliche Strömungen). Künstliche Strömungen können unter anderem auftreten bei der Entnahme und Rückgabe grosser Wassermengen (z. B. bei Pumpspeicherwerken), bei der Einleitung von Abwasser und Kühlwasser (vor allem wenn die Dichte sich von derjenigen des Wassers an der Einleitungsstelle unterscheidet), schliesslich bei gewissen gewässerschutztechnischen Sanierungsmassnahmen (z. B. bei künstlicher Seebelüftung oder Tiefenwasserableitung).

Zielsetzung: Es soll untersucht werden, wie sich lokale Strömungen bei der Durchmischung mit umgebendem Seewasser verhalten, welche Massnahmen die Durchmischung und damit die Einschichtung beeinflussen und wie sich lokale Strömungen, seien diese durch Wassereinleitung, -entnahme oder durch temporäre natürliche Prozesse bedingt, auf die physikalische und biochemische Entwicklung des Sees auswirken.

Schwerpunkte: Es soll untersucht werden, in welcher Weise eine Zwangsmischung zwischen einem Abwasser- oder Kühlwasserstrahl und dem der Einleitungsstelle vorgelagerten Seewasser erreicht werden kann, damit eine stabile Einschichtung der Fremdflüssigkeit in der Einleitungstiefe erfolgt und damit unerwünschte Vertikalströmungen verhindert werden.

Ferner wäre abzuklären, welche Auswirkungen der künstliche Zufluss bzw. die Entnahme grosserer Wassermengen auf das Seegeschehen hat.

Dabei soll ein theoretisches und experimentelles Instrumentarium geschaffen werden, mit dessen Hilfe sich die Frage des Einflusses lokaler, künstlicher oder natürlicher Strömungen auf die allgemeinen Mischungsprozesse und die sich daraus ergebenden Konsequenzen für das Seegeschehen beantworten lässt.

Randbedingungen: Die Untersuchungen sollen den verschiedenen limnologischen und seetopographischen Verhältnissen Rechnung tragen und die Ergebnisse somit im Rahmen gewisser Grenzen auf die verschiedenen schweizerischen Seen anwendbar sein.

2.2 Grundwasserdargebot¹⁾; quantitative und qualitative Aspekte

Die öffentlichen Wasserwerke gewinnen das von ihnen abgegebene Wasser zu mehr als 70 % aus Quell- und Grundwasser. Auch wenn der Bedarf an Trink- und Brauchwasser längerfristig kaum mehr im früher festgestellten Ausmass ansteigen wird, muss damit gerechnet werden, dass auch in Zukunft bestehende Wassergewinnungsanlagen erweitert bzw. neue erstellt werden müssen. Weil sich Grundwasser besonders gut eignet für die Trink- und Brauchwasserversorgung, ist es für Bund und Kantone wichtig, das Grundwasserdargebot möglichst genau zu kennen. Die

¹⁾ Maximale Wassermenge, die in einem Grundwasservorkommen dauernd verfügbar ist, ohne dass künstlich angereichert wird.

dazu notwendigen Untersuchungen liefern gleichzeitig Grundlagen für die künstliche Grundwasseranreicherung. Verschiedene Kantone haben mit der aufwendigen systematischen Erforschung ihrer Grundwasservorkommen begonnen.

Die bisherigen Grundwassererkundungen haben gezeigt, dass die investierten Mittel oft nicht ausreichend wirksam eingesetzt werden konnten: Einzelne Erkenntnislücken bestehen, neuere Forschungsergebnisse und Untersuchungsmethoden sind teilweise nicht bekannt oder liegen in einer Form vor, die sich für eine praktische Anwendung nicht eignet; häufig ist auch unklar, wie die verfügbaren Techniken mit einem guten Wirkungsgrad eingesetzt werden könnten. Um die Wasserversorgung langfristig sicherstellen zu können, aber auch im Hinblick auf einen optimalen Einsatz der hiefür aufzubringenden Geldmittel ist es notwendig und dringlich, über bessere praxisbezogene Wegleitungen und Hilfen zu verfügen. Aus der Vielfalt der Probleme werden zwei Forschungskreise von derzeit vordringlichem Interesse ausgewählt:

Modellstudien zur Ermittlung des Grundwasserdargebots

Um das Grundwasserdargebot mengenmäßig zu erfassen, stehen verschiedene Methoden und Rechenmodelle zur Verfügung. Es stellt sich jedoch die praktische Frage, welche Methode bei bestimmten Voraussetzungen am zweckdienlichsten angewendet wird und wie insbesondere bei den Felduntersuchungen vorzugehen ist, um mit kleinstem Aufwand ausreichend zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. Den finanziellen Aspekt hervorzuheben ist deshalb wichtig, weil Grundwassererkundungen kostspielig sind und weil für diese Arbeiten immer nur beschränkte finanzielle Mittel zur Verfügung stehen.

Modellstudien sind sowohl nötig in Lockergesteins- wie auch in Festgesteingrundwasservorkommen. Sollten die verfügbaren Kredite nicht für beide Ziele ausreichen, würden die Studien an Lockergesteinsgrundwasservorkommen bevorzugt, weil auf diesem Gebiet in nächster Zeit am meisten gearbeitet wird.

Zielsetzung: Es sind auf vergleichendem Weg und in praxisbezogener Form Methoden aufzuzeigen, wie im konkreten Fall bei der Erkundung eines Grundwasservorkommens vorzugehen und anschliessend das Grundwasserdargebot zu ermitteln ist. Es sind auch alle erforderlichen Hilfsmittel darzustellen und zwar in einer Form, die eine möglichst einfache und sichere Handhabung erlaubt.

Schwerpunkte: Es handelt sich darum, die vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse zweckmäßig so zu ergänzen und umzusetzen, dass in der Praxis das Grundwasserdargebot mit kleinstem Aufwand möglichst genau ermittelt werden kann.

Um die aufzuwendenden Mittel haushälterisch einzusetzen, soll aus den Untersuchungen hervorgehen, welche Messdaten wo, in welcher Dichte und mit welcher Messmethodik zu erheben sind, wobei die Frage von Interesse ist, bis zu welchem Aufwand bezüglich der Felderkennung ein vertretbares Verhältnis zwischen einer erhöhten Investition und der dabei resultierenden Aussageverbesserung besteht.

Besondere Beachtung ist dem Vergleich der Methoden zur Erhebung der Durchlässigkeitswerte (Gross- und Kleinpumpversuche, geoelektrische Widerstandsmessungen, Strahlenmessungen), der praktischen Erfassung der randlichen unterirdischen Zuflüsse sowie der Infiltration aus angrenzenden Oberflächengewässern zu schenken, wobei die Kolmatierungsverhältnisse zu berücksichtigen sind.

Von den verschiedenen Methoden zur Ermittlung des Grundwasserdargebots, wie beispielsweise der rein hydrologischen Bilanzierung, sollen im Rahmen des Forschungskreises folgende Methoden bevorzugt und miteinander verglichen werden:

- Numerische Simulation der Speicherung und des unterirdischen Abflusses bei instationären Verhältnissen;
- Weiterentwicklung der Durchflussbestimmungen in Grundwasservorkommen.

Andere Methoden wie geophysikalische und hydrochemische Abklärungen oder Analogsimulationen können berücksichtigt werden, insofern diese zu praktisch verwendbaren Resultaten führen.

Randbedingungen: Die Untersuchungen sind auf Grundwasservorkommen abzustützen, die mit Messeinrichtungen bereits überdurchschnittlich gut ausgerüstet sind und über die eine Datensammlung vorliegt, die für eine Berechnung ausreicht. Die Erhebung zusätzlicher Daten sowie der Einsatz zusätzlicher Messeinrichtungen soll sich auf das unbedingt Notwendige beschränken.

Elimination von Wasserinhaltsstoffen im Infiltrationsbereich von Oberflächengewässern

Bei der Infiltration von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter können Wasserinhaltsstoffe in das Grundwasser gelangen. Sind Fließstrecke und Aufenthaltszeit bis zur Grundwasserfassung ausreichend gross, wird sich der Durchtritt von Inhaltsstoffen in der Regel nicht nachteilig auf die Rohwasserqualität am Fassungsort auswirken. Anders liegen die Verhältnisse, wenn dies nicht der Fall ist oder wenn der Entnahmebrunnen so nahe am Oberflächengewässer angeordnet wird, dass als Folge der Wassergewinnung das Druckgefälle erhöht und die Infiltrationsmenge künstlich vergrössert wird. Da die Wahl ufernaher Standorte für die Grundwassergewinnung in Zukunft voraussichtlich eine erhöhte Bedeutung erlangt, ist es wichtig, die heute mangelhaften Kenntnisse über das Eliminationsverhalten im Infiltrationsbereich insbesondere im Grenzbereich Oberflächenwasser—Grundwasserleiter entscheidend zu verbessern.

Zielsetzung: Es soll abgeklärt werden, welche im Oberflächenwasser vorkommenden Inhaltsstoffe bei natürlicher oder künstlich gesteigerter Uferinfiltration in das Grundwasser gelangen können und welche Wasser- bzw. Bodeneigenschaften diesen Durchtritt beeinflussen. Im Vordergrund steht die Bereitstellung von Beurteilungskriterien oder -methoden, die in der Praxis einfach und sicher angewendet werden können und möglichst keine kostspieligen Felduntersuchungen erfordern.

Schwerpunkte: Eine besondere Beachtung soll jenen im Trinkwasser nicht oder nur eingeschränkt zugelassenen Wasserinhaltsstoffen geschenkt werden, die mit den heutigen Möglichkeiten der Wasseraufbereitung nicht oder nur mit unverhältnismässig hohen Kosten aus dem Rohwasser entfernt werden können. Für alle übrigen in das Grundwasser gelangenden Inhaltsstoffe soll angegeben werden, mit welchen (bekannten) Aufbereitungsverfahren sie eliminiert werden können.

Randbedingungen: Die Untersuchungen sollen der zeitlichen Veränderlichkeit der Oberflächenwasserführung und des Sedimenttransports Rechnung tragen. Sie sollen auch eine allfällige Abhängigkeit von der Kolmatierung des Oberflächengewässers sowie vom Aufbau des gesättigten und nichtgesättigten Grundwasserleiters aufzeigen.

Die Untersuchungen sind entweder auf Feldmessungen abzustützen oder so auszuführen, dass sie auf natürliche Verhältnisse übertragbar sind.

3. Vorgehen

Zeitplan

Ein konkreter Zeitplan wird erst erstellt werden können, wenn die Gesuche eingegangen und bearbeitet sind.

Organisation des Programms

Die Gesuche werden von der Expertengruppe, nötigenfalls unter Beizug weiterer Fachleute, beurteilt und jene ausgewählt, die ein Erreichen der angestrebten Ziele erlauben. Im Falle von Ueberschneidungen werden die Abgrenzungen festgelegt. Während der Ausführungsphase verfolgt und koordiniert die Expertengruppe die Untersuchungen. Eine wichtige Aufgabe der Expertengruppe wird es sein, in der Schlussphase des Programms zusammen mit den Forschungsträgern die Resultate zusammenzufassen.

Erfassung potentieller Forschungsträger

Durch Ausschreibung werden die potentiellen Forschungsträger an Universitäts- und Hochschulinstituten, Annexanstalten sowie der eidgenössischen und kantonalen Verwaltungen aufgefordert, konkrete Forschungsgesuche einzureichen. Falls die eingegangenen Gesuche einzelne Bereiche des Forschungsprogramms nicht abdecken sollten, kann die Expertengruppe entsprechende Aufträge an geeignete Stellen erteilen.

4. Finanzrahmen

Nach Beschluss des Bundesrates vom 2. Juli 1975 sind für das vorliegende Nationale Forschungsprogramm im Bereich der Hydrologie insgesamt 5 Mio Franken vorgesehen. Eine allfällige notwendig werdende Erhöhung dieser Summe liegt in der Kompetenz des Bundesrates.

5. Möglichkeiten internationaler Zusammenarbeit

Eine internationale Zusammenarbeit oder eine Abstimmung mit ausländischen Forschungen in den dargestellten Bereichen des Nationalen Forschungsprogrammes ist u. a. auf folgenden Ebenen möglich:

- Im Rahmen der COST (europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der wissenschaftlich-technischen Forschung) wird im Bereich der spezifisch-analytischen Bestimmung von organischen Wasserinhaltsstoffen gearbeitet.
- Internationales hydrologisches Programm (UNESCO).
- Programm MWO für operationelle Hydrologie.
- Internationale Assoziation für hydrologische Wissenschaften.
- Forschungen zur Ausarbeitung von Strömungs- und Mischungsmodellen wurden in den letzten Jahren vor allem an ozeanographischen Instituten vorgenommen.

Abflussprognosen für die Wasserwirtschaft

DK 551.482.2

Daniel Vischer

Es gibt verschiedene Verfahren, um den Abfluss in Flüssen und Bächen vorauszusagen. Als besonders leistungsfähig hat sich das Verfahren der linearen Regressionsanalyse erwiesen. Die nachstehenden Ausführungen wollen dieses Verfahren kurz darstellen und seine Möglichkeiten anhand von Prognosen aufzeigen, wie sie von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich (VAW) seit einiger Zeit ausgegeben werden. Der Verfasser stützt sich weitgehend auf die Angaben der verantwortlichen Mitarbeiter, insbesondere von H. Jensen. Hinsichtlich der Einzelheiten sei deshalb auf die entsprechende Literatur verwiesen (vgl. Literaturverzeichnis am Schluss).

1. Einsatz der linearen Regressionsanalyse für Prognosen

Die lineare Regressionsanalyse untersucht die Abhängigkeit einer Zielgröße Y von einer oder mehreren Einflussgrößen X_i aufgrund von Messreihen dieser Einflussgrößen und unter der Annahme, dass diese Abhängigkeit in folgender Form dargestellt werden kann:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i X_i + \epsilon$$

Dabei bedeuten:

- | | |
|------------|---|
| Y | die Zielgröße; die abhängige Variable; der Regressand |
| X_i | die Einflussgrößen; die unabhängigen Variablen; die Regressoren |
| a_0, a_i | die unbekannten Konstanten; die Regressionskoeffizienten |
| ϵ | den unbekannten Fehler; eine Zufallsgröße mit dem Erwartungswert E ($\epsilon = 0$) |

Die Bezeichnung «lineare» Regressionsanalyse bezieht sich dabei auf die unbekannten Konstanten, also die Regressionskoeffizienten, und nicht etwa auf die bekannten Einflussgrößen. Letztere können durchaus in einer nicht-linearen Beziehung zu gegebenen Messwerten stehen, etwa in der Form

$$X_i = F_i(z_1, z_2, \dots)$$

Dabei bedeuten:

- | | |
|-------|----------------------------------|
| F_i | irgendeine Funktion |
| z_j | Messgrößen ($1 \leq j \leq m$) |

Die Fragen, die von der linearen Regressionsanalyse im einzelnen behandelt werden, sind folgende:

- Schätzen der unbekannten Koeffizienten nach der Methode der kleinsten Quadrate
- Schätzen der Standardabweichung des Fehlers
- Angabe von Vertrauensintervallen für die Koeffizienten
- Testen von Hypothesen über die Koeffizienten
- Testen von Hypothesen über die Homogenität der Stichprobe
- Kontrolle des Ansatzes hinsichtlich der Linearität.

Die Abhängigkeit der Zielgröße Y von einer oder mehreren Einflussgrößen X_i wird also zuerst vorausgesetzt — das heisst als Regressionsansatz mit unbekannten Koeffizienten formuliert — dann werden die Koeffizienten errechnet. Das Ergebnis ist eine Regressionsgleichung, deren Zuverlässigkeit anhand verschiedener Tests überprüft und beschrieben wird.

Wenn es nun gelingt, eine Regressionsgleichung aufzustellen, die eine Zielgröße Y für einen bestimmten Zeitpunkt mit Einflussgrößen verbindet, die zu einem früheren Zeitpunkt bekannt sind, so kann die Regressionsglei-