

DISS. ETH Nr. 10293

**DIE KOLMATION VON FLIESSGEWÄSSERSOHLLEN:
PROZESSE UND BERECHNUNGSGRUNDLAGEN**

Abhandlung
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Ulrich Schälchli

dipl. Kulturing. ETHZ
geboren am 1. März 1958
von Zürich und Altikon (ZH)

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. Dr.h.c. D. Vischer, Referent
Dr. M. Boller, Korreferent



1993

CatE

ZUSAMMENFASSUNG

Unter Kolmation versteht man die Ablagerung von Schwebstoffen in oder auf der Fliessgewässersohle. Die Kolmation bewirkt einerseits eine Reduktion der Sohlendurchlässigkeit und andererseits eine Verringerung des Porenraums bei gleichzeitiger Verfestigung des Sohlensubstrats. Kolmatisierte Fliessgewässersohlen führen damit zu einer Reduktion der Grundwasserneubildung und zu einer Beeinträchtigung des Lebensraums der Gewässerfauna.

Aufgrund von Naturbeobachtungen sowie ausgedehnten Untersuchungen in einer Rinne der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, sind die Kolmationsprozesse in freien ungestauten Fliessstrecken analysiert worden. Für die Kolmation massgebend sind die feinsten Schwebstoffpartikel der Silt- und Tonfraktion. Es zeigt sich, dass die suspendierten Feinpartikel unmittelbar unter der Deckschicht, im Porenraum der Filterschicht, abgelagert werden. Bei grösseren Abflüssen können diese schwach durchlässigen Horizonte erodiert werden, womit die Sohlendurchlässigkeit wieder auf ihren maximalen Wert ansteigt. In natürlichen Fliessgewässern ist also eine von den hydraulischen Verhältnissen und vom Feststoffangebot geprägte Ganglinie der Kolmation zu beobachten. Werden bei Massnahmen im Einzugsgebiet oder im Fliessgewässer die die Kolmation bestimmenden Grössen verändert, so kann die Durchlässigkeit und die Struktur der Gewässersohle nachhaltig verändert werden. Die vorliegende Arbeit bietet ein Werkzeug, um das Ausmass solcher Veränderungen abschätzen und quantifizieren zu können.

In der oben erwähnten Laborrinne ist eine mehrjährige Versuchsserie zur Kolmation der Sohle freier Fliessstrecken durchgeführt worden. Die Messungen erlaubten die Herleitung verschiedener Gleichungen, mit denen erstmals möglich ist, die Kolmationsentwicklung eines konkreten Fliessgewässers in Abhängigkeit der wesentlichen Einflussgrössen vorherzusagen. Die einzelnen Elemente des Gleichungssystems betreffen die Berechnung

- *der Kolmationstiefe,*
- *der Kolmationsentwicklung,*
- *des Grenzzustandes der Kolmation,*
- *der strömungshydraulischen Grenzbedingungen des Dekolmationsbeginns,*
- *sowie der Durchlässigkeitszunahme beim Dekolmationsbeginn.*

Zusätzlich konnte der Einfluss einer ungesättigten Infiltration, einer Grundwasserexfiltration, eines Trockenfallens der Sohle, sowie eines Feingeschiebetransports über die stabile Deckschicht analysiert und interpretiert werden.

Ein weiterer Teil der Untersuchungen widmet sich der Kolmation von Flusstauhaltungen. Die Schwebstoffpartikel lagern sich hier in Form äusserer Kolmationsschichten auf der Gerinnesohle ab. Die diesbezüglich durchgeführten Rinnenversuche bieten einerseits einen Einblick in die komplexen Kolmationsprozesse und andererseits resultieren Angaben betreffend der zeitlichen Entwicklung und des zu erwartenden unteren Grenzwertes der Durchlässigkeit. Die Spül- und Hochwasserversuche zeigen ferner, unter welchen Randbedingungen die Erosion der Feinmaterialablagerungen einsetzt und welche Durchlässigkeitszunahme dabei erwartet werden kann. Die Untersuchungsergebnisse zur Kolmation von Flusstauhaltungen erlauben insofern eine Optimierung des Wehrbetriebs, als eine bessere Annäherung an die gewünschten Sickerwasserverhältnisse erreicht werden kann.

ABSTRACT

The siltation of a river bed takes place when the wash load either deposits on the surface layer or intrudes into the porous system of the gravel matrix. This results in both a reduction of the hydraulic conductivity and a cementation of the structure of the river bed. The consequence of this is the decrease of the groundwater recharge as well as the detraction from the habitat of the benthos.

Based on observations in nature and extensive flume tests at the Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology of the Federal Institute of Technology of Zurich, the siltation process was analyzed in free flowing channels with a coarse gravel bed. The clogging of the pore space is decisive characterized by the very fine particles of the silt and the clay fractions. It is shown that the wash load is deposited directly under the armor layer in the so-called filter layer. During floods these layers with low permeability are flushed and eroded, so that the hydraulic conductivity increases to the upper limit again. In natural rivers one can observe a characteristic hydrograph of the siltation process which is dominated by the hydraulic conditions and the solid load (bed and wash load). When one or several of these parameters are changed the permeability and the structure of the river bed may become detrimentally affected. This work gives a tool to quantify the extent of such consequences.

In the laboratory flume several long-run experiments were carried out with natural grain size distributions of both, bed load and wash load. The measurements led to the derivation of several equations to calculate the siltation process of a certain river bed in dependency on the dominant parameters. These equations concern

- *the clogging depth,*
- *the development of the clogging process,*
- *the lower limit of the hydraulic conductivity,*
- *the required flow-conditions for flushing the clogging layer*
- *and the increase in permeability during the flushing process.*

In addition some special cases were analyzed including the unsaturated infiltration, the exfiltration of groundwater, the effect of drying up of the river bed and the transport of fine gravel over the stable river bed.

The third part of this thesis concerns the siltation of reservoirs. Here the wash load is deposited *on* the original coarse river bed. The flume experiments gave insight into the complex siltation processes with some information about the time dependent decrease and the lower limit of the hydraulic conductivity. Flushing experiments were carried out to observe the flow conditions required for the erosion of the deposits and to measure the magnitude of the increasing permeability. The results make possible to optimize the operation of reservoirs with regard to the desired interaction between river and groundwater.

RESUME

Le colmatage de lits de rivières est un processus qui est provoqué par la déposition de matériaux en suspension sur le fond ou dans les pores de la couche superficielle. Il en résulte une réduction de la perméabilité du fond et une cimentation de sa structure. Des fonds de rivières colmatés présentent donc une capacité de régénération de la nappe phréatique et des possibilités pour le benthos de trouver des habitats réduites.

Le processus de colmatage de fonds de rivières non influencés par un remous de barrage a été étudié de façon approfondie en nature et en un canal du Laboratoire de Recherches Hydrauliques, Hydrologiques et Glaciologiques de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich. Les particules fines appartenant aux fractions de limons ou d'argiles sont responsables du colmatage. Elles sont déposés immédiatement sous la couche de pavage, donc dans les pores de la couche appelée de filtration. Sous des conditions naturelles ces couches sont érodées à intervalles plus ou moins réguliers par des débits de crue, ce qui résulte en un rétablissement de la perméabilité maximale. Dans des cours d'eau naturels on peut donc observer une sorte d'hydrographe du colmatage qui dépend des conditions hydrauliques et de l'alimentation en matière solide. Des interventions effectuées dans le bassin versant ou le cours d'eau lui-même qui altèrent un des paramètres dictant le colmatage de façon substantielle il peut en résulter un changement permanent de la structure et la perméabilité du fond de cette rivière.

L'étude présentée offre une méthode d'évaluation de l'influence de changements de cette sorte.

Des mesures qui ont été prises en canal de laboratoire lors d'expériences à longue durée ont permis d'établir des équations qui permettent de décrire l'évolution du colmatage d'un fond de rivières. Le système d'équations dérivé permet en particulier de calculer

- *la profondeur du colmatage*
- *l'évolution du colmatage*
- *l'état limite du colmatage*
- *la valeur limite pour les conditions hydrauliques qui déclenchent un décolmatage*
- *l'augmentation de la perméabilité lors du début du décolmatage.*

En plus, l'influence de conditions non-saturées pour l'infiltration, d'une mise a sec du fond, et du transport d'un charriage de particules plus fins que celles du fond a été étudiée.

Une autre partie de l'étude a été consacrée au colmatage de fonds de retenues de barrages. Dans ce cas les matériaux en suspensions se déposent en des couches de colmatage externes sur le fond original de la rivière. Pour ce cas également le processus très complexe du colmatage a été éclairci et les résultats des mesures permettent de quantifier la réduction de la perméabilité et sa valeur à l'état limite. Des expériences simulant des opérations de chasse ont montrés quelles sont les conditions hydrauliques nécessaires pour une érosion de ces couches et permettent d'indiquer un ordre de grandeur pour l'augmentation de la perméabilité qui en résulte. L'opération des vannes peut en conséquence être optimisée en fonction des conditions d'écoulement dans la nappe phréatique désirées.