

Zur Berechnung des Abflusses aus meteorologischen Grössen mittels mathematischer Modelle

Autor(en): **Naef, Felix**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **92 (1974)**

Heft 43

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-72497>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zur Berechnung des Abflusses aus meteorologischen Grössen mittels mathematischer Modelle

Von Felix Naef, Zürich

DK 551.48.001.2

Einleitung

Flussbauliche Arbeiten werden meist auf ein sogenanntes Bemessungs- oder Ausbauhochwasser ausgerichtet. Dieses entspricht einem extremen Hochwasserabfluss, also beispielsweise einer zwanzigjährigen oder hundertjährigen Spitze. Wenn der Abfluss eines Gebietes über eine genügende Anzahl Jahre gemessen wurde, kann man diesen Wert mit statistischen Methoden bestimmen. Oft sind aber, vor allem in kleinen Einzugsgebieten, wenig oder gar keine Messungen vorhanden, so dass man sich mit Schätzungen begnügen muss.

Da die Kosten eines Projektes stark von diesen geschätzten Werten abhängen, ist es ratsam, nicht nur die Hochwasserformeln von *Hofbauer*, *Kreps* und anderen zu verwenden, sondern mit neueren Verfahren zu arbeiten, die auf hydrologischen Grundlagen aufbauen und die in den letzten Jahren durch die starke Entwicklung der Computertechnik gefördert wurden. Man bezeichnet diese Verfahren gerne als mathematische Modelle, weil man mit ihnen versucht, die Vorgänge in der Natur, vom Fallen des Niederschlags über den Gebietsrückhalt des Regens, den Oberflächen- und Gerinneabfluss bis zum massgebenden Querschnitt in einem Satz von Gleichungen darzustellen.

Mit solchen Gleichungen lassen sich aber auch andere Fragen beantworten: Beispielsweise kann man Änderungen des Abflussverhaltens berechnen, wenn durch eine Bach- oder Flussverbauung Überflutungsgebiete aufgehoben werden, die vorher die Hochwasserspitzen dämpften. Auch der Einfluss von Gebietsüberbauungen, welche die Versickerung einschränken, lässt sich bestimmen.

Wo aktuelle Daten über Niederschlag, Temperaturen usw. zur Verfügung stehen, ermöglichen die mathematischen Modelle die Vorhersage des Abflusses. So werden schon seit einigen Jahren für den Rhein bei Rheinfelden im Winterhalbjahr zweimal wöchentlich Prognosen der Tagesmittel des Abflusses herausgegeben, wobei Messwerte für Niederschlag, Temperatur, Schneedecke und Abfluss sowie vorhergesagte Werte für Niederschlag und Temperatur berücksichtigt werden [1]. Bei einer Verbesserung der Wettervorhersage und einem weiteren Ausbau des mathematischen Modells scheinen Vorhersagen von stündlichen Abflusswerten auf ein bis zwei Tage und von sechsstündlichen Abflusswerten auf eine Woche hinaus ohne weiteres möglich. Für den Betrieb der Flusskraftwerke, für die Schifffahrt, für die Abschätzung der Belastbarkeit der Flüsse durch Abwasser oder Kühlwasser erweisen sich die Prognosen als sehr nützlich.

Rückblick

Obwohl schon im Altertum an Flüssen und Bächen gebaut wurde, wussten die Menschen lange Zeit nicht, woher das Wasser kommt. Sie glaubten, dass bedeutend mehr Wasser abflüsse, als in Form von Niederschlägen falle, und dachten, die Flüsse würden durch Kanäle aus dem Erdinneren

gespeist [2]. In der Mitte des 17. Jahrhunderts führte *Perrot* im Seinebecken Messungen durch, die zeigten, dass die Niederschläge tatsächlich ausreichen, um die Flüsse zu füllen. Im 19. Jahrhundert wurde damit begonnen, Abflüsse systematisch zu messen, um unter anderem die Grundlagen für die Bestimmung von Bemessungshochwassern zu schaffen.

Als schliesslich längere Messreihen verfügbar waren, kamen auch statistische Methoden zur Anwendung. Man zählte die Hochwasser, ordnete sie nach ihrer Grösse und gelangte so zu Vorstellungen über deren Häufigkeit in einem bestimmten Einzugsgebiet. Extrapolationen erlaubten dann eine Abschätzung der möglichen Extremwerte. Falls sich weder das Einzugsgebiet durch Überbauung, Aufforstung oder Erosion noch das Flussbett im Laufe der Zeit verändert, erhält man so die besten Ergebnisse.

Wo keine Abflussmessungen vorhanden waren, versuchte man, sich mit empirischen Beziehungen zwischen dem maximalen Hochwasser, der mittleren Abflussmenge oder der Form und der Grösse des Einzugsgebietes und weiteren Faktoren zu helfen. Allerdings liefern sie meist keine zuverlässigen Werte.

Im Jahre 1933 veröffentlichte *R. Horton* in Amerika eine Theorie über die Versickerung des Regens; er stellte damit einen Ansatz für die Aufteilung der Niederschläge in Oberflächenabfluss, Rückhalt und Grundwasserabfluss auf [3]. Ein Jahr zuvor stellte *Sherman* die Unit-Hydrograph-Methode vor, mit deren Hilfe der Abfluss aus dem Anteil des Regens, der nicht versickert, berechnet werden kann [4]. Diese beiden Arbeiten gaben Anlass zu weiteren Untersuchungen über die Abflussvorgänge in einem Einzugsgebiet. Im Laufe der Jahre erschienen dann auch viele entsprechende Veröffentlichungen. Eine entscheidende Verbesserung gelang aber erst, nachdem leistungsfähige Rechenautomaten verfügbar wurden. Sie ermöglichten es, die grossen Datenmengen zu verarbeiten, die erforderlich sind, um die hydrologischen Prozesse in einem Einzugsgebiet bei Hochwasser genauer zu erfassen. Mit anderen Worten: Man war nicht mehr gezwungen, viele Vereinfachungen vorzunehmen, nur um die Rechnung zu erleichtern.

Es zeigte sich aber auch, dass genauere Kenntnisse über einige wesentliche Vorgänge in den Einzugsgebieten fehlten. Insbesondere warfen die zeitliche und örtliche Verteilung des Niederschlags, die Versickerung, die Gebietsverdunstung, die Berechnung des Schmelzwassers aus der Schneedecke und anderes mehr viele neue Fragen auf.

Einige gebräuchliche Modelle

a) Berechnung des effektiven Regens

Die Berechnung des Abflusses aus dem Niederschlag erfolgt gewöhnlich in zwei Schritten. Zuerst wird der sogenannte Effektivregen berechnet als derjenige Teil des Regens, der an der Oberfläche abfließt und damit unmittelbar zum

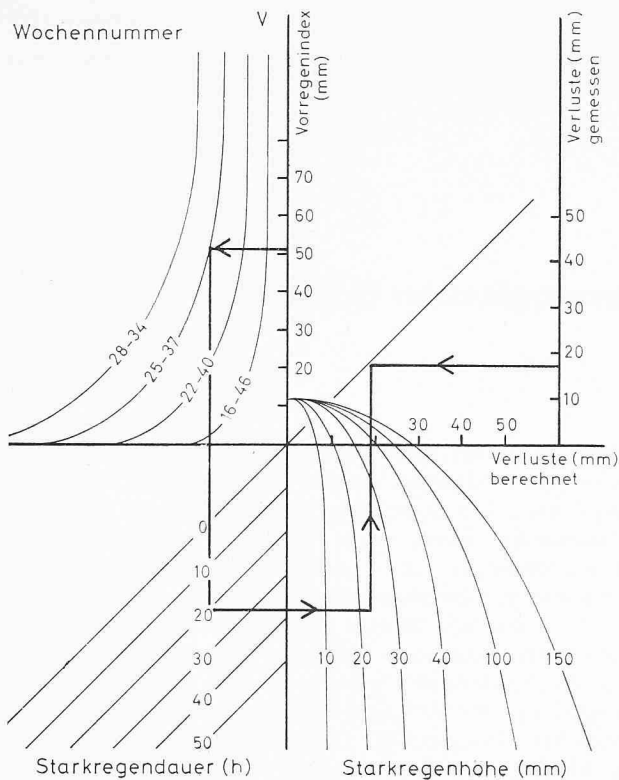


Bild 1. Berechnung des Effektivregens (gefallener Regen minus Verluste infolge Versickerung, Verdunstung usw.) mit der Starkregen-Abfluss-Beziehung in Form einer koaxialen graphischen Darstellung

Hochwasser beiträgt. Der übrige Teil des Regens versickert, wird zeitweise an der Oberfläche zurückgehalten oder verdunstet. Mit der Berechnung des Effektivregens ist also das Volumen des Hochwassers bekannt. In einem zweiten Schritt wird dann die zeitliche Verteilung des Abflusses berechnet, indem man die Fließzeit des Oberflächenabflusses bis zum betrachteten Flusspegel sowie die Retention berücksichtigt.

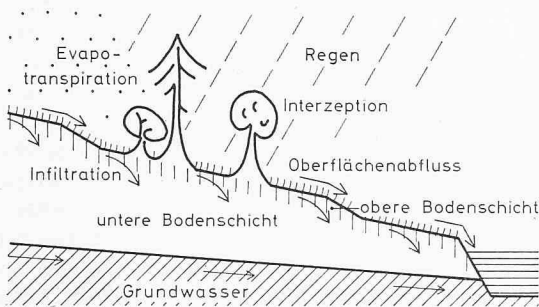


Bild 2a. Ausschnitt aus dem natürlichen Wasserkreislauf



EVP = EVAPOTRANSPIRATION

Bild 2b. Darstellung dieses Ausschnittes im Stanford Watershed Model

Ein oft verwendetes Verfahren zur Berechnung der Verluste ist die Starkregen-Abfluss-Beziehung in Form einer koaxialen graphischen Darstellung [5], die von folgenden Überlegungen ausgeht: Es hat sich gezeigt, dass für die Aufteilung des Regens in Effektivregen und Verluste neben den konstanten Gebietscharakteristiken folgende, vom einzelnen Ereignis abhängige Größen einen Einfluss haben:

- die Vorgeschichte:
fällt der Niederschlag nach einer regenarmen oder regenintensiven Zeit?
- die Jahreszeit:
fällt der Niederschlag im Sommer mit seinen hohen Verdunstungswerten, wenn die Vegetation dicht steht, oder im Herbst, wenn wenig verdunstet und wenig Wasser von der Vegetation zurückgehalten wird?
- die Dauer des Regens
- die Niederschlagsmenge.

Obwohl einige theoretische Überlegungen über die Form der einzelnen Kurven die Konstruktion einer Darstellung, wie sie Bild 1 zeigt, erleichtern, ist dieses Verfahren empirisch. Indem die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Größen und den entstehenden Verlusten in den verschiedenen Quadranten aufgetragen werden, erhält man auf einfache Weise eine Trennung der an sich abhängigen Variablen. Um die Verluste für ein Ereignis zu bestimmen, wird der sogenannte Vorregenindex – als ein Mass für die Feuchte des Bodens – berechnet. Von hier fährt man entlang der eingezeichneten Linie, bis sie die Kurve der entsprechenden Wochennummer schneidet, von da weiter bis zur Gerade der Dauer des Niederschlagsereignisses und zur Kurve der Starkregenhöhe und erhält dann auf der Abszisse die Grösse der Verluste.

Die Anpassung der Kurven an ein bestimmtes Gebiet ist einfach: Auf der Ordinate im ersten Quadranten werden die Verluste aufgetragen, die bei verschiedenen Ereignissen gemessen wurden, auf der Abszisse die für die gleichen Ereignisse aus der Darstellung herausgelesenen Werte. Die Kurven werden so lange verändert, bis die Punkte von gerechneten und gemessenen Werten möglichst nahe der 45-Grad-Geraden liegen.

Eine andere Idee liegt dem Stanford Watershed Model zugrunde, das sich stark an den natürlichen Wasserkreislauf anlehnt, wie ihn Bild 2a darstellt.

Bei jedem Regen wird zuerst eine gewisse Menge von der Vegetation zurückgehalten (Interzeption). Von dem Wasser, das den Boden erreicht, fliesst nur ein Teil oberflächlich ab, der Rest versickert ins Grundwasser oder bleibt im Boden (Infiltration). Durch die Verdunstung und die Transpiration der Vegetation (Evapotranspiration) wird der Boden wieder ausgetrocknet.

Im Modell werden diese Vorgänge durch verschiedene miteinander verbundene Speicher dargestellt (Bild 2b). Der Regen füllt zuerst den Behälter «Interzeption», der dann überfließt und die anderen Behälter zu füllen beginnt. Hat es lange nicht geregnet, so ist der Behälter «Interzeption» praktisch leer und kann verhältnismässig viel Wasser aufnehmen. War der Unterbruch nur kurz, so ist der Behälter bei Wiederbeginn noch beinahe voll und fliesst bald über. Der Zu- und Abfluss der Behälter «obere Bodenschicht», «untere Bodenschicht» und «Grundwasser» und die Bestimmung des Anteiles, der oberflächlich abfließt, ist etwas komplizierter. Halbempirische Funktionen regeln, in Abhängigkeit vom Füllungsgrad der einzelnen Behälter, die Aufteilung des Wassers.

Der Behälter «Grundwasser» entleert sich zum Teil ins Gerinne, wo er den sogenannten Basisabfluss bildet, ein

anderer Teil versickert und wird deshalb an der Pegelstation nicht erfasst. Durch den Füllungsgrad der einzelnen Behälter wird also der Zustand des Einzugsgebietes dargestellt. So erzeugt im allgemeinen ein starker Regen am Ende einer längeren Trockenzeit, wenn die Speicher im Modell fast leer sind, einen kleineren Abfluss als ein relativ unbedeutender Regen, der auf volle Speicher trifft. Daraus ergibt sich auch, dass während eines Regens, wenn die Behälter sich immer mehr füllen, ein immer grösserer Teil des Niederschlags oberflächlich abfließt. Da aber gerade diesem rasch abfließenden Anteil das Volumen des Hochwassers entspricht, ist es wichtig, im Modell die Berechnung der Verluste möglichst genau vorzunehmen. Die verschiedenen Parameter, wie die Grösse der Behälter, die Koeffizienten der Ausflussfunktionen, die Evapotranspiration, müssen deshalb möglichst gut bestimmt werden. Weil sie voneinander abhängig sind, verlangt dies eine gewisse Erfahrung und einen erheblichen Arbeitsaufwand.

Ob man für eine konkrete Aufgabe die Methode der Starkregen-Abfluss-Beziehung in Form einer coaxialen Darstellung, das Stanford-Modell oder ein anderes Verfahren verwenden soll, lässt sich nicht allgemein beantworten. Die Wahl hängt ab von den vorhandenen Daten und der erforderlichen Genauigkeit der Berechnungen.

b) Die zeitliche Verteilung des Abflusses

Nach der Berechnung der Verluste folgt als zweiter Schritt die Berechnung der zeitlichen Verteilung des Abflusses. Auch heute noch ist die schon erwähnte Unit-Hydrograph-Methode von Sherman [4] weit verbreitet. Sie geht von folgenden Annahmen aus:

In einem Einzugsgebiet erzeugt ein Effektivregen der Höhe 1 und der Dauer 1 immer den gleichen Abfluss, den Einheitsabfluss (Unit Hydrograph), unabhängig davon, was vorher, gleichzeitig oder nachher geschieht. Für Sherman ist also die Umwandlung des Niederschlags in den Abfluss eine lineare, zeitinvariante Funktion, was die Anwendung des Superpositionsprinzips erlaubt.

Mit anderen Worten:

Ein Niederschlag von der Grösse 1, der in einer Stunde fällt, erzeugt eine Abflussganglinie, die man den Unit Hydrograph nennt (Bild 3a). Fallen in einer Stunde 2 mm Regen, dann erhält man die Abflusskurve, indem man den Unit Hydrograph mit sich selbst superponiert (3b). Regnet es während 2 Stunden mit einer Intensität von 1 mm/h, dann erhält man den Abfluss, indem man den Unit Hydrograph mit dem um eine Stunde verschobenen superponiert (3c). Auf diese Weise kann man mit Hilfe des Unit Hydrograph aus einem beliebigen Regen die zugehörige Abflussganglinie zusammensetzen. Der Verlauf des Unit Hydrograph ist, wie man leicht einsehen kann, abhängig von der Form, der Neigung, der Geologie und der Grösse des Einzugsgebietes, von der Retention und dem Verhältnis von Überlandabfluss zu Gerinneabfluss. Es ist bis jetzt noch nicht möglich, den Unit Hydrograph direkt aus den Gebietseigenschaften abzuleiten, weil deren Zusammenspiel noch zu wenig erforscht ist. Darum braucht man für die Berechnung des Unit Hydrograph, wie bei den meisten anderen Abflussmodellen, sowohl Niederschlags- wie Abflussmessungen. Folgende Gleichungen stellen dann den Zusammenhang zwischen dem Niederschlag und dem Abfluss her:

$$A_1 = N_1 e_1$$

$$A_2 = N_1 e_2 + N_2 e_1$$

$$A_i = N_1 e_i + \dots + N_{i-j+1} e_j + \dots + N_{i-1} e_2 + N_i e_1,$$

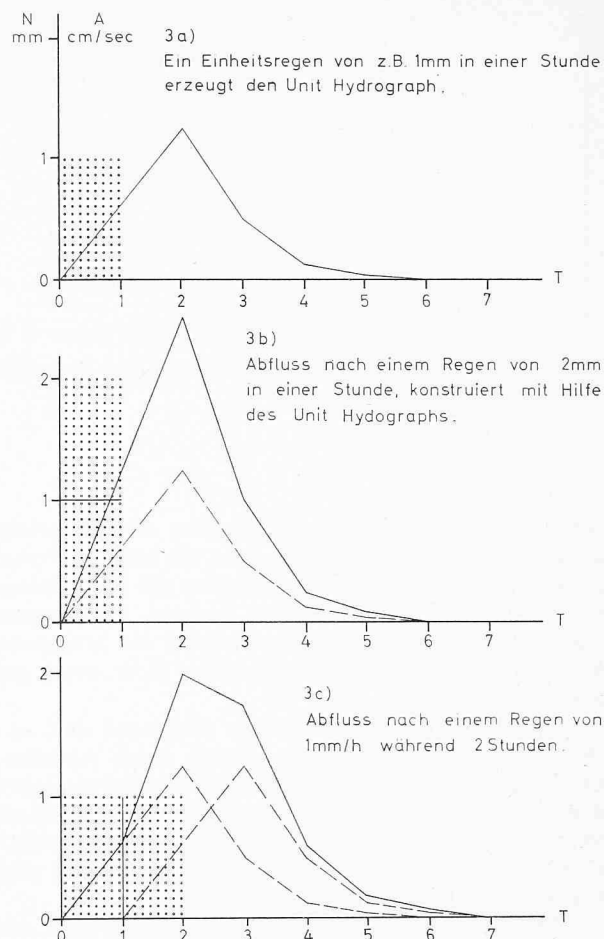


Bild 3. Berechnung der zeitlichen Verteilung des Abflusses mit dem Unit Hydrograph

wobei A_i die Abflüsse, N_i die Niederschläge zur Zeit i bedeuten und e_j den zu berechnenden Wert des Unit Hydrographen, j Zeitschritte, nachdem der entsprechende Niederschlag gefallen ist. Der Zeitschritt Δt wird in Abhängigkeit von der Grösse und Steilheit des Einzugsgebietes und der verfügbaren Daten gewählt. Für ein mässig steiles Einzugsgebiet im schweizerischen Mittelland mit einer Grösse von 100 km² ist ein Zeitschritt von einer Stunde zu empfehlen.

Für grössere j werden die Werte des Unit Hydrograph gleich Null gesetzt, so dass das Gleichungssystem überbestimmt wird. Die Auflösung erfolgt dann mittels der Methode der kleinsten Quadrate.

Da die Voraussetzungen der Unit-Hydrograph-Methode (gleichmässig verteilter Niederschlag, lineares Verhalten) immer nur näherungsweise erfüllt sind, weichen die Unit Hydrographs, die aus verschiedenen Ereignissen berechnet wurden, voneinander ab. Um diese Abweichungen auszugleichen, wird in den Modellen ein gemittelter Unit Hydrograph verwendet (siehe [7]).

Da bei der Abflussberechnung nur der an der Oberfläche abfließende Teil des Regens berücksichtigt wird, muss der Zufluss aus dem Grundwasser, der sogenannte Basisabfluss, gesondert betrachtet werden. Weil dieser Basisabfluss bei kleineren Einzugsgebieten meist klein ist im Verhältnis zu einem Hochwasser, kann die Aufteilung näherungsweise durch eine Gerade vorgenommen werden (Bild 4).

Die meisten Modelle, die heute angewendet werden, sind lineare Modelle, sie beruhen also auf den gleichen Voraussetzungen wie der Unit Hydrograph. Obwohl man zeigen kann, dass die Beziehung zwischen dem Effektivregen und dem

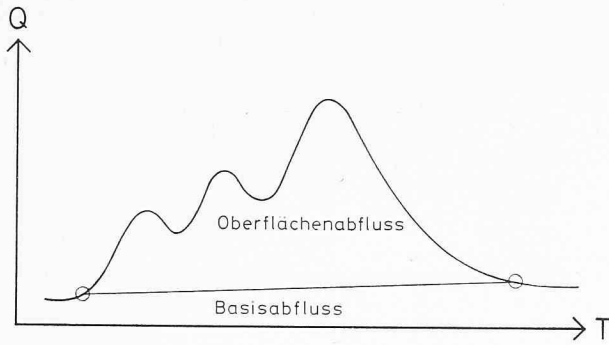


Bild 4. Aufteilen des Abflusses in Oberflächen- und Basisabfluss (Grundwasser)

Abfluss nicht linear ist, sind die aus der Linearisierung entstehenden Fehler nicht allzu gross, vor allem im Verhältnis zu den anderen Fehlerquellen, wie etwa der Bestimmung des Gebietsniederschlags aus einigen wenigen Punktmessungen oder der Berechnung des Effektivregens mit Modellvorstellungen, die den Vorgängen in der Natur nicht immer gerecht werden.

Sofern mehrere Regenschreiber vorhanden sind, ist eine Verbesserung der Genauigkeit möglich durch Aufteilen des Einzugsgebietes. Für jedes Teilgebiet wird dann gesondert der Abfluss berechnet. Auf diese Weise müssen die Modellparameter nicht als weiträumige Durchschnittswerte bestimmt und eingeführt werden; zudem lassen sich örtliche und zeitliche Unterschiede des Regens berücksichtigen.

Die Abflüsse aus den Teilgebieten müssen dann entlang dem Hauptgerinne zum Messquerschnitt transformiert werden, dafür sind schon zahlreiche Verfahren vorgeschlagen worden [8]. Grundsätzlich ist zu sagen, dass es nicht nötig ist, die den instationären Abfluss vollständig beschreibenden St. Venantschen Differentialgleichungen zu lösen. Schon einfache Modelle, die den Fluss durch eine Kaskade von linearen Speichern approximieren, ergeben erstaunlich gute Resultate, falls genügend Daten vorhanden sind, um die Parameter zu eichen (bei einem linearen Speicher ist der Ausfluss Q_a proportional dem augenblicklichen Speichervolumen V , so dass gilt $Q_a = k V$).

Es gibt auch Modelle, mit deren Hilfe der Abfluss infolge Schneeschmelze berechnet werden kann. Dazu benutzt man meist Mittelwerte des Raumgewichts der Schneedecke und der Schneehöhe sowie die Lufttemperatur. Der aus diesen Werten berechnete Schmelzwasserabfluss wird dann mit dem Unit-Hydrograph-Verfahren in den Abfluss umgewandelt. Da nur selten genügend Messungen des Raumgewichts und der Schneehöhe zur Verfügung stehen, muss man sich oft mit vielen Annahmen behelfen. Das mit dem Abschmelzen der Schneedecke sich ständig ändernde Retentionsvermögen des Gebietes kann dabei nur indirekt berücksichtigt werden.

Die Einsatzmöglichkeiten der Niederschlags-Abfluss-Modelle

Diese Modelle lassen sich für die verschiedensten Zwecke verwenden. Im folgenden werden einige Anwendungsmöglichkeiten beschrieben.

Wenn an einem Fluss ein Bauwerk errichtet werden soll, dessen Abmessungen von der Grösse des Hochwassers einer bestimmten Jährlichkeit abhängen (Bemessungshochwasser), so wird die Frage nach dieser Grösse bedeutungsvoll. Sie kann befriedigend beantwortet werden, falls langjährige Abflussmessungen zur Verfügung stehen. Trifft dies jedoch nicht zu, kann man mit Niederschlags-Abfluss-Modellen zu

brauchbaren Aussagen kommen. Dazu müssen anhand sorgfältiger Niederschlags- und Abflussmessungen während weniger Jahre zuerst die Parameter des Modells bestimmt werden. Das gesuchte Hochwasser kann dann entweder mit Hilfe eines Bemessungsregens [9] oder mittels künstlich erzeugter Niederschlagsreihen bestimmt werden.

Die Verwendung von Bemessungsregen setzt voraus, dass langjährige Niederschlagsmessungen ausgewertet werden, um zu Aussagen über die Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen einer bestimmten Dauer zu gelangen. Während in der Schweiz bis jetzt diese Untersuchungen nur für Starkregen bis zu einer Dauer von 1 Stunde durchgeführt wurden [10], sind in den Vereinigten Staaten Kartenwerke verfügbar, aus denen beispielsweise die Grösse der 100jährigen sechsstündigen Regen entnommen werden kann [11]. Diese statistischen Untersuchungen liefern den Starkregen der gewünschten Jährlichkeit und Dauer, der in das Modell eingeführt wird.

Als Ergebnis der Modellrechnung erhält man ein Hochwasser, dessen Jährlichkeit allerdings nicht genau bekannt ist, denn, wie schon im Kapitel über die Berechnung des Effektivregens gezeigt wurde, ist die Grösse eines Hochwassers nicht nur vom Niederschlag allein abhängig, sondern auch vom Zustand des Einzugsgebietes bei Beginn des Regens, der aber nicht bekannt ist, wenn man nur mit einem isolierten Ereignis, dem Bemessungsregen, rechnet.

Dieser Nachteil wird bei der Verwendung von kontinuierlichen, künstlich erzeugten Niederschlagsreihen umgangen [12]. Mit diesen Reihen, die mit Hilfe von Zufallszahlen in beliebiger Länge erzeugt werden können, so dass sie die gleichen statistischen Parameter aufweisen wie die kurzfristig gemessenen, wird das Modell berechnet. Aus der so erhaltenen kontinuierlichen Abflusskurve kann dann das Hochwasser einer bestimmten Jährlichkeit ermittelt werden. Dieses Verfahren wird auch für die Optimierung der Speicherbewirtschaftung verwendet, wo nicht die Spitze des Hochwassers wichtig ist, sondern vor allem das Volumen und der zeitliche Ablauf.

Eine andere Anwendungsmöglichkeit ist die Abschätzung der Abflussverschärfung durch eine Bachverbauung. Nach der Verbauung kann der Bach nicht mehr über die Ufer treten, dadurch verkleinert sich sein Retentionsvermögen, die Hochwasserspitze wird grösser bei steilerem Ansteigen und Abklingen. Dieser Vorgang kann an einem Modell untersucht werden, in dem das ursprüngliche Gerinne durch eine Kette von neben- und hintereinanderliegenden Speichern dargestellt wird [13]. Durch die Veränderung der Kennwerte der einzelnen Speicher entsprechend der Geometrie des neuen Gerinnes kann das Abflussverhalten des verbauten Baches abgeschätzt werden.

Ähnliche Auswirkungen wie solche Verbauungen haben gewisse Veränderungen im Einzugsgebiet wie z.B. grössere Überbauungen oder der Bau von Autobahnen. Auch hier ist es möglich, die Änderungen im Abflussverhalten des Gebietes auf Grund von Modellrechnungen abzuschätzen [6].

Ein Anwendungsbereich, der immer wichtiger wird, ist die Verwendung von Niederschlags-Abflussmodellen für Abflussprognosen. So werden heute diese Modelle eingesetzt, um bessere Hochwasserwarnungen herauszugeben [14], um den Fluss möglichst günstig zu regulieren [15], um in Trockenzeiten, zur Zeit der Schneeschmelze oder auch kontinuierlich den Abfluss vorherzusagen [1]. Die Modelle lassen sich gut an die unterschiedlichen Grössen der Einzugsgebiete anpassen. Eine wichtige Voraussetzung dabei ist die rasche Übermittlung der notwendigen Daten, entweder über Telefonleitungen oder über Funk, so dass die Zeitspanne zwischen der Prognoseausgabe und dem Ereignis möglichst gross wird.

Zusammenfassung

Die Hydrologie erhielt in den letzten 10 Jahren durch die Entwicklung der Niederschlags-Abflussmodelle viele neue Impulse. So können heute einige wesentliche Zusammenhänge besser überblickt und reproduziert werden. In zahlreichen Ländern werden Niederschlags-Abflussmodelle eingesetzt, um routinemässig Abflussprognosen und insbesondere Hochwasserwarnungen herauszugeben, vor allem in den Vereinigten Staaten, in Russland und in Japan. Aber auch in Deutschland, Frankreich und England arbeiten bekannte hydrologische Institute an einer Anpassung und Verfeinerung verschiedener Modelle. Da in der Schweiz ein verhältnismässig dichtes Netz von langjährig betriebenen Abflussmessstationen vorhanden ist, das zumeist die Bestimmung der Bemessungshochwasser mit einiger Genauigkeit erlaubt, und es hier keine katastrophalen Trockenzeiten oder Überschwemmungen gibt, wurden diese Verfahren bisher wenig angewandt. Aber bei der Lösung der Probleme, die durch den ständig steigenden Bedarf an Trink- und Brauchwasser, die zunehmende Belastung unserer Flüsse durch Abwasser und Kühlwasser und die zunehmende Überbauung unseres Landes verursacht werden, können diese mathematischen Modelle sinnvoll eingesetzt werden.

Literatur

- [1] F. Lugiez, P. Kasser, H. Jensen, P. Guillot: La prévision des débits du Rhin. «Bulletin of the IASH», XIV, 1 (1969), S. 91–116.
- [2] R. K. Linsley: The relation between rainfall and runoff. «Journal of Hydrology», 5 (1967), S. 297–311.
- [3] R. E. Horton: The role of infiltration in the hydrologic cycle. «Transactions, American Geophysical Union» (1933), S. 446–460.
- [4] L. K. Sherman: Streamflow from rainfall by the unit-graph method. «Engineering News Record», 108 (1932), S. 501–505.
- [5] A. Becker: Starkregen-Abfluss-Beziehung in Form einer koaxialen graphischen Darstellung. «Wasserwirtschaft-Wassertechnik», 4 (1964), S. 120–125.
- [6] N. H. Crawford, R. K. Linsley: Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV. Stanford University, Dep. of Civil Engineering, Technical Report No. 39 (1966).
- [7] G. Koehler: Ermittlung massgebender Abflussdaten für kleinere Vorfluter mit Hilfe kurzzeitiger Naturmessungen. Mitteilung Nr. 23/1971 aus dem Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der TU Hannover.
- [8] M. Spreafico: Anwendung von hydrologischen Verfahren zur Berechnung des Ablaufs von Hochwasserereignissen in der Thur. Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft ETHZ, (1972).
- [9] W. Gessner: Anwendung des Unit Hydrograph-Verfahrens für Hochwasserberechnungen bei dem Talsperrenobjekt Stausee am Erzberg. «Die Wasserwirtschaft», 3 (1971), S. 77–85.
- [10] A. Hörler, H. R. Rhein: Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz. «Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie», Nr. XXIV (1962), S. 291–352.
- [11] D. M. Hershfield: Rainfall Frequency Atlas of the United States, for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 years. U. S. Weather Bur. Tech. Rept. 40 (1961).
- [12] L. A. Hiemstra, R. C. Creese: Synthetic Generation of Seasonal Precipitation. «Journal of Hydrology», 11 (1970), S. 30–46.
- [13] A. Becker, E. Glos: Stufenmodell zur Hochwasserwellenberechnung in ausufernden Wasserläufen. «Wasserwirtschaft-Wassertechnik», 1 (1970), S. 10–14.
- [14] A. Becker, E. Glos: Flussgebietsmodell zur Hochwasservorhersage für das Bodegebiet. «Wasserwirtschaft-Wassertechnik», 4 (1971), S. 133–140.
- [15] Water Management of the Yodo River. Broschüre des Operation Control Office for the Yodo River Dams und des Kinki Regional Construction Bureau, Ministry of Construction, Japan.

Adresse des Verfassers: Felix Naef, dipl. Bauing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH, Gloriastrasse 37/39, 8006 Zürich.

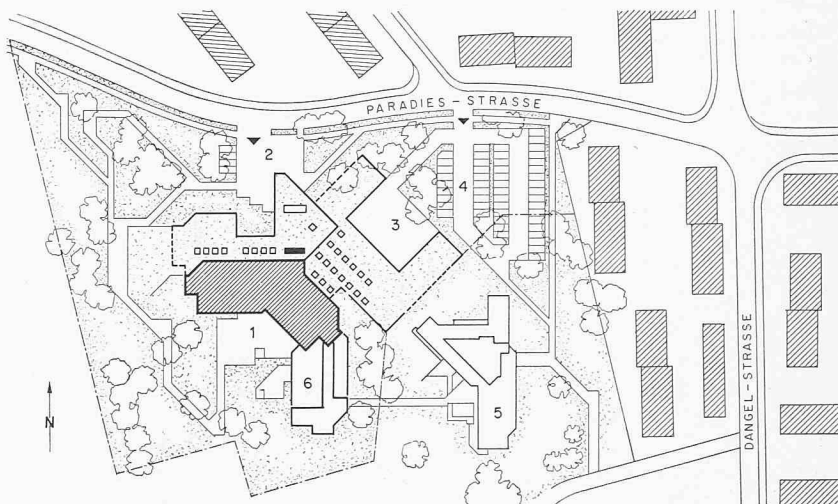
Das Krankenhaus Entlisberg mit Personalhaus in Zürich-Wollishofen

Architekten: Hertig, Hertig und Schoch, Zürich

DK 725.51

Mitte Januar sind die ersten 12 Patienten im nunmehr fünften Krankenhaus der Stadt Zürich in Pflege genommen worden. Je nach Möglichkeit, Pflegepersonal zu finden (!), werden weitere Krankenzimmer und Abteilungen schrittweise in Betrieb genommen. In den Zürcher Krankenhäusern werden Chronischkranke gepflegt und betreut, die das Akutspital nicht oder nicht mehr nötig haben, da ihr Leiden abgeklärt ist, keine aufwendige Behandlung mehr braucht, aber doch ein selbständiges Leben im Altersheim oder in einer eigenen Wohnung nicht mehr ermöglicht. Das Krankenhaus muss so

weit spitalmässig eingerichtet sein, dass auch schwer pflegebedürftige Kranke langfristig gut gepflegt werden können. Es muss andererseits wohnlich sein, um dem Kranken, eventuell auf Jahre hinaus, das eigene Heim zu ersetzen und ihm ein sinnvolles Leben zu erlauben, soweit das möglich ist. Beim Stadtärztlichen Dienst, der eine Beratungs- und Bettenvermittlungsstelle für Chronischkranke unterhält, liegen zurzeit über 2500 Anmeldungen vor. Während die Spitäler für die Akutpatienten ausreichen, ist der Bau von mindestens vier weiteren Chronischkrankenhäusern notwendig und teils in die



Situation 1:500. 1 Krankenhaus, 2 Hauptzugang mit Vorfahrt, 3 Wirtschaftshof, 4 Parkplätze, 5 Personalhaus, 6 Personal, Kinderkrippe und Therapie