

2 Stand der Forschung

2.1 Buhnen

Buhnen sind Regulierungsbauwerke, die vom Ufer aus quer zur Strömung errichtet werden und in vielen Wasserstraßen Mitteleuropas gegenüber anderen Bauten, wie Leit- oder Deckwerken, dominieren. Sie dienen der Fixierung des Flusslaufs sowie der Regelung der Niedrig- und Mittelwasserstände. Buhnen haben einen erheblichen Einfluss auf die Gewässermorphologie, wie ein Vergleich der regulierten Elbe mit dem unverbauten Wisconsin River (Abb. 2-1 und 2-2) verdeutlicht. Vertiefende Ausführungen zur Wirkungsweise von Buhnen auf die Flussmorphologie unterschiedlicher Skalenebenen, zur Geschichte des Buhnenbaus an der Elbe und zur aktuellen Diskussion um Ausbau und Unterhaltungsmaßnahmen finden sich in den Kapiteln 3-2 und 3-3.



Abb. 2-1: Unterlauf des Wisconsin River mit verzweigtem Flussschlauch als Beispiel für einen nicht mittelwasserregulierten Fluss, Foto: Emily Stanley 2000



Abb. 2-2: Mit Buhnen regulierte untere Mittel-Elbe bei Bälöw, El-km 440, mit singulärem Flussschlauch und erheblich veränderter Morphologie, Foto: Ilona Leyer 1998

Im Laufe der Jahrhunderte hat sich die Bauweise von Buhnen an der Elbe verändert. Heutzutage herrschen inklinante Buhnen vor, welche mit einem Winkel von ca. 70° zur Uferlinie in die Strömung gerichtet sind (Abb. 2-3). Im frühen 19. Jahrhundert wurden noch stromabgerichtete, deklinante Buhnen bevorzugt (Abb. 2-4), die allerdings nicht die erwünschten Effekte mit sich brachten. Weitere Typen stellen die im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls untersuchten Knick- und Absenkungsbuhnen dar (Abb. 2-5 und 2-6). Zusätzlich werden durchrissene Buhnen behandelt. Während Durchrisse Beschädigungen sind, werden Knick- und Absenkungsbuhnen (Buhnen mit künstlichen, kontrollierten Durchlässen) neuerdings hinsichtlich einer gezielteren Steuerung der Morphodynamik getestet.

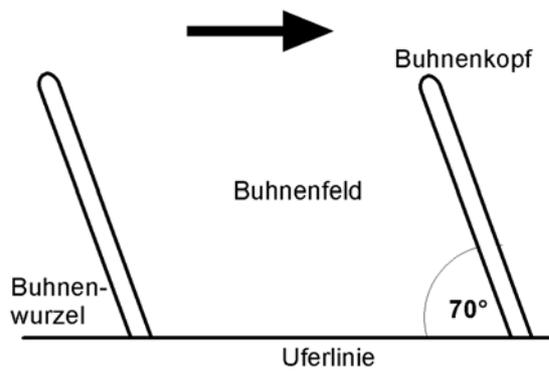


Abb. 2-3: Inklinante Buhnen (Ausrichtung stromauf)

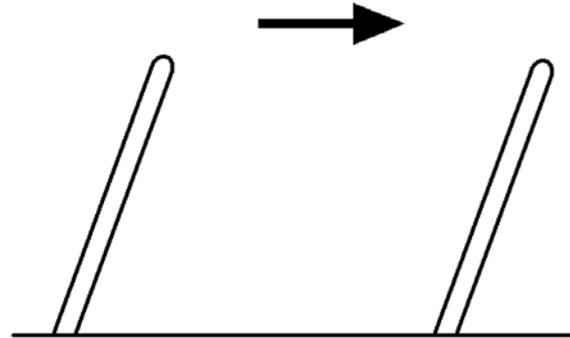


Abb. 2-4: Deklinante Buhnen (Ausrichtung stromab)

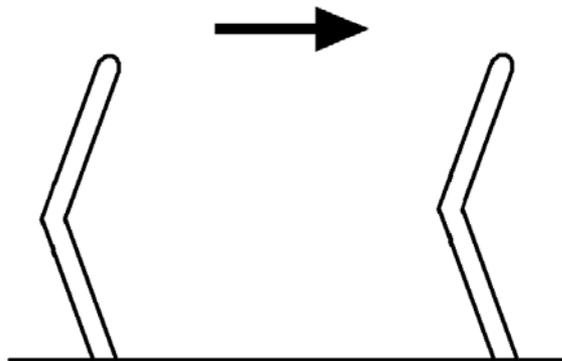


Abb. 2-5: Knickbuhnen als Kombination aus inklinanten und deklinanten Buhnen

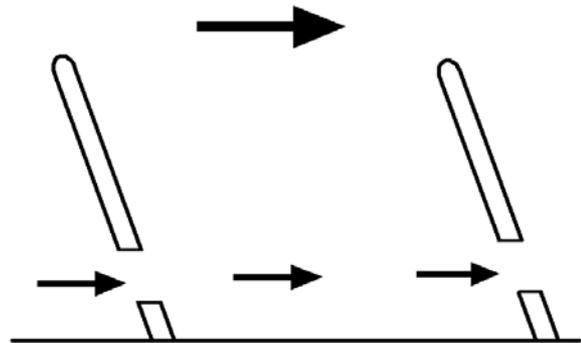


Abb. 2-6: Absenkungsbuhnen bzw. durchrissene Buhnen mit Durchrisströmung in Ufernähe

Vor allem an der Elbe stehen seit 1990 die hydromorphologischen, morphodynamischen, biologischen, physikalisch-chemischen und ökologischen Aspekte von Buhnenwirkungen verstärkt im Mittelpunkt verschiedener Forschungsprojekte, die von Bundesanstalten, Forschungsinstituten und Universitäten durchgeführt werden. Dazu dienen Naturuntersuchungen, Feldversuche, zoologische und botanische Erhebungen sowie numerische und physikalische Modellierungen. Insbesondere in Deutschland und den Niederlanden wird mit modifizierten Buhnentypen experimentiert um die hydromorphologischen Prozesse bezüglich der Sohlstabilität und Ökologie zu optimieren.

2.1.1 Physikalische und numerische Modellierung von hydraulischen Buhnenwirkungen

Auswirkungen von Buhnen auf Abflüsse und Sedimentationen an der Elbe wurden bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts ausführlich untersucht. ENGELS (1904), WINKEL (1927) und NEGER (1932) beschrieben detailliert Verlandungsprozesse, Geschiebetransport, hydraulische Verhältnisse und Bauweisen von Buhnen in Abhängigkeit von den flussmorphologischen Verhältnissen. In Versuchsrinnen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau (VWS) in Berlin wurden physikalische Modelle verwendet, die der Ermittlung hydraulischer Parameter sowie einer optimierten Ausrichtung und Länge der Buhnen dienen sollten. Hervorzuheben sind für die erste Hälfte des letzten Jahrhunderts Arbeiten von KREY (1935) und LIEBS (1942). Die 1935 veröffentlichten Untersuchungen von KREY bezogen sich für die Strecke von El-km 342,7 bis 346,4 unterhalb von Magdeburg auf einen geschiebeführenden Fluss ohne sichtbare Bankwanderungen und sollten Lösungen für eine geeignete Niedrigwasserregulierung bieten. Insgesamt 19 Versuche an einem Modell im Längen- und Breitenmaßstab von 1:200 und einem Tiefenmaßstab von 1:40 (fünffache Überhöhung) beinhalteten u.a. den Einbau neuer Buhnen und Varianten mit unterschiedlich geneigten Buhnenköpfen und Kopfschwellenbuhnen. Problematisch war damals wie heute die Wahl geeigneter Geschiebematerialien, da sich Korngrößen nicht in gleichem Maßstab wie das Modell reduzieren lassen und somit die Transporteigenschaften des Materials beeinflusst sind. LIEBS entwickelte ergänzend ein Verfahren zur Bestimmung von Modellgrundgrößen und bewertete den Stand der Versuchstechnik anhand von Vergleichen der Modellergebnisse mit Naturdaten. ZSCHIESCHE (1954) führte nach dem Krieg an der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (FAS) der DDR Modellversuche für zwei Elbeabschnitte (El-km 304 – 309; El-km 332 – 334) durch. Die Versuche bezogen sich auf die Verbesserungen der Fahrwasserverhältnisse mittels Modifikationen der Buhnen und ergaben als Resultate empfohlene Reduzierungen von Streichlinienbreiten und Streichlinienverlegungen sowie Feinregulierungen durch Kopfschwellen und abgeflachte Buhnenköpfe. Einen umfassenden Überblick über die Geschichte des Modellversuchswesens in Deutschland gibt GLAZIK (2000).

Modellversuche werden auch in neuerer Zeit für Untersuchungen von Flussabschnitten und Einbauten bzw. Veränderungen von Regelungsbauwerken verwendet. Bei den physikalischen Modellen finden überwiegend hydraulische Modelle, teilweise allerdings auch Luftmodelle Verwendung. NESTMANN & BACHMEIER (1987) beschrieben die Einsatzmöglichkeiten von Luftmodellen für die Simulation sohlennahen Feststofftransports. FELKEL (1975) experimentierte an der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe an hydraulischen Modellen mit unterschiedlichen Buhnenabständen und Buhnenlängen sowie den auf die

Buhnenhöhen bezogenen Wassertiefen. An der TU Wien verwendete OGRIS (1994) ein Modell für einen Vergleich möglicher Ausbauvarianten an der Donau zwischen Straubing und Vilshofen. Dabei standen die mittels Buhnenverbauung erreichbaren Tiefen und Vergleiche mit Parallelwerken hinsichtlich der Wasserspiegellagenänderungen im Vordergrund (RITZERT 2001). Weitere Versuche finden seit 1996 an der TU Wien zu Wasserspiegellagen bei nichtüberströmten Buhnen in Abhängigkeit von Buhnenabständen und Buhnenlängen statt (KROUZECKY 2001). Insbesondere die instationären Strömungsbedingungen in den Buhnenfeldern, den Wirbelstraßen und im Hauptstrom werden simuliert und beschrieben.

Die Ergebnisse physikalischer Modelle oder Naturdaten dienen oftmals als Grundlage für numerische Modellierungen. RITZERT (2001) nutzte die Ergebnisse der Modellversuche von FELKEL (1975) und OGRIS (1994) zur Extraktion von Beiwerten und zur Plausibilisierung der Berechnungsmethode für die Entwicklung eines Programms zur Ermittlung des Buhneneinflusses auf Wasserspiegellagen und Fließgeschwindigkeiten. TÖDTEN untersuchte 1975 bei der BAW anhand eines Gleichungssystems den Einfluss von Buhnen auf Wasserspiegellagen unter Berücksichtigung der Wasserbewegung in Ablösewirbeln und der damit zusammenhängenden Energieumwandlung, welche letztendlich die Funktionsweise der Buhnen ermöglicht. Er zeigte die Instabilität der Buhnenfeldwalzen in Buhnenfeldern auf; ein Phänomen das auch bei Naturmessungen aufgezeichnet wurde (WIRTZ & ERGENZINGER 2001). SPATARU (1971) beschrieb ebenfalls theoretisch für stationäre ungleichförmige Strömungen in künstlichen Becken die Erzeugung von Turbulenzen, die sich in variierenden Strömungsgeschwindigkeiten und Wasserspiegellagen äußern. KIMURA und HOSODA (1997) gelang es mittels Laborversuchen regelmäßige Oszillationen von Wasserspiegellagen in Stillwasserbecken und Schwankungen von Fließgeschwindigkeiten in der Übergangszone zum Hauptgerinne nachzuweisen und diese numerisch zu modellieren.

In einem niederländischen Verbundprojekt von Rijkswaterstaat-DWW, Delft Hydraulics und der Technischen Universität Delft galt das Interesse der Entwicklung eines neuen Buhnentyps, welcher um den Buhnenkopf geringere Auskolkungen, reduzierte Strömungsgeschwindigkeiten und Verwirbelungen sowie bei Hochwasser vermindertes Widerstandsverhalten sicherstellen sollte. Dazu wurden in einem physikalischen Modell fünf Varianten mit unterschiedlichen Neigungen und Durchlässigkeiten getestet und die Ergebnisse für die Entwicklung eines numerischen Modells verwendet, welches Vorhersagen von Umströmungen unterschiedlicher Buhnentypen bei variierten Wasserständen ermöglichen soll (UIJTTEWAAL 2001, VAN DER WAAL 2001, VAN SCHIJNDEL 2001). WEITBRECHT & HINTERBERGER (2001) untersuchten in einem physikalischen Modell an der Universität Karlsruhe den Einfluss von Buhnenfeldern auf den Stofftransport in Flüssen anhand von

schematisierten Flussabschnitten und führten numerische Large-Eddy-Simulationen zu turbulenten Strömungen innerhalb der Bühnenfelder durch. Für unterschiedliche Bühnenfeldgeometrien wurden mit beiden Verfahren die Austauschkoefizienten ermittelt und verglichen. Den Einfluss von Bühnen auf die Sohlenlage eines Flussabschnitts in der Bayerischen Donau quantifizierte SPANNRING (2000) an einem numerischen Modell mit beweglicher Sohle und entwickelte ein halbempirisches Verfahren für die Bestimmung von Sohleintiefungen in Bühnenstrecken. SÖHNGEN (2000) verglich mittels des Programmsystems COMET Bühnen und Parallelwerke bezüglich der unerwünschten Abflussminderung bei Hochwasser. Er stellte unter Nutzung praxisrelevanter Größen für Bühnenabstände und -längen einen um 20 % höheren Abfluss für die Leitwerksvariante fest, was einen deutlichen Vorteil für Leitwerke hinsichtlich des Hochwasserschutzes bedeutet.

Während in der Vergangenheit überwiegend die Regelung von Wasserspiegellagen, Sedimenttransport sowie Ufer- und Sohlstabilität im Vordergrund standen und vorwiegend verbesserte Schifffahrtsbedingungen angestrebt wurden, wird aktuell diskutiert, das ökologische Potenzial von Flüssen stärker als in der Vergangenheit zu berücksichtigen und in die Planungen zu integrieren. Eine Erweiterung wasserbaulicher Fragestellungen um ökologische Aspekte stellt das Projekt „Ökologische Optimierung von Bühnen in der Elbe“ dar. Die im Rahmen dieses Projektes umgebauten Knickbühnen wurden ebenfalls vorher in aerodynamischen (Maßstab 1:300), hydraulischen (Maßstab 1:30) und numerischen Modellen der BAW getestet. Versucht wird eine Verknüpfung der hydraulischen und technischen Anforderungen, wie sie von den Wasser- und Schifffahrtsämtern verlangt werden, mit dem ökologischen Ziel, eine flussgebietstypische Fauna und Flora zu erreichen (HENTSCHEL & ANLAUF 2001, 2002). Eine Kombination inklinanter und deklinanter Bühnen soll eine höhere morphologische Variabilität, reduzierte Verlandungen und insgesamt günstigere Strukturen in den Bühnenfeldern gewährleisten. Auch im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsverbundes Elbe-Ökologie wurden ökologische und wasserbauliche Untersuchungen gekoppelt. KREBS (2001) führte an der Technischen Universität Darmstadt sowohl Feldarbeiten zur Aufzeichnung hydraulischer und morphologischer Daten als auch numerische Modellierungen für die Berechnung morphodynamischer Veränderungen unter Berücksichtigung eines fraktionierten Geschiebe- und Schwebstofftransportes durch. In Zusammenarbeit mit Biologen der Universität Marburg wurden Varianten für ökologische Verbesserungen von Bühnenfeldern entwickelt und für diese anschließend hydromorphologische Auswirkungen von Hochwässern in dem Rechnermodell ermittelt.

2.1.2 Naturuntersuchungen und Luftbildauswertungen zu Bühnenwirkungen an der Elbe

Wie zuvor ausgeführt, beinhalteten die Forschungsarbeiten über einen Zeitraum von ungefähr hundert Jahren im Wesentlichen die Klärung hydraulischer und sedimentologischer Abläufe anhand von Laborversuchen und die Identifizierung geeigneter Parameter für Modellrechnungen. In Bühnenfeldern sind allerdings die komplexen hydraulischen Verhältnisse aufgrund maßstäblicher Probleme sowie notweniger Generalisierungen und Parametrisierungen mittels alleiniger Modellierungen nicht zu erfassen. In situ Untersuchungen stellen insofern notwendige Ergänzungen dar. Sowohl biologische als auch hydraulische, morphologische und sedimentologische Erhebungen bilden die Grundlagen für weitere Analysen mit statistischen Verfahren und die Verarbeitung räumlicher Daten. Umfangreiche Messungen sind auch aufgrund einer deutlichen Verbesserung der zur Verfügung stehenden Technik möglich geworden, wie sie z. B. die digitale Datenaufzeichnung und –verarbeitung bieten. Im Rahmen des Verbundprojektes Elbe-Ökologie und Untersuchungen der Bundesanstalten für Wasserbau und Gewässerkunde fanden über einen Zeitraum von 10 Jahren mehrere Projekte statt, die zu einem Großteil Naturuntersuchungen beinhalteten.

Verschiedene Forschungsarbeiten zu Hydraulik, Sedimentation und Stoffhaushalt, Makrozoobenthos und Fischen in Bühnenfeldern der Elbe wurden am Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) durchgeführt. SUKHODOLOV et al. (2001) konnten mittels Strömungsmessungen in Bühnenfeldern die Abhängigkeit der Anzahl großer Bühnenfeldwalzen vom Verhältnis des Abstandes der Bühnen zu den Bühnenlängen bestätigen, die UIJTTEWAAL (1999) anhand von Rinnenversuchen beschrieben hatte. Zusätzlich wurde die Komplexität von Wechselwirkungen zwischen Morphologie und Hydraulik aufgezeigt, die über die Möglichkeiten von vereinfachenden Simulationen in Versuchsrinnen hinausgeht.

Für Makrozoobenthos besteht eine komplexe Biozönose-Habitat-Beziehung, die vereinfachende Angaben zu Referenzhabitaten und die zu definierenden Qualitätskomponenten, wie in der WRRL vorgeschrieben, nicht möglich machen. Insbesondere Untersuchungen von Makrozoobenthos in Bühnenfeldern ergaben, dass sich biozöologisch keine mikroskaligen morphologischen Strukturen abgrenzen lassen. Die Verteilung des Makrozoobenthos innerhalb eines Bühnenfeldes wird durch graduelle Muster von hydraulischen Kräften, der Kornzusammensetzung und der Nahrungsressourcen bestimmt. Ursächlich für diese graduellen Muster sind die Sedimentverteilung aufgrund zurückliegender Hochwasserereignisse, aktuell wirkende mesoskalige morphodynamische Prozesse der überströmten Sohle und die Ein- und Ausströmmuster zwischen Bühnenfeld und Hauptgerinne (BRUNKE et al. 2003). Weiter-

hin signifikant im Vergleich zu natürlich, beispielsweise mit Inseln, Sandbänken und variabler Morphologie ausgestatteten Gewässern sind die scharfen Gegensätze der Bedingungen in den Bühnenfeldern und im Hauptstrom. Zusätzlich ergeben sich in den eigentlich strömungsberuhigten Bereichen für Kleinlebewesen bedeutende Störungsfaktoren durch schiffsinduzierten Sog- und Schwall und die dadurch verursachten Verdriftungen (BRUNKE et al. 2002a). BRUNKE et al. (2002b) erforschten in drei Bühnenfeldern die Bedeutung des schiffsinduzierten Sunks und Wellenschlags für die räumliche Verteilung und das Driftverhalten von Invertebraten. Die schiffsbeeinflusste Hydraulik in Bühnenfeldern wurde auch von ENGELHARDT et al. (2002) untersucht. Sie führten Schwebstoffanalysen durch und stellten eine 20 %ige Erhöhung der Partikelkonzentration nach Schiffsdurchfahrten fest.

Unterschiedliche Partikelsinkgeschwindigkeiten in Bühnenfeldern und Hauptstrom untersuchten KRÜGER & BUNGARTZ (2002) abhängig von Jahreszeiten, Wasserständen und den damit zusammenhängenden variierenden Turbulenzen und ermittelten die Anteile von Algen in den unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeitsfraktionen. Die Aufenthaltszeiten von Wasserkörpern und die Fließgeschwindigkeiten in Bühnenfeldern als steuernde Faktoren für weitere Prozesse, wie z.B. die Retention von Schadstoffen, standen im Mittelpunkt von numerischen Simulationen und in situ Durchführungen von Tracertests von KOZERSKI & SCHWARTZ (2001). SCHWARTZ & KOZERSKI (2003, 2002a, 2002b) quantifizierten weiterhin Sedimentationsraten und -mächtigkeiten sowie die Schadstoffbelastungen in unterschiedlichen Bereichen von Bühnenfeldern.

HOLST et al. (2002) erforschten die Bedeutung strömungsberuhigter Uferhabitats, wie Bühnenfelder und Altarme, für die Struktur und Dynamik des Zooplanktons in der Elbe. Die Morphologie dieser Uferhabitats, ihre räumliche Relation zum Hauptstrom sowie der laterale Gradient bezüglich Strömungsgeschwindigkeit und Verweilzeit werden dabei als maßgeblich für den Einfluss auf das Zooplankton im Hauptstrom angesehen. Am Umweltforschungszentrum Magdeburg (UFZ) wurde die Rolle von Stillwasserzonen als Quelle bzw. Senke für Wasserinhaltsstoffe unter besonderer Berücksichtigung des Phytoplanktons quantifiziert, welches einen erheblichen Einfluss auf die Wassergüte hat (OCKENFELD & GUHR 2002, OCKENFELD 2001). Die Auswirkungen des Schiffsverkehrs auf die Remobilisierung von Schwebstoffen und Algen (Sekundärverschmutzung) ermittelte GUHR (2001).

BÖHME (2001) untersuchte die Verteilung von Wassergüteparametern in Bühnenfeldern beider Ufer sowie im Hauptstrom und stellte sowohl Unterschiede im Tagesverlauf als auch im Querschnitt fest. Die Messwerte ermöglichten bei El-km 472,6 (182 km unterhalb der Saalemündung) noch den Nachweis des Einflusses der Saale auf Leitfähigkeit und Trübung durch

erhöhte Werte an der linken Uferseite. Generelle Vorschläge zur ökologischen Gestaltung von Buhnenfeldern entwickelte GAUMERT (1990) von der Wassergütestelle Elbe – ARGE Elbe und fordert für Buhnenfelder u.a. Mindesttiefen von 1,50 m bis 2,50 m bei mittlerem Niedrigwasser (MNW), verminderten Wasseraustausch zwischen Buhnenfeldern und Hauptstrom zur Vermeidung einer Zuschlickung durch eindriftende Schwebstoffe sowie die Einrichtung von Hartsandbereichen innerhalb der Flächen als Laichhabitate für Substratlaicher.

KRUMBIEGEL et al. (2002) nahmen die Vegetation in Buhnenfeldern auf, die für einjährige Uferfluren wichtige Primärlebensräume darstellen. Die heterogenen Strukturen und Substratverteilungen sowie die jährlichen Hochwässer resultieren in einer hohen Diversität und Dynamik der Vegetationseinheiten, und fördern das Vorkommen zahlreicher geschützter und gefährdeter Pflanzenarten. NESTMANN und BÜCHELE (2002) werteten Luftbilder und Schifffahrtskarten aus und verglichen die Ausdehnung vegetationsfreier Flächen, mit Buhnenabständen, Art des Verbaus und Lage (Prallhang, Gleithang). Eine einfache Zuordnung von Verlandungsformen und anderer Einflussfaktoren war nicht möglich. Die Ergebnisse bestätigten im Prinzip Verhältnisse, die auch für unverbaute Bereiche zutreffen, wie verstärkte Akkumulationen mit flacheren Neigungen und größeren vegetationsfreien Flächen an Gleithängen. HANNAPPEL & PIEPHO (1996) analysierten Luftbilder von Buhnenfeldern und führten eine Clusteranalyse für geeignete Standorte für Probennahmen durch. Dabei wurden die 6 Parameter Korngrößen, Einzugsgebiet, Verlandungsgrad, Lage im Fluss, Ausdehnung und Form der Wasserfläche verwendet. Beispiele für identifizierte Abhängigkeiten waren „Nähe zu städtischen Siedlungen“ und „Anteil an Feinmaterial“ sowie „Grobkörnigkeit“ und „Verlandungsgrad“.

Weitere zoologische Untersuchungen fanden zur Bewertung verschiedener Buhnentypen und der Buhnenfelder statt. KLEINWÄCHTER et al. (2002) untersuchten Laufkäfer als Indikatoren für Auswirkungen von Umbaumaßnahmen. Laufkäfer sind aufgrund hoher Besiedlungsaktivitäten besonders für die Beurteilung von Verlandungsflächen geeignet, die innerhalb von Buhnenfeldern entstanden sind und in Abhängigkeit von Wasserständen und Jahresganglinien sehr variable Habitate im mikroskaligen Bereich darstellen. FLADUNG (2002) verglich die Bedeutung von Buhnenfeldern für präadulte und adulte Fische mit Leitwerken, die aufgrund der kleinen Öffnungen zum Hauptstrom als strömungsberuhigt angesehen werden können. Dies bestätigte auch das Vorkommen limnophiler Fischarten, während hinter durchrissenen Buhnen mit höheren Fließgeschwindigkeiten geeignete Einstandsgebiete für typische Flussarten liegen. Die geringsten Artenzahlen und Abundanzen traten in stark verlandeten Buhnenfeldern mit intakten Buhnen auf. FREDRICH & ARZBACH (2002) verfolgten mit der Methode der Radiotelemetrie über Jahre das Wanderverhalten von

Fischen in der Elbe. Unter anderem wiesen sie für Quappen teilweise eine hohe Präferenz für bestimmte wenige Bühnenfelder nach, die immer wieder aufgesucht und in denen besonders die tiefen Kolke bevorzugt wurden.

SCHOLTEN & WIRTZ (2002) analysierten mittels eines modularen Habitatmodells (MHM) die Zusammenhänge von Jungfischgemeinschaften und Lebensräumen in unterschiedlich strukturierten Bühnenfeldern der Mittleren Elbe. Statistische Auswertungen von Fangergebnisse in verschiedenen Bereichen der Bühnenfelder für die Ermittlung von Habitatpräferenzen und die Verarbeitung von Naturdaten zu hydromorphologischen Gelände-modellen in einem GIS ermöglichten über eine Verknüpfung der Datenbestände die Lokalisierung und Quantifizierung von Gunst- und Ungunstflächen. PEZENBURG et al. (2002) entwickelten auf der Grundlage der in dem BMBF-Projekt EFi erhobenen Daten und der durchgeführten Habitatanalysen ein fischökologisches Leitbild für die mittlere Elbe. Für die Elbe existierte bis dahin kein fischökologisches Leitbild. Damit werden Vorschläge für eine mögliche Entwicklung der Elbe formuliert, wie es auch in der WRRL konzeptionell vorgesehen ist. Fische sind als Indikatoren für verschiedener ökologischer Funktionen besonders geeignet: Kontinuums- und Konnektivitätsverhältnisse werden aufgrund des Wanderverhaltens in verschiedenen Lebensstadien angezeigt, unterschiedliche Habitatstrukturen und trophische Verhältnisse können aufgrund unterschiedlicher Anpassungen identifiziert werden und die relative Langlebigkeit ermöglicht die Verwendung als Langzeitindikatoren (SCHIEMER 2000, JUNGWIRTH 1999).

2.2 Hydromorphologische, morphodynamische und ökologische Untersuchungen von Fließgewässern außerhalb des Elbegebietes

Die Veränderungen von Flüssen sind nicht nur in Mitteleuropa gravierend. Flüsse wurden in den letzten Jahrhunderten weltweit modifiziert. Nach einer Schätzung von DYNESIUS & NILSON (1994) für Nordamerika, Europa und die ehemaligen Sowjetrepubliken sind 77 % der 139 größten Ströme mit einem Abfluss von mehr als $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bezüglich des hydrologischen Regimes deutlich oder erheblich verändert. In den U.S.A. gelten nur noch 2 % der insgesamt 5,2 Mio. Stromkilometer als ursprünglich und unberührt (BENKE 1990).

Im Rahmen von Habitatuntersuchungen und –modellierungen spielen hydromorphologische Parameter zusätzlich zur Bestimmung der Gewässergüte eine zunehmende Rolle. MONTGOMERY (2001) und DORAVA et al. (2001) heben Wechselwirkungen von ökologischen und geomorphologischen Prozessen sowie geomorphologische Arbeitsweisen für die Identifizierung von habitatformenden Prozessen, Störungen und Entwicklung von Ansätzen

für Renaturierungen hervor. Insbesondere die Auswirkungen von Sedimenttransport und Abfluss auf die Gewässerbreite und -tiefe, das Breiten-Tiefen-Verhältnis, die Wellenlänge, das Gefälle und die Sinuosität wie sie SCHUMM (1977) qualitativ beschreibt, ermöglichen die Bestimmung von Eingriffsfolgen auf Fließgewässer (FITZPATRICK 2001). GILVEAR (1999) beschreibt klassische Arbeitsfelder, die vonseiten der fluvialen Geomorphologie im Rahmen des Fluss- und Auenmanagements bearbeitet werden. Die Erfassung von Zusammenhängen zwischen lateraler, vertikaler und longitudinaler Konnektivität und Grundrissen und Quer- und Längsprofilen sowie der Einfluss von Oberflächenformen und -prozessen auf Flussbiotope und ökologische Zustände sind dabei ebenso zu nennen wie die historische Flussentwicklung verschiedener Zeitskalen und die Identifizierung und Beurteilung geomorphologischer Schwellenwerte.

Longitudinale Veränderungen eines Flusssystemes beschreiben VANNOTE et al. (1980) in dem River Continuum Concept, welches auf kontinuierlichen Veränderungen hydrologischer und physikalisch-chemischer Bedingungen benthaler und pelagialer Lebensräume basiert, die die dominierenden Komponenten aquatischer Lebensgemeinschaften formen. Es dient der Beschreibung potenzieller Lebensgemeinschaften eines Flusses im Längsverlauf (SCHÄFER 1997). Vorhersagemöglichkeiten bietet dieses Konzept allerdings aufgrund der komplexen teilweise wechselnden Bedingungen nicht, die die Annahme eines gleichmäßig durchgängigen Kontinuums widerlegen (SEDELL et al. 1989). POOLE (2002) spricht in diesem Zusammenhang von einem Diskontinuum (river discontinuum), in dem beispielsweise jeder Zufluss neue Akzente setzt und die Vorhersagbarkeit mindert. Auch die aufgrund von Regulierungsmaßnahmen modifizierten Streckenabschnitte haben zu veränderten Abfolgen von Artengemeinschaften geführt.

Das von JUNK et al. (1989) entwickelte Modell der pulsierenden Systeme (Flood Pulse Concept) basiert auf der vorhersagbaren Dynamik von Fließgewässern und den Austauschvorgängen mit den Auen und hebt die vorhersagbare Hochwasserwelle als entscheidend hervor für die Existenz, Produktivität und Wechselbeziehungen zwischen den höheren Arten und den Überschwemmungsgebieten. Diese Prozesse sind allerdings in den modifizierten Flüssen aufgrund weitreichender Hochwasserschutzmaßnahmen stark eingeschränkt (SCHÄFER 1997).

Die Abnahmen reichhaltiger Strukturen, insbesondere in Ufer- und Auenbereichen kanalisierter oder regulierter Flussabschnitte bedeuten eine Reduzierung des Retentionsvermögens und damit einen Mangel an Nahrungsquellen für größere Artengemeinschaften. Das „Inshore Retention Concept“ wurde am stark regulierten österreichischen Abschnitt der Donau ent-

wickelt und beschreibt den Einfluss ufernaher Zonen auf die Entwicklung von Plankton und Fischlarven (SCHIEMER et al. 2001a). Die Dauer des Rückhaltevermögens durchfließender Wasserkörper ist für verschiedene biologische Funktionen von unterschiedlicher Bedeutung. Kleinräumige Bereiche mit kurzen Aufenthaltszeiten der Wasserkörper erlauben die Produktion von Phytoplankton. Für die Entwicklung von Zooplankton und Fischlarven sind hingegen Bereiche mit längeren Aufenthaltszeiten notwendig.

Einen umfassenden Überblick über die Entwicklung von Flussklassifikationen gibt ROSGEN (1994, 1996). Klassifikationsmöglichkeiten, die über klassische großräumige Ansätze, wie z.B. die Einteilung in Abhängigkeit von Transportprozessen in Ober-, Mittel- und Unterlauf (SCHUMM 1977), in gerade, verzweigte oder mäandrierende Abschnitte (LEOPOLD & WOLMAN 1957) oder in Flüsse unterschiedlicher Ordnungen (STRAHLER 1952, 1957) hinausgehen, stellen KELLERHALS & CHURCH (1989) vor. Die Klassifikationen beruhen u.a. auf Grundrissformen von Flüssen, Häufigkeit, Lage und Anordnung von Bänken und Inseln, Breitenverzweigungen und –aktivitäten und Sohlenformen in sandigen Flussbetten (Rippeln, Dünen, Antidünen). Insbesondere für die Beschreibung von Habitaten bieten diese großmaßstäbigen Darstellungen verbesserte Ansätze für die Erfassung von ufernahen, amphibischen und Auenbereichen, denen im Gegensatz zum eher gering geeigneten Hauptstrom große Bedeutungen als Nahrungs- und Rasthabitaten zukommen.

Die von KELLERHALS & CHURCH (1989) geforderten detaillierten Untersuchungen sind nach JOWETT (1998) skalenabhängig und nachrangig, falls die Merkmale makro- und mikroskalig gleichermaßen ausgeprägt sind. Die zielgerichtete Differenzierung zeitlicher und räumlicher Maßstäbe bietet hingegen die Möglichkeit verbesserte Erkenntnisse über die Habitatwahl zu gewinnen. Habitate sind maßstabsbedingt in Mikro-, Meso- und Makrohabitate eingeteilt. Die Zuordnung hängt von der Größe und den Ansprüchen der betrachteten Organismen ab. Generell sind Mikrohabitate wesentlich kleiner als die Gewässerbreite. Mesohabitate schließen sich an und können die Gewässerbreite übertreffen. Überbieten die Ausdehnungen der Untersuchungsgebiete die Gewässerbreite um ein vielfaches, gelten sie als Makrohabitate (BULT et al. 1998). Da die Verteilung von Arten aus vielfältigen Prozessen unterschiedlicher Skalen resultieren, die sich zudem überlagern können, gehen bei der Einbeziehung verschiedener Maßstäbe umfassendere Informationen mit ein (FRISSELL et al. 1986, ROSGEN 1994). RABENI (2000) untersuchte in Missouri in den U.S.A. sechs Habitat-typen von Invertebraten in insgesamt 45 Fließgewässern in drei unterschiedlichen Öko-regionen und stellte auf makroskaliger Ebene ein Übergewicht des Einflusses der für die jeweilige Ökoregion typischen Eigenschaften gegenüber lokalen Unterschieden fest, was sich in unterschiedlichen Artengemeinschaften der drei Ökoregionen ausdrückte. Innerhalb

der jeweiligen Ökoregionen hingegen, auf mikroskaliger Ebene, überwog der Einfluss von Habitateigenschaften, da die Artengemeinschaften gleicher Habitate unterschiedlicher Ökoregionen höhere Ähnlichkeiten aufwiesen, als Artengemeinschaften unterschiedlicher Habitattypen gleicher Ökoregionen. Die flächendeckende Übertragung mikroskaliger Ergebnisse auf makroskalige Ebenen ist allerdings nur mit einem hohen Messaufwand oder mittels mathematischer Modellierung zu gewährleisten (BULT et al. 1998).

Eine skalenorientierte Betrachtung wurde auch am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur (Boku) in Wien entwickelt. Das River Scaling Concept (RSC) verwendet im 1. Schritt, beginnend von mindestens dem Einzugsgebiet bis hin zur Punktskala ein downscaling-Verfahren und ermöglicht einen Überblick über die hierarchisch voneinander abhängenden Prozesse, auf dessen Basis dann Messungen erfolgen können. Das anschließende upscaling faßt diese Informationen zusammen (z.B. Sedimenttransportmessungen an einzelnen Querprofilen), um mittels numerischer Modelle Maßnahmen zu entwickeln, deren Erfolgsprognosen anzustellen und die ökologische Integrität zu erreichen (HABERSACK 2000).

Ein wesentlicher Aspekt flussartiger Habitate ist die begrenzende Wirkung von Schwellenwerten, welche ausschlaggebend für die Stabilität oder sogar das Vorhandensein von Habitaten sind. Ein Über- oder Unterschreiten dieser Werte kann signifikante Änderungen hervorrufen, beispielsweise die Anbindung von Seitengewässern oder Trockenfallen ufernaher Laichhabitate. Die Kenntnis geomorphologischer Schwellenwerte ist deshalb für die Steuerung von Eingriffen und eine Folgenabschätzung notwendig (CHURCH 2002). Anhand von Habitateignungskriterien können Schwellenwerte auch aus ökologischer Sicht festgelegt werden, z.B. für Mindestabflüsse, -tiefen oder -fließgeschwindigkeiten, die nicht unterschritten werden dürfen um den Ansprüchen betroffener Arten zu genügen (JOWETT 1998, 1997).

Einflüsse morphologischer Veränderungen an Fließgewässern auf die Zusammensetzung von Fisch- und anderer Artengemeinschaften werden weltweit, vor allem in Nordamerika untersucht. Die Ergebnisse zeigen signifikante Zusammenhänge auf. FROTHINGHAM et al. (2001) verglichen einen begradigten und einen benachbarten frei mäandrierenden Abschnitt des Embarras River in Illinois, U.S.A. und stellten in der mäandrierenden Strecke sowohl eine höhere zeitliche und räumliche Variabilität der Morphologie als auch größere Fische und eine erhöhte Individuenzahl fest, was eine höhere Biomassenproduktion für den natürlichen Flussabschnitt bedeutet. Zu ähnlichen Ergebnisse gelangten JACOBSON et al. (2001), die am unteren Missouri River einen hochwasserbedingt neu entstandenen unregulierten Seiten-

kanal untersuchten und eine variabelere Morphologie und höhere Fischartenzahl als im begradigten Abschnitt des Hauptstroms vorfanden.

BISCHOFF & WOLTER (2001) stellten nach der Jahrhundertflut an der Oder im Sommer 1997 erhebliche Veränderungen in Mesohabitaten fest. Im Bereich von Deichbrüchen war es zu zwei größeren Sandablagerungen gekommen und die vorher einförmige Morphologie umgestaltet worden. Vor allem Jungfische strömungsliebender Arten profitierten von der veränderten Situation, da sie zum einen vermutlich weniger als Stillwasserarten von Verdriftungen betroffen und zum andern besser in der Lage waren, die neugeschaffenen Strukturen zu nutzen. Verdriftungen von Fischlarven während des Hochwassers traten überwiegend in gering strukturierten Bereichen auf. PITLICK & WILCOCK (2001) geben einen Überblick über die vielfältigen Auswirkungen von Regulierungsmaßnahmen an Fließgewässersystemen auf Sedimenttransport und aquatische Habitate. Künstliche Abflussregime und Fließgeschwindigkeiten erzeugen Veränderungen in Morphologie und Korngrößenverteilung, benachteiligen angepasste Arten, insbesondere Spezialisten und erzeugen modifizierte Artenspektren. MUHAR et al. (2000) beschreiben die Habitatqualität von Flüssen in Österreich und bezeichnen 37 % der ursprünglich rithralen, 18 % der ursprünglich hyporhithralen und lediglich 6 % der früheren potamalen Fließgewässer als in einem guten oder sehr guten Zustand befindlich. Die wesentlichsten Modifikationen wurden in verzweigten oder mäandrierenden Abschnitten festgestellt.

Besonders die früher zahlreichen Inseln und Bänke wurden in vielen Flüssen Europas durch Regulierungsmaßnahmen reduziert oder sind gänzlich verschwunden. GURNELL & PETTS (2002) heben für eine hohe Habitatdiversität die Bedeutung von Inseln sowie den Kreislauf von Aufbau und Verfall hervor, die sich in ungestörten Flusssystemen aufgrund von ungehinderten Hochwässern, Akkumulationen von Totholz, Absterben von Baumbeständen und verschiedener Stadien von Inselentwicklung ergeben. Die immensen Mengen an Totholz in naturbelassenen Flüssen und den Verlust an Habitatvielfalt aufgrund deren Beseitigung im Zusammenhang mit Unterhaltungsmaßnahmen und die potentielle Bedeutung für Renaturierungen beschreiben GURNELL et al. (2002) und SEIFERT (1999). Teilweise können künstliche Habitate Funktionen verlorengangener natürlicher Strukturen übernehmen, wie WIRTZ & ERGENZINGER (2002) für Bühnenfelder der Mittleren Elbe und NICOLAS & PONT (1997) für künstliche, teilweise überschwemmte Staubereiche (Deichfelder) an der unteren Rhone beschreiben. NICOLAS & PONT unterteilten die Deichfelder wie die natürlichen Auenhabitate in durchströmte, teilweise durchströmte und stehende Gewässer und stellten die höchste Anzahl an Jungfischen in den teilweise durchströmten Deichfeldern fest. Dieses Ergebnis korrespondiert auch mit den Resultaten von FLADUNG (2002). Auch künst-

liche Strukturen und Mikrostrukturen, wie z.B. Marinas oder Anlegestege, sind in modifizierten Fließgewässern als Refugien, besonders für Stillwasserarten von großer Bedeutung (COPP 1997a, 1997b).

RICHARDS et al. (2002) befürworten für Auenrenaturierungen ausgewogene Maßnahmen, die in erster Linie der Beseitigung von Ursachen anstelle von Symptomen der reduzierten Artenvielfalt dienen sollten, wobei insbesondere eine der ursprünglichen Dynamik angepasste Entwicklung angestrebt wird. Voraussetzung für die Wiederherstellung natürlicher Prozesse sind Einzugsgebietsmanagement hinsichtlich des Sedimenttransportes und Modellierungen der spezifischen Flussbetteigenschaften und Hydrodynamik sowie der Sukzessionsstadien. KONDOLF & MICHELI (1995) empfehlen für eine Erfolgskontrolle von Auenrenaturierungen die Evaluierung von vier Einflussgrößen. Diese sind das Verhältnis von Abfluss zum Wasserstand, die Überflutungsdauer und -häufigkeit sowie Veränderungen im Sohlsubstrat und der Flussbettmorphologie, die besonders über regelmäßige Querprofilmessungen überprüft werden können.

2.3 Habitatmodelle

Als Decision Support System für die für Fließgewässerregulierungen verantwortlichen Entscheidungsträger wurde in den 1980er Jahren unter Leitung des U.S. Fish and Wildlife Service die Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) entwickelt (GORE 2001, STALNAKER et al. 1989, 1995, 1998), welche für verschiedene Planungsstadien vorgesehen ist. IFIM ist ein offenes System und besteht aus mehreren Modellen, die räumliche und zeitliche Aspekte von Flussregulierungen beschreiben. In IFIM wird sowohl die Eignung von Makro- als auch von Mesohabitaten geprüft. Die Einflussfaktoren auf Makrohabitate, wie Wasserqualität, Fließgerinnemorphologie, Temperatur und Abfluss können dabei mikroskalige Faktoren überlagern. Die Verknüpfung der unterschiedlichen Maßstäbe ermöglicht eine gleichzeitig umfassende und detaillierte Erfassung der Habitateignung für große Abschnitte bis hin zum gesamten Flusssystem (WADDLE 1998a). SLAVIK (1998a, 1998b) beschrieb die Einteilung in Makro- und Mikrohabitate für den tschechischen Abschnitt der Elbe und testete das in IFIM integrierte Physical Habitat Simulation Modell (PHABSIM) für Flüsse mit extremen Bedingungen (z.B. hohe pH-Werte). Dabei wurden zur Ableitung von Eignungsindizes von Jungfischen unter anderem auch Labortests durchgeführt. Als Makrohabitateigenschaften für den tschechischen Abschnitt der Elbe erwähnt SLAVIK u.a. die Wasserqualität, Sohlsubstrate und Sauerstoffsättigung, für Mikrohabitateigenschaften wer-

den veränderte Strömungen und Substrate oberhalb und unterhalb von Querverbauungen sowie die Durchlässigkeit angeführt.

Die dominierenden hydraulischen Faktoren für Benthosarten benennt GORE (2001): Schwebstoff- und Geschiebetransport, Strömungsprozesse innerhalb von Wassersäulen wie z. B. Turbulenzen, Fließgeschwindigkeitsprofile und sohlennahe Austauschvorgänge des Sohlsubstrats. Reynoldszahlen und die Sohl Schubspannung sind für die Erfassung von Umweltbedingungen benthischer Arten besonders geeignet, da sie die Parameter Fließgeschwindigkeit, Betrauheiten, Wassertiefe und Viskosität beinhalten. Weitere ergänzende Kriterien wie Froude-Zahl, sohlennahe Fließgeschwindigkeiten, Mächtigkeiten der viskosen Unterschicht u.a. können die Vorhersagbarkeit von Verteilung und Häufigkeit von Makroinvertebraten erheblich verbessern (GORE 1998). Der Einfluss dieser hydraulischen und sedimentologischen Variablen macht eine Vorhersage von Auswirkungen auf Artengemeinschaften nach Eingriffen hingegen nur möglich, wenn die hydraulischen Veränderungen prognostiziert werden können. Dies wird in PHABSIM mittels ein- und zweidimensionaler Strömungssimulationen vorgenommen, die wahlweise auf den Chezy- oder Manning-Strickler-Formeln basieren, welche die verbreitetsten Gleichungen zur Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeiten sind (GORE 2001, MERTENS 1994).

PHABSIM ist ein Modell für die Berechnung von Häufigkeitsindizes für Mikrohabitate bestimmter Lebensstadien und Wasserstände (GORE 1998). Es besteht aus einer hydraulischen Komponente und einer Komponente für die Ermittlung von Habitatansprüchen. Der hydraulische Bestandteil prognostiziert Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten unterschiedlicher Wasserstände an Querprofilen und wird über Daten, welche bei Feldmessungen erhoben werden, kalibriert. Entlang des jeweiligen Querprofils werden um die Messpunkte herum homogene Zellen definiert, für die die Werte dargestellt werden. Verwendet werden können sowohl gemessene als auch theoretisch abgeleitete Eingangswerte. PHABSIM nutzt zur Zeit ein eindimensionales Modell für die Beschreibung der Tiefen und Fließgeschwindigkeiten zwischen und entlang gemessener Transsekte. Ein Hauptkritikpunkt an dem System betrifft die mangelnde Genauigkeit von Darstellungen und Vereinfachung komplexer Strömungen ohne Berücksichtigung von z. B. Divergenzen und Wirbelbildungen (WADDLE 1998b). Die Verwendung von zweidimensionalen Finite-Elemente-Modellen wird zukünftig flächendeckende und genauere Darstellungen von Strömungen sowie die Weiterverarbeitung in einem GIS möglich machen, aber aktuell noch nicht in IFIM eingesetzt (GORE 2001).

Die zweite Habitat-Komponente von PHABSIM gewichtet die für die unterschiedlichen Zellen berechneten hydraulischen Parameter mit Werten zwischen 0 und 1 in Abhängigkeit von der

Bedeutung für die Lebensstadien, welche anhand von Untersuchungsergebnissen oder Expertenmeinungen festgelegt werden und als *habitat suitability indices* bezeichnet werden. Die Summe der gewichteten Zellen ergibt anschließend die *weighted usable areas* (WUA). Die Ergebnisse beschreiben die Habitateignung, nicht das tatsächliche Vorkommen von Arten. Die jeweiligen Zeitabschnitte werden unter stationären Bedingungen modelliert und berücksichtigen keine Abflussänderungen z. B. während des Durchlaufs einer Hochwasserwelle. Die Auswirkungen des Abflusses auf die Gerinnemorphologie ist ebenfalls nicht Bestandteil des Modells (MILHOUS 1998, STALNAKER 1995).

Ein Beispiel für die Anwendung von PHABSIM beschreiben GIBBINS & ACORNLEY (2000) für die Verbesserung von Laichhabitaten für Lachse in einer Ausleitungsstrecke unterhalb eines Staudamms (Kielder Reservoir) in Wales. Sie ermittelten für unterschiedliche Laich- und Aufwuchsperioden verbesserte Abflussregelungen um Verdriftungen von Jungfischen oder Trockenfallen von Laichhabitaten zu vermeiden. GORE et al. (1998) prognostizierten den Erfolg des Einbaus künstlicher Rauheiten in einem strukturarmen Flussabschnitt mit geringen Abflüssen in Tennessee hinsichtlich der Besiedlung mit benthischen Makroinvertebraten und stellten hohe Übereinstimmungen mit den anschließenden Untersuchungen fest.

Das vergleichbar aufgebaute modulare Simulationsmodell CASIMIR wurde am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart für habitatsbezogene Mindestwasserregelungen von Ausleitungsstrecken entwickelt und modelliert ebenfalls hydraulisch-morphologische Eigenschaften von Fließgewässern und die Gewässerbiologie sowie die Verknüpfung der Ergebnisse in einem Habitatmodell (BRATRICH & JORDE 1997, JORDE 1997, SCHNEIDER 1997). Ein Schwerpunkt der ersten Entwicklungsstufe lag auf der Erfassung und Simulation des hydraulischen Habitatangebots an der Gewässersohle, da diese insbesondere für die rhitrale und epipotamale (Bachoberläufe und obere Flussabschnitte) Gewässerbiologie von Bedeutung ist. Die hydraulischen Kräfte an der Sohle wurden mit FST-Halbkugeln gemessen und über statistische Verfahren die Abhängigkeit von unterschiedlichen Abflüssen berechnet. Neben den Strömungsintensitäten und –variabilitäten stellen weitere morphologische Parameter zur Gewässerstruktur, wie abflussabhängige Wassertiefen und Überflutungsintervalle amphibischer Zonen Bestandteile des hydraulisch-morphologischen Moduls dar. Die in einem weiteren Modul berechneten Habitatpräferenzen können mit dem simulierten hydraulischen Angebot einer beliebigen Mindestwasserregelung verbunden und somit Variantenvergleiche durchgeführt werden. Ein besonders interessanter Ansatz des Modells ist die Integration eines ökonomischen Moduls. Für die Anwendung von CASIMIR auf Ausleitungsstrecken von Kraftwerken können ökonomische und ökologische Aspekte verglichen und abgewogen werden.

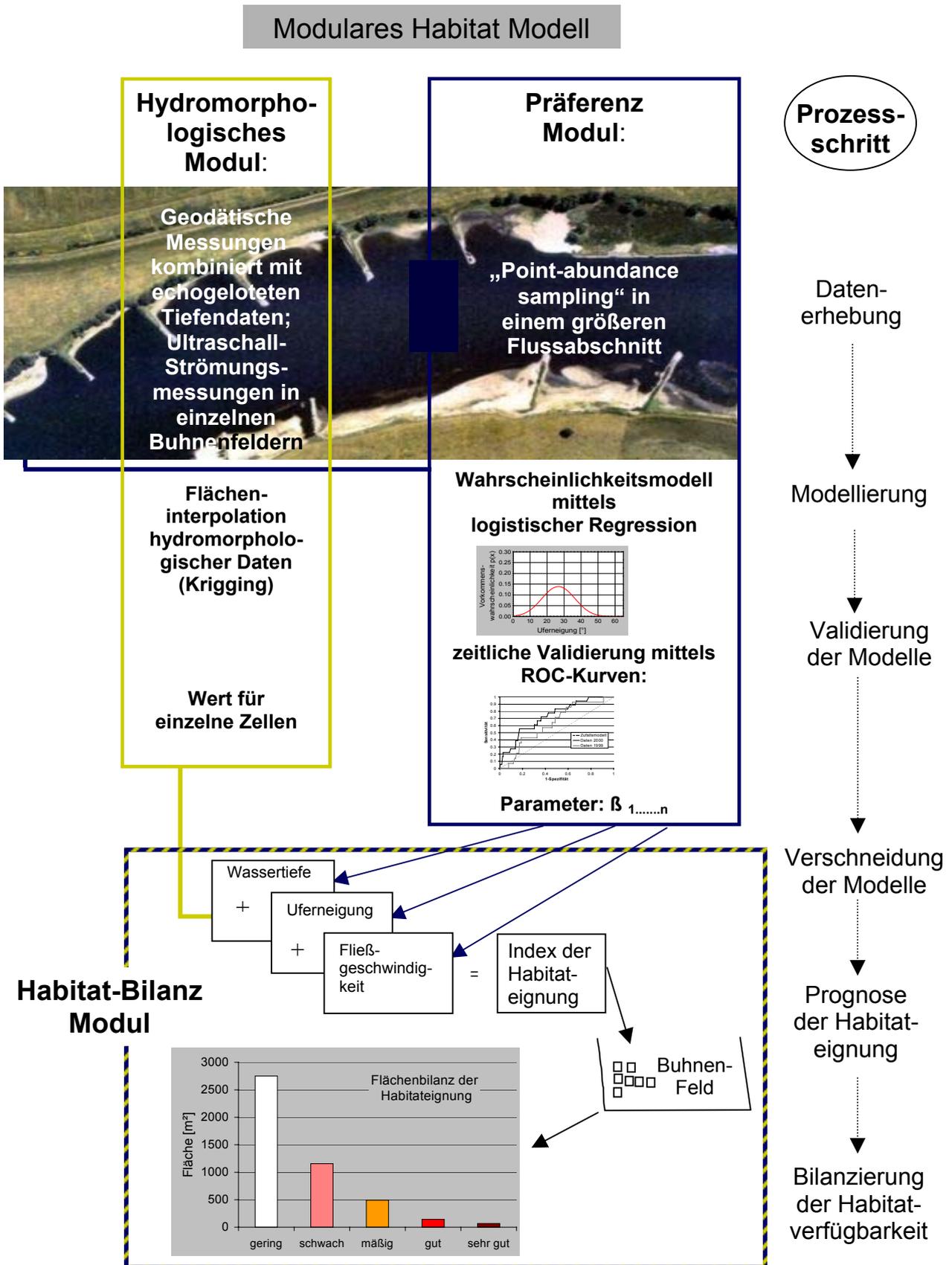


Abb. 2-7: Schematische Übersicht über das Modulare Habitatmodell (MHM) zur Analyse der Habitatverfügbarkeit für Fische in den Uferstrukturen der Mittelelbe (THIEL, Koord., 2002, verändert)

Auch LAMOUREUX et al. (1998) und LAMOUREUX & STATZNER (1997) koppelten hydraulische und biologische Modelle für Vorhersagemodelle von Habitatverfügbarkeiten für Fische in Fließgewässern. Für das hydraulische statistische Modell wurde kein deterministischer Ansatz gewählt, sondern die Häufigkeitsverteilung hydraulischer Parameter ermittelt. Die Inputparameter wurden mit relativ wenig Messaufwand erhoben (ca. 100 Tiefen-, 20 Korngrößen- der Sohle, und 20 Breitenaufnahmen zu 2 verschiedenen Abflüssen) um lokale Fließgeschwindigkeiten, Sohlschubspannungen und Wassertiefen zu prognostizieren. Die Annahme einer regelmäßigen Änderung dieser Parameter bei veränderten Abflüssen erleichterte diese einfache Modellierung erheblich und konnte bei Vergleichen von modellierten und gemessenen Daten bestätigt werden.

Die fließgewässerökologischen Habitatmodelle PHABSIM oder CASIMIR leiten die Präferenzen einzelner Arten und Entwicklungsstadien mittels univariater Modelle, die auf Expertenwissen oder Mittelwerten von Umweltvariablen basieren, ab. Diese Methode vernachlässigt hingegen mögliche Kovarianzen zwischen der hydraulischen Situation und biologischer sowie abiotischer Interaktionen (PARASIEWICZ & DUNBAR 2001). Zusätzlich werden die lokalen Habitate durch punktuelle einmalige Messungen beschrieben und die Verteilungsfunktion eines Parameters nicht ausreichend berücksichtigt. LAMOUREUX et al. (1998) erfassten stattdessen für einzelne Abschnittselemente eines Fließgewässers die statistische Variabilität der abiotischen Faktoren, speziell Tiefe und Fließgeschwindigkeit und verglichen sie mit biologischen Daten, wie z.B. der Häufigkeit einzelner Fischarten (THIEL (Koord.), BMBF-Abschlussbericht 2002).

Im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Ökologische Zusammenhänge zwischen Fischgemeinschafts- und Lebensraumstrukturen an der Elbe“ wurde ein Modulares Habitatmodell (MHM) entwickelt (Abb. 2-7), um eine fischökologische Bewertung von Bühnenfeldern hinsichtlich der Ausdehnung und Eignung von Habitaten zu ermöglichen (SCHOLTEN, WIRTZ, FLADUNG, THIEL 2003). Das MHM besteht aus einem hydromorphologischen Modul sowie Präferenz- und Bilanzmodulen:

- In dem hydromorphologischen Modul werden die im Gelände für verschiedene Abflüsse erhobenen hydraulischen und morphologischen Daten in einem Raster von 2*2 m bzw. 1*1 m in die Fläche interpoliert und in einem GIS verwaltet um Abfragen und Verknüpfungen zu ermöglichen.
- Das Präferenzmodul analysiert und prognostiziert die Beziehungen zwischen dem Vorkommen einzelner Arten und Entwicklungsstadien dominanter Fischarten der mittleren Elbe und relevanter abiotischer Habitatfaktoren.

- Das Bilanzmodul quantifiziert und bewertet die Habitateignung unterschiedlicher Uferstrukturen durch die Verschneidung der Ergebnisse des hydromorphologischen Moduls und des Präferenzmoduls in einem GIS. Das Ergebnis stellt für die einzelnen Rasterflächen die art- und entwicklungsspezifischen Habitateignungen auf einer Skala von 0 bis 1 dar und ermöglicht darüber hinaus die Bewertung der Habitatverfügbarkeit der Buhnenfelder auf mikro- oder mesoskaligem Niveau.

Die Grundstruktur des MHM unterscheidet sich nicht wesentlich von den oben beschriebenen Modellen PHABSIM und CASIMIR. Die Unterschiede liegen im Aufbau der einzelnen Module. Das hydromorphologische Modul beschreibt in hoher Genauigkeit aufgenommene Zustände für ausgesuchte Buhnenfelder bei Niedrig- und Mittelwasserständen und enthält beispielsweise neben mittleren Fließgeschwindigkeiten auch weitere statistische Größen wie Maxima, Minima, Standardabweichungen und Varianzen von Strömungen innerhalb des Messintervalls von 3 bis 5 Minuten. Damit können ökologische Amplituden zusätzlich berücksichtigt werden. Eine Erweiterung des im Rahmen des BMBF-Projektes erstellten Moduls um Hochwasserstände sowie ebenfalls um Mittel- und Niedrigwasserstände für weitere Buhnenfelder erfolgte anhand der im BAW-Projekt erhobenen Daten im Rahmen der vorliegenden Arbeit. Die Auswertung für repräsentative Wasserstände der Mittleren Elbe anhand exemplarisch untersuchter Flächen wird so möglich.

Das hydromorphologische Modul enthält keine Prognosefunktionen. Dies liegt an den komplexen Wechselwirkungen von hydraulischen und morphologischen Prozessen sowie Wirbelbildungen und Instationaritäten in den Buhnenfeldern, die eine Modellierung von Strömungen in Abhängigkeit von Rauigkeit, Neigung und Abfluss wie in Gerinnen von Ausleitungsstrecken nicht ohne weiteres ermöglichen (WIRTZ & ERGENZINGER 2001, SUKHODOLOV et al. 2001). Für den Bereich von Flussregelungsbauwerken sind die Kenntnisse über Strömungsverhältnisse, ihre Wechselwirkungen mit der Morphologie der Flusssohle und der Schifffahrt immer noch unzureichend für detaillierte numerische Modellierungen (HENTSCHEL 2000). Ansätze für Modellierungen, wie unter 2.1.1. beschrieben, sind vorhanden, befinden sich aber noch im Stadium der Entwicklung oder Validierung.

Das 2. Modul in MHM, das Präferenzmodul, stellt im Vergleich mit den biologischen Modulen für die Berechnung von Habitateignungsindizes von PHABSIM und CASIMIR eine Weiterentwicklung dar und führt moderne statistische Verfahren hinsichtlich der Entwicklung von Präferenzmodellen (multiple logistische Regression) und ihrer Validierung („Receiver operating characteristic curves“, ROC-Kurven) in die Habitatmodellierung für Fische in Fließgewässern ein (SCHOLTEN, WIRTZ, FLADUNG, THIEL 2003). Insbesondere die Gewichtung der

einzelnen Faktoren und der Interaktion unter ihnen, wie sie von PARASIEWICZ & DUNBAR (2001) gefordert wird, sind in den univariaten Präferenzkurven in PHABSIM nicht enthalten (SCHOLTEN, WIRTZ, FLADUNG, THIEL 2003).

Als weiteres Ergebnis des Bilanzmoduls ergibt sich die hydromorphologische Charakterisierung von Mikrohabitaten innerhalb von Bühnenfeldern, die sich an entwicklungsspezifischen Kriterien der Larven und Jungfische orientieren. Damit lassen sich die für verschiedene Arten und Entwicklungsstadien notwendige Habitate identifizieren und quantifizieren (SCHOLTEN, WIRTZ, FLADUNG, THIEL 2003; vgl. Kapitel 9).