Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 98 (1980)
Heft: 14

Artikel: Die Verlandung von Flussstauhaltungen
Autor: Vischer, Daniel
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74087

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: 07.01.2026

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

Die Verlandung von Flussstauhaltungen

Von Daniel Vischer, Zürich

In aufgestauten Flüssen bilden sich in kurzer Zeit und zunehmend Schlamm-, Sand- und Kiesbänke. Dieser Prozess wird als Verlandung bezeichnet und beschäftigt sowohl den Flussbauer wie den Landschaftsplaner und Umweltschützer. Zu Handen der beiden letztgenannten wird hier in wenigen Sätzen erklärt, weshalb die Verlandung einsetzt, welches Ausmass sie annimmt und wie sie allenfalls verlangsamt oder gar verhindert werden kann.

Was bestimmt einen Flusslauf?

Flussläufe gleichen oder unterscheiden sich. Die *Form ihres Bettes und ihrer Wasserfläche* weist bestimmte Merkmale auf. Welches sind die wesentlichsten Einflussgrössen?

Betrachtet man einen Fluss an einer einzelnen Stelle, so sind diese Einflussgrössen

- das Dargebot des Einzugsgebietes an Wasser (Abfluss) und an Feststoffen (Geschiebe, Schweb),
- die lokalen Gegebenheiten hinsichtlich Gefälle und Bettbeschaffenheit (Fels, Lockergestein).

Was sind die massgebenden Feststoffe?

Mit dem Wasser werden *Geschiebe, Schweb und Geschwemmsel* transportiert. Massgebend für die Form des Flussbettes sind im allgemeinen das Geschiebe und der Schweb. Bei schweizerischen Flüssen ist es sogar fast ausschliesslich das Geschiebe.

Das *Geschiebe* stammt im wesentlichen aus dem Flussbett selbst, wo es durch Sohlen- oder Ufererosion herausgelöst wird. Der Nachschub erfolgt von der oberliegenden Flussstrecke her oder durch seitlichen Eintrag (Murgänge, Hangrutsche, Bergstürze, Deponien usw.). Das Geschiebe wird im Flussbett – wie es sein Name andeutet – geschoben und gleitet, rollt oder springt längs der Sohle. Der *Schweb* stammt zum kleineren Teil vom Geschiebe, das bei seinem Transport abgeschliffen und zertrümmert wird (Geschiebeabrieb). Zum grösseren Teil stammt er von der Flächenerosion im Einzugsgebiet. Er ist als Suspension im Wasser verteilt und wird – wie es sein Name sagt – schwebend transportiert. Die *Grenze zwischen Geschiebe und Schweb* lässt sich nicht fest angeben. Als Richtwert kann ein Grenzkorn von 1 mm Durchmesser gelten. *Mengenmässig* überwiegt der Schweb bei weitem.

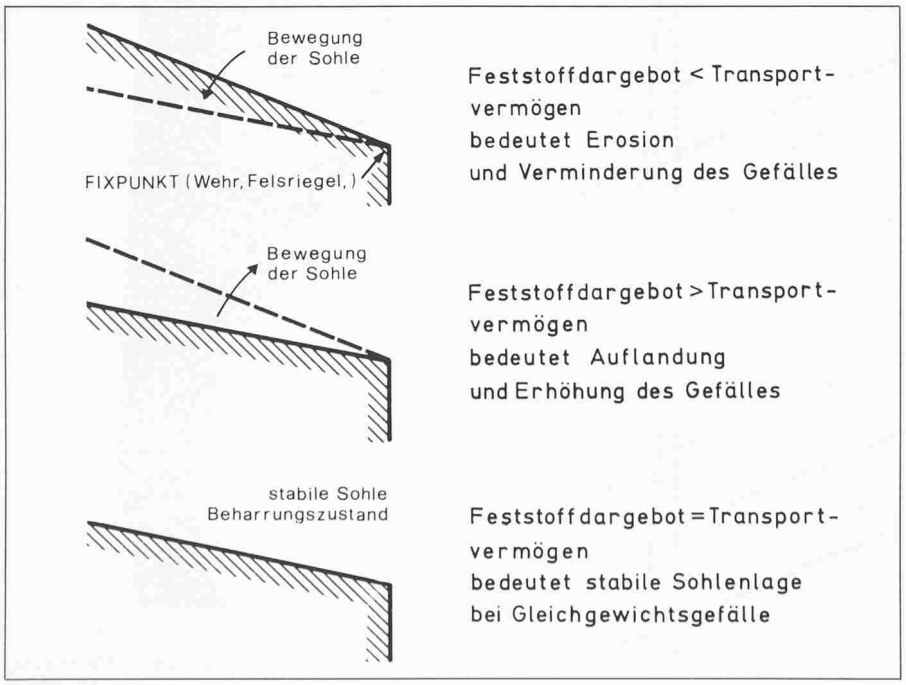

Bild 1. Drei schematische Längsschnitte eines Flusslaufs. Entwicklung des Sohlengefälles bei Erosion (oben) und bei Auflandung (Mitte). Beharrungszustand zwischen Feststoffdargebot und Transportvermögen (unten)

Gibt es einen Beharrungszustand?

Wenn die im ersten Abschnitt genannten Einflussgrössen über einige Jahrzehnte annähernd konstant bleiben (etwa hinsichtlich der Jahresmittel), so strebt ein Flusslauf einem *Beharrungszustand* zu (sogenanntes natürliches Gleichgewicht). Über viele Jahrzehnte hinweg ist eine solche Konstanz aber nicht gegeben. Denn das Dargebot des Einzugsgebietes ändert sich mit dem Klima, dem fortschreitenden Abtrag, der Besiedlung usw. Ferner wandeln sich die lokalen Gegebenheiten (beispielsweise durch Erosion eines Felsriegels usw.). *Fazit*: Über ein oder zwei Jahrzehnte gesehen kann ein Flusslauf einen *Beharrungszustand* einnehmen. Über eine längere Zeit gesehen unterliegt er aber der *Veränderung*. Diese kann stetig erfolgen oder plötzlich (als Katastrophe).

Welchem Gleichgewicht entspricht der Beharrungszustand?

Der Beharrungszustand eines Flusslaufs ist durch das *Gleichgewicht zwischen dem Dargebot an Feststoffen und dem Transportvermögen* des Wassers gekennzeichnet. Dieses Transportvermögen hängt ab

- beim Geschiebe von der Wassertiefe und dem Fliessgefälle,
- beim Schweb von der Turbulenz und damit im wesentlichen von der Fliessgeschwindigkeit.

Dem Beharrungszustand entsprechen also ganz bestimmte Werte der Wassertiefe, des Spiegelgefälles und der Fliessgeschwindigkeit. Deshalb ist es üblich, unter anderem von einem *Gleichgewichtsgefälle* zu sprechen.

Ist nun ein Flusslauf nicht im Beharrungszustand, so heisst das, dass sein Fliessgefälle nicht dem Gleichgewichtsgefälle entspricht. Überwiegt beispielsweise das Transportvermögen gegenüber dem Dargebot an Feststoffen, so ist das Fliessgefälle grösser als das Gleichgewichtsgefälle. Der Fluss wird folglich das fehlende Material seinem Bett entnehmen und erodieren, bis sich das Gleichgewichtsgefälle einstellt. Ist dagegen das Transportvermögen zu gering, um mit dem Dargebot an Feststoffen fertig zu werden, so ist das Fliessgefälle kleiner als das Gleichgewichtsgefälle. Der Fluss wird daher das überschüssige Material ablagern, bis das Gleichgewichtsgefälle erreicht wird.

Aus diesem in Bild 1 verdeutlichten Zusammenhang wird klar, weshalb ein Flusslauf bei annähernd gleichbleibenden Gegebenheiten immer einem Beharrungszustand zustrebt.

Menschliche Eingriffe in das Gleichgewicht

Viele unberührte oder geschickt korrigierte Flüsse sind (im Sinne der vorangehenden Abschnitte) im Beharrungszustand. Auch besteht ihr Bett meist aus demselben Material, das sie transportieren. *Menschliche Eingriffe*, die nicht auf die Erhaltung dieses Beharrungszustandes ausgerichtet sind, bedeuten deshalb eine Störung des Gleichgewichts. Je nachdem wird das Feststoffdargebot oder das Transportvermögen geändert.

Beispiele für die Veränderung des Transportvermögens:

- Grosse Wasserentnahme für Nutzungszwecke vermindern den Abfluss und damit das Transportvermögen; sie verursachen deshalb Auflandungen.
- Ein Aufstau verringert das Fliessgefälle und folglich das Transportvermögen; im Stauraum kommt es daher zu Ablagerungen.

Beispiele für die Veränderung des Feststoffdargebotes:

- Geschiebeentnahmen (etwa zuhanden der Bauindustrie) vermindern das Feststoffdargebot und leiten daher eine Erosion ein.
- Ein Aufstau verursacht Ablagerungen. Die abgelagerten Feststoffe fehlen stromabwärts des Stauwehrs, so dass dort das Feststoffdargebot verringert wird; die Folge ist eine Erosion.
- Die Übergabe von Schutt und Aushub an den Fluss erhöht das Feststoffdargebot und führt zu Auflandungen.

Solche menschlichen Eingriffe bewirken also eine *Reaktion des Flusses:* Dieser verändert sich – vorausgesetzt, dass man ihn gewähren lässt – solange, bis sich zwischen dem Feststoffdargebot und dem Transportvermögen ein neues Gleichgewicht einstellt und damit ein neuer Beharrungszustand des Flusslaufes. Diese Reaktion könnte man als Wiederherstellung bzw. als *Restauration eines gestörten Gleichgewichtes* bezeichnen.

Die Verlandung von Flussstauhaltungen als Restaurationsprozess

Es wurde bereits erwähnt, dass der Aufstau eines Flusses dessen Fliessgefälle verringert und damit dessen Transportvermögen. Bei gleichbleibendem Feststoffdargebot ergibt sich in der Stauhaltung folglich ein Feststoffüberschuss, der sich ablagert. Dies bewirkt, dass der Stauraum verkleinert wird, was man als

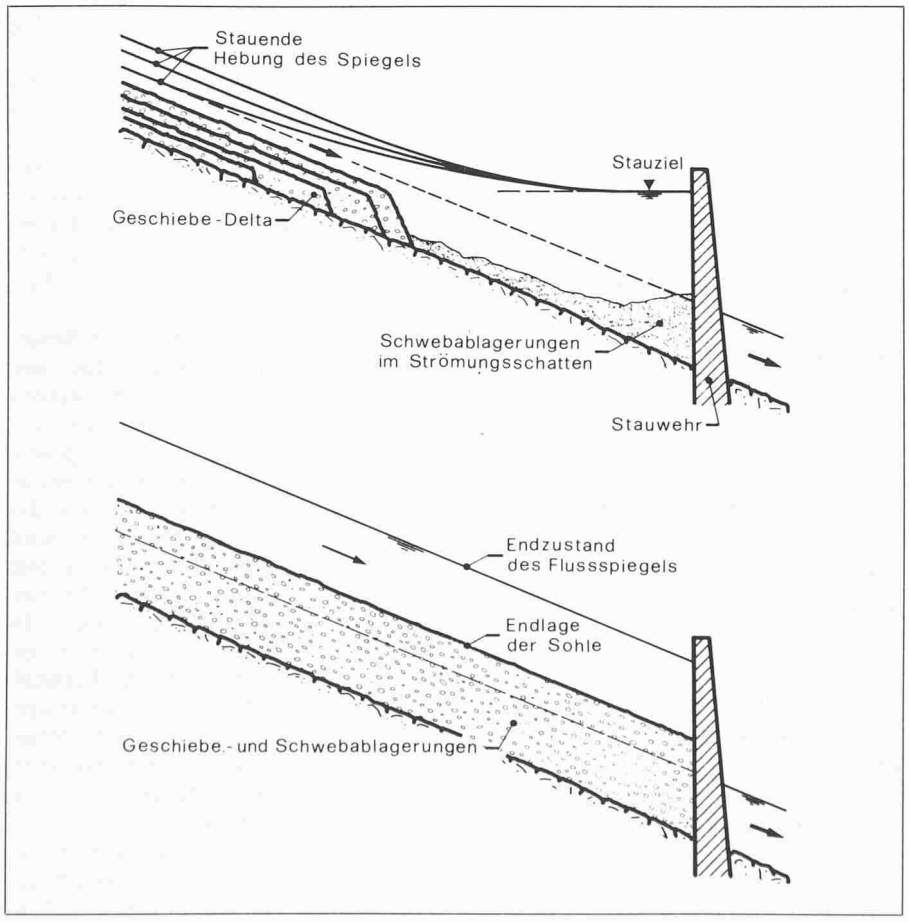

Bild 2 Zwei schematische Längsschnitte einer Flussstauhaltung. Entwicklung der Verlandung (oben) und deren Endzustand (unten), falls keine Gegenmassnahmen ergriffen werden

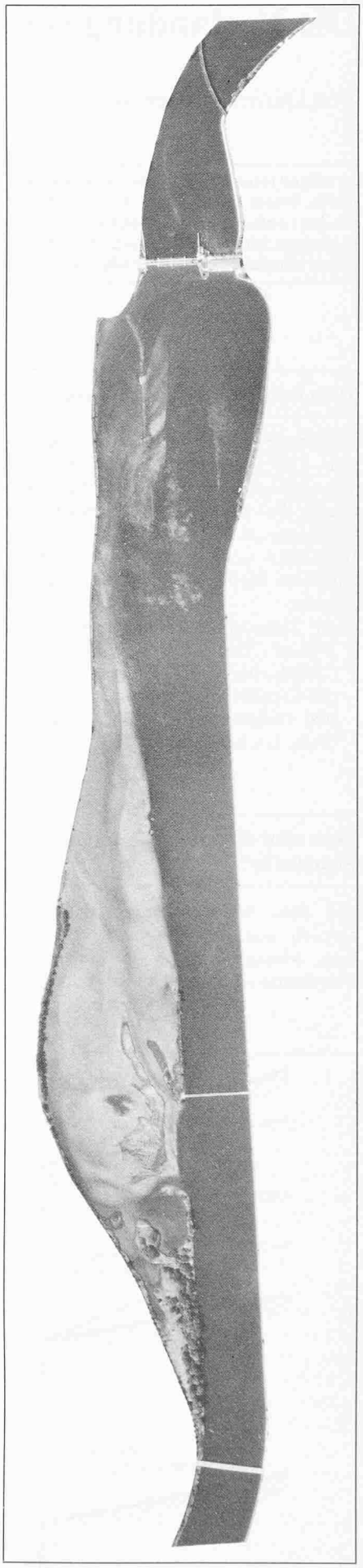

Bild 3. Aarestauhaltung Klingnau. Fliessrichtung von unten nach oben. Die fortschreitende Verlandung bewirkt, dass der Aarelauf annähernd wieder seine frühere Form erhält (Restaurationsprozess). (Aufnahme Eidg. Landestopographie 1976)

Bild 4. Reussstauhaltung Bremgarten-Zufikon. Flachsee Unterlunkhofen mit künstlich geschaffenen Inseln. Fliessrichtung der Reuss von rechts nach links. (Aufnahme Comet)

Verlandung bezeichnet. Wie entwickelt sich eine solche Verlandung? Das *anfallende Geschiebe* lagert sich praktisch vollständig ab und zwar dort, wo das Transportvermögen nachlässt. Zu Beginn des Verlandungsprozesses geschieht dies am Stauende, wo eine Deltabildung einsetzt. Dieses Delta (Bild 2 oben) verringert naturgemäss den Abflussquerschnitt und erhöht damit die Fliessgeschwindigkeit und das Fliessgefälle und daher auch das Transportvermögen. Flussaufwärts der Kante der Deltaböschung lagert sich dann nur wenig Geschiebe ab, flussabwärts dagegen fast alles, und zwar längs der Deltaböschung. Das Delta wächst folglich flussabwärts und dringt vom Stauende allmählich in die Stauhaltung ein.

Der *anfallende Schweb* verhält sich anders als das Geschiebe. Bei nachlassendem Transportvermögen beginnen die gröberen Geschiebekörner abzusinken. Dies geschieht zuerst in der Gegend des Stauendes und dann – mit vorrückendem Delta – weiter in der Stauhaltung drin (Bild 2 oben). Während des Absenkens werden diese Körner jedoch weiter transportiert, so dass sie sich nicht beim Delta absetzen, sondern stromabwärts verfrachtet werden. Der weitaus überwiegende Teil des Schwebs erreicht auf diese Weise das Stauwehr und wird dort an das Unterwasser weitergegeben (wo das Transportvermögen ja ungebrochen ist und für die Weiterbeförderung ausreicht). Nur ein sehr geringer Teil setzt sich in der Stauhaltung ab, und zwar vornehmlich in strömungsarmen Buchten und an Kurveninnenseiten. Dieser Teil trägt aber – genau wie das Geschiebe – dazu bei, dass der Abflussquerschnitt in der Stauhaltung verringert und die Fliessgeschwindigkeit sowie das Fliessgefälle erhöht werden. Er verstärkt damit also ebenfalls das Transportvermögen.

Dieser Verlandungsprozess dauert, sofern man den Fluss sich selbst überlässt, solange an, bis das Transportvermögen wieder mit dem Feststoffdargebot übereinstimmt (Bild 3). In letzter Konsequenz bedeutet das, dass der Flusslauf annähernd wieder seine *frühere Form* annimmt, aber mit einer um die Stauhöhe *höheren Sohle*. Die Verlandung einer Flussstauhaltung kann in diesem Sinne als *Restaurationsprozess* aufgefasst werden.

Die *Hebung der Sohle* und damit verbunden des Flussspiegels ist jedoch nicht problemlos: Die Gefahr, dass der Fluss bei Hochwasser ausufert und überschwemmt, wird dadurch wesentlich grösser. Um sich dagegen zu schützen, kann der Mensch entweder die Ufer durch Längsdämme erhöhen oder den Restaurationsprozess aufhalten.

Massnahmen gegen die Verlandung

Die Verlandung einer Flussstauhaltung lässt sich offensichtlich nur aufhalten, wenn

- das Feststoffdargebot verringert wird,
- die Auflandungen beseitigt werden,
- das Transportvermögen erhöht wird.

Praktisch kann das Feststoffdargebot nur durch *Feststoffentnahmen aus dem Flussbett* stromaufwärts der Stauhaltung vermindert werden. Die Möglichkeit, das Geschiebe und den Schweb durch Verbauungen und Bepflanzungen gleichsam am Ort der Entstehung – also im gesamten Einzugsgebiet – teilweise festzuhalten und damit zu verringern, fällt aus Kostengründen ausser Betracht (es sei denn, diese Massnahmen dienten noch anderen Zwecken, wie der Landschaftserhaltung usw.). Die Beseitigung der Auflandungen bedingt *Feststoffentnahmen aus der Stauhaltung*. Solche Entnahmen können mit Baggern vom Ufer oder von Schiffen aus erfolgen. Sofern das Baggergut aus Kies besteht, kann es als Strassenkoffer oder (vom Treibholz gereinigt) als Betonzuschlagstoff verwendet werden. Enthält es dagegen grosse Mengen an Schweb und damit an Schlamm, so stel-

len sich unangenehme Deponierprobleme. Die Erhöhung des Transportvermögens lässt sich bewerkstelligen, indem der *Stau zu gewissen Zeiten abgesenkt* wird. Entweder geschieht dies dann, wenn der Abfluss ein gewisses Mass überschreitet, also beispielsweise bei Hochwasser, wo das Feststoffdargebot besonders gross ist, oder dann, wenn die Verlandung prohibitiv wird. Das letzte läuft auf eine Spülung der Stauhaltung hinaus, die naturgemäss stromabwärts zu massiven Feststoffschüben und damit zu Problemen führt (Fischerei usw.). Die Erhöhung des Transportvermögens durch Absenkung des Staus läuft also auf eine *vorübergehende Herstellung des Zustandes vor dem Aufstau* hinaus. Sie ist dementsprechend nur wirksam, wenn die Absenkung über längere Zeit vorgenommen wird (Tage, Wochen pro Jahr).

Fazit: Es gibt Massnahmen, die geeignet sind, die Verlandung einer Flussstauhaltung zu hemmen. Sie sind jedoch entweder kostspielig oder hinsichtlich ihrer Umwelteinflüsse problematisch. Am ehesten kann eine systematische Absenkung des Staus bei Hochwasser empfohlen werden.

Die Erforschung des Verlandungsprozesses in der Reussstauhaltung Bremgarten-Zufikon

In der Schweiz gibt es längs den *Mittellandflüssen* zahlreiche Stauhaltungen, die der Kraftnutzung dienen. Die älteren unter ihnen zeigen bereits starke Verlandungserscheinungen, was zu verschiedenen Schwierigkeiten führt. Es ist deshalb angezeigt, dem Verlandungsproblem auch in der Schweiz vermehrt Beachtung zu schenken (im Ausland, wo zum Teil umfangreichere Verlandungsprozesse im Gang sind, geschieht dies schon seit längerer Zeit).

Als *Testbeispiel* hierfür bietet sich die Reussstauhaltung Bremgarten-Zufikon an, weil sie erst kürzlich verwirklicht worden ist, so dass der Verlandungsprozess dort von Anfang an verfolgt werden kann. Ferner zeichnet sich diese Stauhaltung dadurch aus, dass der Stauspiegel bei der Staustelle konstant gehalten wird, was klare Randbedingungen schafft. Im Rahmen der Reusstalforschung nimmt sich deshalb die *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie* an der ETHZ dieses Testbeispiels an. Ziel des entsprechenden *Forschungsprojektes* ist es – über mehrere Jahre – den Verlandungsprozess zu messen und dann ein mathematisches Modell zu entwickeln, das eine Prognose der weiteren Verlandung ermöglicht. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei der zu Naturschutzzwecken geschaffenen Bucht – dem sogenannten *Flachsee Unterlunkhofen* – geschenkt (Bild 4), da deren Bestand durch Schwebablagerungen gefährdet erscheint.

Die Messungen sind seit 1977 in Gang und erlauben hinsichtlich des Schwebdargebots bereits gewisse Schlüsse. Für die angestrebte Ausarbeitung eines mathematischen Modells und einer Prognose für die weitere Entwicklung genügen sie aber noch nicht. Um zu greifbaren und auch für andere Flussstauhaltungen verwendbaren Ergebnissen zu gelangen, bedarf es noch einiger Jahre an zielbewusster und harter Arbeit.

Adresse des Verfassers: Prof. *Dr. D. Vischer*, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 8092 Zürich

Auswirkungen der Kanäle auf den Bodenwasserhaushalt der umliegenden Landwirtschafts- und Naturschutzgebiete

Von Markus Bührer, Zürich

Im Rahmen der Reusstalmelioration wird auch das ganze Vorflutsystem umgestellt und neu gebaut. Dabei fordert einerseits die Landwirtschaft eine möglichst weitgehende Absenkung des Grundwasserspiegels durch die neuen Kanäle. Andererseits verlangen die Vertreter des Naturschutzes, dass die schützenswerten Nassstandorte nicht entwässert werden.

Wegen des sehr komplexen Bodenaufbaus ist eine Voraussage der Wirkung der neuen Wasserbauten äusserst schwierig. Deshalb entschloss man sich am Institut für Kulturtechnik, die Frage nach der Veränderung des Bodenwasserhaushalts und deren Ursachen genauer zu untersuchen.

Ziel und Methodik

Mit der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Grundlagen für die Voraussage der *Auswirkungen von Vorflutkanälen auf den Bodenwasserhaushalt zu verbessern*, indem die tatsächlichen Veränderungen des Bodenwasserhaushalts infolge von Kanalbauten untersucht werden. Speziell soll festgestellt werden, inwieweit die Entwässerungswirkung einzelner Kanäle von der *Tiefenlage ihrer Sohle* und vom *Bodenaufbau* abhängig ist.

Folgende Aspekte werden dabei im Auge behalten:

- Mit Hilfe von Beobachtungen an ausgeführten Projekten soll geprüft werden, wie gut das Projekt mit den tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmt. Dazu gehört auch, dass mögliche Verbesserungsvorschläge in bezug auf die Projektierungsgrundlagen, im speziellen auf die Voruntersuchungen, erarbeitet werden.
- Die *Zusammenhänge* und der *gegenseitige Einfluss* von *Niederschlag, Reusswasserstand, Kanalwasserstand* und *Grundwasserstand* sollen, soweit möglich, abgeklärt werden. Darüber hinaus soll untersucht werden, inwieweit diese Faktoren die *Bodenfeuchtigkeit im Wurzelraum* beeinflussen und damit über das pflanzenverfügbare Wasser auf den Pflanzenertrag einwirken. Dazu gehört auch die Frage nach dem *optimalen Flurabstand*.
- *Für die Naturschutzgebiete (NSG), insbesondere für die Nassstandorte*, werden schliesslich Lösungen für ihren in *hydrologischer* Hinsicht bestmöglichen Schutz gesucht. Dabei sollen, neben der Ausnutzung der naturgegebenen Möglichkeiten auch *bauliche Lösungen* untersucht werden.

Um die gesteckten Ziele zu erreichen, werden neben theoretischen Abklärungen und Überlegungen vor allem zwei