



Ökosystemfunktionen von Flussauen

**Analyse und Bewertung von Hochwasserretention,
Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat,
Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion**

Mathias Scholz, Dietmar Mehl, Christiane Schulz-Zunkel,
Hans Dieter Kasperidus, Wanda Born und Klaus Henle

Naturschutz und Biologische Vielfalt
Heft 124

Ökosystemfunktionen von Flussauen

**Analyse und Bewertung von Hochwasserretention,
Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat,
Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion**

Ergebnisse des F+E-Vorhabens (FKZ 3508 850 100)

Mathias Scholz
Dietmar Mehl
Christiane Schulz-Zunkel
Hans Dieter Kasperidus
Wanda Born
Klaus Henle

unter Mitarbeit von

Arne Cierjacks, Sarah Gwilym-Margianto, Bernd Hansjürgens, Christiane Ilg,
Doreen Kasper, Frank Krüger, Volker Meyer, Stephanie Natho, Holger Rupp,
André Steinhäuser, Andrea Steinmann und Markus Venohr

Bundesamt für Naturschutz
Bonn - Bad Godesberg 2012

Titelfotos: links oben: Deichbruch bei Lutherstadt Wittenberg an der Mittleren Elbe (Sachsen-Anhalt) während des Hochwassers im August 2002 (A. Künzelmann, UFZ);
rechts oben: schwebstoffreiches Hochwasser (C. Schulz-Zunkel, UFZ);
links unten: überstautes Moor in Mecklenburg-Vorpommern (K. Henle, UFZ);
rechts unten: balzende Moorfrösche (A. Künzelmann, UFZ)

Adressen der Autorinnen und Autoren:

Dipl.-Ing. Mathias Scholz*

Dipl.-Geoökol. Christiane Schulz-Zunkel*

Dipl.-Ing. Hans Dieter Kasperidus*

Dr. Wanda Born**

Prof. Dr. Klaus Henle*

Dr. Dr. Dietmar Mehl

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

Department Naturschutzforschung*

Department Ökonomie**

Permoserstraße 15

04318 Leipzig



biota –

Institut für ökologische Forschung

und Planung GmbH

Nebelring 15

18246 Bützow



Fachbetreuung im BfN:

Dr. Thomas Ehlert

Fachgebiet II 3.2

„Binnengewässer, Auenökosysteme und Wasserhaushalt“

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank *DNL-online* (www.dnl-online.de).

Herausgeber : Bundesamt für Naturschutz (BfN)

Konstantinstr. 110, 53179 Bonn

URL: www.bfn.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN

Druck: Griebisch & Rochol Druck GmbH & Co. KG, Hamm

Bezug über: BfN-Schriftenvertrieb – Leserservice –
im Landwirtschaftsverlag GmbH
48084 Münster

Tel.: 0 25 01/8 01-3 00, Fax: 0 25 01/8 01-3 51

oder im Internet:

www.buchweltshop.de/bfn

ISBN 978-3-7843-9177-9

Bonn - Bad Godesberg 2012

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	12
Vorwort	15
Danksagung	16
1 Einführung	17
MATHIAS SCHOLZ, DIETMAR MEHL, CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL, HANS DIETER KASPERIDUS, WANDA BORN und KLAUS HENLE	
1.1 Ökosystemfunktionen und Ökosystemleistungen	17
1.2 Ökosystemfunktionen von Auen	18
1.2.1 Hochwasserretention	21
1.2.2 Nährstoffrückhalt	22
1.2.3 Kohlenstoffvorrat und Treibhausgasemissionen	24
1.2.4 Habitatfunktion	25
1.2.5 Grundwasser.....	27
1.2.6 Erholung.....	29
1.3 Zustand der Flussauen	30
1.4 Forschungsfragen und Aufbau der Arbeit	32
2 Hochwasserretention	34
DIETMAR MEHL, ANDRÉ STEINHÄUSER, HANS DIETER KASPERIDUS und MATHIAS SCHOLZ	
2.1 Einleitung	34
2.2 Methodik	35
2.3 Ergebnisse	42
2.4 Diskussion und Fazit	46
3 Nährstoffrückhalt	48
CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL, MATHIAS SCHOLZ, HANS DIETER KASPERIDUS, FRANK KRÜGER, STEPHANIE NATHO und MARKUS VENOHR	
3.1 Einleitung	48
3.2 Methoden.....	50
3.2.1 Erfassung der Stickstoffretentionsleistung	51
3.2.1.1 Rezente Auen.....	51
3.2.1.2 Fluss.....	54

3.2.2	Erfassung der Phosphorretention	55
3.2.2.1	Rezente Auen.....	55
3.2.2.2	Fluss.....	58
3.2.3	Einordnung der Ergebnisse	58
3.3	Ergebnisse	59
3.3.1	Stickstoffretention	59
3.3.1.1	Bundesweiter Überblick	59
3.3.2	Phosphorretention	63
3.3.2.1	Bundesweiter Überblick	63
3.3.2.2	Ereignisbezogener Phosphorrückhalt in rezenten Auen: Fallbeispiel Elbe	67
3.4	Diskussion und Fazit	71
4	Kohlenstoffvorrat und Treibhausgasemissionen	73
4.1	Kohlenstoffvorrat in Flussauen	73
	MATHIAS SCHOLZ, ARNE CIERJACKS, HANS DIETER KASPERIDUS, CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL, HOLGER RUPP, ANDREA STEINMANN und FRANK KRÜGER	
4.1.1	Kenntnisstand bei mineralischen Böden	73
4.1.2	Methoden zur Ermittlung des Kohlenstoffvorrates von mineralischen Auenböden.....	75
4.1.3	Ergebnisse zum Kohlenstoffvorrat von Auenböden	78
4.1.3.1	Kohlenstoffvorrat von Donau- und Elbauen.....	78
4.1.3.2	Deutschlandweite Schätzung des Kohlenstoffvorrates von Flussauenböden	80
4.1.3.3	Schätzung des Kohlenstoffvorrates von Auenwäldern.....	83
4.1.4	Diskussion und Fazit	84
4.2	Treibhausgasemissionen in Flussauen.....	85
	DIETMAR MEHL, ANDRÉ STEINHÄUSER, DOREEN KASPER, HANS DIETER KASPERIDUS und MATHIAS SCHOLZ	
4.2.1	Kenntnisstand für Moore.....	85
4.2.2	Methoden.....	89
4.2.2.1	Das Konzept der Emissionsfaktoren für Moor- und Nutzungstypen nach HÖPER (2007)	89
4.2.2.2	Das Konzept der Treibhaus-Gas-Emissions-Standort-Typen nach COUWENBERG et al. (2008) und Umsetzung für die Warnow-Aue.....	91

4.2.3	Ergebnisse	94
4.2.3.1	Bundesweite Treibhausgasemissionen aus Mooren in Flussauen	94
4.2.3.2	Treibhausgasemissionen aus Mooren in Flussauen in Mecklenburg-Vorpommern.....	97
4.2.3.3	Vergleichende Detailuntersuchung zu den Treibhausgasemissionen für die Warnow-Aue.....	98
4.2.4	Diskussion und Fazit	100
5	Habitatfunktion	102
	MATHIAS SCHOLZ, HANS DIETER KASPERIDUS, CHRISTIANE ILG und KLAUS HENLE	
5.1	Einführung.....	102
5.2	Auswertung der FFH-Datenbank Deutschlands.....	103
5.2.1	Auentypische FFH-Lebensraumtypen.....	108
5.2.1.1	Weichholz-Auenwald	108
5.2.1.2	Hartholz-Auenwald	112
5.2.1.3	Grünland	116
5.2.1.4	Uferbereiche	121
5.2.1.5	Altgewässer	124
5.3	Erfassung der Habitatfunktion.....	127
5.3.1	Methoden.....	127
5.3.2	Ergebnisse	133
5.3.2.1	Habitatfunktion.....	133
5.3.2.2	Natura 2000-Gebiete.....	136
5.3.2.3	Landnutzungsintensität.....	138
5.3.2.4	Feuchtlebensräume und gesetzlich geschützte Biotope.....	141
5.3.2.5	Rückstau	143
5.4	Diskussion und Fazit	145

6	Ökonomische Bewertung von Ökosystemfunktionen in Flussauen	147
	WANDA BORN, VOLKER MEYER, MATHIAS SCHOLZ, HANS DIETER KASPERIDUS, DIETMAR MEHL, CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL und BERND HANSJÜRGENS	
6.1	Einleitung	147
6.2	Grundlagen der ökonomischen Bewertung	148
6.2.1	Die marginale Betrachtung.....	148
6.2.2	Die Quantifizierung ökologischer Wirkungszusammenhänge als Voraussetzung für eine ökonomische Bewertung	148
6.3	Hochwasserschutz	149
6.3.1	Einleitung und Zielstellung	149
6.3.2	Methodik	150
6.3.3	Ergebnisse	151
6.3.4	Diskussion	156
6.4	Nährstoffretention	157
6.4.1	Einleitung und Zielstellung	157
6.4.2	Methodik	157
6.4.3	Ergebnisse	160
6.4.4	Diskussion	161
6.5	Treibhausgasemissionen in Auen.....	165
6.5.1	Einleitung und Zielstellung	165
6.5.2	Methodik	165
6.5.3	Ergebnisse	166
6.5.4	Diskussion	166
6.6	Fazit.....	167
7	Wirkung von Deichrückverlegungen auf die Auenfunktionen	169
	MATHIAS SCHOLZ, HANS DIETER KASPERIDUS, DIETMAR MEHL und CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL	
7.1	Einleitung	169
7.2	Methoden.....	170
7.3	Flächenausstattung der Deichrückverlegungsflächen	173
7.4	Ergebnisse	176
7.5	Diskussion und Fazit	182

8	Szenarien künftiger Auenentwicklung	184
	MATHIAS SCHOLZ, HANS DIETER KASPERIDUS, DIETMAR MEHL, WANDA BORN und CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL	
8.1	Einführung.....	184
8.2	Ist-Zustand.....	185
8.3	Szenario: Biologische Vielfalt 2020.....	187
8.4	Szenario: Referenzzustand	192
8.5	Diskussion und Fazit	197
9	Forschungsbedarf.....	198
	MATHIAS SCHOLZ, DIETMAR MEHL, CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL, HANS DIETER KASPERIDUS, WANDA BORN und KLAUS HENLE	
9.1	Einleitung	198
9.2	Datenanforderungen	199
9.3	Hochwasserschutz	200
9.4	Nährstoffretention	202
9.5	Kohlenstoffsенke und Treibhausgasemissionen.....	203
9.6	Habitatfunktion.....	204
9.7	Ökonomie	205
9.8	Fazit.....	206
10	Zusammenfassung	207
	MATHIAS SCHOLZ, DIETMAR MEHL, CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL, HANS DIETER KASPERIDUS, WANDA BORN und KLAUS HENLE	
11	Summary	215
	MATHIAS SCHOLZ, DIETMAR MEHL, CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL, HANS DIETER KASPERIDUS, WANDA BORN, SARAH GWILLYM-MARGIANTO und KLAUS HENLE	
12	Literaturverzeichnis	222
13	Übersicht der verwendeten Fachdaten.....	247
	Anhänge	249
	Abkürzungsverzeichnis	256
	Adressen der Autorinnen und Autoren.....	257

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1:	Nutzen-Pyramide von Ökosystemleistungen in Auen.....	21
Abb. 2-1:	Einflussfaktoren und Ausgangssignale des hydrologischen Regimes der Fließ- und Standgewässer und angedeutete Übernahme der Detailmethodik	36
Abb. 2-2:	Auenretentionsverlust der Flussauen bezogen auf die morphologische Aue (15.535 km ²) an 79 Flüssen in Deutschland.....	42
Abb. 2-3:	Übersicht zum Auenretentionsverlust.	43
Abb. 2-4:	Auenretentionsverlust nach Flussgebieten bezogen auf die morphologische Aue (15.535 km ²) an 79 Flüssen in Deutschland.	44
Abb. 2-5:	Auenretentionsverlust an den Strömen Rhein, Donau, Elbe und Oder und 75 Flüssen in Deutschland bezogen auf die morphologische Aue.	45
Abb. 2-6:	Auenretentionsverlust im Bereich des Oberrheins bezogen auf die morphologische Aue.	45
Abb. 2-7:	Auenretentionsverlust der Ostseezuflüsse bezogen auf die morphologische Aue.....	46
Abb. 3-1:	Methodische Herangehensweise für die Erfassung der Stickstoffretention in großen Fluss-Auen-Ökosystemen.	52
Abb. 3-2:	Ausgewählte Ergebnisse der Literaturoswertung zur Denitrifikationsleistung in Gewässern der Aue.	53
Abb. 3-3:	Ausgewählte Ergebnisse der Literaturoswertung zur Denitrifikationsleistung in Flüssen.	55
Abb. 3-4:	Methodische Herangehensweise für die Erfassung der Phosphorretention in großen Fluss-Auen-Ökosystemen.	56
Abb. 3-5:	Ausgewählte Ergebnisse der Literaturoswertung zur Phosphorretention in Auen.....	57
Abb. 3-6:	Stickstoffretentionspotenzial in den 25 flächenmäßig größten Flussauen in [t/a].....	60
Abb. 3-7:	Stickstoffretentionspotenzial in den rezenten Auen von 79 Flüssen.	62
Abb. 3-8:	Phosphorretentionspotenzial in den 25 flächenmäßig größten rezenten Auen in [t/a].....	64
Abb. 3-9:	Vergleich der Flächennutzung in den rezenten Auen der Flüsse Isar, Elbe, Rhein und Main in %.	65
Abb. 3-10:	Phosphorretentionspotenzial in den rezenten Auen von 79 Flüssen.	66
Abb. 3-11:	Das Untersuchungsgebiet Schönberg Deich zwischen den Stromkilometern 435 und 440.	67
Abb. 3-12:	Phosphorrückhalt in der rezenten Elbaue bei Schönberg Deich.	68
Abb. 3-13:	Frühjahrschocwasser 2006 im Untersuchungsgebiet Schönberg Deich.....	70
Abb. 4-1:	Kohlenstoffvorrat in Auenböden der rezenten Aue.	79
Abb. 4-2:	Kohlenstoffvorrat in Auenböden der Altaue.	80
Abb. 4-3:	Kohlenstoffvorrat der Böden in den rezenten Flussauen in Deutschland.....	81
Abb. 4-4:	Landnutzungsbezogener Kohlenstoffvorrat der Auenböden / Gleye in den rezenten Flussauen.	82

Abb. 4-5:	Kohlenstoffvorrat der Böden in der Altaue von Flüssen.....	82
Abb. 4-6:	Treibhausgasemissionen von Mooren in Abhängigkeit vom mittleren Wasserspiegel und der Nutzung.....	87
Abb. 4-7:	Prozentuale Verteilung der häufigsten Offenland-Vegetationsformen in der Warnow-Aue.....	93
Abb. 4-8:	Raumkonkretes Beispiel der Ausprägung von Vegetationsformen in der Warnow-Aue in Mecklenburg-Vorpommern.....	94
Abb. 4-9:	Verbreitung organischer Böden in den morphologischen Flussauen.....	95
Abb. 4-10:	Treibhausgasemissionen organischer Böden in den rezenten Flussauen und in den Altauen nach Flussgebieten.....	96
Abb. 4-11:	Vergleich der Treibhausgaspotenziale in Mecklenburg-Vorpommern anhand der Bodenkonzeptkarte (VBK MV) und der Geologischen Über- sichtskarte (GÜK200).....	98
Abb. 5-1:	Anzahl der FFH-Gebiete nach Flächengröße, die die Flussauenkulisse schneiden (insgesamt 702 Gebiete).....	104
Abb. 5-2:	Erhaltungszustand nach biogeographischen Regionen für ausgewählte aumentypische Lebensraumtypen (LRT) in Deutschland.....	105
Abb. 5-3:	Anzahl der Nachweise aumentypischer Lebensraumtypen in FFH-Gebieten in 79 Flussauen und Einschätzung des Erhaltungszustandes.....	106
Abb. 5-4:	Fläche ausgewählter Auenwaldtypen bezogen auf Flussgebiete.....	110
Abb. 5-5:	Verbreitung und Erhaltungszustand von Erlen-Eschen-Auenwäldern und Weiden-Auenwäldern (LRT 91E0) in FFH-Gebieten der Flussauen.....	111
Abb. 5-6:	Hartholz-Auenwald an der Mittel-Elbe mit wassergefüllter Flutrinne nach Frühjahrs-Hochwasser (Foto: M. Scholz).....	112
Abb. 5-7:	Beispielhafte Darstellung von mittleren Artenzahlen für Brutvögel in ausgesuchten Lebensräumen der Mittleren Elbe.....	113
Abb. 5-8:	Beispielhafte Darstellung von mittleren Siedlungsdichten für Brutvögel (je 10 ha) in ausgesuchten Lebensräumen der Mittleren Elbe.....	113
Abb. 5-9:	Verbreitung und Erhaltungszustand von Hartholz-Auenwäldern (LRT 91F0) in FFH-Gebieten der Flussauen.....	115
Abb. 5-10:	Fläche ausgewählter Grünlandtypen bezogen auf Flussgebiete.....	117
Abb. 5-11:	Artenreiche Stromtalwiese mit blühendem Kantenlauch und Brenndolden im Bereich der Mittleren Elbe (Foto: K. Follner).....	117
Abb. 5-12:	Verbreitung und Erhaltungszustand von Mageren Flachland-Mähwiesen (LRT 6510) in FFH-Gebieten der Flussauen.....	118
Abb. 5-13:	Verbreitung und Erhaltungszustand von Brenndoldenwiesen (LRT 6440) in FFH-Gebieten der Flussauen.....	119
Abb. 5-14:	Fläche ausgewählter Gewässer- und Uferlebensraumtypen bezogen auf Flussgebiete.....	121
Abb. 5-15:	Verbreitung und Erhaltungszustand von Naturnahen Ufern – Flüsse mit Schlamm-bänken mit Vegetation des <i>Chenopodietum rubri</i> p.p. und des <i>Bidentium</i> (LRT 3270) in FFH-Gebieten der Flussauen.....	122
Abb. 5-16:	Pionierv egetation an der Mittleren Elbe (Foto: M. Scholz).....	123

Abb. 5-17: Mündungsbereich der Saale in die Elbe mit unterstromig angeschlossenen Altwasser (Foto: A. Künzelmann, UFZ).....	124
Abb. 5-18: Verbreitung und Erhaltungszustand von natürlich eutrophen Seen mit einer Vegetation des Magnopotamions oder Hydrocharitions (LRT 3150) in Flussauen.	125
Abb. 5-19: Bewertungsvorschrift für das Merkmal Landnutzungsintensität.	130
Abb. 5-20: Berechnungsvorschrift zur Ermittlung des Habitatindexes.....	132
Abb. 5-21: Verteilung der Einstufungen des Habitatindexes für die rezenten Flussauen bezogen auf 1-km-Auensegmente.....	133
Abb. 5-22: Übersichtskarte zum Habitatindex der rezenten Flussauen.....	134
Abb. 5-23: Beispielhafte Darstellung der Habitatfunktion für die Mittlere Elbe (links) und den Donau-Isar-Bereich (rechts).	135
Abb. 5-24: Verteilung der Klassen des Habitatindexes für die rezenten Flussauen bezogen auf Flussgebiete.	135
Abb. 5-25: Flächenanteil von Natura 2000-Gebieten in den rezenten Flussauen bezogen auf 1-km-Auensegmente.	136
Abb. 5-26: Übersichtskarte zum Flächenanteil von Natura 2000-Gebieten in den rezenten Flussauen.	137
Abb. 5-27: Flächenanteil von Natura 2000-Gebieten bezogen auf Flussgebiete.....	138
Abb. 5-28: Übersichtskarte zum Landnutzungsintensität in den rezenten Flussauen.	139
Abb. 5-29: Landnutzungsintensität in den rezenten Flussauen bezogen auf 1-km-Auensegmente.....	140
Abb. 5-30: Landnutzungsintensität bezogen auf Flussgebiete.	140
Abb. 5-31: Flächenanteil von Feuchtgebieten und geschützten Biotopen in den rezenten Flussauen bezogen auf 1-km-Auensegmente.	141
Abb. 5-32: Übersichtskarte zum Flächenanteil von Feuchtlebensräumen und geschütz- ten Biotopen in den rezenten Flussauen.....	142
Abb. 5-33: Flächenanteil von Feuchtgebieten und geschützten Biotopen in ha bezogen auf Flussgebiete.	143
Abb. 5-34: Rückstaubereiche durch Querbauwerke.....	144
Abb. 6-1: Vermögenswerte für den Siedlungsbereich in Flussauen bezogenen auf die rezenten Auen und die Altauen von 79 Flüssen.	151
Abb. 6-2: Vermögenswerte in deutschen Flussauen, rezente Aue und Altaue wurden zusammengefasst.	152
Abb. 6-3: Beispielhafte Darstellung der Vermögenswerte in der morphologischen Aue nach Regionstypen im Bereich Rhein-Main-Neckar (links) sowie München und Ingolstadt (rechts).	153
Abb. 6-4: Beispielhafte Darstellung der Vermögenswerte in der morphologischen Aue nach Regionstypen im Bereich Mitteldeutschland (links) sowie Niederrhein und Ruhrgebiet (rechts).....	153
Abb. 6-5: Schematische Darstellung der Minderungspotenziale verschiedener Maßnahmen zur Reduktion von Stickstoffeinträgen.....	164

Abb. 6-6:	Jährliche Kosten (Schadenskosten) des Treibhausgasemissionspotenzials organischer Böden in Flussauen nach Flussgebieten.	166
Abb. 7-1:	Deichrückverlegungen an der Mittleren Elbe, deren Wirkung auf die Auenfunktionen näher betrachtet werden.....	171
Abb. 7-2:	Landnutzungsanteile in den Flächen der neun betrachteten Deichrückverlegungen an der Mittleren Elbe vor Umsetzung der Maßnahme für die Einzelvorhaben (links) und bezogen auf die Gesamtfläche (2.410 ha) aller Vorhaben (rechts).....	174
Abb. 7-3:	Für die Berechnung angenommene, künftige Landnutzungsanteile in den Flächen der neun betrachteten Deichrückverlegungen an der Mittleren Elbe nach Umsetzung der Maßnahme für die Einzelvorhaben (links) und bezogen auf die Gesamtfläche (2.405 ha) aller Vorhaben (rechts).....	174
Abb. 7-4:	Angenommene Landnutzungsänderung in einzelnen Deichrückverlegungsflächen.....	175
Abb. 7-5:	Überflutungsflächen vor und nach der Deichrückverlegung (DRV) von neun Gebieten an der Mittleren Elbe.	176
Abb. 7-6:	Stickstoffretention in der rezenten Aue von neun Gebieten der Mittleren Elbe vor und nach der Deichrückverlegung (DRV).	178
Abb. 7-7:	Phosphorretention in der rezenten Aue von neun Gebieten der Mittleren Elbe vor und nach der Deichrückverlegung (DRV).	178
Abb. 7-8:	Kohlenstoffvorrat im Boden innerhalb der Deichrückverlegungsfläche vor der Maßnahme (Status Quo) und der Zugewinn nach der Maßnahme.	179
Abb. 7-9:	Schätzung des oberirdischen Kohlenstoffvorrates innerhalb der Deichrückverlegungsfläche vor der Maßnahme (Status Quo) und der Zugewinn nach der Maßnahme.....	180
Abb. 8-1:	Landnutzungsänderungen in den potenziellen Deichrückverlegungsgebieten im Szenario „Biologische Vielfalt 2020“. Oben: Ist-Zustand, unten: nach Rückdeichung.....	188
Abb. 8-2:	Verteilung der Landnutzungen auf Moorböden der morphologischen Aue im Ist-Zustand (oben) und bei Umsetzung des Szenarios „Biologische Vielfalt 2020“ (unten).	191
Abb. 8-3:	Treibhausgasemissionen auf Moorböden der morphologischen Flussaue im Ist-Zustand (oben) und bei Umsetzung des Szenarios „Biologische Vielfalt 2020“ (unten).	192
Abb. 8-4:	Verteilung der Landnutzungen im Ist-Zustand (oben) und der Lebensräume der morphologischen Aue im Referenzzustand abgeleitet aus KOENZEN 2005 (unten).	193
Abb. 8-5:	Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse des „Ist-Zustandes“ und der Szenarien „Biologische Vielfalt 2020“ und „Referenzzustand“.	196

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1: Wesentliche Auenfunktionen und ihre Einordnung.....	20
Tab. 1-2: Übersicht von Ökosystemleistungen von Grundwasserökosystemen.....	29
Tab. 2-1: Landnutzungsklassen entsprechend BRUNOTTE et al. (2009) und zugeordnete Strickler-Beiwerte k_{St} für die rezente Aue.....	38
Tab. 2-2: Rauigkeiten der Basis-Bewuchsklassen zur Bestimmung des mittleren Strickler-Beiwertes k_{St} der Auenabschnittstypen.....	39
Tab. 2-3: Vegetationsverteilung und angesetzte Rauigkeiten, $k_{St,m}$: mittlerer Strickler-Beiwert der Auenabschnittstypen.....	40
Tab. 2-4: Klassenbildung für den Auenretentionsverlust (ARV).....	41
Tab. 3-1: Klassenbildung für das Stickstoffretentionspotenzial für die Berechnungsvariante mit Maximalwerten.....	54
Tab. 3-2: Klassenbildung für das Phosphorretentionspotenzial.....	58
Tab. 4-1: Speicherung von organischem Kohlenstoff im Auenwald und Agrarflächen in der Aue incl. des organischen Kohlenstoffgehaltes der Böden.....	74
Tab. 4-2: Übersicht zur Herkunft, Lage und Anzahl der verwendeten Bodenprofile.....	75
Tab. 4-3: Übersicht zum Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org} in %) im Oberboden (A_n bzw. A_p -Horizont) von Auenbodenprofilen der Mittelelbe nach Bodentypen.....	76
Tab. 4-4: Treibhausgasemissionen der Moore in Deutschland.....	86
Tab. 4-5: Quantifizierung der Treibhausgasreduktionspotenziale der wichtigsten Nutzungsvarianten der Moore.....	88
Tab. 4-6: Treibhauspotenzialkoeffizienten für Treibhausgase.....	90
Tab. 4-7: Globales Erwärmungspotenzial (GWP100) unterschiedlicher Nutzungsformen auf Moorböden in der rezenten Aue und in der Altaue.....	91
Tab. 4-8: Flächengröße und Treibhausgasemissionen von Moorböden in Flussauen nach Bundesländern.....	97
Tab. 4-9: Vegetationsformen mit dazugehörigen Treibhausgasemissionen sowie GWP (<i>Global Warming Potential</i> bzw. Treibhausgaspotenzial) in $t\ CO_2$ -Äquivalenten $ha^{-1}\ a^{-1}$	99
Tab. 4-10: Vergleich der Ergebnisse der Treibhausgasemissionen für die Warnow-Aue.....	100
Tab. 5-1: Übersicht ausgewählter auentypischer Lebensraumtypen, Vorkommen in Natura 2000-Gebieten der 79 Flussauen: Erhaltungszustand, Flächenanteil und Anzahl. ...	107
Tab. 5-2: Ausgesuchte auentypische Tierarten der FFH-Richtlinie, Vorkommen in Natura 2000-Gebieten in Auen in Deutschland; Anzahl der Vorkommen und Erhaltungszustand.....	108
Tab. 5-3: Große Vorkommen der Erlen-Eschen-Auenwälder und Weiden-Auenwälder an Fließgewässern (LRT 91E0) in Natura 2000-Gebieten in Flussauen.....	110
Tab. 5-4: Große Vorkommen der Hartholz-Auenwälder (LRT 91F0) in Natura 2000-Gebieten der Flussauen.....	114

Tab. 5-5: Große Vorkommen der Mageren Flachland-Mähwiesen (LRT 6510) in Natura 2000-Gebieten der Flussauen.....	120
Tab. 5-6: Große Vorkommen der Brenndolden-Auenwiesen (LRT 6440) in Natura 2000-Gebieten der Flussauen.....	120
Tab. 5-7: Große Vorkommen der naturnahen Ufer – Flüsse mit Schlamm­bänken mit Vegetation des <i>Chenopodietum rubri</i> p.p. und des <i>Bidention</i> (LRT 3270) in Natura 2000-Gebieten der Flussauen.....	123
Tab. 5-8: Große Vorkommen der natürlichen nährstoffreichen Seen und Altarme (LRT 3150) in Natura 2000-Gebieten der Flussauen.....	126
Tab. 5-9: Klassen für das Merkmal A – Flächenanteil von Natura 2000-Gebieten.....	128
Tab. 5-10: Klassen für das Merkmal B – Landnutzungsintensität, siehe Abb. 5-19.....	129
Tab. 5-11: Klassen für das Merkmal C – Flächenanteil an Feucht­lebensräumen bzw. geschützten Biotopen.....	131
Tab. 6-1: Die 15 Flüsse mit den höchsten Vermögenswerten in den Auen.....	154
Tab. 6-2: Mögliche Sachschäden am Rhein bei einem Extrem-Hochwasser (>HQ ₁₀₀).....	155
Tab. 6-3: Alternative Szenarien zur Nährstoffreduktion in Gewässern.....	158
Tab. 6-4: Ersatzkosten für die Szenarien zur Verminderung von Nährstoffeinträgen in Gewässer.....	159
Tab. 6-5: Eingesparte Grenzvermeidungskosten, d.h. Nutzen durch den Rückhalt von Phosphor in den rezenten Flussauen und im Fluss bezogen auf Flussgebiete im Jahr.....	160
Tab. 6-6: Eingesparte Grenzvermeidungskosten der Stickstoffretention in den rezenten Flussauen und im Fluss bezogen auf Flusseinzugsgebiete im Jahr.....	161
Tab. 6-7: Vergleich der Vermeidungskosten für Stickstoff und Phosphor pro Hektar.....	162
Tab. 6-8: Gesamt­minderungspotenziale von Maßnahmen zur Reduktion von Stickstoff­einträgen durch die Landwirtschaft.....	163
Tab. 6-9: Vergleichszahlen weiterer Emissionsquellen mit dem Ausgasungspotenzial der Moore in Flussauen (e – Äquivalent).....	167
Tab. 7-1: Übersicht zur Hochwasserretention (HW), zur Stickstoff- und Phosphorretention und zum Habitatindex vor und nach der Maßnahmenumsetzung in neun Deichrückverlegungsgebieten (DRV) an der Mittleren Elbe.....	181
Tab. 7-2: Übersicht der Auenfunktionen vor und nach Maßnahmenumsetzung in neun Deichrückverlegungsgebieten (DRV) an der Mittleren Elbe, Quantitative Ergebnisse.....	181

Vorwort

Auen bieten dem Menschen eine bemerkenswerte Vielfalt von Funktionen und Leistungen. Sie dienen der Hochwasserrückhaltung, als Grundwasserreservoir und Erholungsraum, sind Filter für Sedimente, Nährstoffe und Treibhausgase sowie natürlicher Lebensraum für hoch spezialisierte Pflanzen- und Tierarten. Erstmals wurden in der vorliegenden Studie die wichtigsten Ökosystemleistungen von Auen quantifiziert und das bundesweite Potenzial der Flussauen für die Hochwasserretention, den Rückhalt von Nährstoffen, die Verminderung von Treibhausgasemissionen und der Beitrag von Auen zum Erhalt der biologischen Vielfalt abgeschätzt und soweit möglich in Wert gesetzt.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass intakte Flusslandschaften einen hohen gesellschaftlichen Nutzen erbringen und es auch aus ökonomischer Sicht gute Gründe gibt, sich für Maßnahmen des Gewässer- und Auenschutzes einzusetzen. Beispielsweise halten Flussauen jährlich bis zu 42.000 t Stickstoff und über 1.000 t Phosphor zurück. Damit erreicht die Reinigungsleistung deutscher Flussauen hinsichtlich des Nährstoffrückhaltes einen Wert von rund 500 Mio. € pro Jahr, die für ähnlich wirkungsvolle Maßnahmen in der Landwirtschaft aufgebracht werden müssten. Die Auswertung bereits umgesetzter Auenrenaturierungen und Deichrückverlegungen an Flüssen verdeutlicht, dass die natürlichen Auenfunktionen in allen Fällen erheblich verbessert werden. Die Berechnungen belegen, dass naturnahe Auen und Gewässer die vielfältigen Funktionen im Naturhaushalt besser erfüllen als begradigte Vorfluter und intensiv genutzte Flächen. Bei der Umsetzung der Ziele der nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt zum Themenfeld „Gewässer- und Auen“ würde nicht nur die biologische Vielfalt erheblich profitieren. Auch der Nährstoffrückhalt in Flussauen würde um 20 % steigen, Treibhausgasemissionen gingen um über 30 % zurück und der vorsorgende Hochwasserschutz würde nachhaltig verbessert. Diese Vorteile sollten in Zukunft verstärkt mit in die Diskussion einbezogen werden, wenn wir uns Gedanken um künftige nachhaltige Formen der Gewässerbewirtschaftung und Auennutzung machen.

Ich danke den Autoren und allen Beteiligten, die zum Gelingen dieser Studie beigetragen haben. Die Veröffentlichung liefert weitere wichtige Argumente, warum intakte Flussauen als natürliche Überschwemmungsräume, als „Nieren unserer Landschaft“ sowie als moderne Arche Noah vor weiteren Beeinträchtigungen geschützt und veränderte Bereiche naturnah entwickelt werden müssen.

Prof. Dr. Beate Jessel

Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz

Danksagung

Unser Dank geht an das Bundesamt für Naturschutz, das durch die Förderung, Bereitstellung von Daten und Hintergrundmaterial sowie durch die tatkräftige Unterstützung die Realisierung dieses Vorhabens ermöglichte. Unser besonderer Dank gilt insbesondere Herrn Dr. Thomas Ehlert und Herrn Bernd Neukirchen, die mit der gleichen Leidenschaft wie die Autoren diese Thematik entwickelten und intensiv diskutierten und somit maßgeblich zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben.

Mit einem besonderen und nicht selbstverständlichen Einsatz haben zahlreiche Kollegen dieses Vorhaben in thematischen Arbeitskreisen und projektbegleitenden Arbeitsgruppen, aber auch außerhalb dieser Runden fachlich als auch in seiner Umsetzung begleitet und unterstützt. Unser Dank gilt insbesondere Patrick Amberge, Martina Baborowski, Asja Basko, Prof. Dr. Dietrich Borchardt, Dr. Ingo Bräuer, Alexandra Dehnhardt, Dr. Jürgen Meyerhoff, Justina Döhring, Prof. Dr. Emil Dister, Prof. Dr. Frank Dziock, Dr. Francis Foeckler, Dr. Klaus Follner, Johannes Förster, Dr. Elmar Fuchs, Heike Garbe, Prof. Dr. Detlef Günther-Diringer, Anne Gläser, Prof. Dr. Christina von Haaren, Dr. Kersten Hänel, Timo Hartmann, Prof. Dr. Thomas Hein, Dr. Heinrich Höper, Karl-Heinz Jährling, Prof. Dr. Kurt Jax, Prof. Dr. Giselher Kaule, Tobias Keyenburg, Dr. Uwe Koenzen, Wolfgang Kraier, Anja Kroll, Dr. Pedro J. Leitão, Christoph Linnenweber, Björn-Ingmar Luz, Florian Mayer, Dr. Melanie Mewes, Katharina Nabel, Stephan Naumann, Guido Puhmann, Prof. Dr. Johannes Prüter, Dr. Michael Rode, Prof. Dr. Michael Reich, Wiebke Saathof, Achim Schäfer, Anna Scharek, Dr. Ulrich Schwarz, Dr. Rolf Tenholtern, Prof. Dr. Klement Tockner, Dr. Michael Trepel, Dr. Wolf von Tümpling, Marlies Uhlig, Ogarith Uhlmann, Michael Unruh, Prof. Dr. Markus Weitere, Martin West und Nina Welti.

Wir danken allen Autoren für ihren engagierten Einsatz auch nach Ende der Projektlaufzeit, die mit ihren Beiträgen diesen Band ermöglichten. Nicht vergessen möchten wir die zahlreichen studentischen Hilfskräfte und Praktikanten, die uns bei der Durchführung verschiedenster Recherchearbeiten und Datenbankabfragen tatkräftig unterstützten.

Mathias Scholz, Dietmar Mehl, Christiane Schulz-Zunkel,
Hans Dieter Kasperidus, Wanda Born und Klaus Henle

1 Einführung

MATHIAS SCHOLZ, DIETMAR MEHL, CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL,
HANS DIETER KASPERIDUS, WANDA BORN und KLAUS HENLE

1.1 Ökosystemfunktionen und Ökosystemleistungen

Die Leistungen von Ökosystemen und die vielfältigen Werte der Biodiversität bilden die Grundlage für die Existenz und das Wohlergehen unserer Gesellschaft. Die Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Rohstoffen in Land- und Forstwirtschaft oder Retentionsraum für den Hochwasserschutz sind offensichtliche Beiträge zur Sicherung unserer Lebensgrundlagen. Dagegen sind die Leistungen von intakten Flusslandschaften, Wäldern, Mooren und vielfältigen Kulturlandschaften für die Reinigung von Wasser, Speicherung von Kohlenstoff sowie als Raum für Erholung und Inspiration oft erst auf den zweiten Blick ersichtlich. Das Konzept der Ökosystemleistungen (engl. *ecosystem services*) wurde entwickelt, um diese enorme Vielzahl an Leistungen systematisch zu erfassen (MA 2005, DAILY 2007, TEEB 2010). Es soll helfen, die Vor- und Nachteile der durch Änderungen der Landnutzung und der Bewirtschaftung hervorgerufenen Folgen für die Gesellschaft umfassend abzuschätzen. Dabei kann die ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen eingesetzt werden, dies muss aber nicht in jeder Situation zwingend der Fall sein. Hier gilt es genau abzuwägen, welche Informationen und Methoden nötig sind, um eine möglichst umfassende Bewertung der Konsequenzen sowie der Kosten und Nutzen durchführen zu können.

Der Begriff der Ökosystemleistungen erhielt vor allem durch das Millennium Ecosystem Assessment (MA 2005) internationale Aufmerksamkeit. Im Focus stehen insbesondere Dienstleistungen von Ökosystemen und der Biodiversität, die dem Wohlergehen des Menschen dienen. Das Millennium Ecosystem Assessment stellt eine Grundkonzeption für die Beziehungen zwischen multifunktionalen Landschaften bzw. Ökosystemen und menschlichem Wohlbefinden dar, um die globale Erhaltung der Biodiversität zu unterstützen (MA 2005, NEBHÖVER et al. 2007, PLIENINGER et al. 2010, WITTMER & FÖRSTER 2011, TEEB 2010).

In Deutschland wurden im Rahmen der Landschaftsökologie und -planung bereits die Begriffe Leistungsfähigkeit bzw. Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes in den 1970er Jahren eingeführt (NIEMANN 1977, BUCHWALD & ENGELHARDT 1978, HABER 1979) und in den darauffolgenden Jahrzehnten erheblich weiter entwickelt (z.B. DE GROOT 1987, BASTIAN & SCHREIBER 1999). Sie fanden auch Eingang in das Naturschutz- und Wasserrecht. Letztendlich hat dieser Ansatz dazu geführt, die sogenannten natürlichen Schutzgüter Boden, Wasser, Klima und Luft, Tier und Pflanzen sowie Mensch, aber auch die anthropozentrischen Güter Landschaftsbild und Erholung sowie Kultur- und Sachgüter zu erfassen, zu analysieren und zu bewerten. Dieses geschieht für die einzelnen Güter, aber auch im komplexen Wirkungsgefüge, so dass vor allem die Leistungsfähigkeit der Schutzgüter, ihre Empfindlichkeit und Belastbarkeit bestimmt werden kön-

nen. Insbesondere in Mitteleuropa stellt die Landschaftsplanung eine Vielzahl an Methoden bereit, die einzelnen Faktoren und Aspekte für verschiedene planerische Zielstellungen zu bewerten (z.B. BASTIAN & SCHREIBER 1999, JESSEL & TOBIAS 2002, VON HAAREN 2004).

Aufbauend auf solchen landschaftsökologischen Grundlagen schließt der Ansatz der Bewertung von Ökosystemleistungen im Sinne des Millennium Ecosystem Assessments hier insbesondere die Einbeziehung ökonomischer Aspekte ein und geht von der klaren Definition aus, dass die Leistungen als Nutzen im gesellschaftlichen Kontext zu bewerten sind. Eine Ökosystemdienstleistung beschreibt demnach die Nutzenstiftungen (engl. *benefits*) naturnaher Systeme für den Menschen (MA 2005, JAX 2010). Der Begriff der Ökosystemdienstleistung bzw. Ökosystemleistung sollte von der Ökosystemfunktion abgegrenzt werden, obwohl es häufig terminologische Überschneidungen gibt. Der Funktionsbegriff als solcher ist belegt mit verschiedenen Bedeutungen (JAX 2005, 2010). So werden mit Ökosystemfunktionen meist die hinter den Ökosystemleistungen stehenden ökosystemaren Prozesse, Strukturen und Zustände benannt. Der Begriff Ökosystemfunktionen im Kontext dieser Studie stellt analog zu KIENAST et al. (2009) die Kapazität der Landschaft für die Bereitstellung von Ökosystemleistungen dar.

Obwohl das Interesse an der Erfassung von Ökosystemfunktionen in den letzten Jahren stetig zugenommen und zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, liegt eine gründliche und systematische Methode für die Bewertung von Ökosystemfunktionen und Ökosystemleistungen nicht vor. Hauptursache dafür ist das Problem der verschiedenen Skalen. So ist es als Herausforderung einzuschätzen, lokale Aussagen auch regional anzuwenden. Darüber hinaus ist der Schutz von Ökosystemfunktionen bisher nicht prioritär (CHAN et al. 2006).

1.2 Ökosystemfunktionen von Auen

In großen Teilen der Welt bestehen Zielkonflikte zwischen dem Erhalt der Biodiversität von Flussauenökosystemen und der Nutzung der Güter und Dienstleistungen dieser Ökosysteme durch den Menschen (MA 2005, DUDGEON et al. 2006). So bieten gerade Auen dem Menschen eine bemerkenswerte Vielfalt von natürlichen Funktionen und Dienstleistungen, die von keinem anderen Ökosystem erreicht werden (z.B. CONSTANZA et al. 1997, ANTROBUS & LAW 2005, TURNER et al. 2008, MALTBY et al. 2009). Ökosystemfunktionen in Auen sind als Leistungen der Natur innerhalb des Naturschutzes und der Wissenschaft bereits weit reichend erkannt (z.B. MALTBY et al. 2009, TURNER et al. 2008, DISTER & HENRICHFREISE 2010). So können Überflutungsauen als Filter und Senke für Sedimente und gelöste Stoffe, zum Wasserrückhalt und Hochwasserschutz, als Kohlenstoffspeicher und als natürliche Lebensräume für hochspezialisierte Pflanzen- und Tierarten dienen. Auch stellt das die Flüsse begleitende Grundwasser über das Uferfiltrat Trink- und Brauchwasser bereit. Auenökosysteme können eine Vielzahl von Ökosystemleistungen dauerhaft jedoch nur erbringen, wenn

ihre ökologischen Funktionen erhalten werden. Die einseitige Nutzung von Flüssen als Vorfluter und Wasserstraßen und ihrer Auen als Siedlungs- und Produktionsflächen hat zu erheblichen Beeinträchtigungen der Auenbiozöosen und des Naturhaushaltes geführt, häufig mit negativen Folgen für den überregionalen Hochwasserschutz und weitere Ökosystemleistungen. So stehen an vielen Abschnitten der großen Ströme in Deutschland heute nur noch ca. 10 bis 20 % der ursprünglichen Überschwemmungsflächen bei Hochwasser zur Überflutung zur Verfügung (BRUNOTTE et al. 2009). Vor allem organisch geprägte Auenlandschaften sind in der Lage, große Mengen an klimarelevanten Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO₂) zu binden. Aufgrund von intensiver Landnutzung haben sie häufig ihre Funktion als natürliche Kohlenstoffsенke verloren und stellen eine bedeutende Treibhausgasquelle weltweit dar (KAAT & JOOSTEN 2008, SCHÄFER 2009). Gravierend ist der Verlust an Auenbiotopen als Lebensraum vieler Tier- und Pflanzenarten (z.B. GEPP 1986, TOCKNER & STANFORD 2002, BRUNOTTE et al. 2009, ELLWANGER et al. 2012). Noch verbliebene naturnahe Flüsse und Flussauen stellen gerade deshalb nationale „Hot spots der Artenvielfalt“ dar. In diesen Rückzugsräumen kommen die ursprünglich weit verbreiteten Arten vielfach noch vor.

Die Anfälligkeit der menschlichen Gesellschaft gegenüber natürlichen oder von Menschen verursachten Gefahren ist gestiegen, wie die Schäden der extremen Hochwasserereignisse in den letzten 10 Jahren in Deutschland und Europa zeigen. Es wird damit gerechnet, dass die Häufigkeit extremer Hochwasser und Niedrigwasserperioden mit Bezug auf Phänomene des Klimawandels zunehmen wird (CHRISTENSEN & CHRISTENSEN 2003, IPCC 2007). Zwar werden ökologische Prozesse in den Auen vor allem durch den Wechsel von Überflutung und Trockenheit bestimmt, doch wird das veränderte Abflussverhalten weit reichende Auswirkungen auf die Integrität der Lebensräume und die damit verbundenen Ökosystemleistungen haben. Die ökologische Funktionsfähigkeit von Auenökosystemen ist deshalb eine Voraussetzung für die Abfederung dieser Auswirkungen. Angesichts ihrer zentralen ökologischen und ökonomischen Bedeutung wurden Gewässerökosysteme in die europäische und globale Biodiversitätsbewertung aufgenommen. Zu nennen ist hier die Initiative der EU mit der Gemeinschaftsstrategie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt (COM (1998) 42). Aufbauend auf dieser Strategie hatten die europäischen Regierungen das ehrgeizige Ziel festgelegt, den Biodiversitätsverlust bis zum Jahr 2010 aufzuhalten (BALMFORD et al. 2005, COM (2008): 864).

Ökosystemleistungen in Auen decken eine weite Spanne verschiedener Funktionen ab. Laut dem Millennium Ecosystem Assessment (MA 2005) können Ökosystemleistungen in Basisleistungen, Versorgungsleistungen, Regulierungsleistungen und kulturelle Leistungen unterteilt werden: Die Habitatfunktion (biologische Vielfalt) wird im engeren Sinne nicht als Dienstleistung verstanden, sondern ist als Grundlage aller Ökosystemleistungen anerkannt. Eine Weiterentwicklung ist das Konzept von DE GROOT (2006), in dem die Leistungen von Landschaften explizit um eine Habitat- und Arbeitsplatzfunktion erweitert werden. Entsprechend des Ansatzes von DE GROOT (2006) wurde auch in diesem Vorhaben eine Habitatfunktion aufgenommen (Tab. 1-1). Weitere Klassifikatio-

nen mit Fokus auf Feuchtgebiete lassen sich beispielsweise TURNER et al. (2008) und MALTBY et al. (2009) entnehmen.

Tab. 1-1: Wesentliche Auenfunktionen und ihre Einordnung.
(in Anlehnung an MA (2005), TURNER et al. (2008) und MALTBY et al. (2009))

Ökosystemfunktion	Ausprägung
Basisfunktion	Bodenbildung Nährstoffkreisläufe Primärproduktion durch Photosynthese
Versorgungsfunktion	Nahrungsmittel Holz Trinkwasser
Regulationsfunktion	Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes Hochwasserschutz Erosionsschutz Nährstoffretention Grundwasserbildung und Wasserreinigung Lokalklima Rückhalt von Treibhausgasen
Kulturelle Leistungen	Erholungsfunktion Tages- und Wochenenderholung Tourismus Naturerlebnis Informationsfunktion Wissenschaft und Umweltbildung
Habitatfunktion	Lebensraum für Pflanzen und Tiere Arten- und Biotopschutz Erhalt der biologischen Vielfalt

Der Betrachtungsgrad einzelner Ökosystemfunktionen und -leistungen ist generell abhängig von der verfügbaren Datenlage und der verwendeten Methodik. So wird in Abbildung 1-1 zunächst eine möglichst große Bandbreite relevanter Auenfunktionen und Ökosystemleistungen beschrieben. Die Konkretisierung, beispielsweise bei der Quantifizierung der Ökosystemfunktionen und einer Monetarisierung von Ökosystemleistungen, basiert in erster Linie auf Abschätzungen und ist aus methodischen Gründen und wegen der Datengrundlage häufig nicht für alle Ökosystemleistungen möglich, so dass es zum Teil nur zu qualitativen bzw. quantitativen und nur bedingt zu monetären Einschätzungen kommen kann.

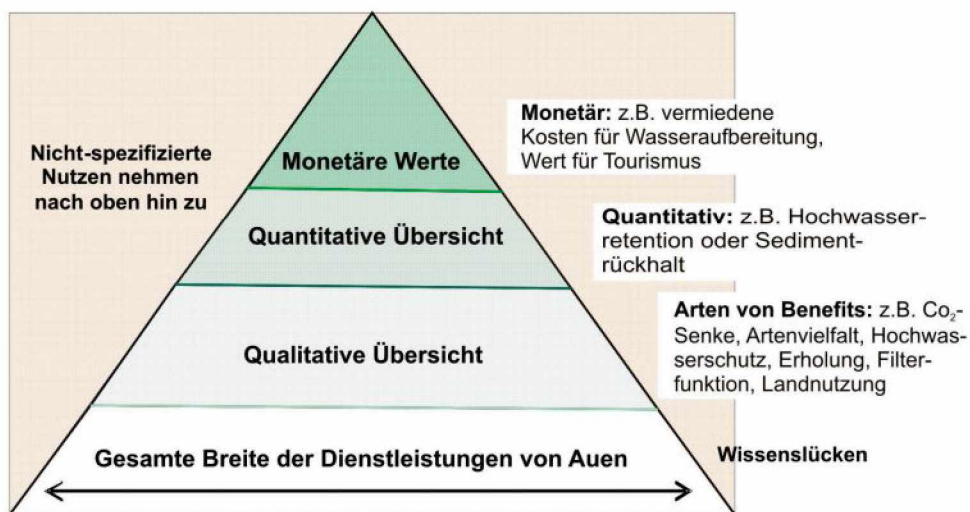


Abb. 1-1: Nutzen-Pyramide von Ökosystemleistungen in Auen.
(verändert nach TEN BRINCK – IEEP in TEEB 2008)

Aus der Vielzahl an Auenfunktionen wurden für dieses FuE-Vorhaben vier zu bearbeitende Auenfunktionen ausgewählt, die besonders im gesellschaftlichen Diskussionsprozess stehen und zu den wichtigsten Leistungen der Auen für den Menschen gehören (TURNER et al. 2008, MALTBY et al. 2009):

- Hochwasserschutz durch Wasserretention in der Fläche,
- Reinigung des Wassers durch Nährstoffretention bzw. Stoffrückhalt,
- Klimaschutz durch Minderung der Treibhausgasemission,
- Erhalt der biologischen Vielfalt (Habitatfunktion).

Diese Funktionen werden in den folgenden Kapiteln detaillierter beschrieben. In diesem Vorhaben nicht bearbeitet, aber auch von großer Bedeutung, sind die Bereitstellung von sauberem Trink- und Brauchwasser sowie der Erholungswert von Flusslandschaften, die in den Kapiteln 1.2.5 und 1.2.6 kurz skizziert werden.

1.2.1 Hochwasserretention

Das Potenzial von Auen zur Rückhaltung bzw. Abflachung von Hochwasserwellen zählt unbestritten zu den „Gratisleistungen“ der Natur. Die Besiedlung und Nutzung von Strom- und Flussauen war daher immer mit einem Risiko verbunden. Um eine Hochwasserschutzfunktion erfüllen zu können, müssen Auen daher in der Lage sein, die Wassermengen möglichst lange in der Fläche zurückzuhalten und somit die Hochwasserwellen möglichst gering zu halten. Vor allem diese Retentionsleistung naturnaher Auen hat eine enorme Bedeutung (BMU & BfN 2009), so dass die Hochwasserschutzfunktion der Auen eine gerade in den letzten Jahrzehnten im allgemeinen Bewusstsein

stärker wahrgenommene und durchaus allgemein anerkannte Ökosystemleistung darstellt. Durch anthropogene Veränderungen sind viele Strom- und Flusssysteme nur noch eingeschränkt fähig, ihre natürliche Hochwasserschutzfunktion in gewünschter Weise zu erfüllen. So ist weltweit, aber vor allem auch in Mitteleuropa ein großer Verlust dieser natürlichen Hochwasserretention festzustellen (TÖCKNER & STANFORD 2002). Allein entlang der großen Flüsse in Deutschland können aufgrund von Siedlungsentwicklung und hoher Landnutzungsintensität und der zu ihrem Schutz errichteten Deiche nur noch ein Drittel der ursprünglichen Überflutungsflächen diese wichtige Retentionsfunktion wahrnehmen (BMU & BfN 2009, BRUNOTTE et al. 2009, s. auch Kap. 1.3). So ist es nicht verwunderlich, dass gerade bei extremen Hochwasserereignissen, wie sie in den letzten Jahrzehnten an allen großen Flüssen Mitteleuropas auftraten, diese verbliebenen Retentionsräume an ihre Grenzen gestoßen sind und es in der Folge zu großen volkswirtschaftlichen Schäden kam. Eine einseitig auf technischen Hochwasserschutz mit Deichen und Hochwasserrückhaltebecken ausgerichtete Strategie bei gleichzeitiger Intensivierung der Nutzung, Verkleinerung der Rückhalteflächen und Gewässerausbau ist zunehmend in die Kritik geraten. Ein Umdenken ist daher in vielen Bereichen des Hochwasserschutzes zu erkennen (z.B. LAWA 2006), wird in der Praxis aber oft noch zu zögerlich umgesetzt (WWF 2007). Das Rückhaltevermögen der Auen, im Besonderen die Hochwasserretention, quantitativ zumindest abschätzend zu ermitteln und qualitativ darzustellen, kann somit eine zentrale Ökosystemfunktion der Auen abbilden helfen.

Eine Anbindung der natürlichen Überschwemmungsbereiche (Feuchtniederungen und Auen) oder zumindest eine Wiederherstellung angepasster Entwicklungskorridore erhöht die natürliche Retentionsleistung der Gewässernetze, so dass auch eine Anpassung an klimatisch bedingte erhöhte Niederschläge und infolgedessen verstärkte Hochwasser besser gelingen kann. Mannigfache Untersuchungen zeigen, dass Maßnahmen der Gewässer- und Auenrenaturierung und -revitalisierung tatsächlich zu Senkungen der Hochwasserscheitel führen (ACREMANN et al. 2003, BUSCH & HAMMER 2006, ALEXY & FAULHABER 2011, MESSING 2011). So zeigen z.B. ACREMANN et al. (2003) mit Hilfe von hydraulischen Modellierungen in einer Fallstudie für den River Cherwell (Großbritannien), dass durch die vorgesehenen Maßnahmen einer Restauration der ursprünglichen Gerinnemorphologie in Verbindung mit der Einbeziehung des Überflutungsraumes der Hochwasserscheiteldurchfluss um ca. 10 bis 15 % sowie der Hochwasserscheitelwasserstand um 0,5 bis 1,6 m gesenkt werden können.

1.2.2 Nährstoffrückhalt

Die Retention von Nährstoffen in Auen durch Bodenprozesse und die Vegetation gilt als eine der wichtigsten Ökosystemfunktionen in Fluss-Auen-Ökosystemen (EC 2003, RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT 2006). Insbesondere für die Durchführung von Managementstrategien sind die Inventur und Beschreibung von Auen, die Identifikation von retentionsrelevanten Funktionen und Prozessen und die Quantifizierung der Nähr-

stoffretention von essentieller Bedeutung (BONDAR et al. 2007). Die nachhaltige Bewirtschaftung von Auen kann einen Beitrag zur Zielerreichung der WRRL leisten, da Feuchtgebiete und den Fluss begleitende Auen Bestandteile von Wasserkörpern sind bzw. durch Überflutungsereignisse und über den Grundwasserkörper mit diesen verbunden sind (EC 2003). So kann beispielsweise eine signifikante Verbesserung der Wasserqualität auf Einzugsgebietsebene erreicht werden, wenn wenigstens 2-7 % des Gesamteinzugsgebietes überflutete Auen sind (VERHOEVEN et al. 2006).

Während der letzten zwei Jahrhunderte unterlagen nahezu alle Flüsse und deren Auen der temperierten Zone starken Veränderungen durch intensive Nutzung und Urbanisierung (TOCKNER et al. 1999), was gleichzeitig auch erhöhte Einträge von Nährstoffen, Schwermetallen und anderen chemischen Substanzen zur Folge hatte (LAIR et al. 2009). Diese Veränderungen haben erhebliche Auswirkungen auf die Abflusscharakteristika und die Auendynamik und somit auf die Funktionsfähigkeit von Auen. So hat sich durch die weiträumige hydrologische Entkopplung von Fluss und Aue sowie der daraus resultierenden Reduzierung der Überflutungshäufigkeiten in Auen deren Retentionskapazität für Sedimente und Nährstoffe drastisch reduziert. In stark anthropogen überprägten Flüssen mit wenigen oder nicht vorhandenen Auen finden sich im Fluss z.B. höhere Stickstoffkonzentrationen als in Flüssen mit intakten Auenbereichen (BONDAR et al. 2007). So haben naturnahe Auen, die u.a. durch eine höhere Habitatdiversität gekennzeichnet sind, ein höheres Potenzial, Flusswasser und Nährstoffe zurückzuhalten. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass Ökosysteme mit einer reichen Mikrotopographie und dem vorhandenen kleinräumigen Wechsel von aeroben und anaeroben Bedingungen bessere Voraussetzungen für biogeochemische Umsetzungsprozesse bereitstellen (BRULAND et al. 2006). In Abhängigkeit von der Nutzungsintensität können Auenbereiche ebenso als Quelle für Nähr- und Schadstoffe wirken (VERHOEVEN et al. 2006, BONDAR et al. 2007).

Die Quantifizierung des Nährstoffrückhalts in Auen, als notwendige Voraussetzung für die Bewertung dieser Ökosystemfunktion, stellt aber eine große Herausforderung dar, da quantitative Daten zur Rolle von Auen als Senken, Quellen oder Transformatoren von Nährstoffen und organischen Substanzen sehr selten sind (TOCKNER et al. 1999). In Abhängigkeit von der Art und Größe der Überflutungsfläche und -dauer sowie vom Gehalt an eingetragenen Nährstoffen kann aber erwartet werden, dass konnektierte Auenbereiche bis zu 30 % der im Fluss transportierten Nährstoffe bei Hochwasserereignissen zurückhalten können (GARCIA-LINARES et al. 2003, LYSIAK-PASTSZAK et al. 2004, BAPTIST et al. 2006). Der Erhalt und die Revitalisierung von Fluss-Auen-Ökosystemen ist als wichtige Strategie zur Verbesserung der Wasserqualität von Flüssen anerkannt und kann darüber hinaus Effekte auf andere Ökosystemfunktionen in Auen haben. Allerdings ist angesichts von Flächenverlusten von nahezu 80 % der Auen in Europa die Revitalisierung von Auenbereichen durchaus als Herausforderung einzuschätzen (VERHOEVEN et al. 2006). Darüber hinaus stellt die Akkumulation von toxischen Substanzen

ein Risiko für Auenbereiche dar, das eng an den natürlichen Retentionsprozess gekoppelt ist (SCHULZ-ZUNKEL & KRÜGER 2009).

1.2.3 Kohlenstoffvorrat und Treibhausgasemissionen

Mit Blick auf die Erfordernisse der Klimaschutzpolitik ist hervorzuheben, dass für den Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre nicht nur die Kohlendioxid-Emissionen aus Verbrennungsprozessen, sondern ebenso Emissionen aufgrund von Landnutzungsänderungen oder bestimmten Formen der Landbewirtschaftung ursächlich sind. Eine besondere Bedeutung kommt dabei den Feuchtgebieten zu. Die Relevanz von Feuchtgebieten im weltweiten Kohlenstoffkreislauf als Ökosystemfunktion wird mittlerweile allgemein anerkannt, jedoch werden Auen in ihrer doppelten Funktion als Kohlenstoffquellen bzw. Kohlenstoffsenken noch nicht genügend verstanden (MITRA et al. 2005). Überschwemmungsgebiete besitzen dann eine Senkenfunktion, wenn über einen bestimmten Betrachtungszeitraum mehr Kohlenstoff akkumuliert als durch andere Umsetzungsprozesse freigesetzt wird. Ist die freigesetzte Kohlenstoffmenge größer, dann hat die Aue eine Quellenfunktion. Viele Studien konzentrieren sich auf die Kohlenstoffbilanz von Mooren (z.B. LAFLEUR et al. 2003, BELYEA & MALMER 2004, ROULET et al. 2007, TREPPEL 2008, siehe auch Kap. 4.2). Moore selbst bilden eine der wichtigsten globalen Ökosystemtypen im Zusammenhang mit der Verstärkung oder Verminderung des globalen Treibhauseffektes. In Mooren sind zwischen 329 und 525 Mrd. t Kohlenstoff gebunden (BRIDGHAM et al. 2006, 2008, KAAAT & JOOSTEN 2008), dies entspricht ca. 19 % des globalen, in Böden gebundenen Kohlenstoffes (BATJE 1996). Dabei erreicht die jährliche Netto-CO₂-Bindung durch die Feuchtgebietsvegetation, der entscheidenden stofflichen Grundlage der Torfbildung, teilweise sehr hohe Raten (z.B. DUŠEK et al. 2009).

Aus einer Vielzahl von Untersuchungen ist bekannt, dass das Wasserregime und auch insbesondere die Höhe des Grundwasserstandes den stärksten Einfluss auf die Spurengasfreisetzung aus Mooren und damit für den Klimaschutz haben (siehe hierzu die Übersicht bei SUCCOW & JOOSTEN 2001). Bei der Entwässerung von Mooren kommt es als Folge der Belüftung zu mäßigen bis sehr hohen Spurengasfreisetzungen, vor allem von Kohlendioxid und Lachgas – den Verursachern des Treibhauseffektes und damit der globalen Klimaveränderungen. KAAAT & JOOSTEN (2008) schätzen die daraus resultierenden weltweiten Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) auf ca. 2-3 Mrd. t CO₂-Äquivalente pro Jahr. Moore sind auf Grund natürlicher und anthropogen induzierter Prozesse zudem verantwortlich für ca. 10 % der globalen Methanemissionen (BARTLETT & HARRISS 1993, BRIDGHAM et al. 2006, 2008). Die jährlichen Treibhausgasemissionen aus Mooren innerhalb der EU₂₅-Länder belaufen sich nach Schätzungen von BYRNE et al. (2004) auf etwa 80-130 Mio. t CO₂-Äquivalente. Die jährliche CO₂-Freisetzung aus ackerbaulich genutzten Mooren betrug in Deutschland im Jahr 2008 ca. 23,5 Mio. t CO₂, infolge Entwässerung organischer Grünlandböden ca. 12,9 Mio. t CO₂ und nochmals 6,5 Mio. t CO₂ durch Veränderungen in der Biomasse des Grünlandes (UBA 2010) –

dies entspricht ca. 4,1 % der Gesamtemission Deutschlands. Für organische Waldböden wurden in UBA (2010) eine flächenspezifische Kohlenstoffemission von $0,68 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und eine Lachgasemission (N_2O) von $0,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ berechnet. Auf Grund ihrer Größe und flächenhaften Ausdehnung besitzen vor allem die im Nordosten Deutschlands vorkommenden Auen der Talmoorflüsse (organische bzw. teilmineralische Auentypen nach KOENZEN 2005) eine hohe Klimarelevanz.

Für mineralisch geprägte Flussauen, die insgesamt ca. drei Viertel der deutschen Flussauen ausmachen, liegen dagegen bisher kaum umfassende Untersuchungen vor, die eine genaue Bilanzierung der aktuellen und zukünftigen Kohlenstoffvorräte ermöglichen. So zeigen unterschiedliche Studien, dass die Kohlenstoffvorräte in Auen, die sowohl im Boden als auch in der Vegetation gespeichert werden können, deutlich höher liegen als in terrestrischen Ökosystemen (FIERKE & KAUFFMAN 2005, HAZLETT et al. 2005, HOFMANN & ANDERS 1996, CIERJACKS et al. 2010, 2011). Die erhöhten Kohlenstoffwerte werden zum einen durch die Ablagerung von kohlenstoffreichen Sedimenten während Überflutungsereignissen erklärt (PINAY et al. 1992). Zum anderen sind sie aber auch eine Folge der hohen Nettoprimärproduktion der Auenwälder, verursacht durch die Hochwasser bedingte Ablagerung von Nährstoffen (GIESE et al. 2000, CLAWSON et al. 2001, GAWNE et al. 2007). Neben der Speicherung von Kohlenstoff im Boden können deshalb auch erhebliche Mengen Kohlenstoff in der Biomasse der Bäume der Hart- und Weichholzaunen gespeichert werden. Ein hoher Grundwasserspiegel in den Flussauen bewirkt zudem eine hohe Bodenfeuchte und damit eine verringerte Mineralisation des im Boden gebundenen Kohlenstoffs.

1.2.4 Habitatfunktion

Geomorphologie, Hydrologie, Böden und Vegetation interagieren in Flussauen eng miteinander und sind die Grundlage für die auentypische biologische Vielfalt. Überflutungen trugen in der Vergangenheit zur vielfältigen Geländegestalt einer natürlichen Aue bei, da das Wechselspiel von Erosion und Sedimentation ein unruhiges Relief aus höheren und tieferen Flächen schuf. Kleinräumig kommt es in Mitteleuropa auch heute noch zur Entstehung und Veränderung neuer Flächen oder zur Verlagerung von Sedimenten infolge der Überschwemmungen, wie die Bilder nach extremen Hochwasserereignissen an Elbe und Mulde im August 2002 zeigten. Die Hydrodynamik übernimmt dabei die Rolle eines Vermittlers zwischen unterschiedlicher Topographie, Geomorphologie und Vegetation. Das Wasser formt Flächen und ist zugleich ein essenzieller Überlebensfaktor für die Pflanzenwelt. Die Hydrodynamik des Flusses bestimmt entscheidend den Grundwasserkörper (Grundwasserflurabstand) wie auch die Überflutungshäufigkeit in der Aue, und diese wirkt als besiedlungsbestimmender Faktor auf Tiere und Pflanzen ein (DISTER 1985, LEYER 2004, SCHOLZ et al. 2005, 2009, HENLE et al. 2006, ILG et al. 2008). Die hydrologischen Parameter sind aber stets mit weiteren Parametern wie denen des Bodens gekoppelt, z.B. dessen pH-Wert, Nährstoff- und Sauerstoffgehalt. Bedingt durch die Nährstoffverfügbarkeit und die zumeist gute Wasserversorgung ist ein üppiges

Pflanzenwachstum möglich (DISTER 1985, HÄRDTLE et al. 2006). Als weiteres Resultat ist somit auch eine gute Nahrungsgrundlage für eine Vielzahl von Tieren vorhanden. Dauerhaft überleben können Pflanzen- und Tierarten in der Aue allerdings nur, wenn sie sich mit speziellen Strategien an diese besonderen Standortbedingungen (z.B. der Abflussdynamik mit immer wieder auftretenden „Extremereignissen“) angepasst haben. So findet nach jedem Hochwasser eine diesbezügliche Spezies-Selektion statt, die zu einer charakteristischen standorttypischen Zusammensetzung der Auenbiozönose führt. Die Dynamik zwischen hohen und niedrigen Abflüssen sowie die geomorphologisch verändernde Kraft des fließenden Wassers mit einer Vielfalt an Substraten führen zu einer großen Vielfalt an Lebensräumen für Tier- und Pflanzenarten auf engstem Raum (TOWNSEND 1996, NAIMAN & DECAMPS 1997, 1998). Flussauen werden daher als „Hot Spots“ der Biodiversität in der Landschaft angesehen (WARD et al. 1999).

Die vielfältige Nutzung von Flüssen und ihren Auen als Wasserstraße oder zur Energiegewinnung, als Produktionsfläche für Land und Forstwirtschaft, aber auch als Siedlungsraum hat allerdings zu erheblichen Beeinträchtigungen der Auenbiozönosen und des Naturhaushaltes geführt und ist häufig mit negativen Folgen für den überregionalen Hochwasserschutz und weitere Ökosystemleistungen verbunden. So stehen an den großen Strömen in Deutschland heute nur noch ca. 10 bis 30 % der ursprünglichen Überschwemmungsflächen bei Hochwasser für die Überflutung zur Verfügung (z.B. FOECKLER & BOHLE 1991, GERKEN 1988, TOCKNER & STANFORD 2002, SCHOLTEN et al. 2005, SCHOLZ et al. 2005, TOCKNER et al. 2006, BRUNOTTE et al. 2009). Deshalb werden die meisten naturnahen Lebensraumtypen in Auen und eine Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten national, aber auch international einem hohen Gefährdungsstatus zugeordnet (z.B. RIECKEN et al. 2006, HAUPT et al. 2009, ELLWANGER et al. 2012). Dennoch gehören die verbliebenen Flüsse und Flussauen zu den artenreichsten Ökosystemen Mitteleuropas und sind somit natürliche Biodiversitäts-Zentren (siehe auch ROBINSON et al. 2002, HUGHES et al. 2005, SCHOLZ et al. 2005, GERRITSEN et al. 2006). Die naturschutzfachliche Bedeutung von Flussauen-Ökosystemen spiegelt sich auch in den hier vorkommenden Arten- und Lebensraumtypen wider, die in den Anhängen I und II der FFH-Richtlinie aufgeführt sind und ihren Verbreitungsschwerpunkt in Gewässer-Auenökosystemen haben. Sie dienen zur Auswahl des europäischen ökologischen Netzes Natura 2000, und viele Flussauen in Deutschland wurden deshalb unter diesen europäischen Schutzstatus gestellt. Häufig sind die Fließgewässer und ihre Auen selbst direkter Bestandteil der FFH- und Vogelschutzgebiete und heben als Indikator für die biologische Vielfalt (siehe auch Nachhaltigkeitskriterien der Biodiversitäts-Strategie – BMU 2010) die naturschutzfachliche Bedeutung und gesellschaftliche Wertigkeit von Flussauenabschnitten hervor.

Eine separate Analyse und Bewertung der auentypischen Arten- und Lebensraumvielfalt ist eine notwendige Voraussetzung, um sie im Vergleich mit anderen Ökosystemfunktionen und -leistungen einschätzen zu können (vgl. Kap. 5).