

## **THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER 2-DIMENSIONALEN-STRÖMUNGSBERECHNUNG**

Für die 2D-Modellrechnungen im Rahmen des Projektes wurde das 2D-Berechnungsprogramm HYDRO\_AS-2D zusammen mit der Bearbeitungssoftware SMS eingesetzt. Es ist Stand der Technik und wird häufig zur Berechnung im Wasserbau eingesetzt.

Auf Grundlage der Eingangsdaten wie Geländehöhen, Abflussdaten und Modellrauhheiten berechnet das HYDRO\_AS-2D Wasserspiegellagen, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten an den Berechnungsknoten des 2D-Modellnetzes.

Das Berechnungsprogramm HYDRO\_AS-2D basiert auf Entwicklungen von Dr. M. Nujic an der Universität der Bundeswehr in München. Das Programm HYDRO\_AS-2D löst iterativ die zweidimensional tiefengemittelten Strömungsgleichungen (sog. Flachwassergleichungen).

HYDRO\_AS-2D zeichnet sich durch zuverlässige Berechnungsalgorithmen aus. Durch die Einbeziehung empirischer Ansätze bietet HYDRO\_AS-2D die Möglichkeit, auch durchströmte und überströmte Bauwerke zu simulieren. Das in dem Modell integrierte Verfahren basiert auf der Lösung der zweidimensionalen tiefengemittelten Strömungsgleichungen mit der räumlichen Diskretisierung nach der Finiten Volumen Methode (FV). Die Zeitdiskretisierung erfolgt nach dem expliziten Runge-Kutta Verfahren zweiter Ordnung. Die Ermittlung der konvektiven Strömungsanteile basiert in HYDRO\_AS-2D auf modernen Upwind-Verfahren. Es können Wirbelströmungen, Impulsaustausch zwischen dem Flussschlauch und dem Vorland, Wechselsprünge, Sohlensprünge, örtliche Verluste, Querschnittseinengungen und -aufweitungen, Strömung unter Druckabfluss, steile Geländeneigungen (Wildbäche) etc. problemlos und sehr genau modelliert werden.

HYDRO AS-2D findet Verwendung bei der zweidimensionalen Simulation von Gewässern, in denen die vertikalen Geschwindigkeitskomponenten vernachlässigt werden können, da die Fließgeschwindigkeit im Gegensatz zur komplexeren und damit wesentlich aufwändigeren dreidimensionalen Simulation über die Tiefe gemittelt wird. Diese Vereinfachung ist insofern möglich, als in naturnahen Fließgewässern die Wassertiefen im Verhältnis zu den Gewässerbreiten oft sehr gering sind, so dass vertikale Geschwindigkeitskomponenten vernachlässigt werden können (vgl. Abbildung 1).

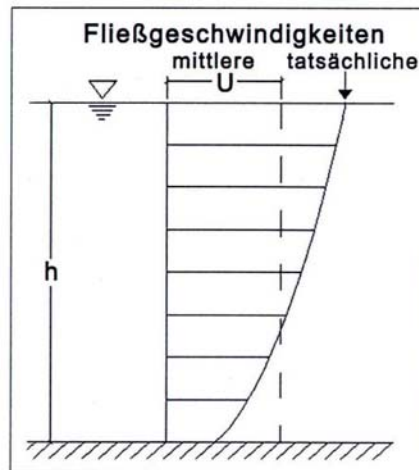


Abbildung 3.1: Tiefengemittelte Fließgeschwindigkeiten

Als Grundlage für die von der Software durchgeführte, zweidimensionale mathematische Modellierung sowohl von Strömungsvorgängen in natürlichen Fließgewässern als auch für die Wasserspiegellagenberechnung und Flutwellenausbreitung dienen die, als Flachwassergleichung bekannten, 2d-tiefengemittelten Strömungsgleichungen von Abbott. Diese entstehen durch die Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und der Reynolds- bzw. Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Fluide über die Wassertiefe und unter Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung (nach Pironneau).

In kompakter Vektorform lauten die 2d-Strömungsgleichungen nach Tan und Nujic:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + s = 0$$

mit:

$$w = \begin{bmatrix} H \\ uh \\ vh \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad f = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + 0.5gh^2 - vh \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \\ vh \end{bmatrix}$$

Hierbei entspricht  $H = h + z$  dem Wasserspiegel über einem Bezugsniveau,  $u$  und  $v$  bezeichnen die Geschwindigkeitskomponenten in  $x$ - und  $y$ -Richtung. Der Quellterm  $s$  impliziert das Reibungsgefälle  $IR$ , sowie die Sohlneigung  $IS$ .

Um die Lösung der Flachwassergleichungen zu ermöglichen ist es unabdingbar Anfangs- und Randbedingungen zu spezifizieren. Die so definierten Randbedingungen sollten aus praktischer Sicht zwar einfach, dennoch aber genau und vor allem sehr stabil sein. Prinzipiell ist es erforderlich die Randbedingungen, über den gesamten Rand des Berechnungsnetzes zu spezifizieren, wobei eine Unterscheidung zwischen offenen und geschlossenen Rändern vorzunehmen ist:

Bei den so genannten Geschlossenen Rändern kann die Strömung nur parallel zum Rand verlaufen, die senkrechte Geschwindigkeitskomponente ist gleich null und diese Ränder werden infolgedessen nicht durchströmt. Für alle nicht als Zu- oder Auslauf spezifizierten Ränder erfolgt eine vom Programm automatisierte Definition als geschlossene Ränder.

Im Gegensatz zu diesen werden die so genannten Offenen Ränder durchströmt. Im Wesentlichen handelt es sich bei diesen um die Zu- und Auslaufränder. Als Randbedingung im Zulaufbereich werden der zeitabhängige Durchfluss, sowie die Fließrichtung festgelegt. Die sich dort einstellende Wassertiefe wird durch Interpolation aus dem Inneren des Gebiets ermittelt. Am Auslaufrand wird der Wasserstand in Abhängigkeit des Abflusses vorgegeben.

Die Eingabedateien, die HYDRO AS-2D für die Berechnung benötigt, werden direkt von SMS als Ausgabedateien der FE-Netzerstellung zur Verfügung gestellt und die vom Rechenkern erzeugten Ergebnisdateien können im Rahmen des Post-Processings ohne weitere Bearbeitung in SMS importiert und auf der Benutzeroberfläche visualisiert werden.

Eine detaillierte Beschreibung des numerischen Modells ist im Benutzerhandbuch und in einem Tutorial des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft verfügbar.

### **Vor und Nachbereitung durch SMS**

Als Benutzeroberfläche zu HYDRO\_AS-2D wurde das System SMS (Surface-Water-Modeling System) eingesetzt. Es verfügt über umfangreiche Funktionen zur Modellnetzgenerierung sowie für das Modellpre- und Modellpostprocessing.

Bei SMS und HYDRO\_AS-2D handelt es sich um ein anwendungsorientiertes Softwarepaket zur ein-, zwei- und dreidimensionalen hydrodynamischen Oberflächenwassermodellierung. SMS dient dem Pre- und Postprocessing bei der Berechnung von Wasserspiegellagen, Strömungen, Fließgeschwindigkeiten, Sedimenttransporten und Schadstoffkonzentrationen in flachen Oberflächen-

gewässern. Für die Berechnungen werden verschiedene Module herangezogen. Mit Hilfe von SMS wird im Preprocessing das für das Berechnungsmodul erforderliche koordinatenorientierte Knotenpunktnetz erstellt, durch welches das zu betrachtende Modellgebiet in die für die programminterne Berechnung benötigten Elemente geteilt wird. Darüber hinaus können durch Eingabe in SMS hydraulische und geometrische Randbedingungen generiert und dem Berechnungsmodul direkt zur Verfügung gestellt werden. Im Postprocessing, also nach Durchführung der Berechnung durch ein externes Programm, besteht die Möglichkeit einer umfangreichen graphischen Darstellung von Profilen, Querschnitten sowie weiteren aus der Berechnung resultierenden Ergebnissen wie beispielsweise Strömungsgeschwindigkeiten und Wasserständen auf der Benutzeroberfläche von SMS. Diese können sowohl vektoriell als auch durch benutzerdefinierte farbliche Abstufung in Abhängigkeit der entsprechenden Werte angezeigt werden. Darüber hinaus gibt es die Option die Ergebnisse durch dynamische Animationssequenzen bestimmte Szenarien sehr anschaulich zu visualisieren.

Lizenz: Dr. M. Nujić

Vertrieb: Hydrotec Bachstraße 62-64, 52066 Aachen