

Arc Hydro von ESRI und das Management von Fischpopulationen

hinsichtlich der EU-Wasserrahmenrichtlinie

A. ZITEK, *UI292 UNIGIS2006,*

verfasst im Zuge der Summer school „GIS for Water Resources Management“ an der Fachhochschule Köln,

gehalten von Prof. Dr.-Ing. Jackson Roehrig

1 AUFGABENSTELLUNG

Im Zuge des vorliegenden Artikels sollen die Systemkomponenten von ArcHydro dargestellt und hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für fischökologische Fragestellungen insbesondere in Bezug auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie diskutiert werden.

2 EINLEITUNG

Fließgewässer sind hierarchische Systeme in denen Klima, Geologie und Topographie den Kontext darstellen für geomorphologische Prozesse, die auf kleineren Skalen Habitate schaffen und erhalten. Diese Habitate sind der Lebensraum für je spezifische Fischartengemeinschaften. Stattfindende Veränderungen (zum Bsp. menschliche Einflüsse) können daher gemäß der hierarchischen Strukturierung von Fließgewässern verschiedene Skalen betreffen. Von unterschiedlichen Umweltfaktoren ist bekannt, dass sie zum Bsp. die Fischfauna auf lokaler Ebene (z. Bsp. Seehöhe, Flussgröße, Einzugsgebietsgröße, Distanz von der Quelle, Flussbreite, Flussordnungszahl, Gefälle, Fließgeschwindigkeit, Habitatdiversität, Tiefe, Leitfähigkeit, Temperatur...) und regionaler Ebene (z. Bsp. Ökoregion., Hydrologische Einheiten...) beeinflussen. Das Verständnis, wie diese extrinsischen Faktoren Fischgemeinschaften strukturieren, stellt eine wichtige Grundlage für Schutz und Erhalt einer diversen Artengemeinschaft in menschlich beeinflussten Landschaften dar. Das Wissen um skalenabhängige biologisch-physikalische Vorgänge verbessert auch die Effektivität von Managementmaßnahmen. Viele der für diese Fragestellung benötigten räumlichen Informationen liegen heutzutage bereits als GIS Informationen vor. Daher bedient sich die angewandte Fischökologie zunehmend dieser Daten für wissenschaftliche Fragestellungen und Managementbelange. So wurden zum Bsp. die Daten der Ist-Bestandsanalyse für die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) in allen

Bundesländern Österreichs in GIS tauglichem Format erhoben und zur Risikoeinschätzung der Wasserkörper verwendet (BMLFUW, 2005). Ebenfalls werden GI-Systeme in der Wissenschaft in zunehmendem Maße dazu verwendet, um Daten unterschiedlicher räumlich-zeitlicher Skalen zu integrieren zu analysieren und zu visualisieren (de Graaf et al., 2003; Joy & Death, 2004; Valavanis et al., 2004). Neben dem Einsatz in der Habitatmodellierung wird GIS in letzter Zeit für den Einsatz von fischökologischen Bewertungsmethoden wie dem „Europäischen Fisch-Index“ (Pont et al., 2006), der auf Basis von Umweltvariablen fischökologische Leitbildzönosen prognostiziert und auf Basis von Fangdaten gemäß der nachgewiesenen Abweichung den ökologischen Gewässerzustand berechnet und gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) in fünf Klassen bewertet (<http://www.euwfd.com>). Ziel der WRRL ist die Herstellung des guten ökologischen Zustandes der Wasserkörper bis zum Jahr 2015. Fische sind eine Organismengruppe, die neben Makrozoobenthos, Makrophyten und Algen, als Indikator für die Bewertung der ökologischen Funktionsfähigkeit herangezogen werden kann (WFD, 2000). Um wichtige fluss- und fischbezogene Daten nun integriert (d.h. mit Topologie) in einem GIS zu verwalten ist ein Datenmodell, das unterschiedliche Layer miteinander verbindet und so Abfragen betreffend unterschiedlicher räumlich-zeitlicher Skalen ermöglicht, notwendig. Ein solches Datenmodell wird von ESRI im Rahmen von Arc Hydro (ArcGis) zur Verfügung gestellt.

3 ARCHYDRO VON ESRI

3.1 Was ist ArcHydro?

Arc Hydro (Maidment, 2002) ist ein raum-zeitliches Datenmodell unter ArcGis für die Wasserwirtschaft (Fürst, 2004). Zugehörige Funktionen helfen dabei Attribute in der Datenbank entsprechend zu setzen, Objekte in verschiedenen Layern miteinander zu verbinden und hydrologische Analysen zu unterstützen. Es besteht im generellen aus zwei Komponenten: dem *Arc Hydro Datenmodell* und den *Arc Hydro tools*. Diese beiden Komponenten repräsentieren mit dem generellen Programmierhintergrund das zugrunde liegende Datenbankdesign und eine Auswahl von Tools, die häufig im Rahmen wasserwirtschaftlicher Fragestellungen Anwendung finden. Arc Hydro stellt dabei lediglich Grundfunktionalitäten zur Verfügung, die vom User erweitert aufgabenspezifisch werden können (Datenbankstrukturen oder andere Funktionalitäten) (ESRI, 2005).

Die wichtigsten in Arc Hydro abgebildeten thematischen Informationsebenen (Layer) sind Flüsse, hydrographische Punkte (Messstellen an Flüssen, Dämme, Kraftwerke), Einzugsgebiete, Gerinne und Gelände (DHM) (Fürst, 2004). Um das Verhalten eines hydrologischen Systems zu beschreiben, sind diese Informationsebenen nicht nur unabhängig voneinander abzubilden, sondern auch ihre Beziehungen zueinander. Das klassische GIS Konzept, gleichartige Objekte (Features), wie Punkte, Linien und Flächen in jeweils voneinander unabhängigen Datenstrukturen wie Shape-Dateien oder Coverages abzulegen, reicht dafür nicht aus, da als Konsequenz der Unabhängigkeit das GIS auch die Konsistenz der Beziehungen nicht gewährleisten kann. Die Verwendung von relationalen Datenbanken für die Speicherung von Koordinaten, Attributen und topologischen Informationen führte daher zu den so genannten Geodatenbanken (*Geodatabases*). Die zugrunde liegenden Datenbanksysteme wie MSAccess, Oracle oder Informix ermöglichen innerhalb des relationalen Datenbankkonzepts die Formulierung flexibler und robuster objektorientierter Datenmodelle wobei die benötigten Konsistenzbedingungen hier auch ebenenübergreifend spezifiziert werden.

3.2 Das Arc Hydro Datenmodell

Generell umfasst das ArcGis Hydro Datenmodell wichtige räumliche und zeitliche Daten von Oberflächengewässern. Das Datenmodell erfüllt dabei drei Aufgaben (ESRI, 2001):

1. Beschreibung der wichtigsten wasserbezogenen Elemente der Landschaft.
2. Beschreibung der hydrologischen Konnektivität zwischen den Elementen.
3. Beschreibung der zeitlichen Muster des Abflusses und der Wasserqualität in Zusammenhang mit diesen Elementen.

Das ArcGis Hydro Datenmodell beschreibt nur natürliche Gewässersysteme, für künstliche Gewässer steht ein anderes Datenmodell zur Verfügung (ArcFM Water). Elemente die die aquatische Ökologie, Geomorphologie und Grundwasser betreffen werden jedoch derzeit noch nicht unterstützt. Generell besteht das Arc Hydro Datenmodell aus 5 Komponenten (*Network, Drainage (Watershed and Catchment), Channels, Hydro features* und *Time Series*, siehe Abb. 1).

- Die *Network* Komponente beinhaltet das Flussnetzwerk und die *centerlines* der Wasserkörper. Die Hauptaufgabe des Netzwerkes besteht darin, die Konnektivität der Wasserbewegung durch die Landschaft zu beschreiben.
- Die *Drainage* Komponente (*watershed & catchments*) beschreibt die Einzugsgebiete, die aufgrund der topographischen Analyse der Landschaft erzeugt werden.
- Die *Channel* Komponente beschreibt die dreidimensionale Ausprägung des Flusses.
- Die *Hydro features* Komponente beinhaltet grundlegende räumliche Informationen zu Punkt-, Linien- und Flächenelementen.
- Die *Time Series* Komponente beschreibt zeitlich veränderbare Eigenschaften der Elemente (*features*).

Das zentrale Element des Datenmodells stellt das Hydro Network dar (Maidment, 2002). Alle anderen Komponenten (*Hydro Features, River Channels, Catchments and Watersheds, und Time Series*) arbeiten damit oder hängen davon ab (siehe Abb. 2).

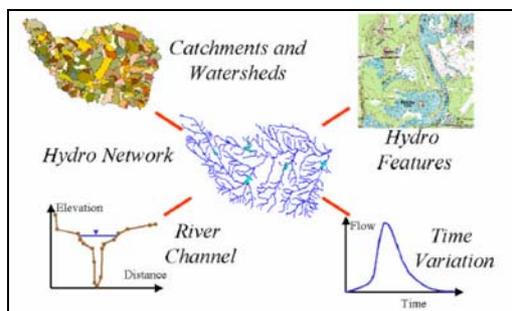


Abbildung 1: Komponenten von Arc Hydro (Maidment, 2002)

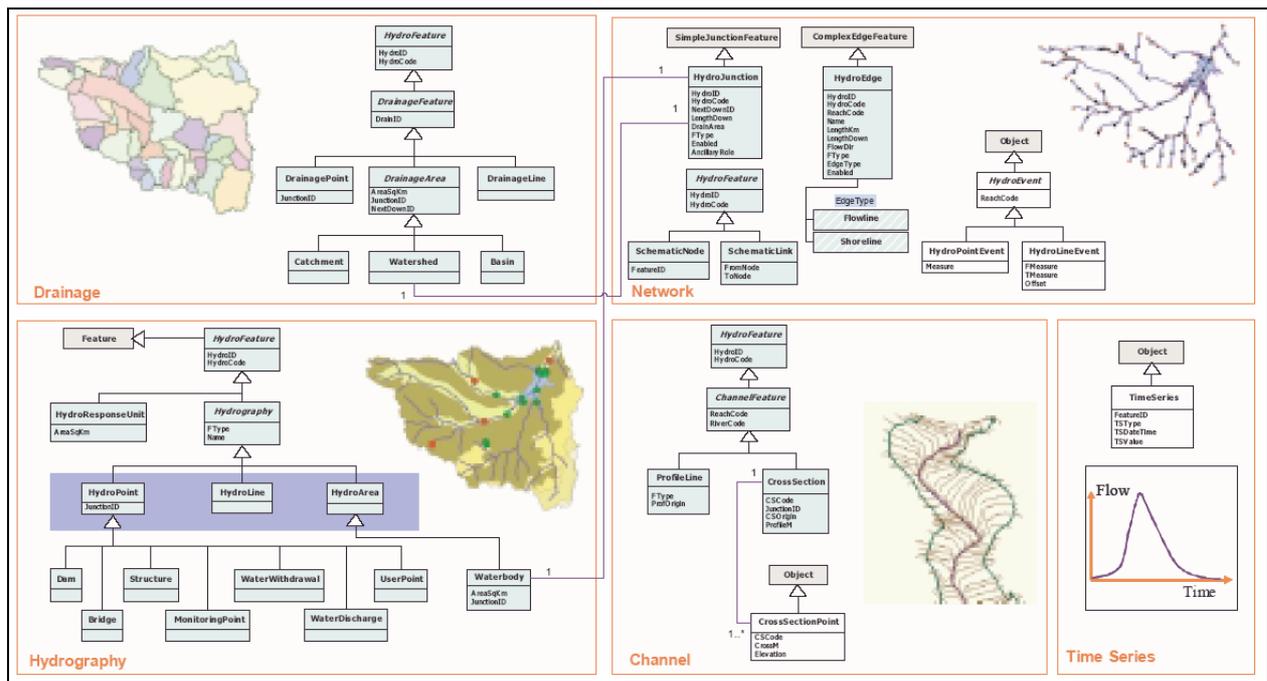


Abbildung 2: Analyse Diagramm des Arc Hydro Datenmodells (ESRI, 2001)

Ein wichtiger Bestandteil des Arc Hydro Modells sind die *Arc Hydro Features* (Davis et al., 2000). Features sind geographische Objekte, die in relationalen Datenbanken gespeichert werden (siehe Abb. 3). Die Lage des *features* ist ein Attribut des im Feld „*shape*“ (Abb. 3). Im Gegensatz zu ArcInfo 7 und ArcView 3 werden dabei Attribute und Geometrie zusammen abgespeichert. Die *OID* (*Object Identification Number*, siehe Abb.3) identifiziert ein Objekt eine sog. „Entität“. Von dem Objekt an der Spitze der Hierarchie (siehe Abb. 4) wird das sog. *feature* abgeleitet, ein Objekt, das räumliche Koordinaten besitzt (Punkt, Linie oder Fläche). Das *Network Feature* wird von den *features* aus gebildet, und beinhaltet ein Verküpfungsmodell, das die *features* zu einem Netzwerk verknüpft, z Bsp. das Abflussnetzwerk eines Flusssystems. Netzwerke werden aus *Edges* (*arcs*) und *Junctions* (*nodes*) gebildet. Jede *ArcObject* Klasse hat ein zugehöriges Interface, das die Koexistenz und die strukturierte Interaktion mit anderen Objekten erlaubt (Davis et al., 2000).

FeatureClass (table)

Stream

Feature	OID	Shape	Type	...
	524	X,Y,Z,M, ...	Channel	...

Abbildung 3: Speicherung von features in einer Geodatenbank.

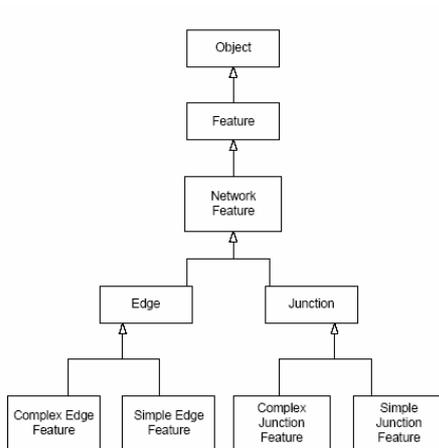


Abbildung 4: Systematische Darstellung der Generierung von network features aus Objekten (Davis et al., 2000)

Arc Hydro *features* unterscheiden sich von jeder anderen Art von *features* in ArcGIS. In ArcGIS repräsentiert die ObjectID eine eindeutige Identifikation von jedem Objekt mit einer Feature Klasse. In ArcHydro alle *features* sind *HydroFeatures* und haben die folgenden Attribute: HydroID und HydroCode. Über den HydroCode können Informationen aus externen Quellen mit dem jeweiligen *feature* verknüpft werden (siehe Abb. 5).

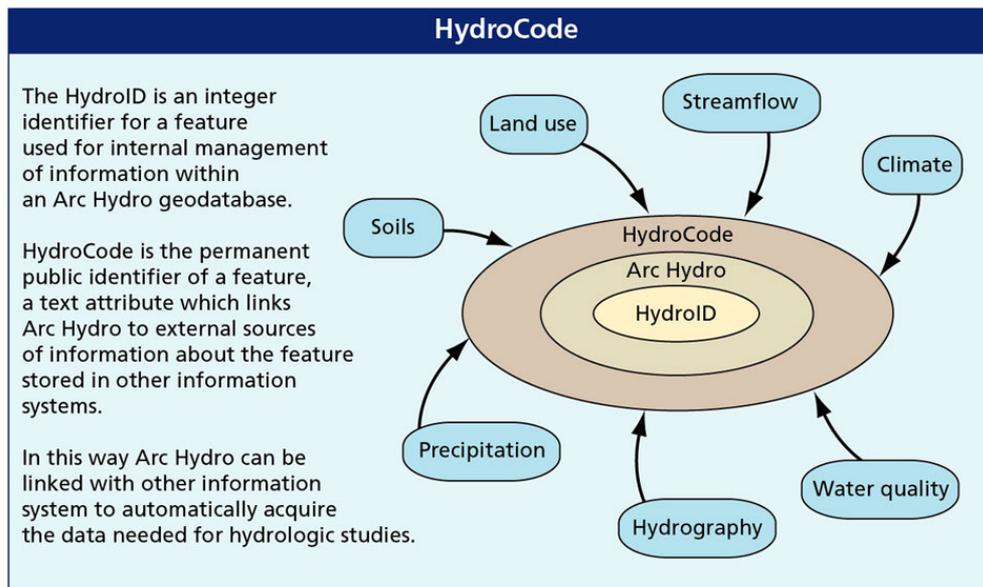


Abbildung 5: Funktionalität von HydroCode und HydroID in ArcHydro.

Im Arc Hydro Framework Datenmodell (Abb. 6) sind 5 Feature-Klassen definiert, nämlich *HydroJunctions* (Knoten), *HydroEdges* (die "blauen Linien"), *Waterbodies* (stehende Gewässer oder große Flüsse mit Ufern), *Watersheds* (Einzugsgebiete) und *MonitoringPoints* (Messstellen). Hydro edges (*Flow Edge (1)*, *Virtual Flow Edge (2)*, or *Shoreline Edge (3)*) stellen dabei die primären Komponenten des Netzwerks dar, und können untereinander über die sog. *LinearRef_ID* verknüpft werden, z Bsp. um den gesamten Flussverlauf darzustellen. Normalerweise werden liegen die einzelnen Hydro edges zwischen den Mündungen von Zubringern, die das jeweilige Einzugsgebiet flussauf und flussab an den sog. *junctions* begrenzen. Eine weitere wichtige Funktionalität von Arc Hydro ist die Möglichkeit, das gesamte Flussnetzwerk linear zu referenzieren (relative bzw. absolute Referenzierung, verwendbar ab ArcGis 8.1). Neue Orte (zum Bsp. Messstellen) können dadurch mittels Distanzangaben ohne kartesische Koordinaten direkt auf dem Netzwerk verortet werden und heißen Hydro Events. Hydro Events haben ein Attribut, nämlich die *LinearRef_ID*. Hydro Events haben zwei mögliche Ausprägungen (Punkt oder Linie), und stellen eine wichtige Möglichkeit dar, Informationen die direkt auf Hydro Edges (z. Bsp. neue Messstellen oder kartierte Flussabschnitte) liegen, zu verorten.. Eine Arc Hydro Geodatenbank (*geodatabase*) besteht aus *Hydro Features* die mit Zeitreihen (*Time Series*) verbunden sind. Hydro Features beschreiben dabei die physische Umwelt, durch die das Wasser fließt, und die Zeitreihen beschreiben den Abfluss und die Wasserqualitätseigenschaften

innerhalb der Umweltelemente. Jedes *Hydro Feature* ist in einer Arc Hydro Geodatenbank eindeutig mit einer *HydroID* identifiziert, und Verbindungen (*associations*) zwischen den Elementen werden durch das abspeichern der HydroID von einem Element als Attribut eines anderen hergestellt. Diese Verbindungen können dazu verwendet werden, um Wasserbewegungen von einem Element zu einem anderen zu verfolgen, und um verschiedene andere räumliche Eigenschaften derselben hydrologische Einheit mit einer anderen zu verbinden. Um Zeitreihen mit den Hydro Features zu verknüpfen, wird jedem Zeitreihenwert als Attribut die HydroID des jeweiligen features zugewiesen. Die eindeutige Vergabe von HydroID und HydroCode wird von den Tools in Arc Hydro gewährleistet.

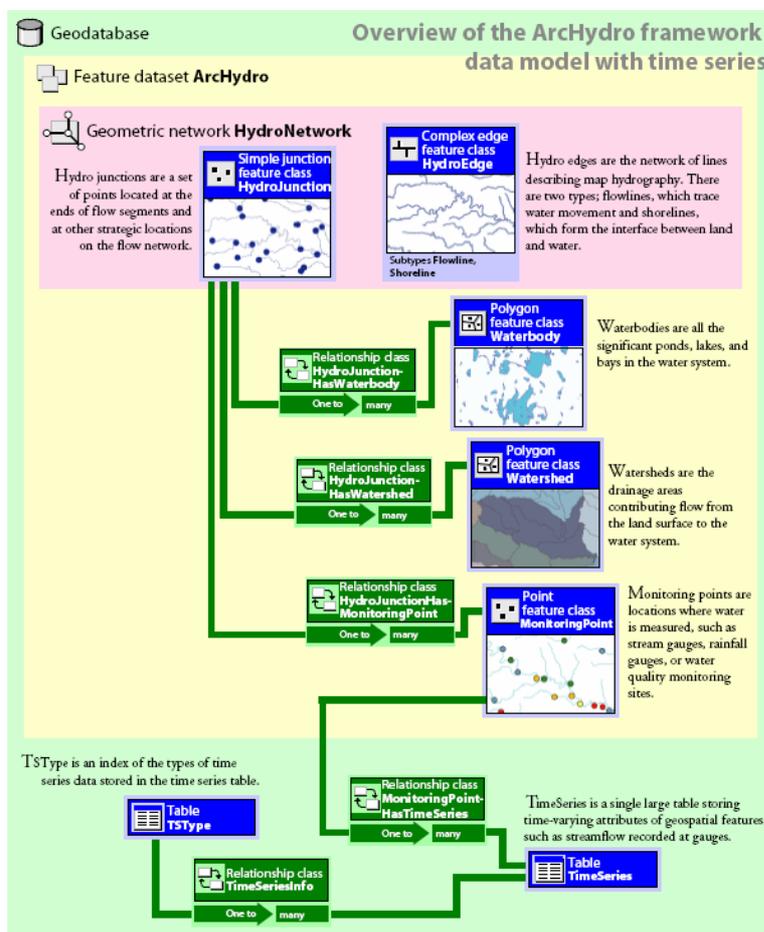


Abbildung 6: Das Arc Hydro Framework-Datenmodell mit Zeitreihen (Maidment, 2002).

3.3 ArcHydro Tools

Die *Arc Hydro tools* sind eine Gruppe von Funktionalitäten, die auf das Arc Hydro Datenmodell aufbauen (ESRI, 2005). Diese werden innerhalb einer GIS-Umgebung verwendet; manche von ihnen benötigen die *Spatial Analyst*-Extension. Die Tools können über die *Arc Hydro Tools toolbar* bedient werden, und sind dort nach Funktionalität in 6 Menüs und 6 Buttons gruppiert (Menüs sind *Terrain*

Preprocessing, Terrain Morphology, Watershed Processing, Attribute Tools, Network tools, ApUtilities; Buttons sind Flow Path Tracing, Point Delineation, Batch Point Generation, Assign Related Identifier, Global Delineation, Trace By NextDownID Attribute).

Die Tools haben zwei Hauptaufgaben. Erstens werden Schlüsselattribute des Arc Hydro Datenmodells zugewiesen bzw. verändert; diese beinhalten die Schlüssel-Identifikatoren (HydroID, DrainID, NextDownID, etc.) und die Maßzahlen (LengthDown) und stellen die Basis für die weiteren Analysen dar. Die zweite Aufgabe der Tools ist es, wichtige Basisfunktionalitäten Wasserwirtschaftlicher Analysen zur Verfügung zu stellen. Diese beinhalten z Bsp. eine DTM-basierende Einzugsgebietsermittlung, Netzwerkgeneration und attributbasierte Linienverfolgung (flussab und flussauf).

4 ANWENDUNGEN

Bereits existierende Anwendungen geben Hinweise auf die Möglichkeiten, die das Arc Hydro Datenmodell für die Umsetzung der EU-WRRL aber auch für die angewandte Fließgewässerökologie bietet.

4.1 ArcHydro USA

Arc Hydro USA ist eine Anwendung von ArcGis Hydro für die USA (<http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro02/ArcHydroUSA/ArcHydroUSA.htm>).

Arc Hydro USA ist eine Geodatenbank, die ein vollständig verbundenes Flussnetzwerk beinhaltet. Das grundlegende Ziel von Arc Hydro USA ist es zu zeigen, wie das Arc Hydro Datenmodell dazu verwendet werden kann eine konsistente Geodatenbank aus öffentlich verfügbaren Daten zu generieren, und Verknüpfungen zwischen unterschiedlichen Features und/oder Layern zu generieren. Der Grundgedanke dahinter ist, dass nach der einmaligen Erstellung einer konsistenten Geodatenbank die Tools von ArcHydro und andere externe Modelle die Geodatenbank als Grundlage für hydrologische Modellierungen verwenden können.

4.2 Arc Hydro zum Management von Fischpopulationen (Weik, unknown)

Für ein besseres Management von Monitoringdaten wird derzeit vom Foothills Model Forest (<http://www.fmf.ab.ca>) eine auf dem Arc Hydro Datenmodell beruhende Geodatenbank erstellt, um räumliche und andere Datenquellen zu verknüpfen und eine konsistentes Management zukünftiger und bereits erhobener Monitoringdaten zu gewährleisten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Verknüpfung von bereits erfolgten bzw. zukünftigen Fischbestandserhebungen (vorher in Excel files gespeichert) und wichtigen Rauminformationen in einer Geodatenbank mit dem Ziel Modelle (z Bsp. über die Vorkommenswahrscheinlichkeit von Fischarten) zu erstellen.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Das Datenmodell von ArcHydro erlaubt eine Verknüpfung unterschiedlicher hydrologisch relevanter Datenlayer über die HydroID sowie die Integration anderer externer Daten über den HydroCode. Diese Funktionalitäten stellen neben den Features die wichtigsten Grundlagen zur Verwendung von ArcHydro für das Management von Gewässerdaten dar. Probleme für eine Anwendung des Arc Hydro Datenmodells für die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Österreich könnten vor allem daraus erwachsen, dass das allgemeine Berichtsgewässernetz (und daher auch die Einzugsgebiete) nicht mittels digitalem Geländemodell erstellt wurde, sondern derzeit ein händisch digitalisiertes Gewässernetz zur Verortung aller relevanten Daten verwendet wird. Dieses Problem könnte jedoch durch das im vorliegenden Artikel nicht erwähnte „einbrennen“ des vorhandenen Gewässernetzes in das digitale Geländemodell Österreichs gelöst werden. Eine strukturierte Erfassung der WRRL-relevanten Daten in einer Geodatenbank mittels des Arc Hydro Datenmodells wären vor allem hinsichtlich derzeit notwendiger und zukünftiger fischökologischer Fragestellungen (Konnektivitätsanalysen, Analyse der Beeinträchtigungen der Fischfauna durch Wasserausleitungen & Querbauwerke, nachvollziehbare Priorisierung von Maßnahmen zur Erreichung des guten Zustandes von Fließgewässern auf Basis von Netzwerkanalysen usw.) von Bedeutung. Weitere zukunftsweisende Fragestellungen, die auf Basis einer konsistenten Geodatenbank bearbeitet werden könnten, wären die Analyse von Auswirkungen des Klimawandels und der Landnutzung auf Hydrologie und Fischfauna.

Die Verwendung des Arc Hydro Datenmodells wird daher für fischökologische Fragestellungen als äußerst sinnvoll eingestuft.

6 LITERATUR

BMLFUW (2005). EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG Österreichischer Bericht über die IST-Bestandsaufnahme. Wien. BMLFUW. 205.

Davis, K. M., T. L. Whiteaker and D. R. Maidment (2000). Definition of the Arc Hydrology Data Model. GIS in Water Resources Conference, University of Texas at Austin, 23-25 February, 2000.

de Graaf, G., F. Martin, J. Aguilar-Manjarrez and J. Jenness (2003). Geographic information systems in fisheries management and planning. 449. Rome, FAO.

ESRI (2001). ArcGis Hydro Data model (draft), ESRI Press.

ESRI (2005). Arc Hydro tools overview. New York. Esri.

Fürst, J. (2004). GIS in Hydrologie und Wasserwirtschaft. Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag.

Joy, M. K. and R. G. Death (2004). "Predictive modelling and spatial mapping of freshwater fish and decapod assemblages using GIS and neural networks." Freshwater Biology **49**: 1036–1052.

Maidment, D. R., Ed. (2002). Arc Hydro - GIS for water resources. Redlands, California, ESRI Press.

Pont, D., B. Hugueny, U. Beier, D. Goffaux, A. Melcher, R. Noble, C. Rogers, N. Roset and S. Schmutz (2006). "Assessing river biotic condition at a continental scale: a European approach using functional metrics and fish assemblages." Journal of Applied Ecology **43**(1): 70-80.

Valavanis, V. D., S. Georgakarakos and A. Kapantagakis (2004). "A GIS environmental modelling approach to essential fish habitat designation." Ecological Modelling **178**: 417–427.

Weik, C. (unknown). "Managing Fish and Aquatics Data Using the ArcHydro Data Model." <http://www.fmf.ab.ca>.

WFD (2000). DIRECTIVE 2000/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.