

Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für Geoinformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

„Untersuchungen zum Retentionsvermögen der
Gewässer-Aue-Systeme und zur Verbesserung des
Hochwasserschutzes in Rheinland-Pfalz
(Deutschland)“

vorgelegt von

Matthias Binding

U1225, UNIGIS MSc 2005

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) –
MSc(GIS)“

Gutachter:
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

April 2007

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der Abbildungen.....	4
Verzeichnis der Tabellen.....	6
Verzeichnis der Symbole.....	8
Verzeichnis der Abkürzungen.....	9
Kurzfassung.....	11
Abstract.....	13
1. Einführung.....	15
1.1 Motivation.....	15
1.2 Aufgabenstellung.....	16
1.3 Lösungsansatz.....	17
1.3.1 Theorie.....	17
1.3.2 Methoden.....	21
1.3.3 Werkzeuge.....	22
1.3.4 Testgebiete/-datensatz.....	23
1.4 Erwartete Ergebnisse.....	27
1.5 Themen, die nicht behandelt werden.....	27
1.6 Diktion und fachliche Tiefe.....	27
1.7 Struktur dieser Thesis.....	28
2. Literaturüberblick.....	29
2.1 Methode nach HONECKER (2005).....	29
2.2 Methode nach ERNSTBERGER (2005).....	31
2.3 Methode nach BAUER (2004).....	32
2.4 Kritikpunkte zur Methode von BAUER.....	37
2.5 Gegenüberstellung der Methoden von ERNSTBERGER, HONECKER und BAUER.....	38
3. Lösungsansatz.....	40
3.1 Theorieansatz.....	40
3.2 Methoden.....	42
4. Projektbeschreibung.....	47
4.1 Konzept.....	47
4.2 Durchführung.....	49
4.3 Rauheitsbeiwerte von Landnutzungsformen und Gewässerstruktur- güteparametern.....	57
4.4 Ermittlung der Gesamtrauheit von Gewässer und Aue.....	63
4.5 Zusammenführung der Rauheitsbeiwerte.....	68
4.6 Durchführung der Ausbreitungsanalysen.....	70
4.7 Fiktive Gewässerstrukturgüteverbesserungen.....	71
5. Ergebnisse.....	74

	Seite
5.1 Erbachenzugsystems.....	74
5.1.1 Charakterisierung.....	74
5.1.1.1 Form, Größe, Länge, Gefälle.....	74
5.1.1.2 Flächennutzung.....	75
5.1.1.3 Abfluss.....	76
5.1.1.4 Gewässerstrukturgüte.....	78
5.1.2 Lokalisierung der Testabschnitte zur fiktiven Gewässerstruktur- güteverbesserung.....	79
5.1.3 Testabschnitt im zentralen Teileinzugsgebiet.....	81
5.1.4 Testabschnitt im westlichen Teileinzugsgebiet.....	86
5.1.5 Testabschnitt im östlichen Teileinzugsgebiet.....	89
5.1.6 Gewässerstrukturgüteverbesserungen in mehreren Testabschnitten.....	92
5.1.7 Potentiell natürlicher Zustand.....	96
5.2 Unterlauf und unterer Mittellauf der Wied.....	96
5.2.1 Charakterisierung.....	96
5.2.1.1 Flächennutzung.....	96
5.2.1.2 Gewässerstrukturgüte.....	98
5.2.2 Testabschnitts an der Wied mit fiktiven Gewässerstrukturgüte- verbesserungen.....	99
5.2.3 Potentiell natürlicher Zustand am Unterlauf und unteren Mittellauf der Wied.....	102
5.3 Naturschutzgebiete.....	103
6. Analyse der Ergebnisse.....	105
6.1 Ermittlung der Konzentrationszeiten.....	105
6.2 Charakterisierung des Erbachenzugsystems.....	108
6.3 Vergleich der Abflussveränderungen, die sich durch Gewässerstrukturgüte- verbesserung ergeben.....	110
6.4 Erwartete und erzielte Ergebnisse.....	114
6.5 Vorschlag von Rückbau- bzw. Renaturierungsstrecken.....	116
6.6 Berücksichtigung von Schutzgebietsausweisungen.....	118
7. Diskussion, Ausblick, Zusammenfassung.....	119
7.1 Diskussion.....	119
7.1.1 Gewässerentwicklung und Hochwasserschutz.....	119
7.1.2 Kritische Anmerkungen zu Daten und Methode.....	122
7.2 Ausblick.....	124
7.3 Zusammenfassung.....	125
Schriften- und Quellenverzeichnis.....	128
Anhang.....	132

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite	
Abb. 1	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im westlichen Teileinzugsgebiet sowie in allen drei Teileinzugsgebieten.....	12/14
Abb. 2	Veränderung des Oberrheins bei Breisach. 1828 vor der Regulierung, 1872 nach der Korrektur durch Tulla und 1963 nach weiterer Kanalisierung (Quelle: DISSE 2005).....	18
Abb. 3	Einzugsgebiet der Wied.....	25
Abb. 4	Querprofilskizze zur Erläuterung der verwendeten Geometrie-kenngrößen.....	34
Abb. 5	Ermittlung der Rauheiten des Gewässerbettes in Abhängigkeit des Strukturgütezustandes(nach BAUER 2004).....	35
Abb. 6	Abflussquerschnitt, benetzter Umfang und hydraulischer Radius.....	37
Abb. 7	Abflussbildung und Abflusskonzentration in einfachen Einzugs-gebietsmodellen (Quelle: HINKELMANN 2006).....	41
Abb. 8	Direkter Abfluss und Basisabfluss (Quelle: HINKELMANN 2006).....	42
Abb. 9	Anstieg der Konzentrationszeit im Einzugsgebiet des Erbachs.....	46
Abb. 10	Niederschlagsverteilung im Wiedereinzugsgebiet.....	49
Abb. 11 a	Datenextraktion für das Einzugsgebiet des Erbachs.....	50
Abb. 11 b	Datenvorbereitung für die Ausbreitungsanalyse im Einzugsgebiet des Erbachs	51
Abb. 12	Gewässernetz im Erbacheinzugsgebiet.....	52
Abb. 13	Gegebene und korrigierte Gewässerverläufe im Erbachsystem.....	53
Abb. 14	Abflussganglinien von korrigierten und nicht korrigierten Gewässerläufen.....	54
Abb. 15	Lücken in der Wasserscheide durch Verringerung der Raster-auflösung von 20 auf 200 m.....	55
Abb. 16	Gefälledarstellung bei unterschiedlicher Rasterauflösung.....	56
Abb. 17	Unterschiedliche Rauheitsbeiwerte für Ackerland.....	62
Abb. 18	Querprofile von Erbach und Wied.....	64
Abb. 19	Zusammenführung der Rauheitsbeiwerte für das Erbachsystem.....	68
Abb. 20	Durchführung der Ausbreitungsanalyse.....	70
Abb. 21	Entfernungen zum Gebietsauslass des Erbacheinzugssystems.....	74
Abb. 22	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs bei derzeitiger Nutzung und Gewässerstrukturgüte.....	77
Abb. 23	Abflusszeiten des Niederschlags(100 mm/m ²) aus dem Erbach-einzugssystem.....	78
Abb. 24	Ermittlung von möglichen Renaturierungsstrecken.....	80
Abb. 25	Testabschnitt am Erbach im zentralen Teileinzugsgebiet.....	81
Abb. 26	Direkter Abfluss aus dem zentralen Teileinzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungs-maßnahmen im zentralen Teileinzugsgebiet.....	84

	Seite	
Abb. 27	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungs- maßnahmen im zentralen Teileinzugsgebiet.....	85
Abb. 28	Testabschnitt am Driescheider- und am Heupelzerbach im west- lichen Teileinzugsgebiet.....	86
Abb. 29	Direkter Abfluss aus dem westlichen Teileinzugsgebiet des Erbachs– Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungs- maßnahmen im westlichen Teileinzugsgebiet.....	88
Abb. 30	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungs- maßnahmen im westlichen Teileinzugsgebiet.....	88
Abb. 31	Testabschnitt am Soertherbach im östlichen Teileinzugsgebiet.....	89
Abb. 32	Direkter Abfluss aus dem östlichen Teileinzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Struktur- verbesserungsmaßnahmen im östlichen Teileinzugsgebiet.....	91
Abb. 33	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungs- maßnahmen im östlichen Teileinzugsgebiet.....	92
Abb. 34	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungs- maßnahmen im westlichen und im zentralen Teileinzugsgebiet.....	93
Abb. 35	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungs- maßnahmen im westlichen und im östlichen Teileinzugsgebiet.....	94
Abb. 36	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungs- maßnahmen im östlichen und im zentralen Teileinzugsgebiet.....	94
Abb. 37	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungs- maßnahmen im allen drei Teileinzugsgebieten.....	95
Abb. 38	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist- und Ideal-Zustand.....	96
Abb. 39	Flächennutzung im Einzugsgebiet der Wied.....	97
Abb. 40	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet der Wied – Vergleich zwischen Ist-Zustand des Unter- und unteren Mittellaufs der Wied und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im Testabschnitt....	101
Abb. 41	Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet der Wied – Vergleich zwischen Ist- und Ideal-Zustand des Unter- und unteren Mittellaufs der Wied.....	103
Abb. 42	Naturschutzgebiete im Einzugsgebiet der Wied.....	104

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 1	Relevanz der Gewässerstrukturgüteparameter gegenüber der natürlichen Hochwasserrückhaltung..... 20
Tab. 2	Verwendete ESRI-Tools..... 23
Tab. 3	Angaben zum räumlichen Bezugssystem der verwendeten und erstellten Datensätze..... 26
Tab. 4	Räumliche Retentionsparameter nach HONECKER (2005)..... 29
Tab. 5	Parameter für die verschiedenen Hochwasserereignisse nach ERNSTBERGER (2005)..... 31
Tab. 6	Mögliche Wertzahlen für kleine Hochwasser..... 32
Tab. 7	Ableitung der Rauheitsbeiwerte aus Parametern der Struktur- gütekartierung..... 35
Tab. 8	Natürliche Merkmalsausprägungen in Abhängigkeit des Gewässertyps 36
Tab. 9	Gegenüberstellung der Methoden von ERNSTBERGER, HONECKER und BAUER..... 39
Tab. 10	Beispiel zur Ermittlung der Konzentrationszeit..... 45
Tab. 11	Gewässerstrukturgüteparameter..... 58
Tab. 12	Rauheitsbeiwerte für Ufergehölz..... 59
Tab. 13	Rauheitsbeiwerte für Ufervegetation..... 59
Tab. 14	Rauheitsbeiwerte für Sohlensubstrat..... 59
Tab. 15	Landnutzungskategorien und Nutzungsklassen im Wiedeinzugsgebiet..... 60
Tab. 16	Rauheitsbeiwerte für das Hochwasserschutzkonzept an der Mittleren Theiß..... 61
Tab. 17	Rauheitsbeiwerte für weitere Biotoptypen..... 63
Tab. 18	Tiefen-Breitenverhältnisse..... 65
Tab. 19	Benetzter Umfang..... 65
Tab. 20	Festlegung der Rauheitszuschläge in Abhängigkeit des Profiltyps..... 66
Tab. 21	Unterschiedliche Vorgehensweise zur Ermittlung der Abflusszeiten..... 73
Tab. 22	Gefälle im Einzugsgebiet des Erbachs..... 75
Tab. 23	Flächennutzung im Einzugsgebiet des Erbachs..... 76
Tab. 24	Verteilung der Gewässerstrukturgüte im Einzugsgebiet des Erbachs... 79
Tab. 25	Gewässerstrukturgütebewertung des zentralen Testabschnittes..... 82
Tab. 26	Erläuterungen zu den Bewertungen..... 83
Tab. 27	Gewässerstrukturgütebewertung des westlichen Testabschnitts 87
Tab. 28	Gewässerstrukturgütebewertung des östlichen Testabschnitts 90
Tab. 29	Flächennutzung im Einzugsgebiet der Wied..... 98

		Seite
Tab. 30	Verteilung der Gewässerstrukturgüte am Unter- und unteren Mittellauf der Wied.....	99
Tab. 31	Gewässerstrukturgütebewertung des Testabschnittes an der Wied.....	100
Tab. 32	Vergleich verschiedener Konzentrationszeiten im Erbachsystem.....	106
Tab. 33	Parameter zur Bestimmung der Gewässerstrukturgüte nach dem Übersichtsverfahren.....	125

Verzeichnis der Symbole

A	Benetzter Querschnitt [m ²]
HQ ₁₀₀ ; HQ ₅₀	100-, 50-jähriger Hochwasserabfluss [m ³ /s]
I	Gefälle [-]
K	Speicherkonstante [s bzw. min]
k _{st}	Rauheitsbeiwert nach MANNING-STRICKLER [m ^{1/3} /s]
L	längster Fließweg in einem Einzugsgebiet [m]
l _b	benetzter Umfang der Sohle [m]
l _U	benetzter Umfang
l _u	benetzter Umfang des Ufers [m]
l _{ges}	benetzter Umfang des Gewässerbettes [m]
m	Korrekturfaktor für den Einfluss der Laufkrümmung [-]
n	Kehrwert des Rauheitsbeiwertes nach MANNING-STRICKLER [s/m ^{1/3}]
n ₁	Unregelmäßigkeiten der Ufer [s/m ^{1/3}]
n ₂	Querprofilvariationen [s/m ^{1/3}]
n ₃	Einfluss der Verblockungen [s/m ^{1/3}]
n ₄	Vegetationseinflüsse [s/m ^{1/3}]
n _b	Rauheitsbeiwert der Sohle [s/m ^{1/3}] bzw. Basisrauheit für gerades und gleichmäßiges Bachbett als Funktion des Sohlenmaterials
n _F	Gesamtrauheit des Fließgewässers [s/m ^{1/3}]
n _u	Gesamtrauheit der Ufer [s/m ^{1/3}]
n _{uv}	Rauheitsbeiwert der Ufervegetation/-gehölze [s/m ^{1/3}]
n _{uz}	Rauheitszuschlag für Unregelmäßigkeiten der Ufer [s/m ^{1/3}]
P	Niederschlag [mm/h]
Q	Abfluss [m ³ /s]
ΔQ	Abflussänderung [m ³ /s]
R _{hy}	Hydraulischer Radius [m]
T _c , T _{c erw.}	Konzentrationszeit [min]
T _{cE}	Konzentrationszeit für das gesamte Einzugsgebiet aus mittlerem Gefälle und mittlerem Rauheitsbeiwert
T _{cZ}	Konzentrationszeit pro Rasterzelle aus mittlerem Gefälle und mittlerem Rauheitsbeiwert [min]
v	Fließgeschwindigkeit [m/s]
ΔV	Volumenänderung [m ³]
x	Rasterauflösung [m]
Z _{maxL}	Anzahl der Zellen in maximaler Fließlängserstreckung [-]

Verzeichnis der Abkürzungen

A	Auetalgewässer
Ak	Auetalgewässer mit kiesigem Sediment
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
DHM	Digitales Höhenmodell
DVWK	Deutscher Verband für Wasserbau und Kulturtechnik e.V.
F	Flachlandgewässer
GSG	Gewässerstrukturgüte(parameter)
hpnG	heutiger potentieller natürlicher Gewässerzustand
IRMA	Interregionale Rhein-Maas-Aktivitäten
K	Klamm- und Kerbtalgewässer
LQU	mäandrierender Lauf, naturnahes Querprofil mit Erlengalerien be- stockten Ufern
LQUR	mäandrierender Lauf, naturnahes Querprofil mit Erlengalerien be- stockten Ufern, brachliegende Randstreifen beiderseits des Gewässers
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
M	Mäandertalgewässer
NSG	Naturschutzgebiet
R	brachliegender Randstreifen beiderseits des Gewässers
S	Sohlenkerbtalgewässer
Saar-Lor-Lux	Saarland, Lothringen und Luxemburg
USGS	United States Geological Survey
VBA	Visual Basic for Application

Erklärung

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet.

Bad Schwalbach, 21. April 2007

Kurzfassung

Das Anliegen dieser Arbeit war es, den Zusammenhang zwischen Gewässerstrukturgüte und Hochwasserrückhalt zu beleuchten. Im Zuge der Untersuchungen galt es dabei folgende Fragen zu beantworten:

- Welche Veränderungen/Verbesserungen der Gewässerstrukturgüte spiegeln sich in einem veränderten Abflussverhalten wider?
- Welche Strukturgüteverbesserungen haben den effektivsten Einfluss auf den Hochwasserrückhalt?
- Inwieweit können sich Maßnahmen in einem Teileinzugsgebiet negativ auf den Abfluss des Gesamteinzugsgebietes auswirken?

Messbare Retentionseffekte sind z.B. die Dämpfung der Hochwasserspitzen und die Verzögerung des Abflusses eines Gewässersystems, welcher an der Mündung in den Vorfluter ermittelt wird. Um die Effekte von Strukturgüteverbesserungen zu untersuchen, wurde in den Einzugsgebieten von Erbach und Wied unter Anwendung eines einfachen Niederschlag-Abfluss-Modells der Abfluss ermittelt. Es erfolgte die Berechnung des direkten Abflusses, der sich nach einem angenommenen Niederschlagsereignis in Abhängigkeit vom Gefälle des Geländes und der Rauigkeit des Untergrundes einstellt. Versickerung und Verdunstung wurden dabei vernachlässigt, d.h. der gesamte, gleichmäßig über dem Einzugsgebiet verteilte Niederschlag sollte zum Abfluss kommen. Die Abflussdauer wurde über die Konzentrationszeit abgeschätzt.

Die Ermittlung der Fließzeit erfolgte unter Anwendung des Tools Flow Length aus dem Hydrology Toolset von ArcGIS 9.0 (ESRI). In dieser rasterbasierten Analyse fanden Gefälle und Rauigkeit als Gewichtung Eingang. Berücksichtigt wurden dabei die Rauheitsbeiwerte der Landnutzungen sowie die der Gewässer-Aue-Systeme. Die Gesamtrauigkeit der Gewässer-Aue-Systeme ergab sich aus den Rauheitsbeiwerten der Gewässerstrukturgüteparameter Laufkrümmung, Profiltyp, Sohlensubstrat, Uferbewuchs, Flächennutzung und Uferstreifen (vergl. BAUER 2004). Das Ergebnis der Abflussanalysen waren Isochronendiagramme (Linien gleicher Abflusszeiten), über die schließlich die Abflusskurven (Niederschlags-/Abflussmengen pro Zeitintervall) abgeleitet werden konnten.

Berechnet wurde der Abfluss unter der aktuellen Nutzung und dem derzeitigen Gewässerzustand sowie der Abfluss nach simulierten Gewässerstrukturgüteverbesserungen. In einem Einzugsgebiet erfolgten dabei fiktive Verbesserungsmaßnahmen sowohl separat an gewählten Gewässerabschnitten in den einzelnen Teileinzugsgebieten als auch kombiniert an mehreren Gewässerabschnitten gleichzeitig. Die Auswirkungen der einzelnen Verbesserungsmaßnahmen auf den Hochwasserrückhalt wurden dann über die Abflussveränderungen bestimmt.

Es zeigte sich,

1. dass alle Gewässerstrukturgüteverbesserungen Auswirkungen auf das Abflussverhalten haben. Diese kommen allerdings nur dann zur Geltung, wenn die ge-

wässerstrukturellen Aufwertungen auf einer, in Relation zu dem Einzugsgebiet entsprechend großen Fläche umgesetzt werden.

2. dass Gewässerrandstreifen ausweisung bzw. eine Aueentwicklung einen größeren Gewinn an Hochwasserrückhalt bringen als Renaturierungen des Gewässers (Lauf, Ufer, Sohle) oder Maßnahmen an einzelnen Gewässerstrukturen,
3. dass gleichzeitig an mehreren Gewässerabschnitten durchgeführte Maßnahmen zu einem größeren Hochwasserrückhalt führen als Maßnahmen, die nur an einem Gewässerabschnitt erfolgen,
4. dass Gewässerstrukturgüteverbesserungen in einzelnen Teileinzugsgebieten auch dazu führen können, dass die Hochwasserspitzen des Gesamtabflusses eines Einzugsgebietes angehoben werden (vergl. Abb. 1),
5. dass durch eine Kombination von Maßnahmen in verschiedenen Teileinzugsgebieten diese negativen Folgen der Hochwasseranhebung vermindert werden können (vergl. Abb. 1).

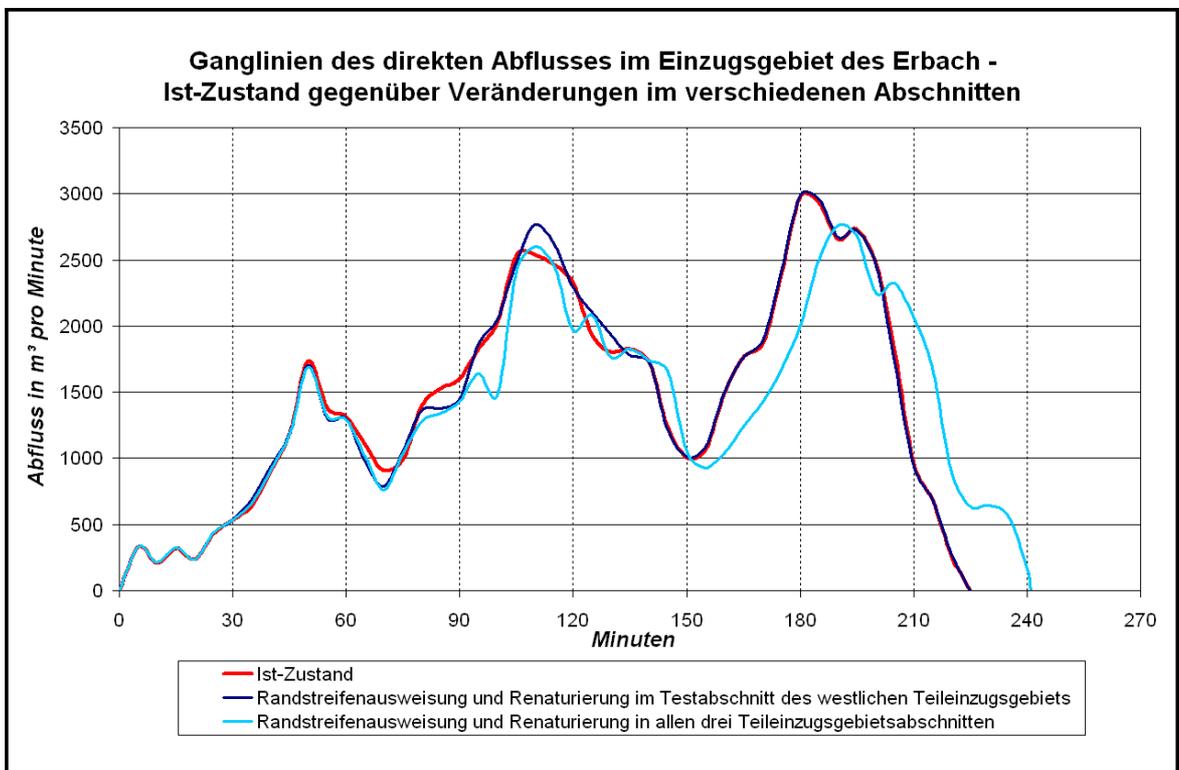


Abb. 1: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im westlichen Teileinzugsgebiet sowie in allen drei Teileinzugsgebieten

Das Retentionsvermögen eines Gewässer-Aue-Systems sowie die Auswirkungen von bestimmten Gewässerstrukturgüteveränderungen bewirken lassen sich sehr anschaulich über die Abflusskurven eines Einzugsgebietes verdeutlichen. Im Gegensatz zu Kartendarstellungen, die „nur“ die Retentionspotentialsteigerungen aufzeigen, können die Abflusskurven auch negative Auswirkungen von Gewässerstrukturgüteverbesserungen aufdecken.

Abstract

The main aim of this study was to investigate the relationship between the ecological-geomorphological structure of the creeks and rivers and their flood retention. The following questions were to be answered:

- Which changes/which improvements of the ecological structure have an influence of the water flow of creeks and rivers?
- Which improvements of the ecological structure have the strongest influence of the flood retention?
- To what extent can improvements in a part of a catchment area have a negative effect on the runoff of the total catchment areas?

Measurable effects of the retention are the reduction of the runoff-peaks or the delay of water flow for instance. To examine the effects of the improvements of the ecological structure, the runoff was determined in two selected catchment areas under application of an simple rainfall-runoff-model. The two catchment areas are the basin of Erbach and the basin of Wied. The point of interest was the direct flow depending on the slope and the roughness of the surface. This flow was calculated by using a simple rainfall-runoff-model after a hypothetical rainfall event. Evaporation and seepage were neglected, i.e. the whole precipitation, steadily distributed about the catchment area should come to the runoff. The time of concentration was used to estimate the duration of flow.

The calculation of the duration of flow (or rather the time of concentration) was executed with the Flow Length command from the Hydrology Toolset of ArcGIS 9.0 (ESRI). This command can be used to create distance-area diagrams of hypothetical rainfall-runoff-events using a weight as an impedance to movement downslope (see ESRI ArcGIS Desktop Help). In this grid-based analysis, slope and roughness found entrance as a weighting. The roughness values of the land use as well as those of the river-floodplain-systems were taken into consideration. The total roughness of the river-floodplain-systems were obtained from six ecological parameters: course, profile type, substrate of the bed, vegetation of the banks, land use of the meadows and buffer strips along the river (see BAUER 2004). The result of the runoff analyses were isochronodiagrams (lines of equal duration of flow) and at the end the curve of the flow (precipitation amounts per time distance).

First the runoff was calculated over the topical land use and the present state of the the rivers. Then the runoff was calculated over the topical land use and some hypothetical improved tracts. In one basin, hypothetical measures were executed separately along elected tracts in the sub-catchment areas as well as hypothetical measures in two or three sub-catchment areas in parallel. The effects of the improvement measures for the flood retention were determined via runoff changes.

We obtained the following results:

1. all improvement measures have consequences on the flow. These consequences are effective, however, only if the tracts or the area for the improvement measures are big enough, in relation to the catchment area.
2. the conservation of buffer strips along the rivers or the development of a meadow wood gain a bigger profit for the retention than rebuilding the natural shape of the river bed (course, banks and profile) or improvement measures for a single ecological structure (parameters).
3. several improvement measures carried out in parallel along several tracts gain a bigger profit for the retention than improvement measures which were done only in one tract,
4. improvements of the ecological structure done in single sub-catchment area could increase the runoff-peaks of the total catchment area (figure 1),
5. the negative result of increasing the runoff-peaks of the total catchment area can be reduced or prevented by a combination of improvement measures in different sub-catchment areas (figure 1).

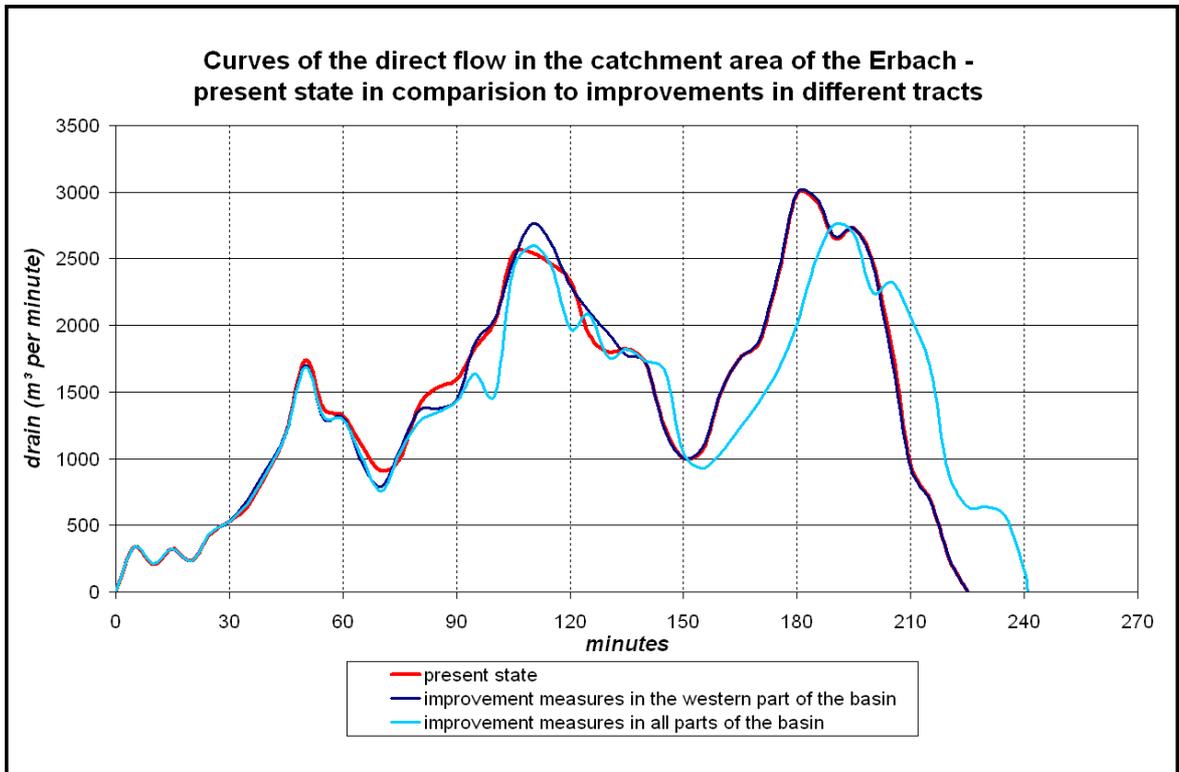


Figure. 1: Direct flow out of the Erbach basin – comparison of the runoff between the present state of the catchment area (red) and the state after hypothetical improvement measures in the western part of the basin (green) and in all parts of the basin (blue)

The retention property of a river-floodplain system as well as the effects of certain changes of the ecological structure can be visualized very clearly with the curves of flow of a certain catchment area. Contrary to a map which indicates "only" the increase of the potential of retention, the curves of flow can also uncover negative consequences of improvement measures.

1. Einführung

1.1 Motivation

In den letzten Jahren hat die Aktualität des Hochwasserschutzes – gerade auch mit der Diskussion um eine Klimaveränderung – stark an Bedeutung gewonnen. Die Hochwasser in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts und das Jahrhundert-Hochwasser an der Elbe 2002, das eine große Solidaritätswelle in der Bundesrepublik Deutschland ausgelöst hat, haben den Menschen wieder einmal das Ausmaß solcher Naturgewalten vor Augen gehalten. Sowohl der Bevölkerung als auch den Politikern ist bewusst geworden, dass die Aue ein wichtiger und untrennbarer Teil der Gewässer ist, den es zu schützen gilt. Die Aue ist der natürliche Überflutungsraum der Gewässer, der bei ungestörten Gewässersystemen in der Regel mindestens einmal pro Jahr überflutet wird (HONECKER 2005, S. 34).

Rückhalt des Hochwassers allein durch technische Maßnahmen ist dabei nicht anzustreben. Ein Anliegen der letzten Jahre ist es, das Hochwasser schon in den Einzugsgebieten der Fließgewässer durch geeignete Maßnahmen zurückzuhalten. Neben gezielter Regenwasserversickerung in den Siedlungsgebieten durch Entsiegelung und Dachbegrünungen werden in diesem Zusammenhang auch die Verbesserung der Gewässerstrukturgüte sowie die Wiederherstellung natürlicher Auen und der damit verbundenen Steigerung der (Hochwasser-) Retentionsfähigkeit genannt.

Mit der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie vom 23. Oktober 2000 hat das europäische Parlament und der Rat der europäischen Union einen Ordnungsrahmen für den Schutz der Oberflächengewässer und des Grundwassers geschaffen, der einen ganzheitlichen Ansatz einer einheitlichen europäischen Wasserpolitik darstellt.

In der Wasserrahmenrichtlinie werden auch die Verbesserungen der Funktionsfähigkeit der Gewässer-Aue-Systeme und des Hochwasserschutzes als Ziel angeführt. Nach Artikel 1a) dieser Richtlinie soll die „Vermeidung einer weiteren Verschlechterung sowie (der) Schutz und (die) Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt“ erreicht werden sowie nach Artikel 1e) ein „Beitrag zur Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren“ geleistet werden. Insgesamt ist das Ziel der Wasserrahmenrichtlinie die Erreichung eines „guten Zustandes“ in allen Gewässern innerhalb von 15 Jahren (RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES). Um zukünftige Hochwasserkatastrophen möglichst zu verhindern oder abzumildern, sollten die Gewässer-Aue-Systeme (wieder) in einen Zustand versetzt werden, der es ihnen ermöglicht die durch extreme Niederschlagsereignisse entstehenden Abfußwellen effektiv zu bremsen und/oder zurückzuhalten.

Um die Wiederherstellung bzw. eine Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Gewässer-Aue-Systeme zu erreichen, müssen zunächst Bestandsaufnahmen des Ist-Zustandes von Fließgewässern und deren Auen durchgeführt werden. Schon Ende der 1990er Jahre wurde in Deutschland und in anderen EU-Mitgliedsländern die

Gewässerstrukturgüte mittels unterschiedlicher Verfahren aufgenommen, um den gewässerökologischen Zustand dieser Gewässer zu dokumentieren. Aus diesem Ist-Zustand können dann Defizite gegenüber eines potentiell natürlichen Zustandes abgeleitet und mögliche Maßnahmen erarbeitet werden.

Kommunen und deren Entscheidungsträger sind wohl bereit, solche Maßnahmen u.a. auch im Hinblick auf den Hochwasserschutz in die Wege zu leiten. Es stellen sich nur die Fragen:

- Wie es mit dem Zustand der Auen bestellt und ganz besonders, wie groß ist deren Retentionspotential?
- Wo kann das Retentionsvermögen der Auen gesteigert werden bzw. wo sollen die Maßnahmen für den (dezentralen) Hochwasserschutz umgesetzt werden und vor allem
- was für einen (messbaren) Effekt haben sie?

Gerade mit diesen Fragen beschäftigen sich einige Arbeiten der letzten Jahre, in denen der Versuch unternommen wird, das Retentionspotential von Gewässern und Auen sowie das von naturnahen Maßnahmen zu bewerten. Dabei zeigt sich, dass die Daten aus der Gewässerstrukturgütekartierung als Grundlage der Bewertung dienen können.

1.2 Aufgabenstellung

Ziel dieser Arbeit ist es zu ermitteln, ob und in welchem Ausmaß Verbesserungen in der Gewässerstrukturgüte zu einer Verbesserung der Retention der Auen führen. Dazu muss zunächst einmal eine – wenn möglich – einfache und dennoch praktikable Methode gefunden werden, wie eine Verbesserung zu messen ist. Messbare Effekte sind z.B. die Steigerung der Speicherkonstanten eines Gewässer-Aue-Abschnitts oder die Verzögerung des Abflusses eines Gewässersystems, welcher an der Mündung in den Vorfluter ermittelt wird, und/oder die Dämpfung der Spitzen des Hochwasserabflusses.

Ist eine geeignete Methode erst einmal gefunden, dann können Abschnitte im jeweiligen Einzugsgebiet herausgesucht werden, die ein Defizit hinsichtlich der Gewässerstrukturgüte aufweisen. An diesen Abschnitten wird dann fiktiv eine schrittweise Verbesserung der Strukturgüte bzw. Renaturierung von Gewässer und Aue durchgeführt und jeweils die Veränderung des Retentionsvermögens ermittelt, das durch die strukturell verbesserten Gewässer-Aue-Abschnitte resultiert.

Zeigen sich sowohl die gefundene Methode als geeignet als auch die Einflüsse der Gewässerstrukturgüteverbesserungen auf den Hochwasserabfluss bzw. dessen Rückhalt als markant, so kann diese Methode Planern dazu dienen, in erster Annäherung Prioritätsabschnitte und -flächen zu lokalisieren, die für Verbesserungs- und Ent-

wicklungsmaßnahmen von Retentionsräumen bzw. deren Rückhaltevermögen in Frage kommen.

Wichtig bei der Ausweisung geeigneter Renaturierungsabschnitte ist dabei auch eine Charakterisierung des Gewässersystems, also die Form der Teileinzugsgebiete und deren Größen. Es muss vermieden werden, dass verschiedene Maßnahmen dazu führen, dass zwar das Hochwasser in den einzelnen Talräumen zurückgehalten wird, aber u.U. die einzelnen gedämpften Hochwasserwellen gleichzeitig die Mündung erreichen und dort erst Überflutungen mit sich ziehen.

Darüber hinaus darf aber nicht nur eine Erhöhung des Retentionspotentials angestrebt werden, sondern „die Maßnahmen sollen ökologisch vertretbar sein, und sie sollen durch eine naturnahe Konstruktion in das Landschaftsbild eingebaut werden (daher auch integrierter Hochwasserschutz)“ (<http://www.gispreis.de/pages20/h/Modau.html>). Die Ermittlung geeigneter Flächen für den Hochwasserschutz muss damit im Einklang mit landschaftsökologischen Planungen und Schutzgebietsausweisung stehen.

1.3 Lösungsansatz

1.3.1 Theorie

Ein Großteil der Gewässer-Aue-Systeme Deutschlands ist heute durch Maßnahmen beeinflusst, die aus nutzungs- und sicherheitsorientierten Aspekten resultieren. Auen wurden entwässert, um das ebene und fruchtbare Terrain einer landwirtschaftlichen Nutzung zu unterziehen oder um in diesen Bereichen die Siedlungen zu erweitern. Bäche und Flüsse wurden begradigt und ihre Querprofile technisch ausgebaut, um einerseits erst die Intensivierung der Nutzungen Landwirtschaft, Siedlung und Verkehr zu ermöglichen, andererseits um anfallenden Niederschlag schnell abzuführen. An großen Flüssen und Strömen wurden zudem Deiche errichtet, um die der Nutzung unterzogenen Flächen vor Hochwasser zu schützen (PATT ET AL. 1998).

Sehr eindrucksvoll sind die Veränderungen am Oberrhein, die sich seit Beginn der Ausbaumaßnahmen im 19. Jahrhundert zeigen (vergl. Abb. 2). Mit der Korrektur durch Tulla begannen hier die Begradigung des Stroms und die Trockenlegung seiner Aue.

Durch die Reduzierung der Auenflächen wurde einerseits das Retentionsvermögen reduziert. Die Begradigung von Fließgewässer führte andererseits zur Erhöhung des Laufgefälles und durch den technischen Ausbau – z.B. mit Sohl- und Uferverbau, Beseitigung von Ufergehölzen u.a. – wurde die Rauigkeit des Gewässerbettes und somit auch der Abbau der kinetischen Energie der Abflusswelle verringert.

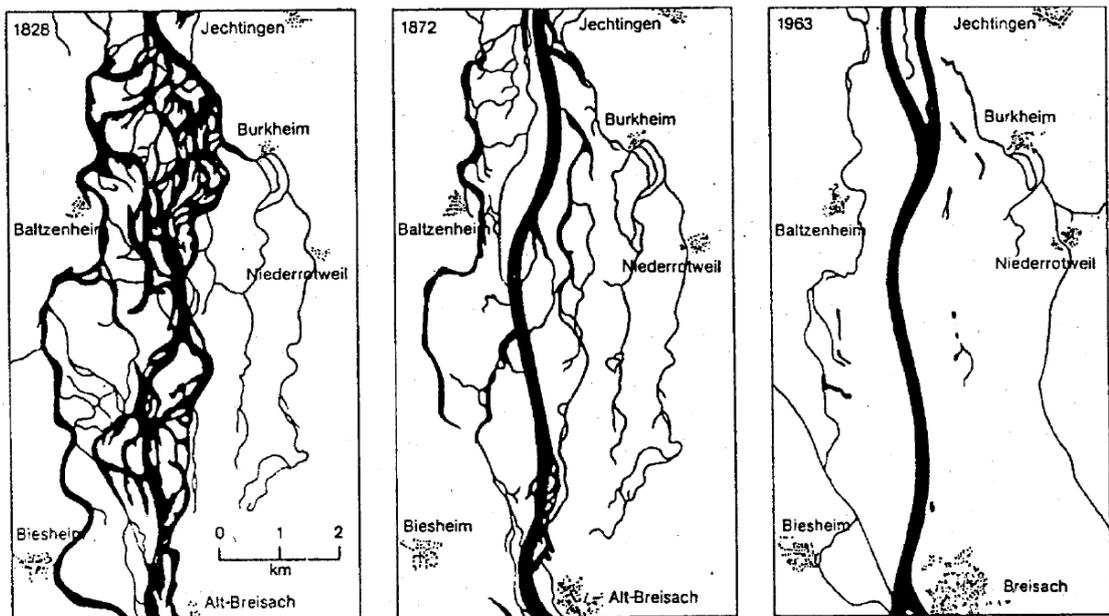


Abb. 2: Veränderung des Oberrheins bei Breisach. 1828 vor der Regulierung, 1872 nach der Korrektur durch Tulla und 1963 nach weiterer Kanalisierung (Quelle: DISSE 2005, S. 201)

Zur Bewertung der Gewässer-Aue-Systeme dient die Gewässerstrukturgüte. Sie ist ein Maß für den ökologischen Zustand der Fließgewässer einschließlich ihrer Auen. Ermittelt wird sie entweder über eine Kartierung oder über Luftbilder und Informationen aus den zuständigen Wasserwirtschaftsbehörden.

Die Gewässerstrukturgütekartierung, wie sie auch in Rheinland-Pfalz durchgeführt wurde, ist ein Vor-Ort-Verfahren. Die Datenerhebung erfolgt dabei, von der Mündung an gewässeraufwärts, unmittelbar im Gelände. Gewässersegmente von 100 Metern Länge bilden dabei die Grundeinheiten für die Erhebung. Hierbei werden die eigentlichen Strukturelemente, d.h. die Einzelparameter und ihre Zustandsmerkmale, sowie gewässermorphologische Grundlagendaten (Gewässerbreite und Gewässertyp) und Stammdaten (Gewässer- und Abschnittsnummern) zur eindeutigen Identifizierung des Gewässerabschnitts erhoben (vergl. Anhang A).

Der Hauptteil der Strukturgütekartierung liegt in der Erfassung von insgesamt 25 Einzelparametern. Diese Einzelparameter sind Strukturelemente die für die ökologische Qualität eines Fließgewässers besonders relevant sind, wie zum Beispiel die Laufkrümmung, die Profiltiefe und der Uferbewuchs. Jedem der Einzelparameter ist eine bestimmte Reihe von definierten Zustandsmerkmalen zugeordnet, mit denen die jeweilige Ausprägung des Parameters objektiv bestimmt wird.

Die 25 Einzelparameter sind nach ihren Indikatoreigenschaften zusammengefasst und sechs Hauptparametern zugeordnet. Diese sechs Hauptparameter bilden das Grundgerüst der Gewässerstrukturgütekartierung. Mit Hilfe dieses Parametersystems erhält

man ein übersichtliches und dennoch differenziertes Bild von der komplexen Morphologie und Dynamik eines Fließgewässers mit seinem Umfeld.

Die Ausprägung der Parameter ist abhängig von der Naturnähe bzw. der menschlichen Einflussnahme auf das Gewässer. Die Einzelparameter unterscheiden daher Wertstrukturen und Schadstrukturen. Die meisten Parameter kennzeichnen Wertstrukturen, deren Vorkommen für naturnahe Gewässer charakteristisch sind. Typische Wertstrukturen sind z.B. Längs- und Querbänke oder die Breitenvarianz. Als Schadstrukturen werden Elemente erfasst, deren Vorhandensein die morphologische Entwicklungsfähigkeit des Gewässers behindern. Hierzu zählen neben den Querbauwerken und Durchlässen vor allem der Ufer- und der Sohlenverbau.

Die Bewertung der Gewässerstrukturgüte erfolgt durch ein siebenstufiges Indexsystem. Der Maßstab für die Bewertung der Gewässerstrukturgüte ist der heutige potentielle natürliche Gewässerzustand (hpnG). Von ihm wurden die naturraum- und gewässertypischen Leitbilder abgeleitet. Gewässer, die keine oder nur sehr geringe Beeinträchtigungen in ihrer natürlichen Struktur und Dynamik aufweisen, zählen zur Strukturgüteklasse 1. Gewässer, die gravierende Beeinträchtigungen aufweisen, zählen zur Strukturgüteklasse 7.

Bei der Bewertung der Strukturmerkmale werden die Besonderheiten einzelner Gewässertypen berücksichtigt. So kann ein Gewässer in einem engen Kerbtal praktisch keine, in einem Sohlenkerbtal nur eine eingeschränkte Laufkrümmung entwickeln. Dagegen ist die freie Laufkrümmung bei den Auetal- und Flachlandgewässern ein wesentliches Kriterium für die natürliche Gewässerentwicklung. Diesen Unterschieden in der naturgemäßen Ausprägung der Strukturelemente wird durch spezifisch geeichten Indexdotierungen Rechnung getragen.

Die meisten Gewässerstrukturgüteparameter besitzen einen teils direkten teils indirekten Einfluss auf die natürliche Hochwasserrückhaltung (LAWA 1998 a) (vergl. Tab. 1).

Tab. 1: Relevanz der Gewässerstrukturgüteparameter gegenüber der natürlichen Hochwasserrückhaltung

Gewässerstrukturgüteparameter	Relevanz gegenüber der natürlichen Hochwasserrückhaltung	
	direkt	indirekt
Laufkrümmung	x	
Krümmungserosion	x	
Längsbänke		x
Laufstrukturen	x	
Querbauwerke		x
Rückstau		
Querbänke		x
Verrohrung	x	
Strömungsdiversität	x	
Tiefenvarianz	x	
Profiltyp		x
Profiltiefe	x	
Breitenerosion	x	
Breitenvarianz	x	
Durchlässe		x
Sohlensubstrat		
Sohlenverbau		
Substratdiversität		x
Besondere Sohlenstrukturen	x	
Uferbewuchs	x	
Uferverbau	x	
Besondere Uferstrukturen	x	
Flächennutzung	x	
Uferstreifen	x	
Sonstige Umfeldstrukturen	x	

So wird z.B. in der Anleitung zur Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland die ökologische Bedeutung des Uferbewuchses wie folgt beschrieben:

„Das gewässertypische Ufergehölz und die mit ihm verknüpfte Untergliederung bewirken bei Hochwasser eine intensive Durchwirbelung des Wassers, eine entsprechende intensive Energieumwandlung, eine frühzeitige Ausuferung des Hochwassers und eine gewisse Verzögerung der Hochwasserwelle“ (LAWA 1998 a, S. 120).

Zu den Elementen, die den Hochwasserabfluss verzögern, gehören alle die Strukturen, die sich der Hochwasserwelle entgegenstellen. Dies sind z.B. Uferstrukturen wie Prall- und Sturzbäume, Laufstrukturen wie Treibholzverkläusungen, Inseln und Laufgäbe-

lungen oder auch Krümmungen mit Prallufeln. Zudem sind die Bereiche relevant, die der Hochwasserwelle die Energie dadurch nehmen, dass sie die Wassermassen auf einen größeren Raum verteilen, wie dies z.B. innerhalb von Laufweitungen geschieht. Bei Ausuferungen kann auch die Aue (wenn naturgegeben vorhanden) als hydraulischer Entlastungsraum zur Verfügung stehen und zur Dämpfung der Hochwasserwellen beitragen.

1.3.2 Methoden

Nach der Fließformel von GAUCKLER-MANNING-STRICKLER ist die Fließgeschwindigkeit proportional zum Widerstandsbeiwert k_{st} und zum Gefälle sowie zum Hydraulischen Radius (Fließtiefe).

$$v = k_{st} * I^{1/2} * R_{hy}^{2/3} \quad \text{mit}$$

v = Fließgeschwindigkeit [m/s]

k_{st} = Rauheitsbeiwert nach MANNING-STRICKLER [$m^{1/3}/s$]

$I^{1/2}$ = Gefälle [-]

$R_{hy}^{2/3}$ = Hydraulischer Radius [m]

(LECHER ET AL. 2001, S. 198)

Über die Fließgeschwindigkeit lassen sich Auswirkungen von Gewässerstrukturgüteverbesserungen nachweisen. Zeigen bestimmte Verbesserungen tatsächlich eine Retentionswirkung, dann muss sich dies auch in einer Reduktion der Geschwindigkeit ausdrücken. Als „Wirkungsgrad“ solcher Strukturgüteverbesserungen oder umfassender Renaturierungsmaßnahmen kann die prozentuale Abnahme der Fließgeschwindigkeit in dem jeweiligen Untersuchungs- bzw. Maßnahmenabschnitt dienen.

Während das Gefälle aus Höhenmodellen und die Widerstands- bzw. Rauheitsbeiwerte aus den Gewässerstrukturgütedaten ableitbar sind, muss der hydraulische Radius aus Gewässergeometrien und Abflussmessungen gewonnen werden. Diese Daten sind allerdings nicht immer leicht verfügbar oder liegen zum Teil gar nicht vor.

1.3.3 Werkzeuge

Datenaufbereitung und Datenverarbeitung erfolgten unter Verwendung der Software ArcGIS 9.0. Es wurden rasterbasierte Analysen durchgeführt, wobei die in der Extension Spatial Analyst enthaltenen Tools – und hier insbesondere die Hydrology Tools – zum Einsatz kamen.

ArcGIS 9.0 bietet die Möglichkeit verschiedenen Tools in Modellen zu verknüpfen und so Geoprozesse durchlaufen zu lassen. Diese Modelle können abgespeichert werden, um sie entweder in andere Geoprozess-Modelle zu integrieren oder um verschiedene Modelle miteinander zu kombinieren.

Mit Hilfe des Hydrology Toolsets ist es möglich, verschiedene rasterbasierte Analysen zu Einzugsgebieten durchzuführen bzw. Aussagen über diese zu machen. Voraussetzung für all diese Analysen ist immer ein digitales Höhenmodell.

Da das Wasser stets dem steilsten Gefälle folgt, ist es möglich, aus den gegebenen Höhenangaben die Richtung des Abflusses aus jeder Zelle zu bestimmen (mit dem Tool Flow Direction). Lokale Senken im digitalen Höhenmodell müssen allerdings zuvor bereinigt werden, sonst stoppt der Fluss an diesen Stellen. Diese Bereinigung wird mit dem Tool Fill durchgeführt.

Aus der Information zur Fließrichtung kann dann ermittelt werden, welche und wie viele Zellen in eine gegebene Zelle fließen. Hierüber lassen sich Gewässernetze herauskristallisieren (mit dem Tool Flow Accumulation) und Wasserscheiden von Teileinzugsgebieten abgrenzen.

Fließlängen innerhalb eines Einzugsgebietes werden mit dem Tool Flow Length bestimmt. Bei der Anwendung dieses Tools kann optional eine Gewichtung berücksichtigt werden. Dadurch ist es möglich die Zeit zu berechnen, die das abfließende Wasser von einer gegebenen Zelle im Einzugsgebiet bis zum Gebietsauslass benötigt.

Ergebnis der Fließlängenberechnungen sind Distanzflächendiagramme. Kommt keine Gewichtung zur Verwendung, ergeben sich Wegdistanzflächen (vergl. Abb. 21). Wird eine geeignete Gewichtung zur Fließzeitberechnung berücksichtigt – wie beispielsweise der Kehrwert der Geschwindigkeit –, so stellen die Flächen des Diagramms die Abflusszeiten aus dem Einzugsgebiet dar (vergl. Abb. 23). Aus diesen Distanzflächen sind dann Abflusskurven für das Einzugsgebiet ableitbar.

Abgesehen von den Werkzeugen zur Analyse der Hydrologie (aus dem Hydrology-Toolset) waren folgende Werkzeuge relevant:

Tab. 2: Verwendete ESRI-Tools

Toolsets	Tools
Analyse Werkzeuge (aus Analysis Tools>Proximity)	Buffer (Pufferbildung, für Vektordaten)
(aus Analysis Tools>Extract)	Clip (Ausschneiden einer Fläche, für Vektordaten)
(aus Spatial Analyst Tools>Extraction)	Extract by Mask (Ausschneiden einer Fläche, für Rasterdaten)
(aus Data Management Tools>Generalization)	Dissolve (Zusammenführung von Flächen mit gleicher Attributausprägung)
Werkzeuge zur Datenkonvertierung (aus Raster-Tools>Conversion)	Feature to Raster (Umwandlung von Vektor- in Rasterdaten)
Werkzeuge zur Reklassifizierung (aus Spatial Analyst Tools>Reclass)	Reclassify (Reklassifizierung von Rasterdaten)
Werkzeuge zur Analyse der Geländeoberfläche (aus Spatial Analyst Tools>Surface)	Slope (Gefälleermittlung)
Map Algebra in Verbindung mit	
Arithmetischen Operatoren und mathematischen Funktionen (aus Spatial Analyst Tools>Math)	Divide (Division von Werten zweier Input-GRIDs bzw. eines Input-GRIDs und eines konstanten Wertes, auf Rasterbasis) Pow (Ermittlung der n. Potenz der Input-GRIDs, auf Rasterbasis) Int (Umwandlung eines Dezimalwertes in einen Integer-Wert)
Konditionalen Operatoren (aus Spatial Analyst Tools>Conditional)	Con (Durchführung von Operationen nach Wenn-Dann-Bedingungen: geeignet für die Zusammenführung/Verschneidung von Daten und zur Dateneliminierung)

Neben ArcGIS als Hauptwerkzeug wurde Microsoft Excel 2000 verwendet, um die Ergebnisse aus den mit Flow Length erstellten Distanzflächendiagrammen in Abflusskurven umzuwandeln.

1.3.4 Testgebiete/-datensatz

Als Testgebiet wurde das Einzugsystem der Wied bzw. das ihr tributäre Teileinzugsgebiet des Erbachs ausgewählt (vergl. Abb. 3). Das Wiedeinzugsgebiet besitzt eine Größe von rund 770 km² und liegt überwiegend im Bundesland Rheinland-Pfalz (Deutschland). Nur etwa 4 km² des Einzugsgebietes befindet sich auf nordrhein-westfälischem Gebiet.

Die Wied und ihre Nebengewässer entwässern einen Teil des westlichen Westerwaldes, der landschaftlich Teil des Rheinischen Schiefergebirges ist. Naturräumlich gehört das Wiedeinzugsystem überwiegend zum Westerwald, wobei der Oberlauf zum Oberwesterwald und der Mittellauf sowie ein Großteil des Unterlaufs zum Niederwesterwald gezählt wird. Der unterste Abschnitt der Wied (die ersten 10 km ab der Mündung inklusive des dazugehörigen Einzugsgebietes) werden schon dem Mittelrheinischen Becken bzw. dem Neuwieder Becken zugerechnet, das wiederum Teil des Mittelrheingebietes ist.

Der Oberwesterwald ist eine lehmbedeckte Hochfläche, die ihre Ausprägung der hier anstehenden ausgedehnten Basaltdecken (tertiäre Vulkanite) verdankt. Ansonsten ist das Einzugsgebiet geologisch sehr einheitlich geprägt. Es stehen überwiegend devonische Schiefer und Grauwacken an. Das Untersuchungsgebiet reicht von 54 m bis 512 m über NN, wobei die höchsten Höhen – über 400 m – rund um den Dreifelder Weiher im Oberwesterwald zu finden sind.

Das Quellgebiet der Wied ist die Westerwälder Seenplatte, wobei einer dieser Seen – der Dreifelder Weiher – einen aufgestauten Abschnitt der Wied darstellt (vergl. Abb. 3). Diese Seen, oder vielmehr Weiher, wurden im Mittelalter von Mönchen zur Fischzucht angelegt und prägen heute das Landschaftsbild des westlichen Oberwesterwaldes.

Das Klima des Westerwaldes ist insgesamt sehr rau. Die mittleren jährlichen Niederschläge reichen von etwas über 500 mm im Neuwieder Becken bis über 1000 mm – maximal 1162 mm – im Oberwesterwald (vergl. Abb. 10). Die dominierende Landnutzungsform ist daher auch die Waldwirtschaft mit einer Fläche von annähernd 43 % des Untersuchungsgebietes. Landwirtschaftlich wird das Wiedeinzugsgebiet durch die Feldgras-Viehwirtschaft bestimmt (27 % des Untersuchungsgebietes), während Ackerland 18 % der Fläche einnimmt (vergl. Tab. 29 und Abb. 39).

Die Wied entspringt auf einer Höhe von 454 m über NN und fließt auf einer Länge von rund 103 km dem Rhein zu, in den sie schließlich in Neuwied mündet. Hier beträgt die Höhe 54 m über NN. Nach dem Entspringen fließt sie in einem weiten, flachen Muldental die ersten Kilometer durch die Hochebene. Diese durchbricht sie dann in einem etwa 5 km langen Kerbtalabschnitt und erstreckt sich die nächsten 27 km in einem Auetal. Die letzten 66 km pendelt sie als größerer Fluss mit Breiten über 10 m in einem Mäandertal zur Mündung.

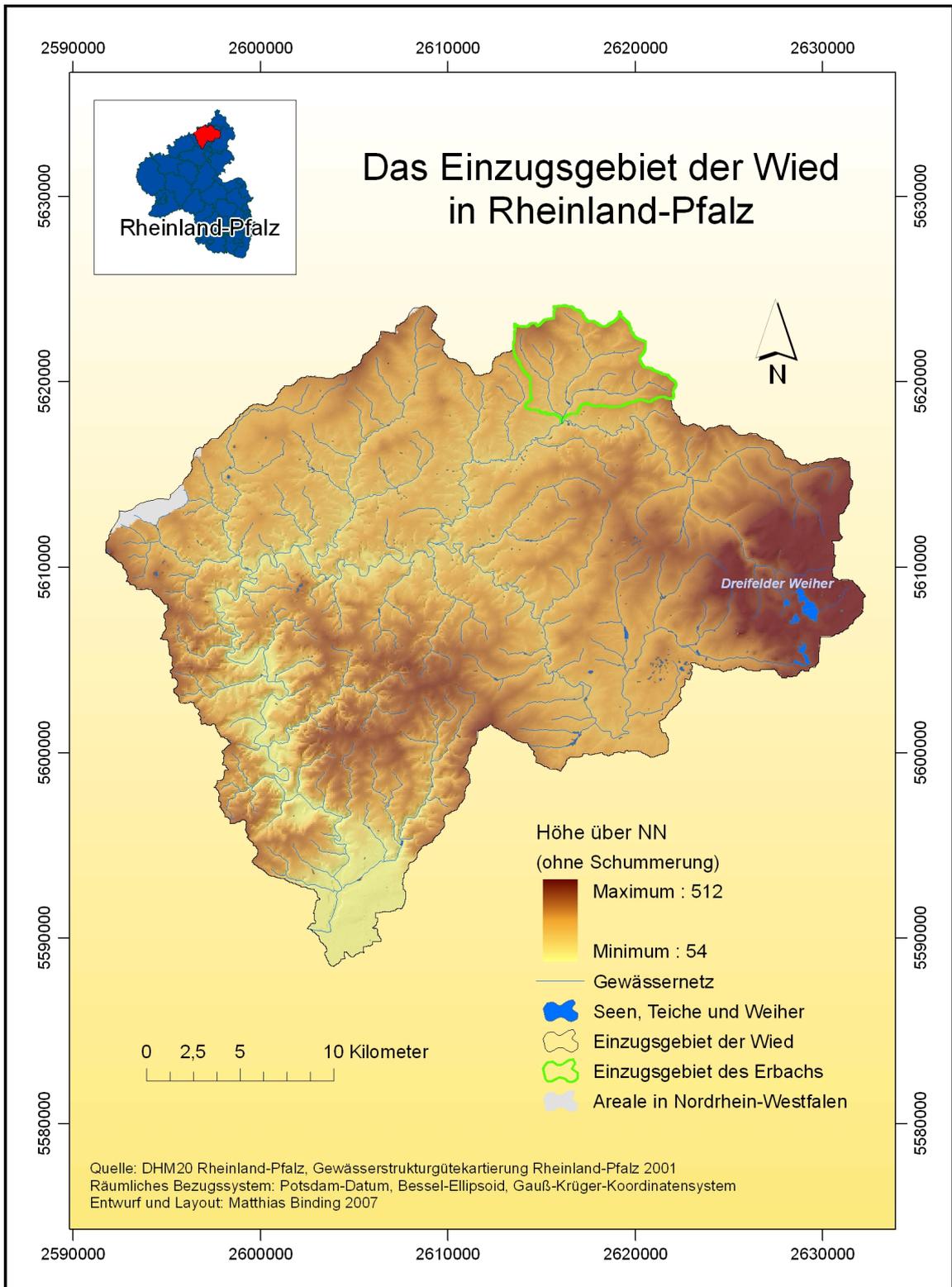


Abb. 3: Einzugsgebiet der Wied

Der Erbach entspringt auf einer Höhe von 289 m über NN und mündet nach rund 8,5 km Fließstrecke in Altenkirchen in die Wied. Alle Bäche des Erbachsystems besitzen Aue- bzw. Muldentalcharakter. Die Höhenunterschiede reichen von 387 m an der Wasserscheide bis 214 m über NN an der Mündung des Erbachs. Die mittleren

jährlichen Niederschläge reichen von 961 bis 1094 mm und sind damit in den obersten Bereich der Niederschlagsverteilung innerhalb des Wiedeinzugssystems einzuordnen (vergl. Abb. 10). Die dominierende Flächennutzung innerhalb des 33,3 km² großen Erbach-einzugsgebietes ist – im Gegensatz zum gesamten Wiedeinzugsgebiet – die Grünlandnutzung mit 34,3 %, gefolgt von der ackerbaulichen Nutzung mit 30,7 % (vergl. Tab. 23 und Abb. 24). Die Waldwirtschaft ist mit 23,5 % vertreten (LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ 1998 und 2006).

Für diese Arbeit standen mehrere Datensätze zum Einzugsgebiet der Wied zur Verfügung. Dies waren neben den Gewässerstrukturgütedaten aus der Kartierung von 1997 bis 2000 das digitale Höhenmodell mit einer Raster-Auflösung von 20 m sowie Informationen zur Landnutzung in Form von ATKIS-Daten (1998). Des Weiteren waren die Grenzen aller Teileinzugsgebiete, ferner stark generalisierte Daten über die Böden und die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen gegeben. Bis auf das digitale Höhenmodell liegen alle Datensätze als Vektordaten vor.

Allen Datensätzen liegt das Potsdam-Datum (Deutsches Hauptdreiecksnetz) mit dem Bessel Ellipsoid als Bezugsfläche zugrunde. Die Abbildung erfolgt im Gauß-Krüger-Koordinatensystem mit dem 6. Grad östlicher Länge als Mittelmeridian. Die Informationen über Projektion und Koordinatensystem sind in ArcGIS wie folgt aufgeführt:

Tab. 3: Angaben zum räumlichen Bezugssystem der verwendeten und erstellten Datensätze

Projected Coordinate System	Germany_Zone_2
Projection	Transverse_Mercator
False_Easting	2500000,00000000
False_Northing	0,00000000
Central_Meridian	6,00000000
Scale_Factor	1,00000000
Latitude_Of_Origin	0,00000000
Linear Unit	Meter (1,000000)
Geographic Coordinate System	GCS_Deutsches_Hauptdreiecksnetz
Datum	D_Deutsches_Hauptdreiecksnetz
Prime Meridian	0

1.4 Erwartete Ergebnisse

Ziel dieser Arbeit ist es zu ermitteln, ob und in welchem Ausmaß Verbesserungen in der Gewässerstrukturgüte zu einer Verbesserung der Retention der Auen führen. Dabei stellen sich folgende Fragen:

- Lässt sich eine relativ einfache Methode finden, um einen möglichen Einfluss der Gewässerstrukturgüteparameter auf das Abflussverhalten eines Fließgewässers zu testen?
- Welche Veränderungen/Verbesserungen der Gewässerstrukturgüte spiegeln sich in einem veränderten Abflussverhalten wider?
- Welche Strukturgüteverbesserungen haben den effektivsten Einfluss auf eine mögliche Verzögerung des Abflusses oder auf eine Dämpfung der Hochwasserspitzen?
- Inwieweit können sich Maßnahmen in einem Teileinzugsgebiet negativ auf den Abfluss des Gesamteinzugsgebietes auswirken?

1.5 Themen, die nicht behandelt werden

Neben den unter Kapitel 1.4 gestellten Fragen gibt es weitere Gesichtspunkte, deren Untersuchung im Rahmen dieser Arbeit von Interesse wäre. Diese Themen sollen hier allerdings nicht behandelt werden.

- Ziel ist es nicht, einzelne konkrete Maßnahmen zur Durchführung der Renaturierung an einzelnen Gewässerabschnitten auszuarbeiten.
- Es sollen keine Rückhaltemaßnahmen außerhalb der Gewässer-Aue-Systeme oder die Folgen weiterer Versiegelung in und um Ortslagen untersucht werden.
- Es erfolgt keine Überprüfung der Resultate mit hydraulischen oder hydrologischen Niederschlag-Abfluss-Modellen.

1.6 Diktion und fachliche Tiefe

Die Arbeit richtet sich an Fachleute in der Umwelt-, Landschafts- und Bauleitplanung sowie der Wasserwirtschaft. Aber in erster Linie richtet sie sich an Nicht-Wasserwirtschaftler – an Naturwissenschaftler und Landespfleger etc. – die sich mit der Thematik der Gewässerrenaturierung und Auenentwicklung befassen. Mit dem hier vorgestellten Vorgehen soll ihnen ein einfacher, aber effektiver Ansatz zur (ersten) Beurteilung von möglichen Gewässerstrukturgüteverbesserungen gegeben werden. Es soll ihnen dabei helfen, die Auswirkungen von Renaturierungs- und Entwicklungsmaßnahmen auf den Hochwasserabfluss abzuschätzen ohne dies über komplexe Niederschlags-Abfluss-

modelle bewerkstelligen zu müssen. Daher wird das Vorgehen in dieser Arbeit genau erläutert.

Aber auch interessierte Laien (wie z.B. Sportfischer) und im Gewässerschutz engagierte Bürger bzw. Naturschutzverbände sollen angesprochen und informiert werden, da auch sie mit ihrer ehrenamtlichen Arbeit zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte und damit zum Hochwasserrückhalt beitragen können bzw. sich schon damit beschäftigen.

1.7 Struktur dieser Thesis

Die Vorgehensweise dieser Arbeit untergliedert sich in sieben Schritte, die sich aus der Aufgabenstellung (Kapitel 1.2) ergeben:

- 1) Auswahl eines geeigneten Abflussmodells
- 2) Datenextraktion (für das Einzugsgebiet des Erbachs) und Datenaufbereitung
- 3) Charakterisierung des Einzugsgebietes und der Teileinzugsgebiete nach
 - Form/Größe/Länge/Gefälle
 - Landnutzung
 - Abfluss
 - Gewässerstrukturgüte
- 4) Ermittlung von Gewässerabschnitten, die Defizite hinsichtlich der Gewässerstrukturgüte aufweisen
- 5) Fiktive Verbesserung der Gewässerstrukturgüte in diesen Abschnitten und Ermittlung der Abflussveränderungen
- 6) Vergleich dieser Abflussveränderungen und Vorschlag von Rückbau- oder Renaturierungsstrecken
- 7) Berücksichtigung bestehender Schutzgebiete bei der Empfehlung von Rückbau- oder Renaturierungsstrecken

2. Literaturüberblick

Mit der Bewertung des Retentionspotentials beschäftigten sich in jüngster Zeit einige Arbeiten, die nachfolgend kurz dargestellt werden.

2.1 Methode nach HONECKER (2005)

Ein Bewertungsverfahren zur Bestimmung des Retentionspotentials in Gewässer-Aue-Systemen entwickelte ULRICH HONECKER (2005). Dabei untersuchte er das Einzugsgebiet der Prims im Saarland. HONECKER leitet Ausprägungen verschiedener Retentionsparameter in den Auen aus räumlichen Daten ab (vergl. Tab. 4), setzt diese in Relation zu einem Leitbild (dem potentiell natürlichen Zustand) und aggregiert sie dann zu einem Index. In diesen sogenannten Retentionsparameterindex (RPI_T , wobei T für die Jährlichkeit des Ereignisses steht) fließen insgesamt sechs Retentionsverhältnisse ein.

Tab. 4: Räumliche Retentionsparameter nach HONECKER (2005)

Räumliche Retentionsparameter
Überflutungsfläche Maximalaue
Überflutungsfläche Hochwasserdurchflusskorridor
Rauheitsbeiwert der überschwemmten Landnutzung im Hochwasserdurchflusskorridor
Rauheitsbeiwert Gewässer
Bedeckungsgrad der Ufergehölze
Windungsgrad Gewässer
Ausbaugrad Gewässer
Ausuferungshäufigkeit
Potentielle natürliche Gewässerbreite
Aktuelle Gewässerbreite
Gefälle

Als Bewertungsgrundlage werden die Maximalaue und die Überschwemmungsfläche bestimmter wiederkehrender Ereignisse – in diesem Fall eines 50-jährigen Hochwasserereignisses – herangezogen.

Die Maximalaue ist die räumliche Vereinigungsfläche aller Flächen, die Auenmerkmale tragen, wie Hochwassermarken, geologische oder morphologische Kriterien (AGENCE DE L'EAU BASSIN RHÔNE-MEDITERRANÉE-CORSE 1998). Sie ist also die Fläche, die bei extremsten Hochwasserereignissen überflutet wird.

Die Überschwemmungsfläche wird durch eine Kartierung anhand von Getreiselresten nach bestimmten Hochwasserereignissen ermittelt und wird weiter in Hochwasserdurchflussskorridor und Totwasserbereiche untergliedert.

Die sechs Retentionsverhältnisse des RPI_T sind

1. die tolerierbare Überschwemmungsfläche innerhalb des Hochwasserdurchflussskorridors zu der Gesamtfläche des Hochwasserdurchflussskorridors
2. die tolerierbare Überschwemmungsfläche im Totwasserbereich zur Gesamtfläche des Totwasserbereichs
3. die Rauheiten der durchströmten Flächen zu den potentiell natürlich vorkommenden Rauheiten (Auenutzungen und Gewässer). Berücksichtigt wird dabei auch der Uferbewuchs sowie der Windungs- und der Ausbaugrad der Fließgewässer.
4. der Ausuferungsgrad
5. die aktuelle Gewässerbreite als lineare Prozessfläche des Hochwasserabflusses zur potentiell natürlichen Gewässerbreite
6. das Talgefälle im Ist-Zustand zum Talgefälle im Leitbild-Zustand (dieses Verhältnis ist in Bergbauregionen wie dem Saar-Lor-Lux-Gebiet relevant).

Die tolerierbare Überschwemmungsfläche ist dabei die Überschwemmungsfläche, die außerhalb von Siedlungsbereichen liegt.

An die Ermittlung der Retentionsverhältnisse schließt HONECKER die Bestimmung der Retentionswirkung an. Dazu führt er eine multiple Regression durch. Er korreliert die Retentionsverhältnisse bestimmter Gewässerabschnitte mit dem Impuls, der bei einem 50-jährigen Hochwasserabfluss (HQ_{50}) an Referenzquerprofilen in diesen Abschnitten abgeschätzt wurde. Der Gesamtimpuls eines Querschnitts ist das Produkt aus der Masse im Querschnitt und deren mittleren Geschwindigkeit. „Je größer der Impuls eines betrachteten Querschnitts...ist, desto weniger verzögert findet der Abflussvorgang statt“ (HONECKER 2005, S. 100). Da heißt also, je kleiner der Impuls an den ausgesuchten Referenzquerprofilen ist, desto größer ist dort die Retention. Durch diese multiple Regression erreicht HONECKER eine Regionalisierung seiner Ergebnisse und erhält so den Retentionsparameterindex für die jeweiligen Gewässerabschnitte. Der Retentionsparameterindex gibt das Retentionspotential der Gewässer wieder, das schließlich in fünf Klassen (sehr gut, gut, mäßig, unbefriedigend und schlecht) eingestuft wird.

2.2 Methode nach ERNSTBERGER/LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT (2005)

Im Rahmen der Interregionalen Rhein-Maas-Aktivitäten (IRMA) stuft H. ERNSTBERGER (2005) die Auenflächen in Rheinland-Pfalz in Abhängigkeit von ihrer Wirksamkeit bzgl. der Hochwasserretention ein. Er differenziert dabei sensible, sehr sensible und hoch sensible Auenbereiche. Als zu betrachtende Auenflächen werden die nach der geomorphografischen Karte (BEHRENS & SCHOLTEN 2002) ausgewiesenen Auenfläche des Landes gewählt. Die Grundlage dieser geomorphografischen Karte ist das digitale Höhenmodell mit einer Auflösung von 20 m Rasterweite.

Bei der Bewertung des Retentionsvermögens berücksichtigt er Gewässerstruktur-gütedaten einschließlich der Flächennutzung sowie das Gefälle und differenziert nach kleinen (bis 5-jährliche), mittleren (bis 20-jährliche) und großen Hochwassergeschehen (bis 100-jährliche). Je nach Hochwasserereignis werden zur Einstufung der Auenbereiche zwei bis sechs Gewässerstrukturgüteparameter und das Gefälle mit einbezogen (vergl. Tab. 5) und deren Indizes bzw. Ausprägungen in entweder fünf oder drei Bewertungsstufen unterteilt (vergl. Tab. 6).

Tab. 5: Parameter für die verschiedenen Hochwasserereignisse nach ERNSTBERGER (2005)

Parameter	Hochwasserereignis		
	klein	mittel	groß
Profiltiefe	X		
Profiltyp	X		
Talgefälle	X	X	
Laufentwicklung	X	X	
Uferbewuchs	X	X	
Gewässerrandstreifen	X	X	X
Flächennutzung	X	X	X
bewertete Parameter	7	5	2
Bewertungsstufen	5	3	3

Das Retentionsvermögen ergibt sich schließlich aus der Summe der Indizes dieser fünf oder drei Bewertungsstufen, wobei das Retentionsvermögen mit der Summe wächst. Es wird für jeden 100 m-Gewässerabschnitt einschließlich seiner angrenzenden Auenfläche ermittelt. Nachfolgende Tabelle zeigt beispielhaft die möglichen Wertzahlen und die Klassengrenzen zum Retentionsvermögen bei kleinen Hochwässern.

Tab. 6: Mögliche Wertzahlen für kleine Hochwässer

Parameter	mögliche Wertzahlen	Retentionsvermögen für kleine Hochwässer				
		sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
Profiltiefe	1 bis 5	5	4	3	2	1
Profiltyp	1 bis 5	5	4	3	2	1
Talgefälle	1 bis 5	5	4	3	2	1
Laufentwicklung	1 bis 5	5	4	3	2	1
Uferbewuchs	1 bis 5	5	4	3	2	1
Gewässer- randstreifen	1 bis 5	5	4	3	2	1
Flächennutzung	1 bis 5	5	4	3	2	1
	max. Punkte	35	28	21	14	7
	Klassen- grenzen	35-31	30-25	24-18	17-11	<11

2.3 Methode nach BAUER (2004)

Ein sehr praktikables Verfahren zur Bestimmung des Retentionspotentials wurde von CHRISTIAN BAUER (2004) entwickelt. Als Maß für die Retention eines Gewässerabschnitts wird dabei die Speicherkonstante K verwendet. Die Speicherkonstante entspricht der Steigerung der Volumen-Abfluss-Beziehung pro Gewässerabschnitt und kann als mittlere Verweildauer des (Hoch)wassers in einem Gewässerabschnitt angesehen werden.

$$K = \frac{\Delta V}{\Delta Q}$$

K = Speicherkonstante [s bzw. min]

ΔV = Volumenänderung [m³]

ΔQ = Abflussänderung [m³/s]

Neben dem Einzugsgebiet respektive des Hochwasserabflusses berücksichtigt BAUER bei der Berechnung der Speicherkonstanten die Gewässergeometrie (hydraulischer Radius), die Rauheitsverhältnisse von Flussschlauch und Gewässervorland sowie das Längsgefälle des Fließgewässers. Unter Einbeziehung der Fließformel nach MANNING-STRICKLER lässt sich der benetzte Querschnitt und damit letztendlich die Speicherkonstante ermitteln.

$Q = A * v$ wobei $v = k_{st} * I^{1/2} * R_{hy}^{2/3}$ (Fließformel nach MANNING-STRICKLER)

Q = Abfluss [m^3/s]

A = Benetzter Querschnitt [m^2]

v = Fließgeschwindigkeit [m/s]

k_{st} = Rauheitsbeiwert nach MANNING-STRICKLER [$m^{1/3}/s$]

$I^{1/2}$ = Gefälle [-]

$R_{hy}^{2/3}$ = Hydraulischer Radius [m]

HQ_{100} = 100-jähriger Hochwasserabfluss [m^3/s]

Für die Berechnung des benetzten Querschnitts A und der Speicherkonstanten K ergeben sich die Formeln:

$$A = \frac{HQ_{100}}{k_{st} * I^{1/2} * R_{hy}^{2/3}} \quad \Rightarrow \quad K = \frac{A * 1000}{HQ_{100} * 60}$$

Bei seinen Untersuchungen berechnet BAUER die Speicherkonstanten für 100-jährige Hochwasserereignisse, wobei er 1000 m-Abschnitte betrachtet. Durch den Faktor 60 (multipliziert mit HQ_{100}) erhält er die Speicherkonstante pro Minute.

Als Datengrundlage zur Bestimmung der Speicherkonstanten dienen BAUER das Digitale Höhenmodell für Hessen, das in einer Rasterweite von 40 m vorliegt (DHM40) sowie Angaben aus der Gewässerstrukturgütekartierung, die in Hessen – wie auch für Rheinland-Pfalz – nach dem Vor-Ort-Verfahren durchgeführt worden ist. Darüber hinaus standen zahlreiche Querprofilaufnahmen zur Verfügung.

Die zu berücksichtigende Auenfläche erhält BAUER dadurch, dass er entlang des Gewässers diejenigen Bereiche den Gewässerabschnitten zuordnet, die im Vergleich zu jedem Höhenrasterelement des Abschnitts eine Höhendifferenz von maximal 2,5 m aufweisen (vergl. Abb. 4).

Sohlbreite und Profiltiefe der Fließgewässer werden einzugsweit über Regressionsfunktionen berechnet, da nur vereinzelt vermessene Daten über Querprofile vorliegen. Für die Böschungen aller Profile wird eine einheitliche Neigung von 1:2 angenommen bzw. festgesetzt.

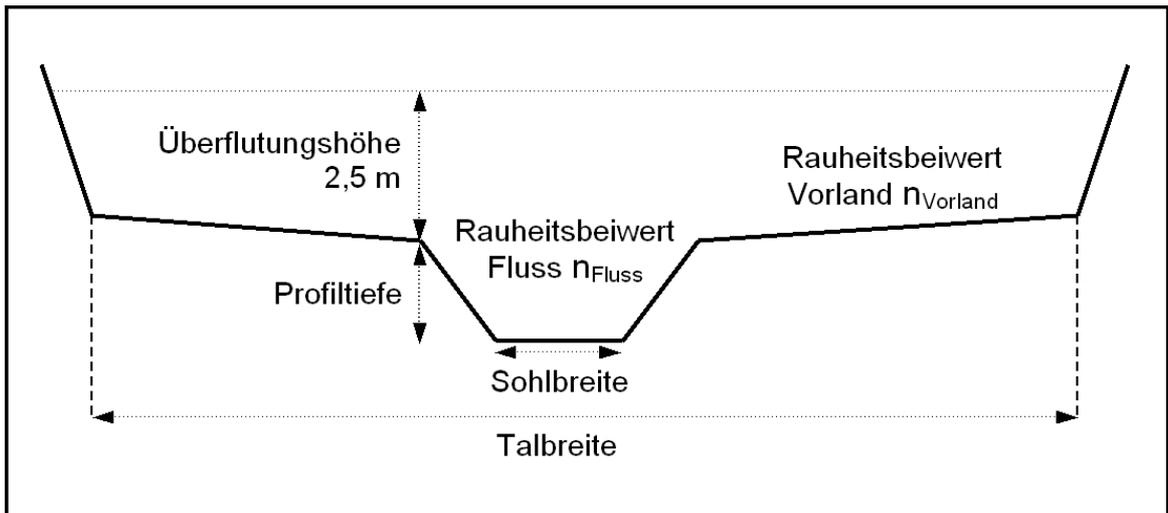


Abb. 4: Querprofilskizze zur Erläuterung der verwendeten Geometrieckenngößen

Zur Ermittlung der Retentionspotentiale der Gewässer-Aue-Systeme, werden nun im Anschluss an die Bestimmung der Gewässergeometrie und der Auenbreite die Rauheitsbeiwerte von Aue und Fließgewässer mit einbezogen. Dazu bietet sich ein Verfahren der United States Geological Survey (USGS) an, dass die Rauheitsbeiwerte von Fließgewässer über folgende Formel berechnet:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

- n_b = Basisrauheit für gerades und gleichmäßiges Bachbett als Funktion des Sohlenmaterials
- n_1 = Unregelmäßigkeiten der Ufer
- n_2 = Querprofilvariationen
- n_3 = Einfluss der Verblockungen
- n_4 = Vegetationseinflüsse
- m = Einfluss der Laufkrümmung

(ARCEMENT und SCHNEIDER 2002).

BAUER leitet die Rauheitsbeiwerte unter Verwendung dieses Verfahrens aus den Gewässerstrukturgüteparametern ab, wobei er folgende Parameter verwendet:

Tab. 7: Ableitung der Rauheitsbeiwerte aus Parametern der Strukturgütekartierung

Strukturgüteparameter	Verwendungszweck
Ufergehölz	Rauheitsbeiwert des Vorlandes
Sohlsubstrat	Rauheitsbeiwert der Gewässersohle (n_b)
Ufervegetation	Rauheitsbeiwert des Ufers (n_{uv})
Profiltyp	Erhöhung der Rauheitsbeiwerte der Ufer als Funktion des Ausbauzustandes (n_{uz})

(nach BAUER 2004)

Der Rauheitsbeiwert n ist der reziproke Wert zum Rauheitsbeiwert K_{st} nach MANNING-STRICKLER.

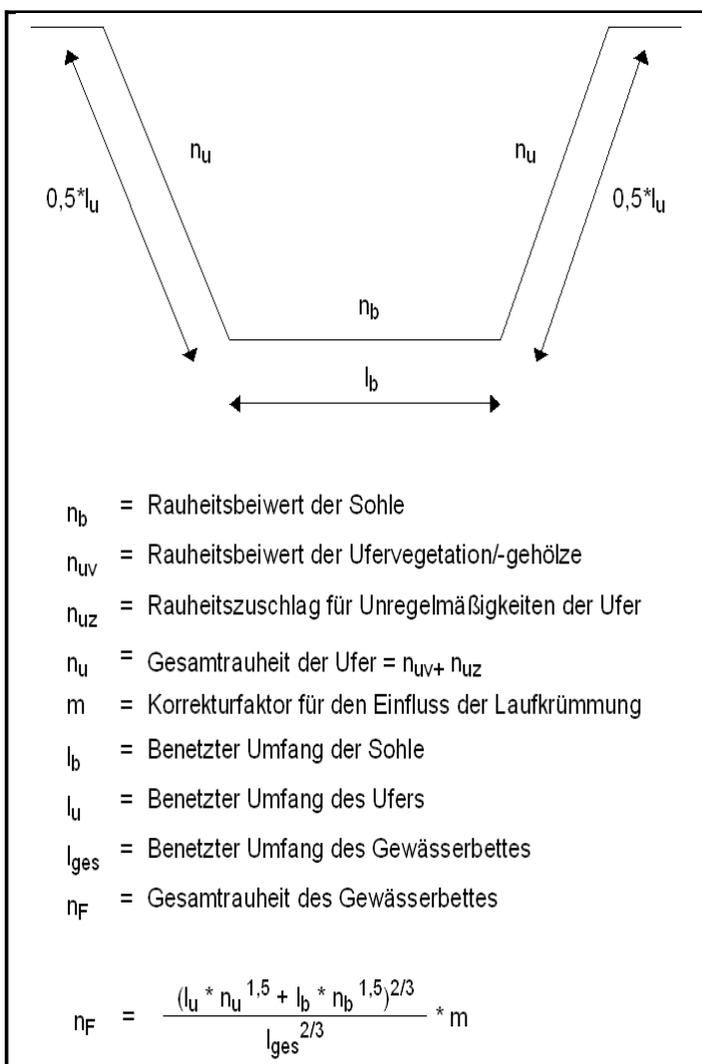


Abb. 5: Ermittlung der Rauheiten des Gewässerbettes in Abhängigkeit des Strukturgütezustandes (nach BAUER 2004)

In Abhängigkeit des Strukturgütezustandes ergeben sich also bei gleicher Gewässer-geometrie unterschiedlich Retentionswirkungen, wobei die Unregelmäßigkeiten der Ufer über den Profiltyp abgeleitet werden. Über den Profiltyp lassen sich Rückschlüsse auf den gesamten morphologischen Zustand eines Gewässerabschnittes – sowohl

hinsichtlich Querprofil als auch hinsichtlich Längsprofil – ziehen. Er ist daher meist hervorragend zur Charakterisierung eines Gewässerabschnittes geeignet.

Die Gesamtrauheit des Gewässerbettes wird – wie Abbildung 5 verdeutlicht – aus n_b , n_{uv} , n_{uz} und dem Korrekturfaktor m für den Einfluss der Laufkrümmung errechnet. Dabei werden für m in gleichmäßiger Abstufung die Werte von 1,3 für mäandrierende bis 1,0 für geradlinige Fließgewässer gewählt.

Die Rauheitsbeiwerte der Vorländer leitet Bauer aus dem Gewässerstrukturgüteparameter Ufergehölz und teilweise aus dem Parameter Ufervegetation ab (s. Tab. 12 und 13). Die Gesamtrauheit der Gewässer-Aue-Systeme ergeben sich aus dem Mittelwert von Gesamtrauheit Gewässer und Gesamtrauheit Vorland.

Mit der von BAUER entwickelten Methode lässt sich nicht nur das aktuelle Retentionsvermögen, sondern auch das Entwicklungsziel bzw. das größtmögliche Retentionspotential bestimmen. Dieses ergibt sich aus der Differenz zwischen Ist-Zustand und Leitbild. Ortslagen bleiben bei dieser Bestimmung ausgeschlossen, da dort eine Rückführung zu einer natürlichen oder naturnahen Retentionsfläche nur in den seltensten Fällen beim Rückbau baulicher Anlagen erfolgen kann.

Das Leitbild setzt sich aus den natürlichen Merkmalsausprägungen zusammen, die bei der Indexdotierung in der Kartieranleitung zur Gewässerstrukturgüte den optimalen Zustand eines Parameters darstellen (vergl. Tab. 8). Diese finden wiederum Eingang in die Formel zur Bestimmung der Speicherkonstanten. Zudem können durch die Ableitung der Rauheitsbeiwerte aus den Gewässerstrukturgüteparametern simulierte oder auch konkrete Maßnahmen zur Gewässer- und/oder Auenrenaturierung bezüglich ihres Beitrags zum Hochwasserrückhalt beurteilt werden.

Tab. 8: Natürliche Merkmalsausprägungen in Abhängigkeit des Gewässertyps

Gewässertyp	natürliche Merkmalsausprägungen			
	Laufkrümmung ⇒ Längsgefälle	Profiltyp ⇒ Gewässerbett	Ufervegetation ⇒ Gewässerbett	Ufergehölz ⇒ Auennutzung
K	keine	Naturprofil	naturbedingt keine	bodenst. Wald
S	geschlängelt	Naturprofil	naturbedingt keine	bodenst. Wald
M	keine	Naturprofil	Röhricht	bodenst. Wald
A	mäandrierend	Naturprofil	Röhricht	bodenst. Wald
Ak	mäandrierend	Naturprofil	Röhricht	bodenst. Wald
F	mäandrierend	Naturprofil	Röhricht	bodenst. Wald

Erläuterung: K = Klamm- und Kerbtalgewässer, S = Sohlenkerbtalgewässer, M = Mäandertalgewässer, A = Auetalgewässer, A = Auetalgewässer mit kiesigem Sediment, F = Flachlandgewässer; bodenst. = bodenständig

(nach BAUER 2004)

2.4 Kritikpunkte zur Methode von BAUER

Diese recht einfache und doch sehr effiziente Methode von BAUER birgt eine Ungenauigkeit. Für die Flächennutzung der Aue zieht er, wie erwähnt, den Parameter Ufergehölz heran und nicht den der Flächennutzung. Für den Fall, dass sich an die Böschungsoberkante bodenständiger Wald oder nicht bodenständiger Wald bzw. Forst anschließt, können die Parameter Ufergehölz und Flächennutzung identisch sein. Bei der Gewässerstrukturgütekartierung wurde jedoch die Flächennutzung der gesamten überschwemmbar Aue bis maximal 100 m vom Gewässer entfernt aufgenommen. Hinter einem möglichen Auwaldstreifen von angenommenen 15 m Breite kann beispielsweise ein ausgedehntes Areal an Ackerland liegen, was bei der Methode von BAUER nicht mit eingehen würde. Für kleinere Hochwasserereignisse mit Ausuferungen von wenigen Metern wäre die Wahl des Parameters Ufergehölz statt des Parameters Flächennutzung zulässig. Da BAUER aber die gesamte bzw. ein Großteil der Aue berücksichtigt (Überschwemmungshöhe von 2,5 m), ist diese Methode zu verbessern.

Ein weiterer Kritikpunkt besteht hinsichtlich der Berechnung des durchflossenen Querschnitts A und der daraus abgeleiteten Speicherkonstanten K:

$$A = \frac{HQ_{100}}{K_{St} * I^{1/2} * R_{hy}^{2/3}} \quad \Rightarrow \quad K = \frac{A * 1000}{HQ_{100} * 60}$$

Selbst wenn der HQ_{100} bekannt ist, so stehen doch in der linken oberen Gleichung zwei Unbekannte, nämlich der durchflossene Querschnitt A und der hydraulische Radius R_{hy} . Der Abfluss – in diesem Falle der HQ_{100} – bestimmt den Bereich, der überflutet wird (benetzter Umfang I_U) und damit letztlich den durchflossenen Querschnitt A und den hydraulischen Radius R_{hy} (vergl. Abb. 6).

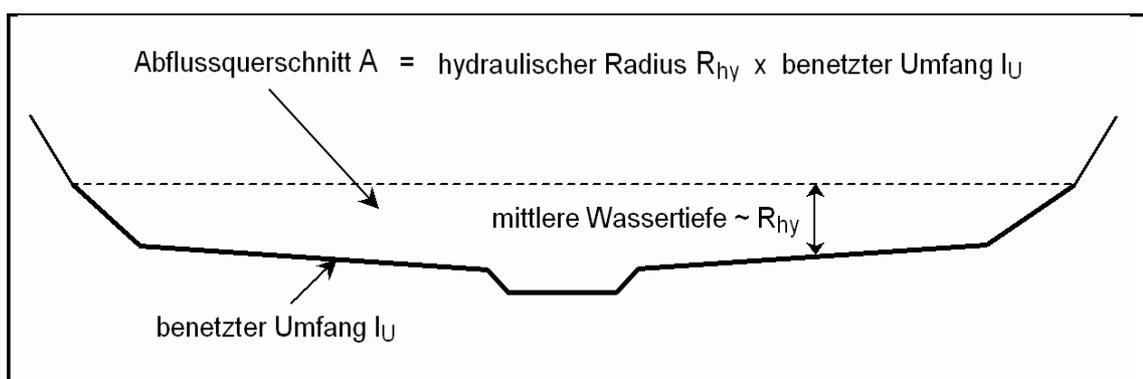


Abb. 6: Abflussquerschnitt, benetzter Umfang und hydraulischer Radius

Näherungsweise kann der hydraulische Radius als mittlere hydraulische Wassertiefe einer beliebigen Querschnittsform aufgefasst werden (LECHER et al. 2001, S. 197).

$$R_{hy} \approx \frac{A}{I_U}$$

Für die Festlegung des zu betrachtenden (Aue)bereichs wählt BAUER eine bestimmte Überschwemmungshöhe – im diesem Fall von 2,5 m – und legt so für jeden Abschnitt den hydraulischen Radius fest. Dieser entspricht aber nicht unbedingt dem des hundertjährigen Abflusses HQ_{100} , so dass die Division von HQ_{100} durch den hydraulischen Radius nicht zulässig ist.

Für den Fall, dass ein Anwender dieser Methode über Angaben zum Abflussquerschnitt A des jeweiligen Abflusses (z.B. HQ_{100}) aus wasserwirtschaftlichen Aufnahmen verfügt und diesen Querschnitt in die rechte obere Gleichung einsetzt, so erhält er durch die Division von HQ_{100} andere Werte für die Speicherkonstanten K, als wenn er diese für eine aus vorher festgelegten Parametern gewählte Auenfläche bestimmt.

Wird die Gleichung zur Ermittlung des durchflossenen Querschnitts A in die Gleichung zur Bestimmung der Speicherkonstanten eingesetzt, so kürzt sich der Abfluss raus, und die Unstimmigkeiten sind wieder behoben. Daher sollte zur Bestimmung der Speicherkonstanten folgende Gleichung angewendet werden:

$$K = \frac{1000}{k_{st} * I^{1/2} * R_{hy}^{2/3} * 60}$$

Aus der Kürzung des Abflusses aus den Gleichungen wird – nebenbei bemerkt – deutlich, dass die Speicherkonstante nach BAUER vom Abfluss unabhängig ist, d.h. der Fokus dieser Methode liegt allein auf dem gesamten, gewählten Aue- bzw. Talbodenbereich, egal ob, wann und wie oft er eigentlich überschwemmt wird.

2.5 Gegenüberstellung der Methoden von BAUER, HONECKER und ERNSTBERGER

Die Methode nach ERNSTBERGER ist einfach durchzuführen. Es werden dabei lediglich die Daten zur Gewässerstrukturgüte sowie das digitale Höhenmodell (DHM) herangezogen und die Auen qualitativ hinsichtlich ihres Retentionspotentials bewertet. Allerdings müssen Angaben über die Auengrenzen vorliegen.

Die Methode HONECKERS stellt ein relativ komplexes und aufwendiges Verfahren dar. Für die Durchführung der Methode sind u.a. Angaben zur Überschwemmungsfläche notwendig, welche zunächst durch Kartierungen erhoben werden müssen. Die Flächennutzung ermittelt HONECKER über Fernerkundungsdaten.

Zudem werden Daten zum mittleren Hochwasserabfluss benötigt. Über diese Abflussdaten werden einerseits die Gewässerbreiten der naturnahen sowie der anthropogen überprägten Gewässerabschnitte abgeschätzt, andererseits der 50-jährige Hoch-

wasserabfluss (HQ₅₀) unter Anwendung eines empirischen Regionalisierungsmodells bestimmt.

BAUER bewertet das Retentionspotential der Auen quantitativ. Dabei verwendet er die Gewässerstrukturgütedaten und das digitale Höhenmodell, die bei den zuständigen Wasserwirtschaftsbehörden vorliegen. Zusätzlich zieht er Querprofildaten zur Bestimmung des Rauheitsbeiwertes des Gewässerbettes heran. Diese Daten stehen allerdings nicht immer zur Verfügung. Der große Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Rauheit des Gewässerbettes über Gewässerstrukturgütedaten bestimmt werden kann – dank der modifizierten Formel nach ARCEMENT und SCHNEIDER (2002). Die Formel zur Ermittlung der Gewässerbettrauheit findet auch in dieser Arbeit Verwendung.

Einen Vergleich über die drei vorgestellten Methoden zur Bewertung des Retentionspotentials gibt nachfolgende Tabelle 9 wieder.

Tab. 9: Gegenüberstellung der Methoden von ERNSTBERGER, HONECKER und BAUER

Kriterium	Methode nach		
	ERNSTBERGER	HONECKER	BAUER
Auenabgrenzungsdaten erforderlich?	ja	ja	aus DHM
Daten zum Abfluss erforderlich?	nein	ja	nein ¹⁾
Querprofildaten erforderlich?	nein	nein	ja
Gewässerstrukturgütedaten (GSG) erforderlich?	ja	(ja)	ja
Daten zum Gefälle	aus DHM	aus DHM	aus DHM
Flächennutzung	aus GSG	aus Fern- erkundungs- daten	aus GSG
Rauheitsbeiwerte erforderlich?	nein	ja	ja
Bewertung des Retentionspotentials	qualitativ	qualitativ	quantitativ
Durchführung der Methode	einfach	komplex	einfach

¹⁾ HQ₁₀₀ wird über eine Regressionsfunktion in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße ermittelt

3. Lösungsansatz

3.1 Theorieansatz

BAUER verwendet in seiner „Methodik zur Lokalisierung der Retentionspotentiale“ die Speicherkonstante zur Einschätzung des Retentionsvermögens von Gewässerabschnitten. Dazu nimmt er eine Aue an, die eine Höhe von 2,5 m über dem Gewässer nicht überschreitet. Andere Autoren können auf spezielle Auekartierungen (HONECKER 2005) oder auf geomorphografischen Auenabgrenzungen (ERNSTBERGER 2005) zurückgreifen.

Solche vergleichbare Daten zur Ausdehnung der Auen standen für diese Arbeit leider nicht zur Verfügung und die Annahme des maximalen Überschwemmungsbereichs über eine konstante Höhe entlang des gesamten Fließgewässers wurde als zu ungenau erachtet. Am Unterlauf großer Flüsse ist die Abgrenzung der Aue über eine Höhe von 2,5 m angemessen. Am Oberlauf dieser Fließgewässer bzw. in den Tälern der (kleinen) Seitenbäche ist die Annahme einer Überschwemmungshöhe von 2,5 m zu hoch angesetzt bzw. nicht realistisch.

Zu Beginn dieser Arbeit wurde versucht, die Aue über vorhandene Daten zur Pedologie (z.B. Gleye, Auenböden) und über das Gefälle zu ermitteln. Die Daten zur Pedologie sind allerdings stark generalisiert und z.T. für die Oberläufe großer Einzugsgebiete, wie bei der Wied, nicht zu gebrauchen. Dies gilt auch für das Erbachsystem am Oberlauf der Wied. Über das Gefälle allein ist es zwar möglich den Talbodenbereich zu lokalisieren, aber die Festsetzung eines bestimmten Schwellenwertes im Gefälle zur Abgrenzung der Auen kommt dem Versuch gleich, die Auegrenze mittels einer bestimmten Höhe über Gewässer festzulegen. In den Auetälern großer Gebirgs- und Mittelgebirgsflüsse ist die Aue über ein sprunghaft ansteigendes Gefälle abgrenzbar. Bei Flachlandgewässern und in den flachen Aue- und Muldentälern der Gewässer oberläufe, auf den Hochebenen der Mittelgebirge, fehlt allerdings ein solcher markanter Geländesprung. Ein einheitlicher Gefällewert zur Abgrenzung der Aue im Unter- und Oberlauf von Mittelgebirgsflüssen ist daher nicht sinnvoll.

Eine weitere Möglichkeit das Retentionspotential eines Gewässer-Aue-Systems – ohne Abgrenzung der Auen – zu bestimmen, kann über die Ermittlung der Abflusskurve nach einem Niederschlagsereignis erfolgen. Dabei geht nicht nur das Gewässer-Aue-System eines Einzugsgebietes, sondern das gesamte Einzugsgebiet selbst in die Untersuchung ein (Landoberflächenabfluss). Über die Unterschiede der Abflusskurven vom Einzugsgebiet im Ist-Zustand und vom Einzugsgebiet mit strukturell verbesserten Gewässerabschnitten lassen sich Aussagen über mögliche Retentionseffekte von Renaturierungsmaßnahmen treffen.

Zur Ermittlung von Abflusskurven bieten sich Einzugsgebietsmodelle an. Das einfachste Einzugsgebietsmodell ist ein Black-Box-Modell und eignet sich zur Untersuchung von Hochwasserereignissen. Es berücksichtigt lediglich zwei Abflusskompo-

nennten, nämlich den direkten Abfluss (Q_D) und den Basisabfluss (Q_B). (LECHER ET AL. 2001, S. 328 ff). Beide Abflusskomponenten werden dabei getrennt betrachtet.

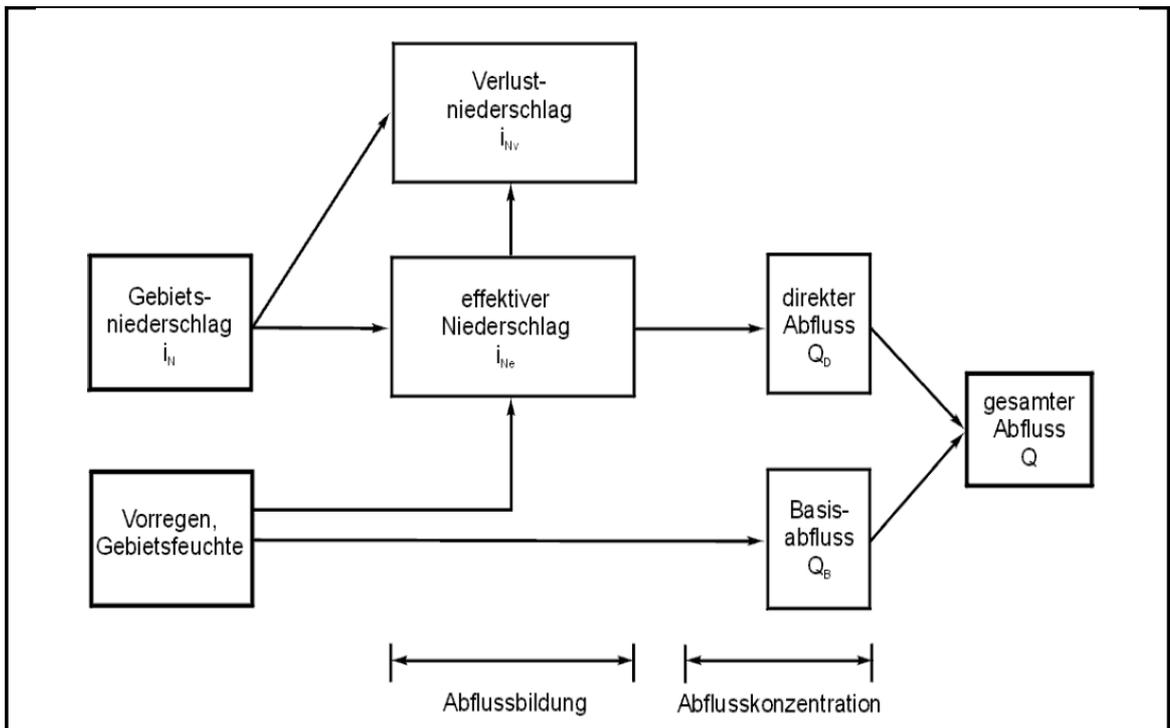


Abb. 7: Abflussbildung und Abflusskonzentration in einfachen Einzugsgebietsmodellen (Quelle: HINKELMANN 2006, S. 14)

Der direkte Abfluss ist der Anteil der Hochwasserwelle, der direkt und schnell auf das aktuelle Niederschlagsereignis – in Form von Regen – folgt. Das heißt, ein aktuelles Niederschlagsereignis bewirkt den direkten Abfluss.

Der Basisabfluss wird von der Gebietsfeuchte sowie dem Grundwasserinhalt bestimmt und resultiert aus den vorangegangenen Niederschlägen eines längeren Zeitraums (Vorregen). Bei diesem Abflussanteil handelt es sich um den ständigen Abfluss, der sich nur langsam ändert und der sich nur gering auf die Hochwasserwelle auswirkt.

Der direkte Abfluss kann durch Subtraktion des konstanten oder leicht steigenden Basisabflusses von Gesamtabfluss (Q) bestimmt werden (vergl. Abb. 8). Graphisch erfolgt dies durch den Schnitt einer horizontalen oder leicht steigenden Geraden durch die Kurve des Gesamtabflusses (HINKELMANN 2006, S. 15).

Da der Basisabfluss in den Mittelgebirgsgebieten die kleinste Abflusskomponente bildet (NÜTZMANN 1999, S. 41), kann er dort bei der Ermittlung des direkten Abflusses (u. U.) vernachlässigt werden.

Der effektive Niederschlag (i_{Ne}) ist der abflusswirksame Niederschlag, der sich in der direkten Abflussganglinie am Gebietsauslass versammelt (vergl. Abb. 7), der Verlust

(iNv) stellt die Menge sämtlicher Anteile dar, die nicht im direkten Abfluss enthalten sind (Verdunstung, Gebietsrückhalt etc.) (HINKELMANN 2006, S. 14).

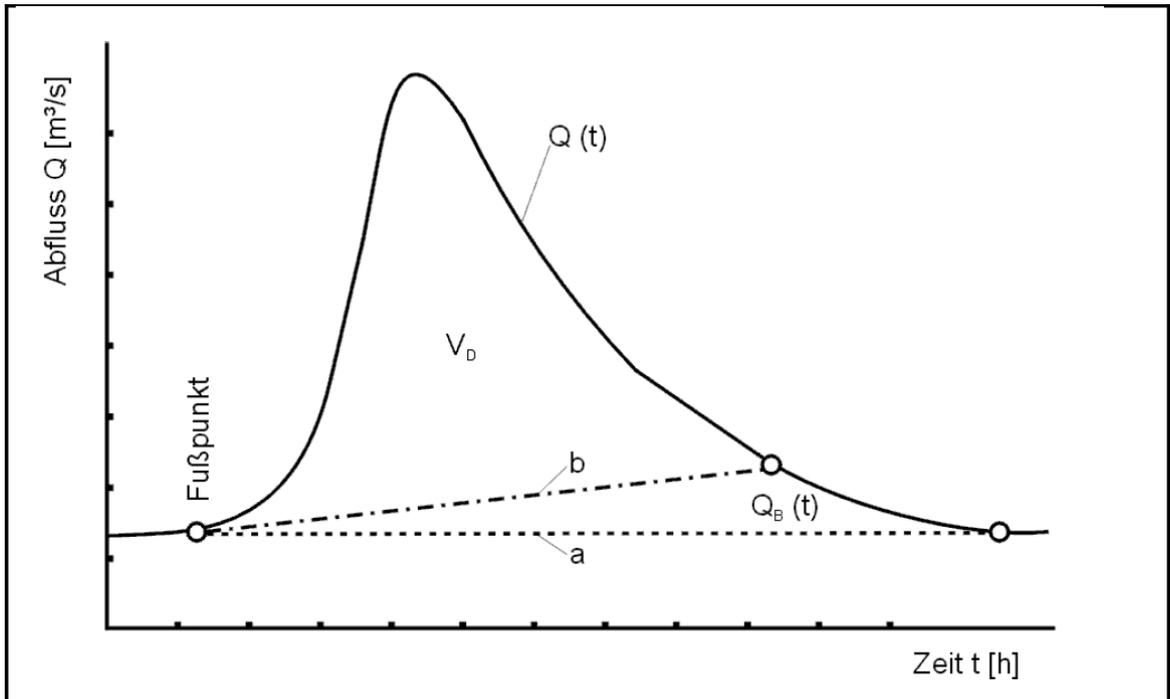


Abb. 8: Direkter Abfluss und Basisabfluss

(Abtrennung des Basisabflusses durch eine a) horizontale oder b) leicht steigende Gerade, Q = Gesamtabfluss, Q_B = Basisabfluss, V_D = Volumen des direkten Abflusses)
(Quelle: HINKELMANN 2006, S. 15)

Ein Ziel dieser Arbeit war es, ein einfaches Niederschlag-Abfluss-Modell zu integrieren, mit dessen Hilfe das Retentionsvermögen eines Einzugsgebietes und die Veränderungen dieses Rückhaltevermögens durch Strukturgüteverbesserungen an bestimmten Gewässerabschnitten messbar wird. Zudem sollte es ein Modell sein, das bei Bedarf auch von vielen Nicht-Wasserwirtschaftlern in den Planungsbüros angewendet werden kann. Komplexe hydraulische oder hydrologische Verfahren schieden daher aus. Auch lagen für diese Arbeit weder Abflussdaten noch Daten zu Querprofilen vor. Querprofilen zu den kleineren Fließgewässern (im Oberlauf großer Einzugsgebiete) sind überhaupt nur wenige vorhanden.

3.2 Methoden

Der direkte Abfluss ist also gleich dem Niederschlag abzüglich der Verluste aus Versickerung und Verdunstung (Evaporation, Transpiration und Interzeption). Werden die Verluste als gering bzw. gleich Null angenommen, so kann für ein Einzugsgebiet eine vereinfachte Niederschlag-Abfluss-Berechnung durchgeführt werden. Dazu wird ein fiktiver (kurzer, starker) Blockniederschlag gleichmäßig über dem Testgebiet simuliert.

Das ESRI-Tool Flow Length bietet sich für die Untersuchung des direkten Abflusses an. Es handelt sich dabei um eine rasterbasierte Ausbreitungsanalyse, unter deren Verwendung entweder die Länge der Abflusswege in Fließrichtung (mit der Option *upstream*) ermittelt oder entgegengesetzt zur Fließrichtung (mit der Option *downstream*) Distanzflächen von der Mündung in Richtung Wasserscheide berechnet werden können. Diese Tool eignet sich für Untersuchungen zu hypothetischen Niederschlag-Abfluss-Ereignissen, wobei eine Gewichtung (Verzögerungs-/ Reibungsfaktoren) eingehen kann, die den Einfluss auf die stromabwärts gerichtete Bewegung berücksichtigt.

Dieses Verfahren stellt eine Kostenoberflächen-Analyse dar. Die Zellen des Rasters, welches als Gewichtung eingeht (Kostenoberfläche), enthalten Werte, die die Kosten pro Distanzeinheit repräsentieren, die bei der Bewegung durch die Zelle anfallen. Jeder Zellenwert wird mit der Rasterauflösung multipliziert, um die Gesamtkosten zu erhalten, die bei der Passage durch eine Zelle entstehen. Die Gesamtkosten der Zellen werden schließlich entgegengesetzt zur Fließrichtung aufsummiert, wodurch sich die effektiven Distanzflächen ergeben, die die Höhe der Kosten von einer gegebenen Zelle bis zur Mündung darstellen (kumulative Kostenoberfläche).

Für eine Ermittlung der Abflusszeit wäre der Kehrwert der Geschwindigkeit als Gewichtung ideal.

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{k_{st} * I^{1/2} * R_{hy}^{2/3}} = \frac{n}{I^{1/2} * R_{hy}^{2/3}}$$

Das Produkt aus diesem Kehrwert (in Sekunde pro Meter) und der Zellenauflösung (in Meter) ergibt die Durchlaufzeit in Sekunden. Allerdings ist die Fließformel nach MANNING-STRICKLER nur auf Fließgewässer anwendbar und nicht auf den Landoberflächenabfluss.

Eine Abschätzung der Ausbreitungszeit bzw. Fließzeit ist über die Konzentrationszeit möglich. Die Konzentrationszeit (T_c) ist die Zeit vom Niederschlagsende bis zum Ende des Direktabflusses. „Sie entspricht bei einem gleichmäßig überregneten und vollständig an der Abflussbildung beteiligten Gebiet der Fließzeit, die ein Wasserteilchen benötigt, um vom entferntesten Punkt des Einzugsgebietes den Gebietsauslass zu erreichen, d.h. den Fließweg L zurückzulegen“ (DYCK/PESCHKE 1989, S. 296).

VIJAY P. SINGH (1988, S. 108-112) stellt eine Reihe hydraulisch abgeleiteter als auch empirisch abgeleiteter Formeln zusammen, aus denen sich die Konzentrationszeit berechnen lässt. In die empirisch abgeleiteten Formeln gehen überwiegend nur Fließweg L und Steigung I ein. Die hydraulisch abgeleiteten Formeln berücksichtigen zudem die Rauigkeit der Landoberfläche. Eine gebräuchliche Formel zur Bestimmung der Konzentrationszeit ist

$$T_c = 6,92 * \frac{(L * n)^{0,6}}{P^{0,4} * I^{0,3}}$$

mit

T_c = Konzentrationszeit [min]

L = längster Fließweg [m]

n = mittlerer Rauheitsbeiwert [$s/m^{1/3}$], (reziproker Wert von k_{st})

P = Niederschlag [mm/h]

I = mittleres Gefälle [-]

und gilt generell für den Landoberflächenabfluss (D_{YCK}/P_{ESCHKE} 1989, S. 296ff). Der Landoberflächenabfluss ist wiederum die Summe aus den Konzentrationszeiten der Landoberfläche und des Flussbetts, die beide mit separaten Formeln berechnet werden können.

Die Konzentrationszeit ist abhängig von Rauheitsbeiwert, Gefälle, Niederschlag sowie maximaler Längserstreckung des Einzugsgebietes, wobei je Abflussberechnung der Niederschlag über dem Einzugsgebiet konstant bleibt. Das Gefälle lässt sich über das Höhenmodell berechnen und jeder einzelnen Flächennutzung kann ein Rauheitsbeiwert zugeordnet werden. Ebenso müssen auch den Gewässerstrukturgüteparametern – einschließlich der Aue als Parameter Flächennutzung – entsprechende Rauheitsbeiwerte zugeordnet werden, um zu klären, wie stark einzelne Strukturen zum Hochwasserrückhalt beitragen.

Nun ist es möglich, mit dem Gefälle und dem Rauheitsbeiwert bzw. der Gewichtung

$$\frac{n^{0,6}}{I^{0,3}}$$

eine Ausbreitungsanalyse durchzuführen und die Konzentrationszeit als Kalibrierung zu verwenden. Das Maximum, das sich im Distanzflächendiagramm zeigt, stellt die Konzentrationszeit des gesamten Einzugsgebietes dar. Durch das Einsetzen des mittleren Gefälles und des mittleren Rauheitsbeiwertes im Einzugsgebiet ergibt sich die Summe, die der (theoretischen) Konzentrationszeit entspricht, die sich wiederum aus der obigen Formel für T_c ergibt. Die Distanzflächendiagramme der Ausbreitungsanalysen mit den jeweiligen (wahren) Werten für Gefälle und Rauheitsbeiwert je Rasterzelle können nun mit dem in Relation gesetzt werden, das sich aus den mittleren Gefälle- und Rauheitsbeiwerten ergibt. Hieraus resultiert dann die Abflusszeit unter den jeweiligen (wahren) Gefälle- und Rauheitsbedingungen je Rasterzellen (vergl. Tab. 10).

Tab. 10: Beispiel zur Ermittlung der Konzentrationszeit

Konzentrationszeit für das mittlere Gefälle und den mittleren Rauheitsbeiwert	Konzentrationszeit des Ist-Zustandes
Berechnetes/ermitteltes Maximum des Distanzflächendiagramms: 2720	ermitteltes Maximum des Distanzflächendiagramms: 3201
entspricht 200,7 Minuten	entspricht 236,2 Minuten

Vorteilhafter wäre es allerdings, wenn über die Ausbreitungsanalyse die Konzentrationszeit bzw. die Abflusszeit pro Zelle und letztlich für das gesamte Einzugsgebiet direkt ermittelt werden würde. Als Gewichtung kann ein Raster eingehen, das Werte enthält, die nach oben angeführter Formel für T_c berechnet werden, mit einem Unterschied, dass statt der Variablen $L^{0,6}$ der Faktor $x^{0,6}/x$ je Rasterzelle eingesetzt wird, wobei x die Rasterauflösung darstellt. Da bei der Ausbreitungsanalyse jede Rasterzelle mit der Rasterauflösung multipliziert wird, ergäbe sich dann die Konzentrationszeit pro Zelle bzw. kumuliert für das gesamte Einzugsgebiet.

Die Konzentrationszeit wächst allerdings nicht proportional mit der Längserstreckung, sondern mit der Potenz 0,6 an. Im Einzugsgebiet des Erbachs ergibt sich z.B. für jede Rasterzelle eine mittlere Konzentrationszeit von 5,3 Minuten. Bei einer maximalen Längserstreckung von 8512 m, also rund 426 Zellen bei einer 20 m-Auflösung, ergäbe sich eine aufsummierte Abflusszeit von 2258 Minuten. Nach der Formel beträgt die Konzentrationszeit für das 8,5 km lange Einzugsgebiet allerdings nur 200,7 Minuten. Durch das Einfügen eines Korrekturfaktors in die Formel für T_c wird dieses Manko behoben. Die kumulative Kostenoberfläche liefert dann direkt die Konzentrationszeit für das gesamte Einzugsgebiet und die erweiterte Formel für T_c stellt sich wie folgt dar:

$$T_{c \text{ erw.}} = \frac{T_{cE}}{Z_{\text{maxL}} * T_{cZ}} * 6,92 * \frac{x^{0,6}}{x * P^{0,4}} * \frac{n^{0,6}}{I^{0,3}}$$

Dabei ist

$$\frac{T_{cE}}{Z_{\text{maxL}} * T_{cZ}} \quad \text{der Korrekturfaktor mit}$$

T_{cE} = Konzentrationszeit für das gesamte Einzugsgebiet aus mittlerem Gefälle und mittlerem Rauheitsbeiwert [min]

T_{cZ} = Konzentrationszeit pro Rasterzelle aus mittlerem Gefälle und mittlerem Rauheitsbeiwert [min]

Z_{maxL} = Anzahl der Zellen in maximaler Längserstreckung des Einzugsgebietes [-].

Der Anstieg der Konzentrationszeit ist für beide Varianten – Gewichtung allein aus Gefälle und Rauheitsbeiwert oder über die Formel für T_c inklusive Korrekturfaktor – linear, während sie rein rechnerisch potentiell ansteigt (vergl. Abb. 9). Für die Unter-

suchung des Retentionsvermögens eines (ganzen) Einzugsgebietes und möglicher Retentionseffekte von Renaturierungsmaßnahmen spielt dieser Unterschied allerdings keine Rolle. Zum einen wird das gesamte Einzugsgebiet betrachtet und zum anderen zeigen schon relative Veränderungen in den Abflusskurven Retentionseffekte an.

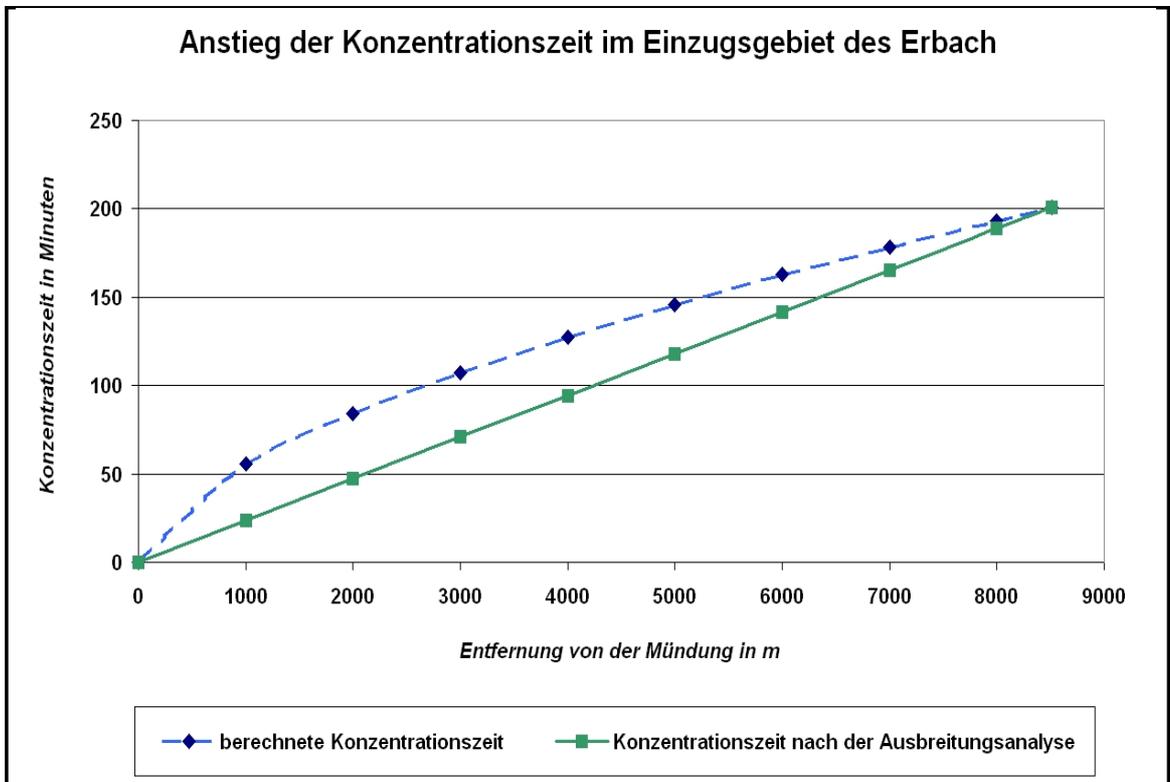


Abb. 9: Anstieg der Konzentrationszeit im Einzugsgebiet des Erbachs

Der Abfluss selbst ergibt sich durch Multiplikation aus den Flächen des Distanzflächen-diagramms, die bestimmte Zeitintervalle darstellen, mit der angenommenen Niederschlagshöhe pro Quadratmeter. Die Abflusskurve wird in einem Kurvendiagramm dargestellt, in dem der Abfluss gegen die Abflusszeit aufgetragen wird.

4. Projektbeschreibung

4.1 Konzept

Die Auswirkungen von Gewässerstrukturgüteparametern auf eine Hochwasserwelle wurden über eine rasterbasierte Ausbreitungsanalyse mit unterschiedlicher Auflösung für die Einzugsgebiete von Erbach und Wied ermittelt.

Dazu sollten die Rauheitsbeiwerte dieser Strukturgüteparameter in die Ausbreitungsanalyse eingehen, einschließlich der erhobenen Parameter des Gewässerumfeldes. Dies sind die Parameter Flächennutzung, Gewässerrandstreifen und Umfeldstrukturen. Sie beziehen sich auf den potentiell überschwemmbar Bereich längsseits der Fließgewässer. Von besonderem Interesse ist hierbei der Parameter „Gewässerrandstreifen“. Es handelt sich um Randstreifen aus Brache, naturnahen Biotopen wie z.B. Röhrriechflächen, Gehölzen oder (Au-)Wald, die direkt an die Gewässer angrenzen und sie streckenweise begleiten. Diese Areale besitzen einen relativ hohen Rauheitsbeiwert n (bzw. niedrigen k_{st} -Wert) und sollten daher in der Ausbreitungsanalyse berücksichtigt werden. Die ATKIS-Daten geben keinen Anhaltspunkt über Randstreifen, da diese relativ schmal sind und den Flächennutzungen zugeordnet werden, die an das Fließgewässer grenzen.

Aus der Gewässerstrukturgütekartierung gingen also die Daten zu Flächennutzung und Gewässerrandstreifen entlang des Gewässers ein. Die Flächennutzung in den übrigen Teilen des Einzugsgebietes wurde aus den ATKIS-Daten übernommen.

Es ist darauf zu achten, dass bei der Analyse kleiner Gewässer die Größe der Rasterzellen nicht zu groß gewählt wird, da sonst die Flächennutzung, die in der Kartierung erhoben wurde, auf Bereiche projiziert wird, die gar nicht im Überschwemmungsbereich liegt.

Die Bäche im Erbach-einzugsgebiet besitzen alle eine Gewässerbreite, die kleiner 5 m ist. Es handelt sich also um kleine Fließgewässer und dementsprechend schmal sind auch die Auen entlang dieser Bäche. Hier wurde eine rasterbasierte Ausbreitungsanalyse mit einer Auflösung von 20 m durchgeführt, bei der die relevanten Gewässerstrukturgütedaten aller kartierten Bäche eingingen.

Bei der Untersuchung des gesamten Wiedeinzugsgebietes lag der Fokus auf dem Retentionsraum des Unter- und des unteren Mittellaufs der Wied – d.h. es wurden nur die Gewässerstrukturgütedaten dieses Abschnitts berücksichtigt. Hier wechseln sich Engtalpassagen mit breiten Talbodenbereichen ab, die Breiten bis zu 450 m besitzen. Daher wurde beabsichtigt, hier eine Analyse mit einer Rasterzellengröße durchzuführen, die in etwa in der Größenordnung liegt, die der mittlere Breite des Talbodenbereichs entspricht.

Im gesamten Wiedeinzugsgebiet reicht die Gewässerbreite von unter 5 m bis über 20 m (an der Mündung über 30 m). Da bei kleineren Gewässern eine so hohe Zellen-

größe zu fehlerhaften Zuordnungen der Flächennutzung entlang der Gewässer führen würde, wurden bei der Untersuchung des Wiedereinzugsgebietes auch nur die Gewässerabschnitte berücksichtigt, die sich durch eine große Breite und damit auch durch eine entsprechend große Auenbreite ausweisen. Für den unteren und mittleren Wiedabschnitt sind dies in etwa die Gewässerabschnitte ab einer Breite von über 10 m. Diese Gewässerbreiten finden sich – gemessen ab der Mündung – bis zu Flusskilometer 70,2. Zwar treten bis zu diesem Punkt gelegentlich Abschnitte auf, die schon eine Breite unter 10 m aufweisen, doch ab dem Kilometer 70,2 liegt die Gewässerbreite generell unter 10 m.

Für jede Rasterzelle wurde das Gefälle ermittelt und der jeweiligen Nutzung der entsprechende Rauheitsbeiwert (n bzw. $1/k_{st}$) zugeordnet. Für die Zellen im Gewässer-Aue-System wurde das gewichtete Mittel aus den Rauheitsbeiwerten von Gewässer und Aue herangezogen. Dabei ergab sich der Rauheitsbeiwert der Gewässer nach der Formel von BAUER (2004) aus den Gewässerstrukturparametern Laufkrümmung, Profiltyp, Uferbewuchs und Sohlensubstrat (vergl. Kap. 2.3, S. 35).

Anschließend wurde der Abfluss berechnet, der sich aus einem simulierten Blockniederschlag ergibt. Es wurde ein Regen von 10 mm/m^2 über dem gesamten Testgebiete angenommen, der innerhalb einer Minute niedergeht. Dieses Niederschlagsereignis kommt an vorliegenden Vergleichsmessstationen im süddeutschen Raum etwa 20 mal in 100 Jahren vor (vergl. DVWK 1984, S. 19). Gleichzeitig wurde unterstellt, dass es zu keinerlei Verlusten durch Verdunstung und Versickerung kommt.

Die Niederschlagsmenge von 10 mm/m^2 entspricht im Wiedereinzugssystem in etwa 1 % der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge. Der Mittelwert des Jahresniederschlages liegt für das Erbachsystem bei 1012 mm/m^2 und für das gesamte Wiedereinzugsgebiet bei 907 mm/m^2 . Die Niederschlagsverteilung im Wiedereinzugsgebiet ist in Abbildung 10 wiedergegeben.

Unter Berücksichtigung der Formel für die Konzentrationszeit (T_c) (vergl. Kap. 3.2, S. 44) wurde ein Raster erstellt, deren Zellen den Gewichtungsfaktor aus Rauheitsbeiwert und Gefälle enthielten. Diese Gewichtung ging in die anschließend durchgeführte Ausbreitungsanalyse ein und die daraus resultierenden Distanzflächen konnten mit Abflusszeiten gleichgesetzt und letztlich der Abfluss bestimmt werden.

Zunächst wurde der Abfluss für den Ist-Zustand ermittelt. Im Erbachsystem geschah dies sowohl für das Gesamteinzugssystem als auch für jedes Teileinzugsgebiet. Daran schloss sich eine Charakterisierung des Einzugsgebietes anhand verschiedener Faktoren an. Dann wurden über die Indexwerte der Gewässerstrukturgütekartierung im Erbachsystem und im Unterlauf/unteren Mittellauf der Wied Gewässerabschnitten herausgesucht, die Defizite hinsichtlich der Strukturgüte aufweisen. An diesen Abschnitten wurde nun eine fiktive Verbesserung der Gewässerstrukturgüte durchgeführt, wiederum der Abfluss ermittelt und mit dem des Ist-Zustandes verglichen. Die Abfluss-

kurven beziehen sich dabei immer auf den jeweiligen Gebietsauslass des Gesamteinzugsgebiets von Erbach bzw. Wied.

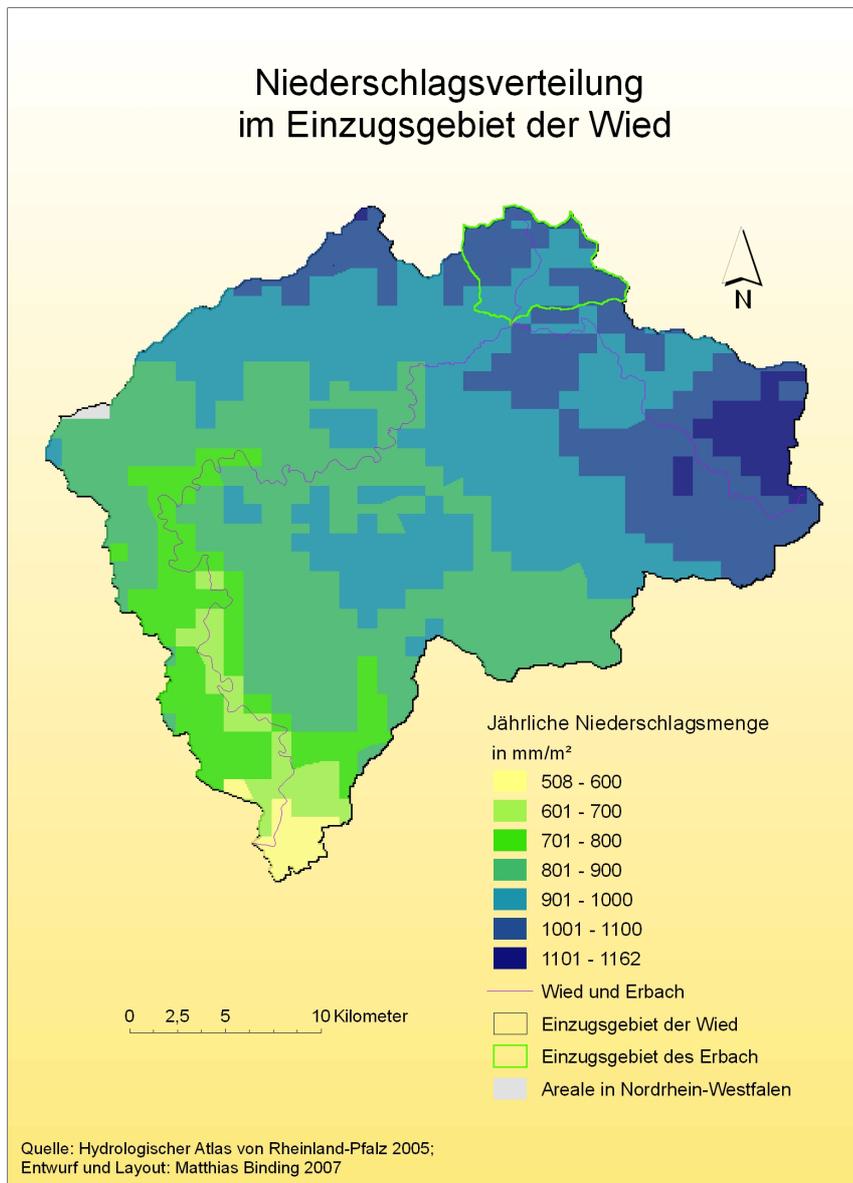


Abb. 10:
*Niederschlags-
verteilung im
Wiedeinzugs-
gebiet*

4.2 Durchführung

Für die Ausbreitungsanalyse des Abflusses im Erbachsystem wurden zuerst die erforderlichen Daten aus dem Gesamtdatensatz des Wiedeinzugsgebietes entnommen. Folgende Abbildung 11 a des Geoprozessmodells gibt die Vorgehensweise wieder. Blaue Ovale stellen die Input-, grüne Ovale die Output-Datensätze dar. Die gelben Rechtecke kennzeichnen die Tools. Bei den mit einem „P“ markierten Outputs handelt es sich um Datensätze, die für nachfolgende Modelle zu Verfügung stehen und u.U. einer weiteren Datenaufbereitung unterzogen werden müssen.

Innerhalb des Erbach Einzugsgebietes wurden die Teileinzugsgebiete – Driescheiderbach/Heupelzerbach, Soerterbach sowie Erbach (vergl. Abb. 12) – selektiert und zusammengeführt (mit dem Tool Dissolve). Extrahiert wurden die Gewässerstruktur-güteparameter (GSG), die Flächennutzung, die Geländehöhen und die mittleren jährlichen Niederschlagssummen.

Während die Datensätze der Gewässerstruktur-güteparameter und der Flächennutzung einer weiteren Verarbeitung unterzogen werden mussten, konnte das digitale Höhenmodell gleich weiter in den Geoprozess einfließen.

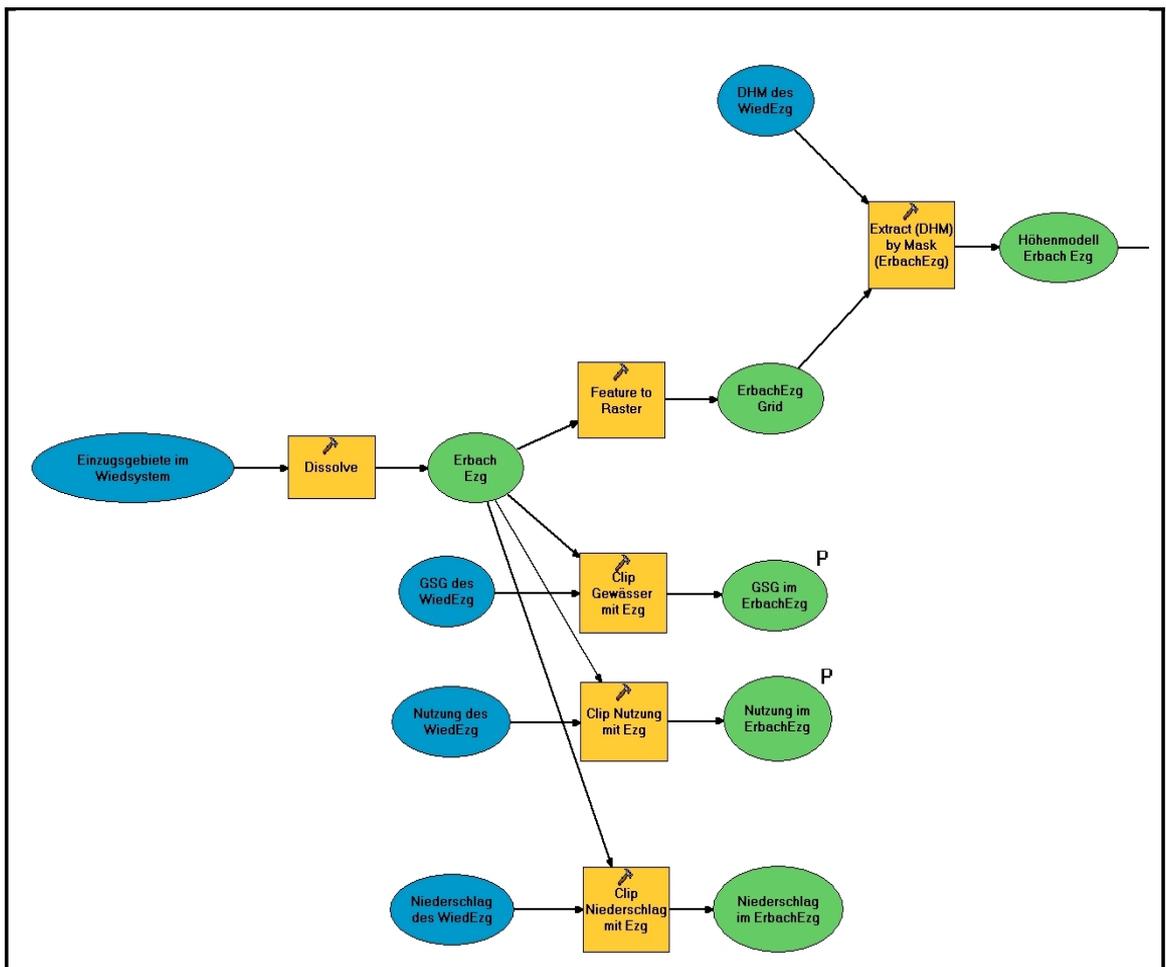


Abb. 11 a: Datenextraktion für das Einzugsgebiet des Erbachs

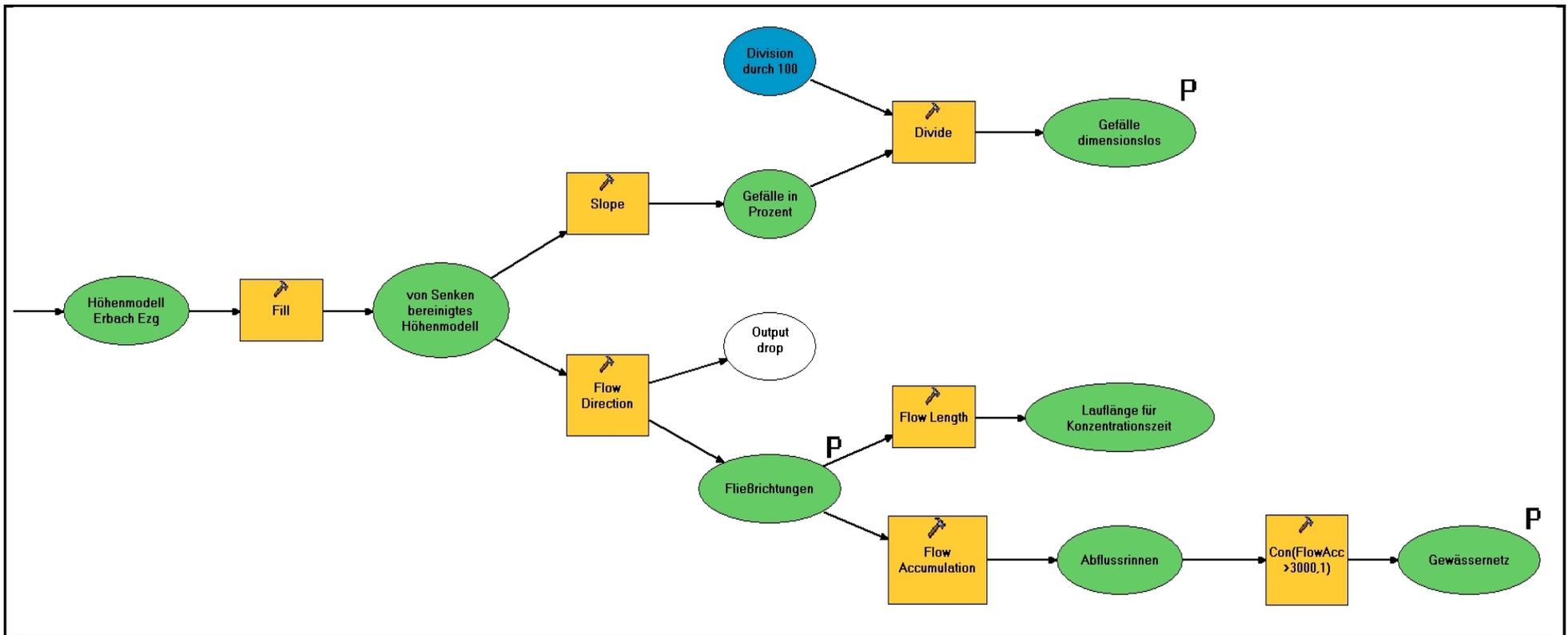


Abb. 11 b: Datenvorbereitung für die Ausbreitungsanalyse im Einzugsgebiet des Erbachs

Zunächst wurde es von kleinen lokalen Senken bereinigt (mit dem Tool Fill, vergl. Abb. 11 b). Das digitale Höhenmodell besitzt zwar eine relativ hohe Auflösung von 20 m, es stellt aber dennoch eine Generalisierung zu den wirklichen Geländebeziehungen dar. Geländemodelle sind aus Punkthöhen aufgebaut, die als regelmäßige Stichprobe aus einem Kontinuum entnommen werden. Nun kann es bei diesen Stichproben vorkommen, dass ein Punkt in einer Tiefenlinie/Gewässerbett liegt und die stromabwärts gelegenen Punkte an Hängen oder der Uferoberkante liegen. Dadurch ergeben sich scheinbar kleine abflusslose Senken im Höhenmodell, die in Wirklichkeit gar nicht existieren.

Solche abflusslosen Senken können allerdings in Karstgebieten (z.B. in Form von Dolinen) oder in bergbaulich geprägten Landschaften (in Form von kleinen Pingen, Abbaugruben) auftreten. Im Untersuchungsgebiet steht aber kein Kalkgestein an und die bergbauliche Nutzung zeigt sich hier vereinzelt in großen Tongruben bzw. Steinbrüchen.

Anschließend konnte das Gefälle aus dem digitalen Höhenmodell ermittelt werden (mit dem Tool Slope). Mit diesem Tool wird entweder das Gefälle in Prozent oder in Grad berechnet. Für die Bestimmung der Konzentrationszeit wird allerdings das dimensionslose Gefälleverhältnis benötigt, so dass zuerst das Gefälle in Prozent kalkuliert und dann durch 100 dividiert wurde.

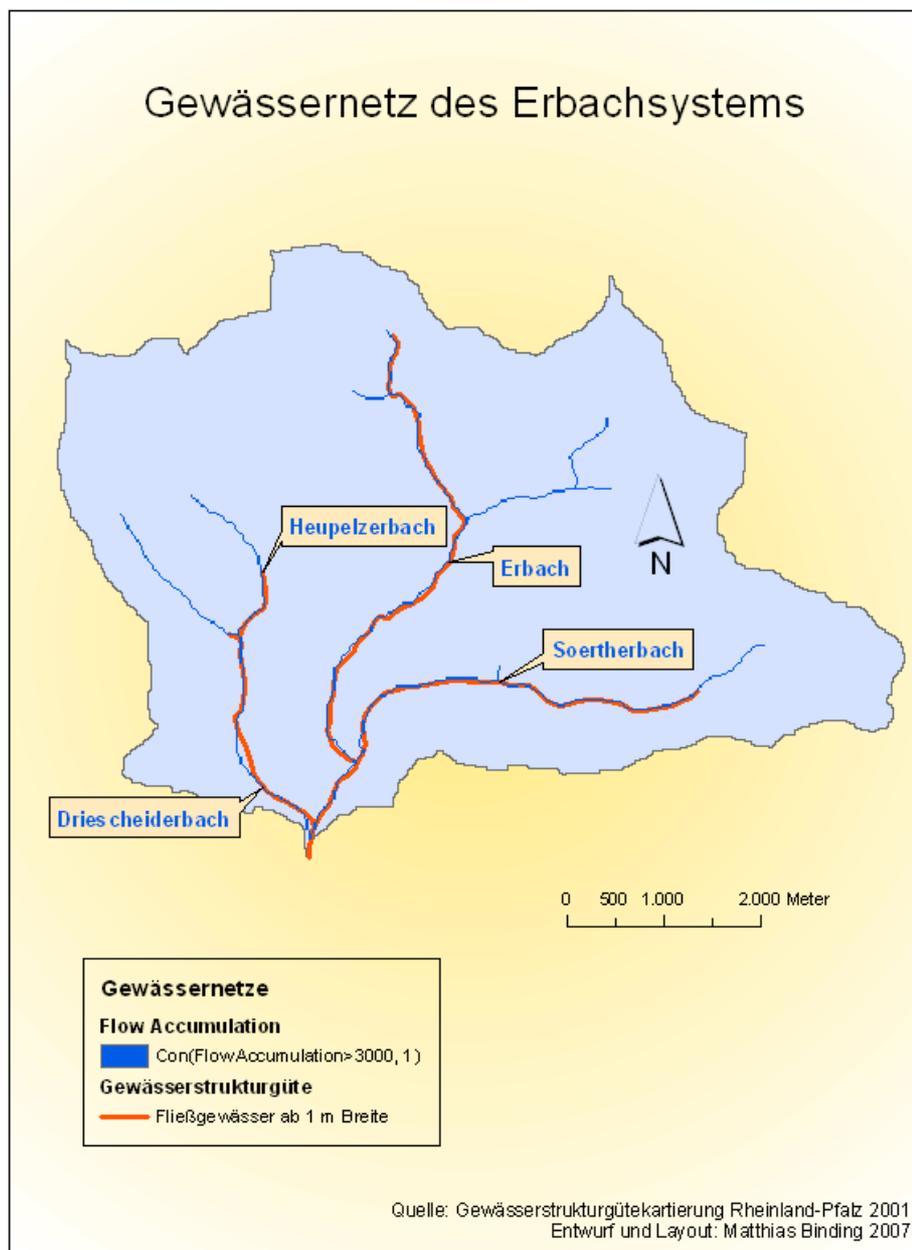


Abb. 12: Gewässernetz im Erbachinzugsgebiet

Des Weiteren wurde das digitale Höhenmodell zur Ermittlung der Fließrichtungen (mit dem Tool Flow Direction) herangezogen. Die Fließrichtungen dienen zur Bestimmung der maximalen Fließlänge (mit dem Tool Flow Length ohne Gewichtung) und der Abflussrinnen im Einzugsgebiet (mit dem Tool Flow Accumulation). Aus den abflussakkumulierten Daten konnte nun das Gewässernetz herauskristallisiert werden. Die dabei verwendete Bedingung $\text{Con}(\text{Flow Accumulation} > 3000, 1)$ besagt, dass alle Zellen, die einen akkumulierten Wert von über 3000 aufweisen auf 1 und alle anderen Zellen auf „NoData“ gesetzt werden. Mit dem Argument „>3000“ werden alle Zellen ausgewählt, deren Einzugsgebiet aus 3000 oder mehr Zellen besteht. Das sich dabei herauskristallisierende Gewässernetz kommt dem Netz nahe, das aus den Bächen gebildet wird, die nach der Gewässerstrukturgütekartierung eine Breite von mindestens 1 m besitzen. Die Ähnlichkeit beider Gewässernetze gibt obere Abbildung 12 wieder. Die Abweichungen zwischen diesen beiden Gewässernetzen sind auf die manuelle Digitalisierung der Gewässerabschnitte, die von den topographischen Karten übernommen wurden, oder auf Darstellungsfehler in den topographischen Karten selbst zurückzuführen. Die digitalisierten Gewässerverläufe dienen/dienen als Grundlage zur Gewässerstrukturgütekartierung.

Die Korrektur des Gewässernetzes ist notwendig, da sonst den Gewässerpixeln bei der späteren Ausbreitungsanalyse teilweise zu hohe Gefällewerte zugeordnet werden, wie aus nachfolgender Abbildung 13 ersichtlich wird.

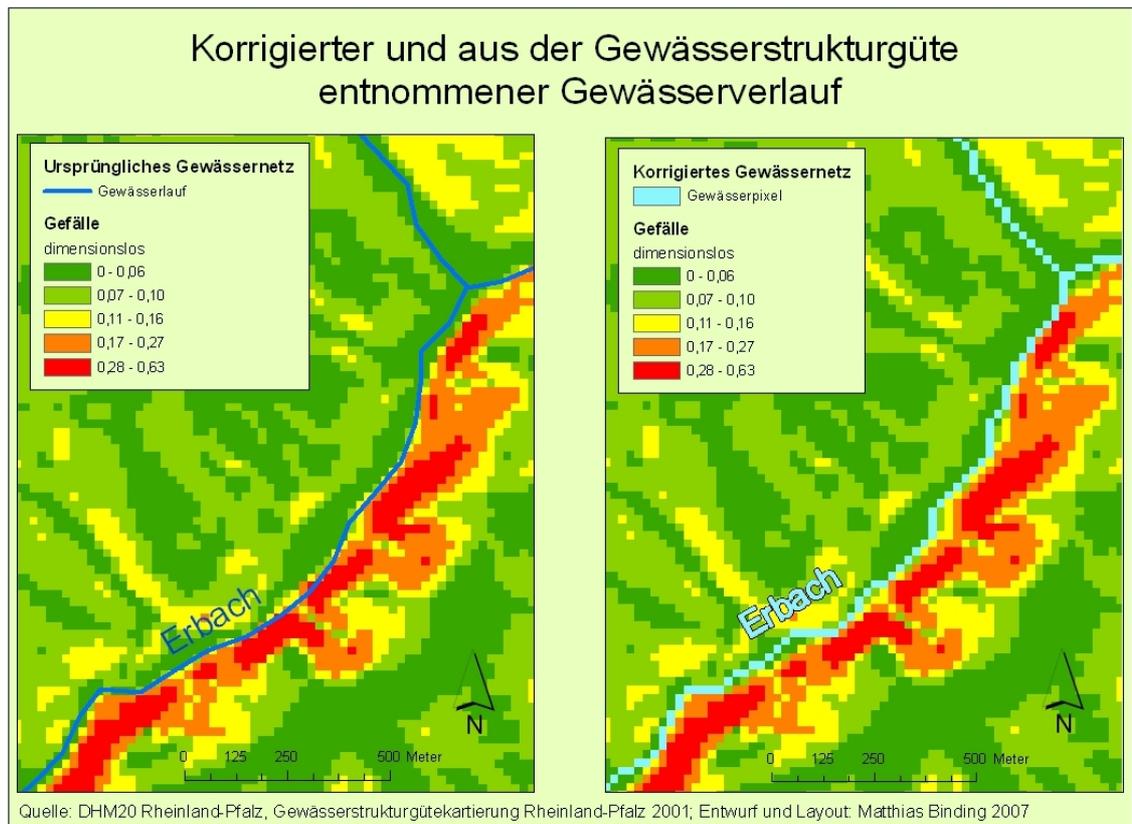


Abb. 13: Gegebene und korrigierte Gewässerverläufe im Erbachsystem

Werden den Gewässerpixeln höhere Gefällewerte zugeordnet als sie tatsächlich besitzen, so ergeben sich aus der Berechnung für T_c höhere Abflussgeschwindigkeiten bzw. geringere Abflusszeiten. Die Abflusswellen der nicht korrigierten Läufe eilen dann denen der tatsächlichen, korrigierten Läufe voraus, wie dies im Einzugsystem des Erbachs der Fall ist (vergl. Abb. 14).

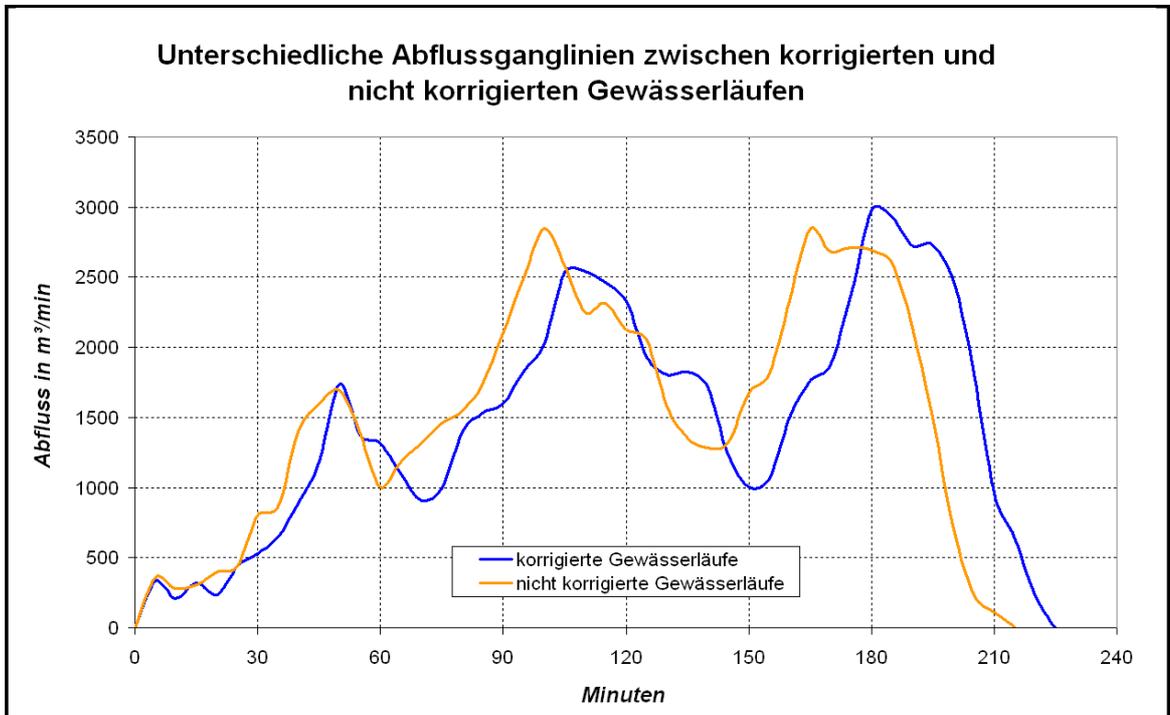


Abb. 14: Abflussganglinien von korrigierten und nicht korrigierten Gewässerläufen

Für die Ausbreitungsanalyse des Abflusses im Wiedsystem wurde die 20 m-Auflösung des digitalen Höhenmodells in eine 200 m-Auflösung umgewandelt. Dabei ergeben sich allerdings „Lücken“ in der Wasserscheide (vergl. Abb. 15), was dazu führt, dass die Bereiche um diese „Lücken“ bei der späteren Ausbreitungsanalyse mit Flow Length nicht mehr dem Einzugsgebiet der Wied zugerechnet werden. Die Lücken mussten zunächst geschlossen werden, indem die Höhen an diesen Gebietsgrenzen manuell geändert (heraufgesetzt) wurden. Nach der Korrektur der Höhendaten und dem Füllen etwaiger Senken, konnten auch hier Gefälle und Fließrichtungen des Einzugsgebietes bestimmt werden.

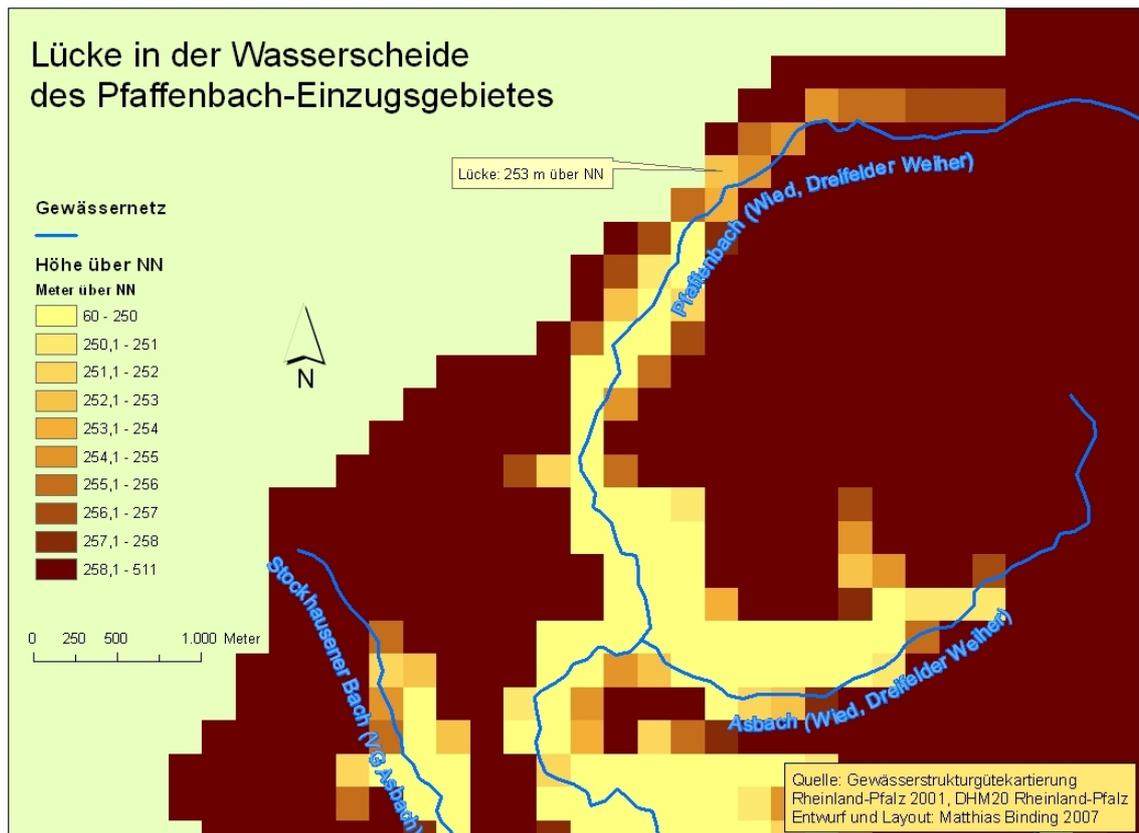


Abb. 15: Lücken in der Wasserscheide durch Verringerung der Rasterauflösung von 20 auf 200 m

Im Gegensatz zu der stärker generalisierten Darstellung mit einer Rastergröße von 200 m werden bei einer Rastergröße von 20 m die Gefälleverhältnisse sehr anschaulich widerspiegelt (vergl. Abb. 16). Bei einer 20 m-Auflösung pendelt der Fluss innerhalb geringer Gefällebereiche, während er sich bei einer 200 m-Auflösung streckenweise in geringen und teilweise – gerade in Engtalabschnitten – in steileren Gefällebereichen bewegt. Die Berücksichtigung dieser Gefällewerte entlang des Flussverlaufes würde zu falschen Ergebnissen bei der Berechnung der Abflusszeiten führen.

Daher wurde das Gefälle des Flussverlaufes aus der Höhendifferenz der Anfangs- und Endpunkte eines jeden 100 m-Abschnitts ermittelt und später mit den Gefällewerten des Einzugsgebietes verschnitten. Die Gewässer liegen ja – wie erwähnt – landesweit in 100 m-Abschnitten digitalisiert vor. Die hierfür erforderliche Bestimmung der X/Y-Koordinaten der Anfangs- und Endpunkte erfolgte unter Verwendung der im Anhang C aufgeführten VBA-Scripte. Die Höhen wurden aus dem 20 m-Raster entnommen.

Gefälledarstellung bei unterschiedlicher Rasterauflösung

Legende

Fließgewässer

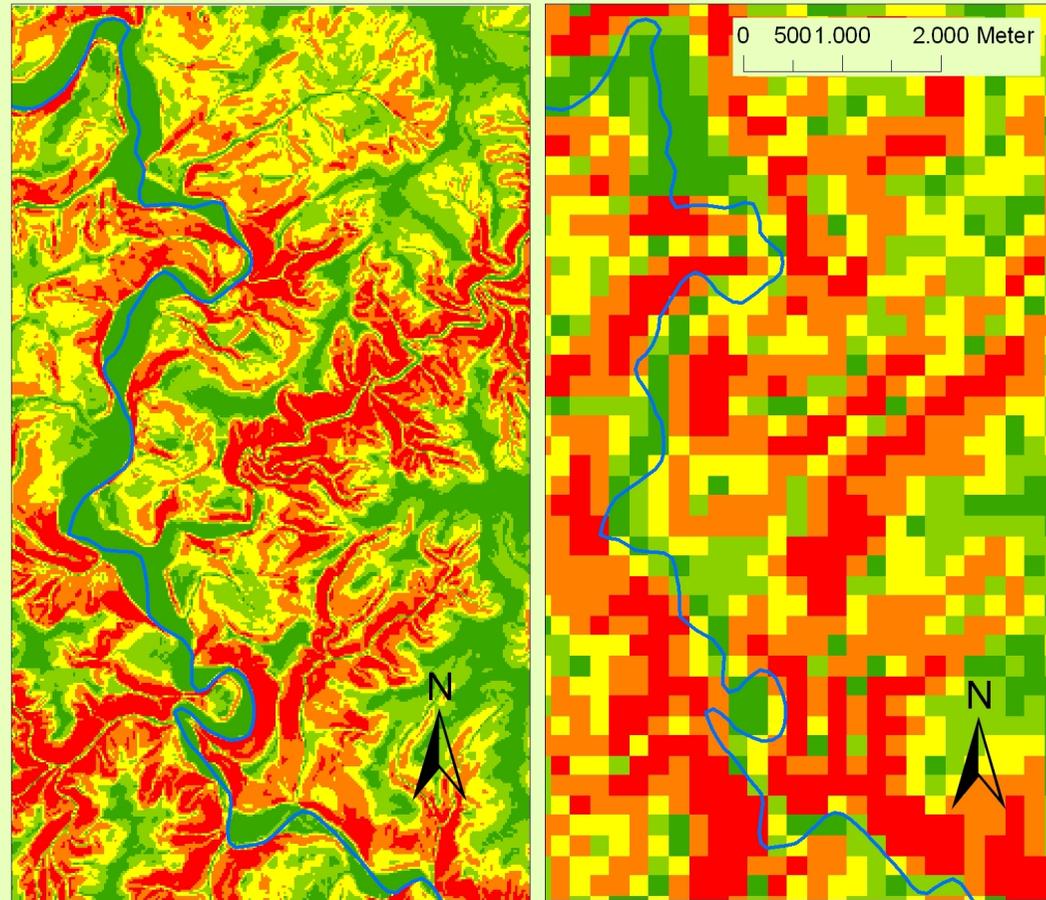
— Wied

Gefälle in Kategorien

- gering
- gering bis mäßig
- mäßig
- mäßig bis stark
- stark

Quelle:
Gewässerstrukturgütekartierung
Rheinland-Pfalz 2001 und
DHM20 Rheinland-Pfalz

Entwurf und Layout:
Matthias Binding 2007



20 m Rasterzellen

200 m Rasterzellen

Abb. 16: Gefälledarstellung bei unterschiedlicher Rasterauflösung

4.3 Rauheitsbeiwerte von Gewässerstrukturgüteparametern und Landnutzungsformen

Als nächstes mussten den jeweiligen Nutzungen und den relevanten Gewässerstrukturgüteparametern die entsprechenden Rauheitsbeiwerte zugeordnet werden.

Die Daten zur Gewässerstrukturgüte setzen sich – wie erwähnt – neben den Gewässerstammdaten und den gewässermorphologische Grundlagendaten aus 25 Strukturgüteparametern zusammen. Zur Bestimmung des Retentionsvermögens ist ein Großteil dieser Strukturgüteparameter bedeutsam. Für die Ermittlung der Gewässerbettrauheiten über die überarbeitete Formel der USGS (vergl. Kap. 2.3, S. 35) wurden aber nur die Parameter Laufkrümmung, Profiltyp, Sohlensubstrat und Uferbewuchs benötigt. Zudem wurden für diese Arbeit die Parameter Flächennutzung und Gewässerrandstreifen verwendet.

Von den sechs verwendeten Parametern wird lediglich die Laufkrümmung noch einmal differenziert betrachtet und zwar hinsichtlich des Gewässertyps (vergl. Tab. 11). Die Laufkrümmung bei Kerbtal- und Mäandertalgewässern geht nicht mit in die Bewertung der Strukturgüte ein, weil diese naturbedingt keine Aue haben bzw. keine freie Laufentwicklung besitzen. Bei diesen Gewässertypen sind ungekrümmte Abschnitte durchaus natürlich. So pendelt z.B. der Lauf von Mäandertalgewässern von Prallhang zu Prallhang. Dazwischen liegen z.T. lange, geradlinige Abschnitte, die als Talquerungsstrecken bezeichnet werden. Bei der Ermittlung der Gesamtrauheit eines Gewässers und damit auch bei der Ermittlung dessen Retentionsvermögens muss also darauf geachtet werden, dass diese schwachen Laufkrümmungen nicht negativ in die Bewertung einfließen.

Tab. 11: Gewässerstrukturgüteparameter

Hauptparameter	Einzelparameter			Differenzierung nach Typ
		WP	SP	
1. Laufentwicklung	1.1 Laufkrümmung	X		X
	1.2 Krümmungserosion	X		X
	1.3 Längsbänke	X		
	1.4 Besondere Laufstrukturen	X		
2. Längsprofil	2.1 Querbauwerke		X	
	2.2 Rückstau		X	
	2.3 Verrohrungen		X	
	2.4 Querbänke	X		X
	2.5 Strömungsdiversität	X		X
	2.6 Tiefenvarianz	X		X
3. Querprofil	3.1 Profiltyp	X		
	3.2 Profiltiefe	X		
	3.3 Breitenerosion	X		X
	3.4 Breitenvarianz	X		X
	3.5 Durchlässe		X	
4. Sohlenstruktur	4.1 Sohlensubstrat		X	
	4.2 Sohlenverbau		X	
	4.3 Substratdiversität	X		X
	4.4 Besondere Sohlenstrukturen	X		X
5. Uferstruktur	5.1 Uferbewuchs	X		
	5.2 Uferverbau		X	
	5.3 Besondere Uferstrukturen	X		
6. Gewässerumfeld	6.1 Flächennutzung		X	
	6.2 Gewässerrandstreifen	X		
	6.3 Sonstige Umfeldstrukturen		X	

Erläuterung:

WP = Wertparameter

SP = Schadparameter

(Quelle: LAWA 1998 a, S. 17)

Die Rauheitsbeiwerte für die einzelnen Landnutzungen und Strukturgüteparameter können aus der Literatur (s. nachfolgend) übernommen werden oder müssen aus Werten für bestimmte Nutzungen oder Substrate abgeleitet werden. Bei diesen Rauigkeiten handelt es sich um Erfahrungswerte, die mit dem Standort/Substrat, mit der Nutzungsintensivierung und dem Vegetationszeitpunkt schwanken können.

Für die Strukturgüteparameter Ufergehölz/Ufervegetation und Sohlensubstrat wurden die Rauheitsbeiwerte nach BAUER (2004) übernommen (vergl. Tab. 12, 13 und 14).

Tab. 12: Rauheitsbeiwerte für Ufergehölz

Ufergehölz	n (s/m ^{1/3})	k _{st} (m ^{1/3} /s)
Wald bodenständig	0,067	15
Wald nicht bodenständig	0,067	15
Galerie bodenständig	0,067	15
Galerie nicht bodenständig	0,067	15
Einzelgehölze	Wahl von Krautflur, Hochstauden	
keine Ufergehölze	Wahl von Krautflur, Hochstauden	

(Quelle: BAUER 2004, S. 157)

Tab. 13: Rauheitsbeiwerte für Ufervegetation

Ufervegetation	n (s/m ^{1/3})	k _{st} (m ^{1/3} /s)
Röhricht	0,050	20
Krautflur, Hochstauden	0,045	22
Rasen	0,037	27
Keine naturbedingt	0,033	30
Keine wegen Erosion	0,033	30
Verbau wegen Verbau	0,025	40

(Quelle: BAUER 2004, S. 156)

Tab. 14: Rauheitsbeiwerte für Sohlensubstrat

Sohlensubstrat	n (s/m ^{1/3})	k _{st} (m ^{1/3} /s)
Deckwerk	0,0179	56
Lehm	0,0250	40
Schlick, Schlamm	0,0250	40
Sand	0,0263	38
Kies, Schotter	0,0263	36
Schotter, Steine	0,0303	33
Blöcke, Schotter, Steine	0,0303	33
reines Blockwerk	0,0400	25
Fels	0,0250	40

(Quelle: BAUER 2004, S. 155)

Tab. 15: Landnutzungskategorien und Nutzungsklassen im Wiedereinzugsgebiet

Landnutzungskategorien nach ATKIS	Nutzungsklasse zur Zuordnung der Rauheitsbeiwerte	Rauheitsbeiwert k_{st} in $m^{1/3}/s$
Wohnbaufläche	Baulich geprägte Flächen	40
Industrie-, Gewerbeflächen		
Flächen gemischter Nutzung		
Flächen besonderer funktionaler Prägung		
Kraftwerk	Ver- und Entsorgungsanlagen	40
Umspannwerk		
Kläranlage, -werk		
Wasserwerk		
Abfalldeponie	Siedlungsfreiflächen, Freizeiteinrichtungen	33
Campingplatz		
Freizeitanlage		
Freizeitpark, Safaripark, Wildgehege		
Golfplatz		
Sportplatz		
Sportanlage		
Stadion		
Schwimmbad		
Schwimmbecken		
Schießstand		
Friedhof		
Flug-, Landeplatz		
Bahnhofsanlage		
Platz		
Raststätte		
Bergbaubetrieb	Tagebau, Steinbruch	40
Tagebau, Grube, Steinbruch		
Grünanlage	Grünanlage	20
Ackerland	Acker- und Gartenland	26
Sonderkultur		
Gartenland		
Gärtnerei		
Grünland	Grünland	25
Wald, Forst	Wald, Forst, Gehölz	15
Gehölz		
Felsen, Felsblock, Felsnadel	Felsen, vegetationslose Flächen	40
Vegetationslose Flächen		
Insel	Schilfgürtel	20
Nasser Boden		
Binnensee, Stausee, Teich	Wasserflächen	40
Talsperre, Wehr		
Strom, Fluss, Bach		

Auch für die Landnutzungen wurden Rauheitsbeiwerte aus der Literatur übernommen. Lagen für einzelne Nutzungen keine Rauheitsbeiwerte vor, erfolgte die Zuordnung über Substrate oder es wurden Mittelwerte aus Landnutzungen mit vorliegenden Rauheitsbeiwerten gebildet. Dabei wurden auch die 41 im Einzugsgebiet der Wied bzw. des Erbachs vorkommenden Landnutzungskategorien der ATKIS-Daten weiter zusammengefasst (vergl. Tab. 15).

Der Rauheitsbeiwert (k_{st}) von $40 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ entspricht dem von Fels (vergl. Tab. 14) und wurde nicht nur für die Klasse „Felsen, vegetationslose Flächen“ ausgewählt, sondern auch für die Klasse „Tagebau, Steinbruch“ und die Klassen, die einen Großteil an versiegelten Flächen aufweisen. Dies sind „Baulich geprägte Flächen“, „Ver- und Entsorgungsanlagen“ und „Verkehrsflächen“.

Die Klasse „Wasserflächen“ umfasst alle stehenden und damit potentiell verschlammten Gewässer. Daher wurde der Rauheitsbeiwert für Schlick und Schlamm, der ebenfalls einen k_{st} -Wert von $40 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ besitzt (vergl. Tab. 14), auf diese Klasse übertragen.

Die ATKIS-Kategorien „Insel“ und „Nasser Boden“ treten nur entlang des Flusses Wied auf und zeichnen sich – wie durch die Kartierung festgestellt wurde – durch Schilfbereiche bzw. -gürtel aus. Ihnen wurde daher der Rauheitsbeiwert (k_{st}) von $20 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ für Röhricht zugeordnet (vergl. Tab. 13). Wald und Gehölze erhielten einen k_{st} -Wert nach BAUER von $15 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (vergl. Tab. 12). Einen mittleren k_{st} -Wert von rund $15 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ aus Wald mit Unterholz und Wald ohne Unterholz ergibt sich auch aus den Angaben KOVÁCS ET AL. für diese Nutzung (vergl. Tab. 16).

Tab. 16: Rauheitsbeiwerte für das Hochwasserschutzkonzept an der Mittleren Theiß

Typ	n ($\text{s/m}^{1/3}$)		k_{st} ($\text{m}^{1/3} / \text{s}$)		Mittelwert	
	min	max	min	max	n	k_{st}
Flussbett	0,017	0,06	16,67	58,82	0,0385	37,7458
Weide	0,025	0,05	20,0	40,0	0,0375	30,0
Acker	0,02	0,05	20,0	50,0	0,035	35,0
Vorland mit durchlässigem Strauchbewuchs	0,035	0,08	12,5	28,57	0,0575	20,536
Vorland mit dichtem Strauchbewuchs	0,04	0,16	6,25	25,0	0,1	15,625
Wald ohne Unterholz	0,03	0,12	8,33	33,3	0,075	20,833
Wald mit Unterholz	0,08	0,2	5,0	12,5	0,14	8,75
Grobkies	0,03	0,07	14,29	33,3	0,05	23,810

(Quelle: KOVÁCS ET AL. 2006, S. 32-37)

Für Grünland wählt BAUER einen k_{st} -Wert von $25 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ und für Ackerland $26 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$. Diese Werte wurden auch für diese Arbeit übernommen. Die Rauheitsbeiwerte für Grünland und Ackerland wurden von BAUER für das Lahneinzugsgebiet verifiziert. Da sich das Lahneinzugsgebiet in Nachbarschaft zum Wiedeinzugsgebiet befindet, können für letzteres ähnliche Verhältnisse angenommen werden.

KOVÁCS ET AL. verwenden für ihre Berechnungen allerdings mittlere k_{st} -Werte von $30 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ für Grünland und für Ackerland $35 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (vergl. Tab. 16).

Der Rauheitsbeiwert von Grünland ist sowohl abhängig vom Grünlandtyp (Fettwiese, Magerrasen) als auch von der Art der Nutzung (Mähwiese, Weide). Bei Ackerland bestimmt vor allem die Anbaufrucht und der Vegetationsstand – also die Jahreszeit – den Rauheitsbeiwert. Folgende Grafik (Abb. 17) verdeutlicht die unterschiedlichen Rauhsigkeiten für abgeerntete und bestellte Felder. Hier entspricht der maximale mittlere Rauheitsbeiwert dem Wert, den BAUER verwendet und der auch in dieser Arbeit eingesetzt wurde.

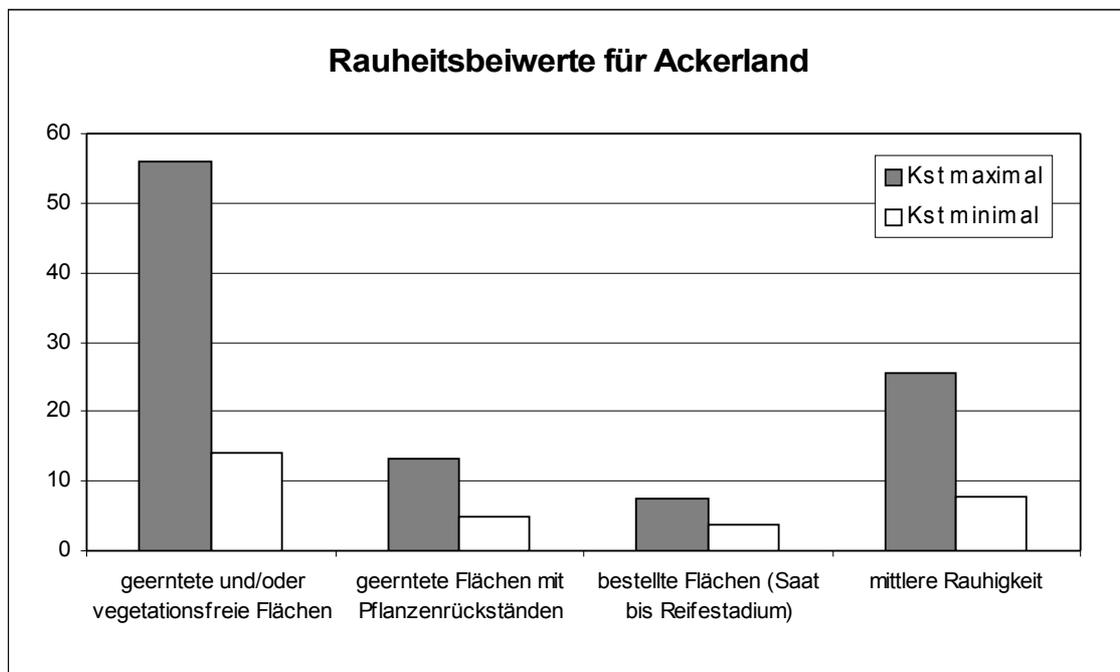


Abb. 17: Unterschiedliche Rauheitsbeiwerte für Ackerland (k_{st} in $\text{m}^{1/3}/\text{s}$) (Quelle: MAURER 1997, S. 128; Daten siehe Anhang B)

Für einige Biotop- und Nutzungstypen konnten keine Rauheitsbeiwerte aus der vorliegenden Literatur herangezogen werden. Deren Rauheitsbeiwerte wurden daher über eine Mittelwertbildung aus Rauheitsbeiwerten anderer Nutzungen und Biotoptypen abgeleitet.

Die Rauheitsbeiwerte der Klassen „Siedlungsfreiflächen, Freizeiteinrichtungen“ (k_{st} -Wert von $33 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$) und „Grünanlagen“ (k_{st} -Wert von $20 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$) resultieren aus Mittelwerten der Rauheitsbeiwerte von „Baulich geprägte Flächen“ und „Grünland“ bzw. „Wald, Forst, Gehölz“ und „Grünland“. Weitere Rauheitsbeiwerte für Biotoptypen, die in

der Gewässerstrukturgütekartierung erhoben werden sind in nachfolgender Tabelle 17 aufgeführt.

Tab. 17: Rauheitsbeiwerte für weitere Biotoptypen

Biotop- bzw. Nutzungstypen		n (s/m ^{1/3})	k _{st} (m ^{1/3} /s)
naturnahe Biotope	k _{st} -Mittelwert aus: Wald bodenständig (15), Gehölz (15), Fels (40), Krautflur (22), Röhricht (20)	0,045	22
Brache	k _{st} -Mittelwert aus: Gehölz (15), Krautflur (22), Röhricht (20)	0,053	19

4.4 Ermittlung der Gesamtrauheit von Gewässer und Aue

Zur Bestimmung des Rauheitsbeiwertes eines Gewässerabschnittes wird u.a. die Geometrie des Gewässerbettes benötigt. BAUER (2004) ermittelt die Sohlbreite und die Gewässertiefe über potenzielle Regressionsfunktionen des Einzugsgebietes. Dazu dienen ihm vorliegende Querprofilaten.

Die Ergebnisse aus diesen Formeln können aber auch nur einen vagen Anhaltspunkt liefern. Tendenziell steigen Gewässertiefe und Gewässerbreite kontinuierlich von der Quelle bis zum Gebietsauslass an, doch in der Realität schwanken diese Parameter z.T. beträchtlich. So können sich relativ naturnahe Fließabschnitte mit flachen und breiten Gewässerbetten mit technisch ausgebauten, engen Gewässerrinnen in intensiv genutzteren Auenabschnitten abwechseln. Typisch für diese ausgebauten Abschnitte sind z.B. die u-förmigen Betonhalbschalen, die vor allem in landwirtschaftlich genutzten Arealen zu finden sind. Charakteristisch für diese Nutzungsräume sowie für Siedlungsbereiche sind auch Überhöhungen des Gewässervorlandes durch Aufschüttungen, die zum Schutz gegen Hochwasser dienen. Andererseits können innerhalb des Einzugsgebietes auch Gewässerabschnitte, die durch Tiefenerosion geprägt sind, mit flacheren Gewässerabschnitte alternieren.

Angaben zur Gewässergeometrie standen für diese Arbeit nicht zur Verfügung und die Daten aus der Gewässerstrukturgütekartierung können keine konkreten Hinweise zu Gewässerbreite und -tiefe liefern. Bei der Gewässerstrukturgütekartierung wurde zwar die Mittelwasserbettbreite erhoben, die annähernd identisch mit der Sohlbreite ist, diese Daten liegen allerdings klassifiziert vor. Die ebenfalls erhobene Profiltiefe gibt das Tiefen-Breitenverhältnis eines Gewässerabschnitts an. Hierbei bezieht sich die Breite auf die Böschungsoberkanten des Gewässerbettes. Da diese Breite aber nicht bekannt ist, ist auch kein Rückschluss auf die Gewässertiefe möglich. Aus Er-

mangelung an diesen Informationen wurden für Erbach und Wied jeweils einheitliche, den dort erhobenen Profiltiefen entsprechende Querprofile angenommen und zur Bestimmung des Rauheitsbeiwerts der Gewässerabschnitte herangezogen (vergl. Abb. 18).

Als Sohlbreite wurde die Hälfte der Klassenobergrenze des Parameters Gewässergröße gewählt. Der Erbach und seine tributären Gewässer fallen alle in die Gewässergrößenklasse 1-5 m, so dass die Sohlbreite für die Bestimmung des Rauheitsbeiwertes hier generell 2,5 m entsprach. Bei der Untersuchung der Wied wurden nur die Rauheitsbeiwerte des Unterlaufs bzw. des unteren Mittellaufs berücksichtigt, der überwiegend eine Breite größer gleich 10 m aufweist. Die Abschnitte fallen überwiegend in die Gewässergrößenklasse 10-20 m und >20 m. Einige Abschnitte im Bereich des 10-20 m breiten Laufes weisen aber auch nur eine Breite von 5-10 m auf. So wurden hier also die Sohlbreiten von 7,5, 15 und 25 m angenommen.

86 % der Querprofile im Erbachsystem sind tief oder sehr tief. Im unteren Wiedabschnitt sind dagegen 96 % der Querprofile mäßig flach bis sehr flach. Diesen Gegebenheiten wurde Rechnung getragen und Uferböschungen und Gewässertiefe dementsprechend konstruiert.

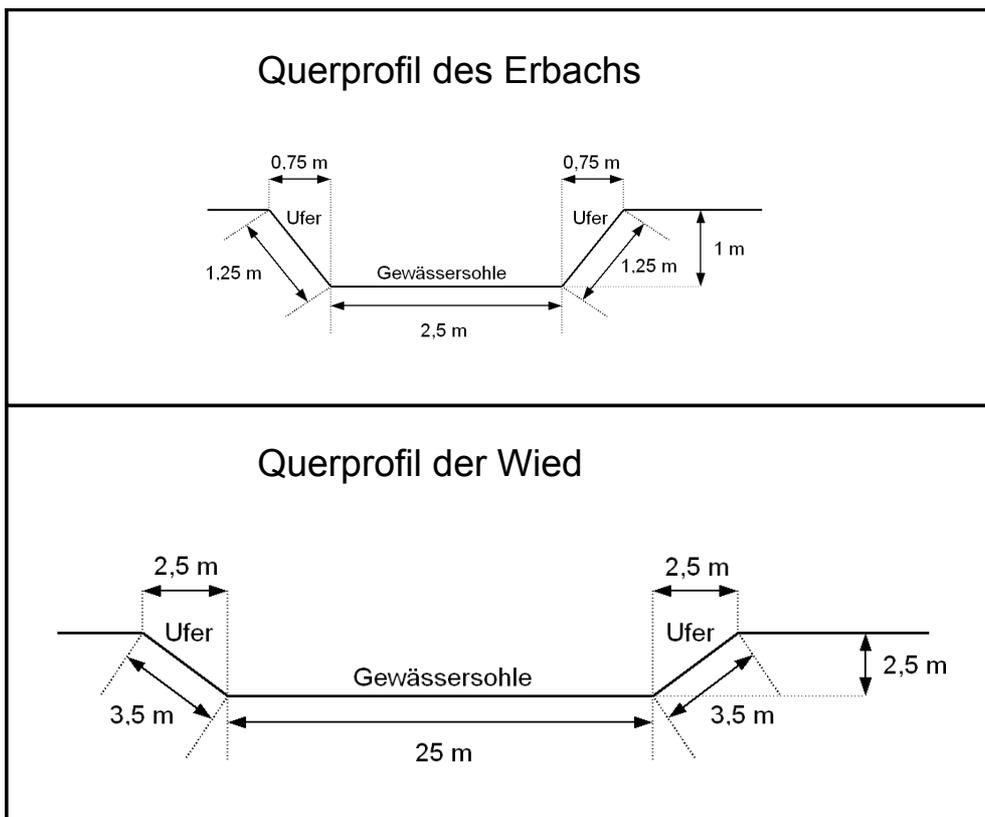


Abb. 18: Querprofile von Erbach und Wied

Im Erbachsystem wurde für die horizontale Breite je Ufer eine Länge von 0,75 m und eine Gewässertiefe von 1 m angenommen. Dabei ergibt sich eine (vertikale) Uferbreite von Uferoberkante bis Sohle von 1,25 Meter. An der Wied wurde sowohl für die horizontale Uferbreite als auch für die Gewässertiefe 2,5 m gewählt, so dass das Ufer von Uferoberkante bis Sohle rund 3,5 m lang ist (vergl. Abb. 18).

Das Tiefen-Breitenverhältnis (vergl. Tab. 18) beträgt damit am Erbach 1:4 (tief) und an der Wied 2,5:30 (sehr flach), 2,5:20 (flach) bzw. 2,5:12,5 (mäßig flach).

Tab. 18: Tiefen-Breitenverhältnisse

Profiltiefe	Tiefen-Breitenverhältnisse nach Kartieranleitung	Tiefen-Breitenverhältnisse an Erbach und Wied (konstruiert)
sehr tief	$\geq 1:3$	-
tief	$< 1:3$ bis 1:4	Erbach 1:4
mäßig flach	$< 1:4$ bis 1:6	Wied 2,5:12,5 bzw. 1:5
flach	$< 1:6$ bis 1:10	Wied 2,5:20 bzw. 1:8
sehr flach	$< 1:10$	Wied 2,5:30 bzw. 1:12

Der benetzte Umfang von Sohle, Ufer und Gewässerbett für das Erbachsystem und den unteren Wiedabschnitt liegt bei:

Tab. 19: Benetzter Umfang

	Erbachsystem	unterer Wiedabschnitt
l_b = Benetzter Umfang der Sohle	2.5 m	7.5, 15 und 25 m
l_u = Benetzter Umfang des Ufers	2.5 m	7 m
l_{ges} = Benetzter Umfang des Gewässerbettes	5 m	14.5, 22 und 29 m

Mit den Rauheitsbeiwerten n für Sohle und Ufergehölz/-vegetation, dem Zuschlag für die Uferunregelmäßigkeiten sowie dem Korrekturfaktor m für die Laufkrümmung lässt sich die Gesamtrauheit des Gewässerbettes je 100 m-Abschnitt über

$$n_F = \frac{(l_u * n_u^{1,5} + l_b * n_b^{1,5})^{2/3}}{l_{ges}^{2/3}} * m$$

berechnen (vergl. Abb. 5). Sohlensubstrat, Ufergehölz/-vegetation, Querprofilstyp und Laufkrümmung sind den Daten der Gewässerstrukturgütekartierung zu entnehmen. Die Rauheitsbeiwerte für Sohlensubstrat und Ufergehölz/-vegetation sind in den Tabellen 12, 13 und 14, die Zuschläge für die einzelnen Querprofile in folgender Tabelle 20 aufgeführt:

Tab. 20: Festlegung der Rauheitszuschläge in Abhängigkeit des Profiltyps

Profiltyp	Index		Unregelmäßigkeiten	Zuschlag n_{vz}	Zunahme von	
					Rauheit	Retention
Naturprofil	1	⇒	stark	0,015	↑	↑
annähernd Naturprofil	2	⇒	mäßig	0,008		
Erosionsprofil variierend	3	⇒	gering	0,003		
verfallenes Regelprofil	4	⇒	keine	0,000		
Erosionsprofil, tief	5					
(Doppel-)Trapezprofil	6					
V-Profil, Kastenprofil	7					

(Quelle: BAUER 2004, S. 156)

Als Korrekturfaktor m für den Einfluss der Laufkrümmung werden in gleichmäßiger Abstufung die Werte von 1,3 für mäandrierende bis 1,0 für geradlinige Fließgewässer gewählt (vergl. BAUER 2004, S. 27; HONECKER 2005, S. 92).

Zur Bestimmung des Rauheitsbeiwertes der Aue entlang des Gewässerabschnittes wurden ebenfalls die Gewässerstrukturgütedaten herangezogen. Dabei ging allerdings nur der Teil der Aue ein, der unmittelbar an das Fließgewässer grenzt und durch die Rasterzelle „über“ dem Gewässer abgedeckt wird. Die Flächennutzung weiterer möglicher Bereiche der Aue, die nicht durch diese Rasterzelle abgedeckt wurden, lieferten die ATKIS-Daten.

Bei der Gewässerstrukturgütekartierung wurde nicht nur die Flächennutzung in der Aue aufgenommen, sondern auch festgehalten, ob ein Gewässerrandstreifen direkt an ein Ufer des Fließgewässers angrenzt und wie breit dieser ist. Unterschieden wird dabei zwischen „Saumstreifen“ mit einer Breite von 2 bis 5 m, „ausgeprägter Gewässerrandstreifen“ mit 5 bis 20 m und „flächenhaft Wald oder Sukzession“ mit über 20 m Breite. Zur Rauheitsbestimmung der Aue wurden die Gewässerrandstreifen berücksichtigt, die zu über 50 % entlang der Ufer eines Abschnitts vorkommen. Als deren Breite ging hierbei die untere Klassengrenze der jeweiligen Randstreifen ein.

Bei der Rasteranalyse im Erbachsystem mit 20 m-Zellen erhielt Saumstreifen also 2 m, „ausgeprägter Gewässerrandstreifen“ 5 m und „flächenhaft Wald oder Sukzession“ 8 m – vier Meter nimmt das Gewässerbett pro Zelle ein und je acht Meter verbleiben für rechtes und linkes Ufer. Bei der Rasteranalyse des unteren Wiedabschnitts erhielt „flächenhaft Wald oder Sukzession“ 20 m. Dem Gewässerrandstreifen wurde die Nutzung Brache zugewiesen. Je nach Größe der Aue – im Erbachzugssystem häufiger als entlang des unteren Wiedabschnitts – tritt „flächenhaft Wald oder Sukzession“ meistens auch in Verbindung mit den Flächennutzungen Brache, naturnaher Biotop oder Wald auf. In diesen Fällen wurden diese Nutzungen dem Gewässerrandstreifen zugeordnet.

Ob nun ein Gewässerrandstreifen vorhanden war oder nicht, generell wurde je Gewässerseite die dominierende Flächennutzung berücksichtigt, d.h. die Nutzung, welche die Auenfläche zu über 50 % bedeckt.

Je Gewässerabschnitt wurde nun für die Aue aus den Rauheitsbeiwerten, die den Flächennutzungen und dem Gewässerrandstreifen entsprechen, ein flächengewichteter Mittelwert gebildet. Die Gesamtrauheit des Gewässer-Aue-Systems resultiert wiederum aus dem flächengewichteten Mittelwert von Gesamtrauheit der Aue und Gesamtrauheit des Fließgewässers je Gewässerabschnitt.

Für das Erbachsystem gilt:

Gesamtrauheit der Aue =

$$([\text{Breite der Aue linkes Ufer abzüglich Randstreifen}] * [\text{Rauheitsbeiwert n der Flächennutzung linkes Ufer}] + [\text{Breite der Aue rechtes Ufer abzüglich Randstreifen}] * [\text{Rauheitsbeiwert n der Flächennutzung rechtes Ufer}] + 0,0556 * [\text{Breite des Randstreifens linkes Ufer}] + 0,0556 * [\text{Breite des Randstreifens rechtes Ufer}]) / 16$$

Gesamtrauheit des Gewässer-Aue-Systems =

$$([\text{Gesamtrauheit n des Gewässers}] * 5 + [\text{Gesamtrauheit n der Aue}] * 16) / 21$$

Für den unteren Wiedabschnitt gilt:

Gesamtrauheit der Aue =

$$([\text{Breite der Aue linkes Ufer abzüglich Randstreifen}] * [\text{Rauheitsbeiwert n der Flächennutzung linkes Ufer}] + [\text{Breite der Aue rechtes Ufer abzüglich Randstreifen}] * [\text{Rauheitsbeiwert n der Flächennutzung rechtes Ufer}] + 0,0556 * [\text{Breite des Randstreifens linkes Ufer}] + 0,0556 * [\text{Breite des Randstreifens rechtes Ufer}]) / 200 - ([\text{Sohlbreite}] - 5)$$

Gesamtrauheit des Gewässer-Aue-Systems =

$$([\text{Gesamtrauheit n des Gewässers}] * ([\text{Sohlbreite}] + 7) + [\text{Gesamtrauheit n der Aue}] * (200 - ([\text{Sohlbreite}] - 5))) / 202$$

Anmerkungen:

1. Der Rauheitsbeiwert n der Brache beträgt $0,0556 \text{ s/m}^{1/3}$. Dieser Wert wird angesetzt, wenn der Gewässerrandstreifen 2 bzw. 5 m beträgt oder der Gewässerrandstreifen dem von „flächenhaft Wald oder Sukzession“ entspricht und die dominierende Flächennutzung nicht Wald oder naturnaher Biotop ist.
2. Der benetzte Umfang des Gewässerbettes beträgt $2,5 \text{ m} + 2 * 1,25 \text{ m} (= 5,0 \text{ m})$ beim Erbachsystem bzw. $\text{Sohlbreite} + 2 * 3,5 \text{ m}$ beim Wiedabschnitt. Die horizontale Ausdehnung von Gewässerbett und Ufer beträgt dagegen nur $2,5 \text{ m} + 2 * 0,75 \text{ m} (= 4,0 \text{ m}, \text{ Erbach})$ bzw. $\text{Sohlbreite} + 2 * 2,5 \text{ m}$ (Wied).

4.5 Zusammenführung der Rauheitsbeiwerte

Die Rauheitsbeiwerte des Gewässer-Aue-Systems wurden nun mit den Rauheitsbeiwerten der Landnutzungsformen des Einzugsgebietes verschnitten. Nachfolgende Abbildung 19 des dazu erstellten Geoprozessmodells gibt die Arbeitsschritte für das Erbachsystem wieder.

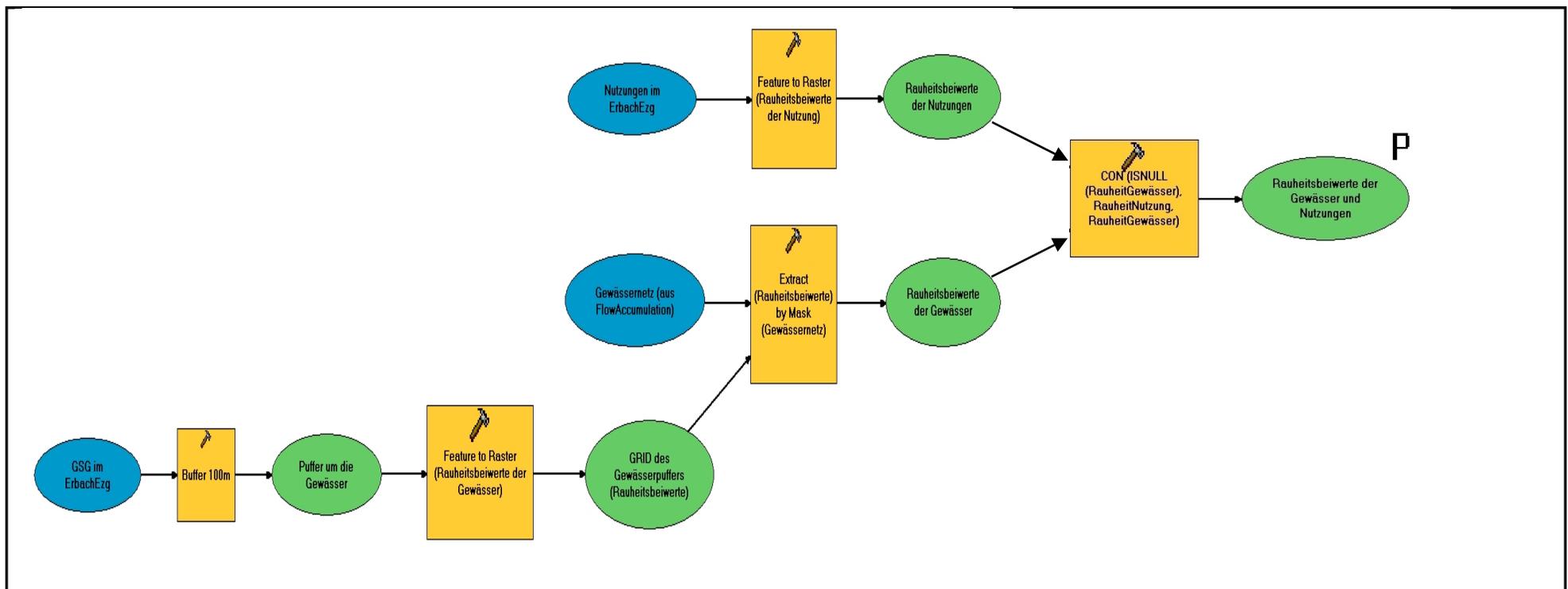


Abb. 19: Zusammenführung der Rauheitsbeiwerte für das Erbachsystem

Um die Fließgewässer herum wurde ein 100 m breiter Puffer angelegt und dieser Puffer in ein Raster umgewandelt – mit dem Rauheitsbeiwert als umzuwandelndes Attribut. Dieses Raster wurde dann mit einer Maske ausgeschnitten, die das Gewässernetz darstellt, das mit dem Tool Flow Accumulation ermittelt wurde. Dieses Gewässernetz basiert auf den Geländeverhältnissen – d.h. letztlich auf den Tiefenlinien, die durch die Bestimmung der Fließrichtungen gefunden wurden – und entspricht somit den wahren Gewässerläufen.

Die Rauheitsbeiwerte der Landnutzungsformen wurden ebenfalls in ein Raster überführt und dann mit den ausgeschnittenen Rauheitsbeiwerten des Gewässer-Aue-Systems überlagert. Priorität haben hierbei die Rauheitsbeiwerte des Gewässer-Aue-Systems. Die verwendete Bedingung `Con(ISNULL(RauheitGewässer), RauheitNutzung, RauheitGewässer)` besagt, dass nur wenn die Zellen des Gewässer-Aue-Systems keinen Wert haben (NoData bzw. Null) die Rauheitsbeiwerte der Landnutzung übernommen wird.

Für die Analyse des gesamten Wiedeinzugsgebiets konnten die Rauheitsbeiwerte des Fließgewässers direkt mit den Rauheitsbeiwerte der Landnutzungsformen überlagert werden. Der zu untersuchende Abschnitt der Wied ist in den ATKIS-Daten als Kategorie „Strom, Fluss, Bach“ aufgeführt – es handelt sich also um ein relativ breites Fließgewässer – und deckt sich mit dem Ergebnis der Flow Accumulation-Analyse. Eine Laufkorrektur war daher nicht nötig.

4.6 Durchführung der Ausbreitungsanalysen

Nach der Zusammenführung der Rauheitsbeiwerte erfolgte nun die Ausbreitungsanalyse (vergl. Abb. 20). Die Rasterwerte des dimensionslosen Gefälles wurden potenziert (mit 0,3) und dann deren Kehrwert gebildet. Die Rauheitsbeiwerte wurden ebenfalls potenziert (mit 0,6) und mit den reziproken Werten des potenzierten Gefälles multipliziert. Dieses Ergebnistraster ging schließlich als Gewicht in die Ausbreitungsanalyse (Flow Length) ein, wobei die Berechnung entgegengesetzt zur Fließrichtung erfolgte (mit der Option *downstream*).

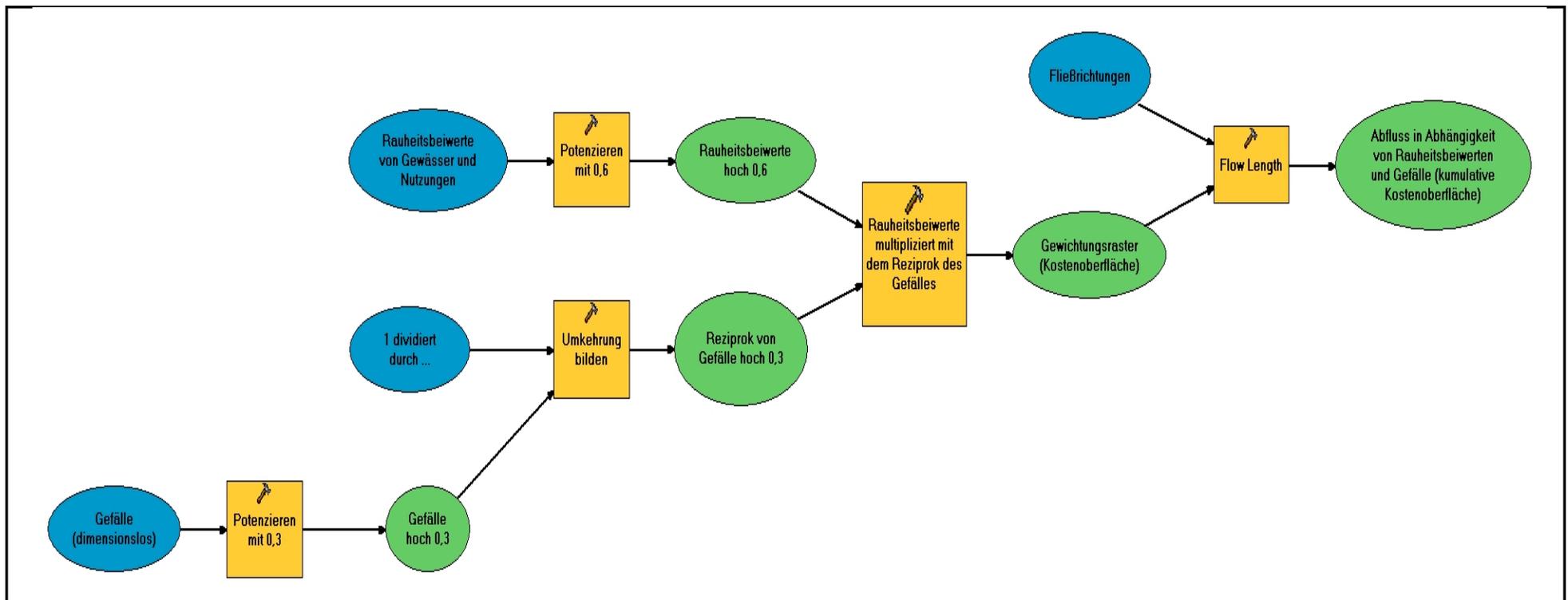


Abb. 20: Durchführung der Ausbreitungsanalyse

Das Endergebnis war ein Distanzflächendiagramm, deren Werte mit der berechneten Konzentrationszeit aus mittlerem Gefälle und mittlerem Rauigkeitsbeiwert in Relation gesetzt wurden. So konnten die Abflusszeiten für den Ist-Zustand und die Szenarien mit fiktiv verbesserten Abschnitten ermittelt werden.

Durch eine weitere Multiplikation des Produkts von Rauheitsbeiwerten und reziprokem Gefälle mit dem Faktor

$$\frac{T_{cE}}{Z_{maxL} * T_{cZ}} * \frac{x^{0,6}}{x} * \frac{6,92}{P^{0,4}} .$$

kann die Konzentrations- bzw. Abflusszeit direkt über die Ausbreitungsanalyse errechnet werden. Die in dieser Arbeit dargestellten Abflusszeiten des Erbach einzugs-systems beziehen sich auf die Konzentrationszeiten, die über Rauheitsbeiwerte, Gefälle sowie dem oben angeführten Faktor ermittelt wurden. Die dabei ermittelten Zeiten liegen aber etwas unter den Abflusszeiten, die über die Kalibrierung mit der Konzentrationszeit aus mittlerem Gefälle und mittlerem Rauigkeitsbeiwert abgeleitet wurden.

Bei den erstellten Rasterdatensätze handelt es sich stets um floating point-Raster. Aus Gründen der Performance wurde bei dem dargestellten Geoprozess zwischen Gewichtsraster und dem Tool Flow Length noch das Tool Integer eingeschaltet. Hierbei werden die Dezimalwerte (floating point) in Ganzzahlen (integer) umgewandelt. Flow Length kann zwar floating point-Raster verarbeiten, doch ohne diese Umwandlung stockte an dieser Stelle der Geoprozess. Um zwei Nachkommastellen im Distanz-flächenraster zu sichern, wurde das Gewichtsraster vorher zusätzlich mit dem Faktor 100 multipliziert.

Zur Darstellung des Abflusses als Graphen (Abflusskurve) wurden die Werte des Distanzflächendiagramms reklassifiziert und diese neue Klassenverteilung zur Weiter-verarbeitung mit EXCEL exportiert.

4.7 Fiktive Gewässerstrukturgüteverbesserungen

Die Verbesserung der Gewässerstrukturgüte erfolgte im Erbach einzugs-system an drei Abschnitten. An diesen wurde einmal beiderseits der Ufer ein ausgeprägter Gewässer-randstreifen, ein weiteres Mal ein naturnaher mäandrierender Lauf und ein naturnahes Querprofil (Naturprofil) inklusive natürlicher Sohle und Erlengalerien entlang der Ufer angenommen. Ein drittes Mal wurde ein „optimaler“ Zustand angesetzt, also ein mäandrierender Lauf, ein Naturprofil mit natürlicher Sohle und Erlengalerien sowie ausgeprägte Randstreifen zu beiden Seiten des Gewässers.

Eine Veränderung allein des Querprofils oder eine alleinige Aufwertung der Ufer durch Gehölzbepflanzung ist durchaus denkbar. Eine alleinige Veränderung des Laufes ohne

Aufwertung von Querprofil und Ufer dürfte in der Realität dagegen nicht vorkommen, da bei einer solchen Maßnahme auch stets das Querprofil einschließlich Ufer umgestaltet wird. Bei solchen Renaturierungsmaßnahmen sollten neben der Laufkrümmung auch Querprofil und Ufer naturnah gestaltet werden. In dieser Arbeit wurde daher auch von Verbesserungen allein von Ufer oder Querprofil abgesehen.

Im Unterlauf/unteren Mittellauf der Wied wurde eine stetige Verbesserung der Gewässerstrukturgüte unter fortschreitender Sukzession und Selbstregulierung des Fließgewässers angenommen. Diese Entwicklung vollzieht sich in vier Stadien:

1. Nach Ausweisung eines Randstreifens kommt es zu Sukzession (Brache wurde hier also angesetzt, $k_{st} = 19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). Wo noch kein Wald, naturnahe Biotope oder Brache vorkommt (oder nur ein schmaler Randstreifen vorhanden ist) kommen 20 m Randstreifen dazu.
2. Nun setzt die Selbstregulierung des (verbauten) Fließgewässers ein. Aus einem Regelprofil (Bewertung 7) entwickelt sich ein verfallendes Regelprofil (Bewertung 4) und weiter ein variierendes Erosionsprofil (Bewertung 3). Hier wurde zunächst verfallendes Regelprofil (Rauheitsbeiwert-Zuschlag von $0,003 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) für alle Abschnitte angenommen, die bisher Regelprofil sind – bessere Querprofile behalten ihren Zuschlagswert. Zudem entwickeln sich an beiden Ufern Gehölze ($k_{st} = 15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).
3. Die Selbstregulierung ist soweit fortgeschritten, dass durchgängig ein variierendes Erosionsprofil vorzufinden ist. An beiden Ufern wachsen nun Gehölze und innerhalb der Randstreifen stockt (Au-)Wald ($k_{st} = 15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) – hierbei werden jetzt auch die Flächen berücksichtigt, die vorher als Brache und als naturnahe Biotope im Gewässerumfeld kartiert und ausgewiesen waren. Darüber hinaus wird auch eine Verbrachung der Auenflächen außerhalb der Randstreifen angenommen ($k_{st} = 19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). Eine Laufveränderung findet durch die Selbstregulierung kaum statt, da die Wied ein Mäandertalgewässer ist und damit eine naturnahe Laufkrümmung hat. Der Faktor m bleibt bei 1,3.
4. Auf den brach gelassenen Flächen der Aue entwickelt sich nach und nach ein Auwald. Die gesamte Auenfläche wird nun mit $k_{st} = 15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ bewertet und die Querprofile verbessern sich zu (annähernd) Naturprofilen.

Zum Abschluss wurden sowohl im Erbach einzugsgebiet als auch im gesamten Unterlauf/unteren Mittellauf der Wied ein potentiell natürlicher Zustand der Fließgewässer (mäandrierender Lauf, Naturprofil, natürliche Sohle, Ufer und Aue mit Erlbruch bestockt) außerhalb der Ortslagen angenommen. In allen Fällen wurde dann nach der Aufwertung der Gewässerstrukturgüte der Abfluss aus dem Einzugsgebiet ermittelt.

Die unterschiedlichen Vorgehensweisen zur Ermittlung der Abflusszeiten in den Einzugsgebieten von Erbach und Wied werden in nachfolgender Tabelle 21 gegenübergestellt.

Tab. 21: Unterschiedliche Vorgehensweise zur Ermittlung der Abflusszeiten

	Erbach	Wied
Situation	kleine Fließgewässer, schmale Auen	großes Fließgewässer, überwiegend breite Aue
Methode		
Untersuchungsraum	gesamtes Erbach-einzugsgebiet	gesamtes Wiedeinzugsgebiet
Rasterauflösung	20 m	200 m
Berücksichtigung der Gewässerstrukturgütedaten	von allen kartierten Fließgewässer des Einzugsgebietes	nur die Abschnitte der Wied zwischen Flusskilometer 0 bis 70,2
Einbezug des Gefälles	Geländegefälle	Geländegefälle und Sohlgefälle
fiktive Gewässerstrukturgüteverbesserungen	durch Gewässerrandstreifen-ausweisung und Renaturierung	durch Sukzession und Eigenentwicklung des Gewässers (nach einer Gewässerrandstreifen-ausweisung)
Berechnung der Abflusszeit	direkt über die Ausbreitungsanalyse unter Verwendung der Formel $T_{c\ erw.}$	über die Kalibrierung von Distanzflächendiagrammen mit Konzentrationszeiten

5. Ergebnisse

5.1 Erbach einzugs systems

5.1.1 Charakterisierung

5.1.1.1 Form, Größe, Länge, Gefälle

Das Einzugsgebiet des Erbachs besitzt eine kompakte, fast runde oder fächerähnliche Form. Es untergliedert sich in die Teileinzugsgebiete des Driescheiderbaches bzw. Heupelzerbaches im Westen, das des Soertherbaches im Osten und das des dazwischenliegenden Erbachs. Während die Gebiete des Driescheiderbaches und des Soertherbaches eher länglich sind und ähnliche Flächengrößen (8,9 km² bzw. 9,5 km²) besitzen, zeigt das 1,6- bis 1,7-fach größere Teileinzugsgebiet des Erbachs einen pilzförmigen Umriss.

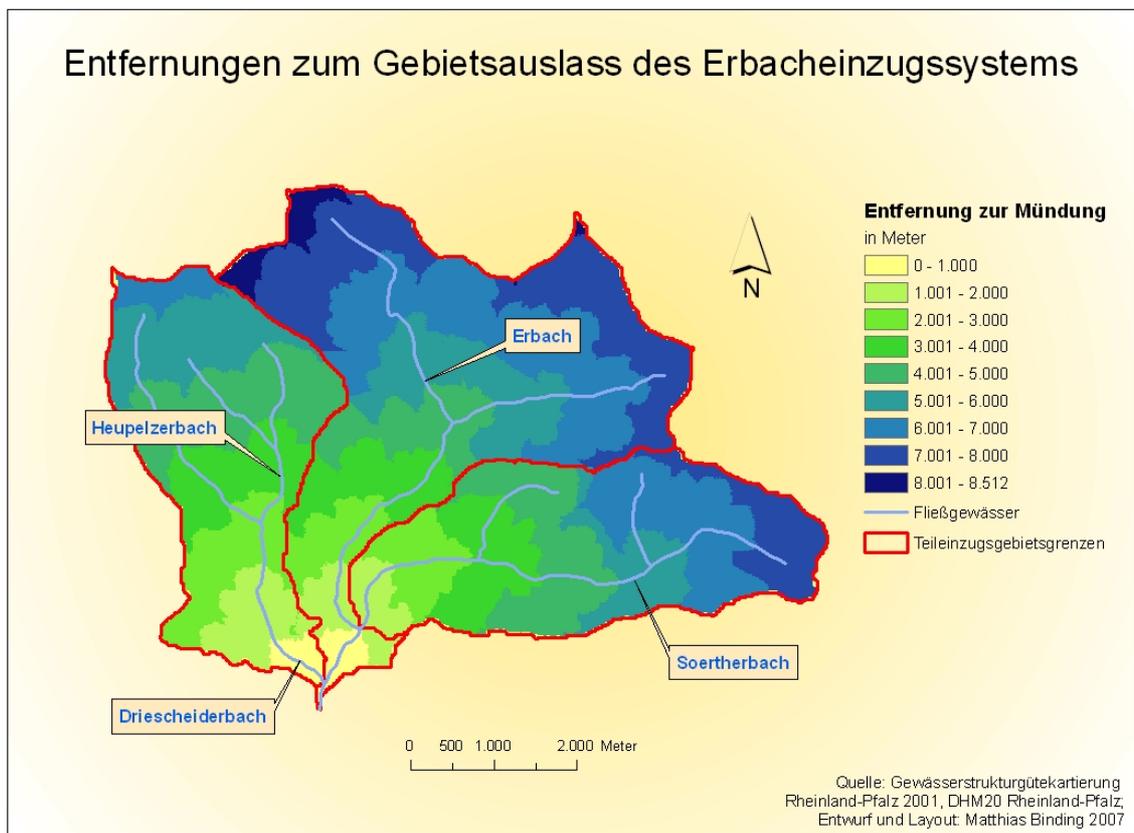


Abb. 21: Entfernungen zum Gebietsauslass des Erbach einzugs systems

Die Fließlängen der Bäche sind aus dem Distanzflächendiagramm ablesbar, dass mittels Ausbreitungsanalyse ohne Gewichtung berechnet wurde (vergl. Abb. 21). Die maximale Fließlänge von der Wasserscheide bis zum Gebietsauslass beträgt im Teileinzugsgebiet des Erbachs 8,512 km, die im Gebiet des Driescheiderbaches 6,9 km und die im Gebiet des Soertherbaches 8,0 km. Von der Wasserscheide bis zur Mündung in den Erbach legt der Driescheiderbach 6,6 km und der Soertherbach 7,0 km zurück.

Die Gefälleunterschiede sind in den Gebieten des Driescheiderbaches (Westen) und des Soerterbaches (Osten) etwa gleich groß mit maximalen Steigungen von 42,0 % bzw. 41,33 % und arithmetischen Mittelwerten von 8,31 % bzw. 8,93 % (vergl. Tab. 22). Im Teileinzugsgebiet des Erbachs kommen Gefälle bis zu 63,28 % vor und der arithmetische Mittelwert liegt bei 9,20 %.

Tab. 22: Gefälle im Einzugsgebiet des Erbachs

Gefälle	im gesamten Einzugsgebiet	im westlichen	im zentralen	im östlichen
		Teileinzugsgebiet		
	Angaben in Prozent			
Arithmetischer Mittelwert	8,92	8,31	9,20	8,93
Standardabweichung	4,92	4,17	5,55	4,31
Maximum	63,28	42,0	63,28	41,33
Minimum	0,88	0,88	0,88	0,88

5.1.1.2 Flächennutzung

Die dominierende Landnutzungsform im Einzugsgebiet des Erbachs ist Grünland mit 34,3 % der Gebietsfläche (vergl. Tab. 23 und Abb. 24). Knapp dahinter folgt allerdings schon Ackerbau mit 30,7 % und Wald- bzw. Forstflächen nehmen 23,7 % der Fläche ein. Bei dem Untersuchungsgebiet handelt es sich also, im Gegensatz zum Wiedereinzugssystem, um ein landwirtschaftlich geprägtes Gebiet. Im gesamten Wiedereinzugsgebiet überwiegen – wie erwähnt – die Wald- bzw. Forstflächen mit einem Flächenanteil von fast 43 %.

Die prozentualen Anteile der Flächennutzungen im zentralen und im östlichen Teileinzugsgebiet sind denen im gesamten Erbachsystem ähnlich. Im westlichen Teileinzugsgebiet liegt der Flächenanteil an Ackerland mit 42,4 % sogar noch vor dem von Grünland. Die Wald- bzw. Forstflächen nehmen gerade einmal 16,0 % der Teilgebietsfläche ein und sind damit nur etwas stärker vertreten als die baulich geprägten Flächen (mit 10,3 %).

Tab. 23: Flächennutzung im Einzugsgebiet des Erbachs

Flächennutzung	im gesamten Einzugsgebiet	im westlichen	im zentralen	im östlichen
		Teileinzugsgebiet		
	Angaben in Prozent			
Ackerland	30,7	42,4	25,9	27,1
Grünland	34,3	31,0	35,7	35,3
Wald, Forst, Gehölz	23,7	16,0	26,1	27,1
baulich geprägte Flächen	10,3	10,3	11,2	9,0
Siedlungsfreiflächen	0,6	0,2	0,3	1,3
Grünanlage	0,1	0,0	0,3	0,01
Verkehrsflächen	0,1	0,0	0,3	0,0
Wasserflächen	0,1	0,05	0,3	0,2
Fläche insgesamt	33,26 km ²	8,86 km ²	14,90 km ²	9,54 km ²

5.1.1.3 Abfluss

Die Ganglinie des direkten Abflusses, die sich für einen fiktiven Blockniederschlag von 10 mm/m² über der derzeitigen Landnutzung und der derzeitigen Gewässerstrukturgüte des Gesamteinzugsgebietes ergibt, zeichnet sich durch eine Kurve mit drei ausgeprägten Abflussspitzen aus (vergl. Abb. 22). Bezugspunkt ist hierbei – und bei allen folgenden Abflusskurven des Gesamteinzugsgebietes sowie aller Teileinzugsgebiete – der Gebietsauslass in Altenkirchen, an der Mündung in die Wied.

Mit steigender Abflussdauer nimmt die Abflussmenge dieser Peaks zu. So erreicht der erste Peak bei 50 Minuten einen Wert von rund 1700 m³, der zweite bei 105 Minuten einen Wert von etwas über 2.500 m³ und der dritte Peak besitzt bei 180 Minuten einen Wert von ca. 3.000 m³. Insgesamt dauert der Abfluss des anfallenden Niederschlags 225 Minuten bzw. 3,75 Stunden.

Diese Ganglinie setzt sich aus den Abflusskurven der einzelnen Teileinzugsgebiete zusammen (vergl. Abb. 22). Dabei erreicht der Abfluss des westlichen Teileinzugsgebietes eine Minute und der Abfluss des östlichen Teileinzugsgebietes 30 Minuten nach dem Niederschlagsende bzw. dem Abflussbeginn den Gebietsauslass in Altenkirchen.

Die Abflusskurve im westlichen Teileinzugsgebiet weist zwei ausgeprägte Abflussspitzen bei 50 und bei 105 Minuten mit rund 1.200 bzw. 1.250 m³ auf und der Abfluss dauert nur rund 168 Minuten (2,8 Stunden). Die Abflusskurve aus dem östlichen Teileinzugsgebiet zeigt bei etwa 80, bei 120 und bei 195 Minuten markante Gipfel mit 500, 1.000 und 1.200 m³ Niederschlagsabfluss. Die Abflussdauer beträgt hier rund 185 Minuten (ca. 3,1 Stunden). Die Abflusskurve des zentralen Teileinzugsgebietes –

also das des Erbachs selbst – zeichnet sich durch eine ansteigende, undulierende Ganglinie aus, die bei 180 Minuten mit einem Abfluss von rund 2.300 m³ gipfelt, um dann wieder rapide abzufallen und bei 225 Minuten (3,75 Stunden) zu enden.

Der direkte Abfluss aus dem westlichen Teileinzugsgebiet trägt also maßgeblich zu dem ersten Peak des Abflusses aus dem Gesamteinzugsgebiet bei. An dem zweiten, breiten Gipfel des Gesamtabflusses sind alle drei Teileinzugsgebiete beteiligt. Dabei verlagert sich der Beitrag mengenmäßig abnehmend und zeitlich ansteigend vom westlichen über das östliche zum zentralen Gebietsabfluss. An der dritten Abflussspitze sind nur das zentrale und das östliche Teileinzugsgebiet beteiligt. Nach einem fiktiven Blockniederschlag ist der gesamte Abfluss aus dem westlichen Teileinzugsgebiet zu dem Zeitpunkt schon abgeflossen, wenn der dritten Peak des Gesamtabflusses ansteigt. Der Abfluss aus dem zentralen Gebiet ist hierbei annähernd doppelt so hoch wie der aus dem östlichen Gebiet.

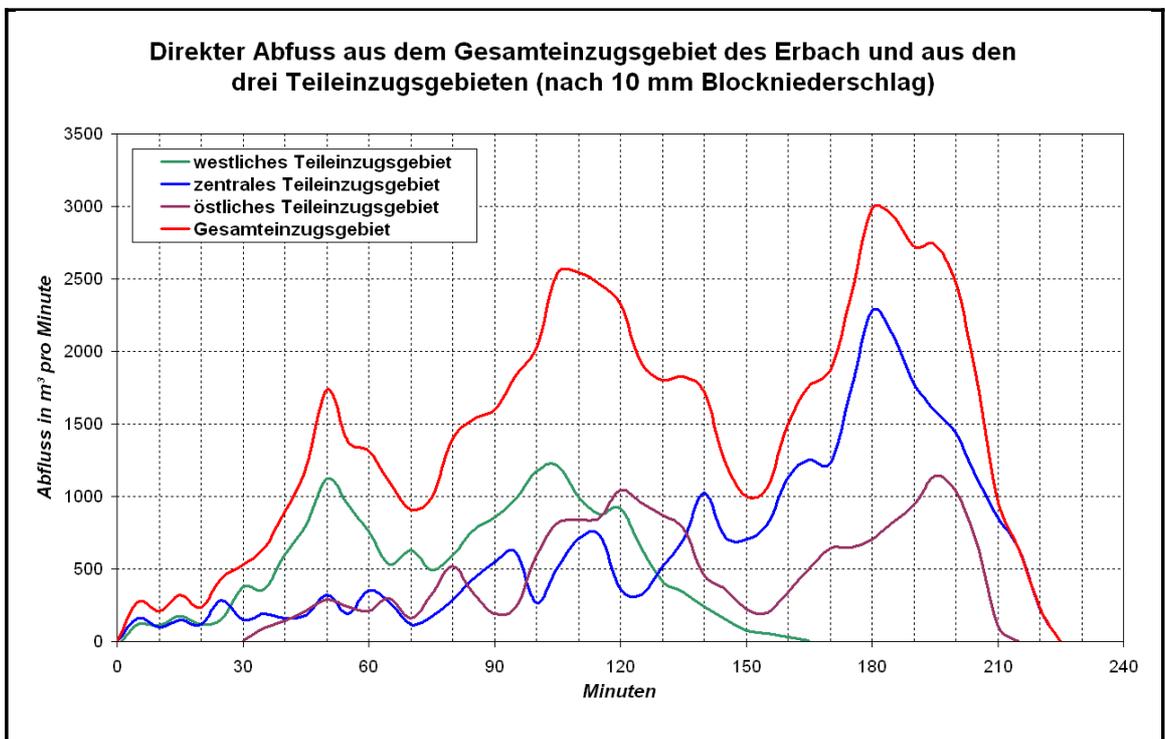


Abb. 22: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs bei derzeitiger Nutzung und Gewässerstrukturgüte

Die Abflusskurven wurden aus den Distanzflächendiagrammen der Ausbreitungsanalyse mit entsprechendem Gewichtungsraster ermittelt. Nachfolgend ist das Distanzflächendiagramm für den derzeitigen Zustand der Gewässer im Erbacheinzugsgebiet dargestellt, wobei die Distanzflächen die Abflusszeiten wiedergeben.

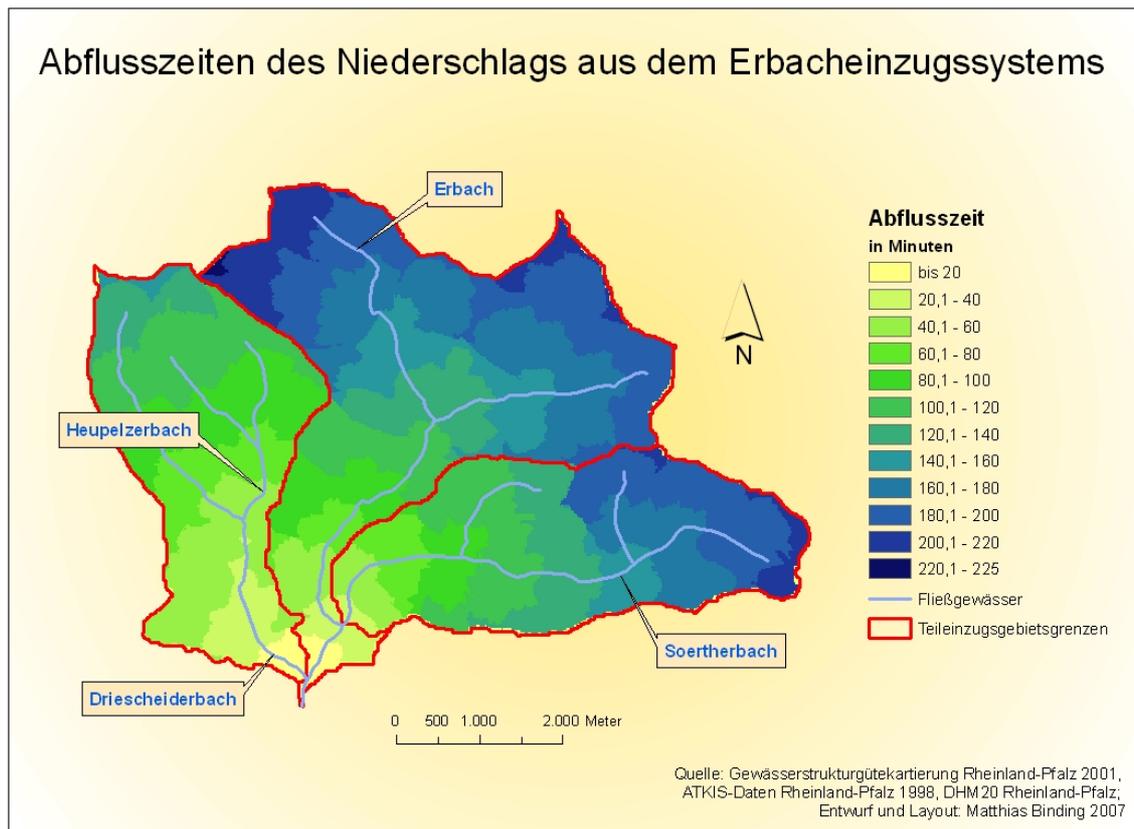


Abb. 23: Abflusszeiten des Niederschlags(100 mm/m²) aus dem Erbach einzugsgebiet

5.1.1.4 Gewässerstrukturgüte

Das Fließgewässernetz im Erbach einzugsgebiet umfasst eine Länge von insgesamt 29,9 km. Da bei der landesweiten Aufnahme nur Gewässer ab einer Breite von größer gleich einem Meter berücksichtigt wurden, gingen rund die Hälfte dieser Strecke (14,6 km) in die Gewässerstrukturgütekartierung ein.

Naturnahe oder bedingt naturnahe Gewässerabschnitte (Strukturgüteklasse 1 bzw. 2 in der Gesamtbewertung) sind im Erbach einzugsgebiet nicht vertreten (vergl. Tab. 24). Die meisten kartierten Gewässersegmente weisen eine Gesamtbewertung zwischen 4 und 6 auf, wobei fast zwei Drittel der Abschnitte als merklich bis übermäßig geschädigt eingestuft wurden (Strukturgüteklasse 5 bis 7).

Die Laufkrümmung ist bei den meisten Abschnitten ungekrümmt (Index größer gleich 4). Der überwiegende Anteil der Abschnitte (rund 63 %) besitzt einen mäßig bis deutlich beeinträchtigten Profiltyp (Index 3 bzw. 4), 37 % einen geschädigten Profiltyp. Hinsichtlich des Uferbewuchses sieht es im Erbach einzugsgebiet etwas besser aus. Ein Viertel (26 %) der Gewässerabschnitte weisen einen naturnahen oder bedingt naturnahen Uferbewuchs auf. Fast 59 % besitzen immerhin noch einen (nur) beeinträchtigten (Index 3 bis 4) und nur 13 % einen geschädigten, d.h. unnatürlichen oder fehlenden Uferbewuchs (Index 5 bis 7).

Tab. 24: Verteilung der Gewässerstrukturgüte im Einzugsgebiet des Erbachs

Strukturgüte-Index	Laufkrümmung	Profiltyp	Uferbewuchs	Gesamtbewertung
	Anzahl der Gewässerabschnitte			
1	1	0	4	0
2	1	0	35	0
3	3	64	35	14
4	6	28	51	46
5	47	0	12	41
6	79	6	4	40
7	7	46	3	5
Summe	144	144	144	146

Sohlenverbau kommt in 28 Gewässerabschnitten vor und ein Abschnitt besitzt eine unnatürlich verschlammte Sohle. Bei zwei Segmenten handelt es sich um Sonderfälle (überstauter Bereich/Teich) bei denen die Einzelparameter nicht erhoben werden konnten. In der Gesamtbewertung erhielten sie die Strukturgüte 7.

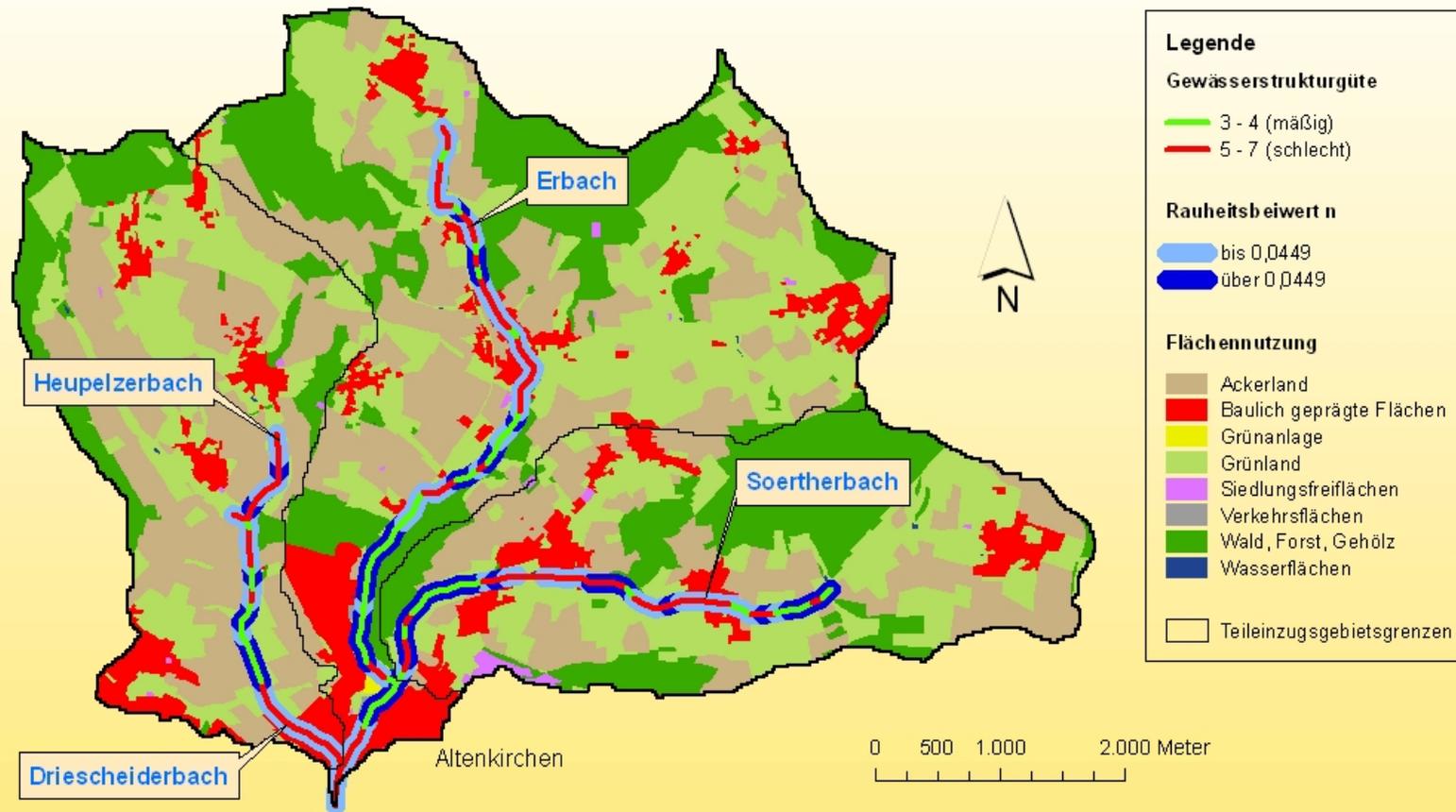
5.1.2 Lokalisierung der Testabschnitte zur fiktiven Gewässerstrukturgüteverbesserung

Zur Untersuchung der Wirkung von Gewässerstrukturgüteveränderungen auf die Hochwasserwelle boten sich die Abschnitte an, die eine schlechte Strukturgütbewertung aufweisen und an denen damit ein großes Renaturierungspotential vorliegt. Ortslagen sind dabei nicht in Betracht zu ziehen, da dort nur selten die Möglichkeit besteht, Flächen für Renaturierungsmaßnahmen bereitzustellen.

Als Teststrecken für fiktive Verbesserungsmaßnahmen kamen daher die als merklich bis übermäßig geschädigt eingestuften Gewässerabschnitte in der freien Landschaft in Frage (mit einer Bewertung zwischen 5 und 7). Im Falle des Erbacheinzugsystems sind das der Oberlauf des Erbachs, der Mittellauf des Soerterbaches und der Mündungsbereich des Heupelzerbaches in den Driescheiderbach (vergl. Abb. 24).

Der schlechte Zustand der Gewässer hinsichtlich der Gewässerstrukturgüte drückt sich auch an der unterdurchschnittlichen Rauigkeit dieser Abschnitte aus (s. nachfolgende Abbildung). Ein Großteil der geschädigten Segmente besitzt einen Rauheitsbeiwert der unter dem Mittelwert aller 100 m-Abschnitte von $0,0449 \text{ s/m}^{1/3}$ liegt. Umgekehrt besitzen viele der „nur“ beeinträchtigten Abschnitte Rauheitsbeiwerte über $0,0449 \text{ s/m}^{1/3}$.

Zusammenhang zwischen Gewässerstrukturgüte und Rauigkeit



Quelle: ATKIS-Daten Rheinland-Pfalz 1998, Gewässerstrukturgütekartierung Rheinland-Pfalz 2001; Entwurf und Layout: Matthias Binding 2007

Abb. 24: Ermittlung von möglichen Renaturierungsstrecken

Die Einzelparameter Laufkrümmung, Profiltyp, Uferbewuchs, Sohlensubstrat, Gewässerrandstreifen und Flächennutzung werden sowohl zur Ermittlung der Gewässerstrukturgüte als auch zur Ermittlung des Rauheitsbeiwertes herangezogen. Eine Parallelität zwischen Rauheitsbeiwert und Gewässerstrukturgüte kann daher nicht verwundern. Andere Gewässerstrukturgüteparameter haben aber ebenfalls einen Einfluss auf die Gesamtrauhigkeit des Gewässers, gehen aber bei der Rauheitsbeiwertermittlung nicht ein. Die Übereinstimmung zwischen Rauheitsbeiwert und Strukturgüte bringt daher zum Ausdruck, dass die Berücksichtigung der sechs genannten Einzelparameter zu plausiblen Ergebnissen bei der Ermittlung des Rauheitsbeiwertes des Gewässer-Aue-Systems und damit zur Retention führt.

5.1.3 Testabschnitt im zentralen Teileinzugsgebiet

Zur Untersuchung der Auswirkungen von Gewässerstrukturgüteveränderungen auf den Abfluss wurde aus jedem der drei Teileinzugsgebiete des Erbachsystems ein Testabschnitt herausgesucht und dort fiktive Strukturgüteverbesserungen durchgeführt.

Der Abschnitt im zentralen Teileinzugsgebiet (vergl. Abb. 25) – also am Erbach selbst – umfasst einem 2,8 km langen Streckenabschnitt ab dem Gewässerkilometer 4,3 bis einschließlich Kilometer 7,0, der hinsichtlich der gewässerstrukturellen Gesamtbewertung als überwiegend merklich bis stark geschädigt eingestuft wurde (Index 5 und 6).

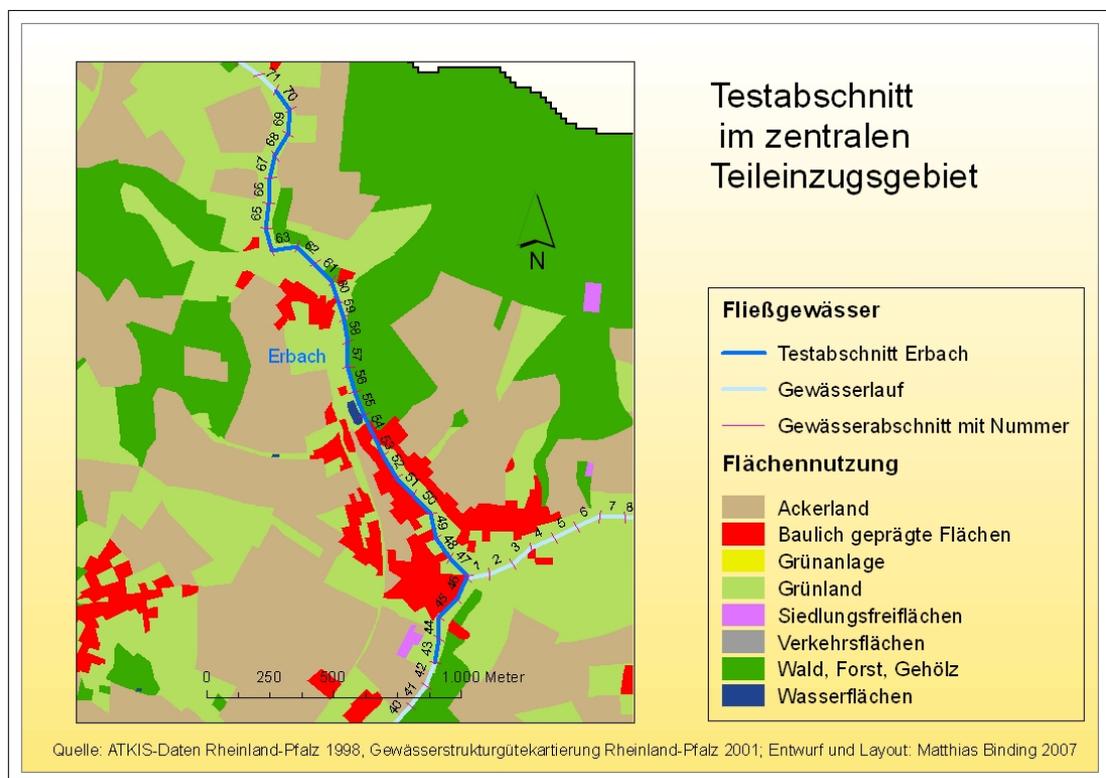


Abb. 25: Testabschnitt am Erbach im zentralen Teileinzugsgebiet

Dieser Untersuchungsabschnitt lässt sich hinsichtlich der kartierten Gewässerstruktur-
güteparameter, die bei der Abflussermittlung berücksichtigt wurden, wie folgt charak-
terisieren. Der gesamte Abschnitt zeichnet sich durch einen ungekrümmten Lauf aus
(vergl. Tab. 25). Drei Viertel der Querprofile der Untersuchungstrecke ist ausgebaut,
wobei rund ein Viertel der Profile im Verfall begriffen ist. An über 80 % des linken und
an über 90 % des rechten Ufers stocken keine bodenständigen Gehölze und Rand-
streifen existieren fast gar nicht. Nur an 400 m des linken und an 100 m des rechten
Ufers ist ein Randstreifen vorhanden. Eine auentypische bzw. auenverträgliche Vege-
tation ist ebenfalls kaum vorhanden. Wald, naturnahe Biotop oder Brache kommen
entlang des rechten Ufers überhaupt nicht und entlang des linken Ufers wenigstens auf
rund einem Viertel vor.

Tab. 25: Gewässerstrukturgütebewertung des zentralen Testabschnitts

Zentraler Abschnitt		
<i>Gewässerstrukturgüte- parameter</i>	<i>Kriterium</i>	<i>betroffene Strecke insgesamt/ Prozent- anteil des Abschnitts</i>
Laufkrümmung	Bewertung > 3	2,8 km / 100,0 %
Querprofil	Bewertung = 4, 6 oder 7	2,1 km / 75,0 %
Querprofil	Bewertung = 7	1,5 km / 53,6 %
Sohlenverbau		0,3 km / 10,7 %
Sohlensubstrat	Bewertung = 7	0,1 km / 3,5 %
Uferbewuchs	Bewertung > 3	2,3 km / 82,1 %
Uferbewuchs linkes Ufer	ohne bodenständige Ufergehölze	2,3 km / 82,1 %
Uferbewuchs rechtes Ufer	ohne bodenständige Ufergehölze	2,6 km / 92,9 %
Randstreifen linkes Ufer	< 2 m	2,4 km / 85,7 %
Randstreifen rechtes Ufer	< 2 m	2,7 km / 96,4 %
Flächennutzung linkes Ufer	ohne Brache, naturnahen Biotopen, bodenständigem oder nicht bodenständigem Wald	2,2 km / 78,6 %
Flächennutzung rechtes Ufer	ohne Brache, naturnahen Biotopen, bodenständigem oder nicht bodenständigem Wald	2,8 km / 100 %

Tab. 26: Erläuterungen zu den Bewertungen

Laufkrümmung	Bewertung > 3 umfasst alle ungekrümmten Gewässersegmente mit geradlinigem bis leicht geschwungen Lauf
Querprofil	Bewertung 4 umfasst Gewässersegmente mit alten, verfallenden Regelprofilen Bewertung 5 definiert tiefe unnatürliche Erosionsgerinne (kommen hier nicht vor) Bewertung 6 und 7 umfasst alle, technisch ausgebauten Abschnitte (Regelprofile)
Uferbewuchs	Bewertung > 3 umfasst alle Gewässersegmente, die nicht mindestens teilweise bodenständigen Wald oder teilweise bodenständige Galerie auf beiden Ufern oder an einem Ufer bodenständige Galerie und am anderen Ufer bodenständige Einzelgehölze oder Krautflur aufweisen. Abschnitte, an denen naturbedingt keine Gehölze gedeihen, werden in der Gewässerstrukturgüte wie Wald mit dem Index 1 bewertet.
Sohlensubstrat	Bewertung = 7 umfasst alle unnatürlich verschlammten Gewässersegmente

An einem Großteil der Gewässersegmente kann hier also eine Verbesserung in der Gewässerstrukturgüte fiktiv durchgeführt werden. Der ausgewählte Abschnitt befindet sich zwar z.T. in Ortslage, es dürfte aber genügend Platz für Renaturierungsmaßnahmen im Talraum zwischen der Bebauung zur Verfügung stehen.

Entlang des ausgewählten Abschnitts des zentralen Teileinzugsgebiets wurden nun – so wie an den anderen beiden Testabschnitten auch – drei fiktive Maßnahmen zur Verbesserung des Gewässers und/oder des Gewässerumfeldes angenommen. Das waren erstens die Ausweisung eines Gewässerrandstreifens (mit R gekennzeichnete Kurve), zweitens eine Gewässerrenaturierung mit Herstellung eines naturnahen Laufes und naturnahem Querprofil inklusive naturnaher Sohle und Erlengalerien an beiden Ufern (mit LQU gekennzeichnet) und drittens die Kombination aus Randstreifen-ausweisung und Renaturierung (mit LQUR gekennzeichnet).

Im Folgenden werden unter Renaturierung die Bau- und Pflanzmaßnahmen verstanden, die zu einer Verbesserung der Gewässerstrukturgüte führen.

Anmerkung zu den Abkürzungen in den folgenden Abbildungen der Abflusskurven:

L = Lauf mäandrierend,

Q = Querprofil naturnah,

U = linkes und rechtes Ufer mit Erlengalerien bestockt,

R = brachliegende Randstreifen beiderseits des Gewässers

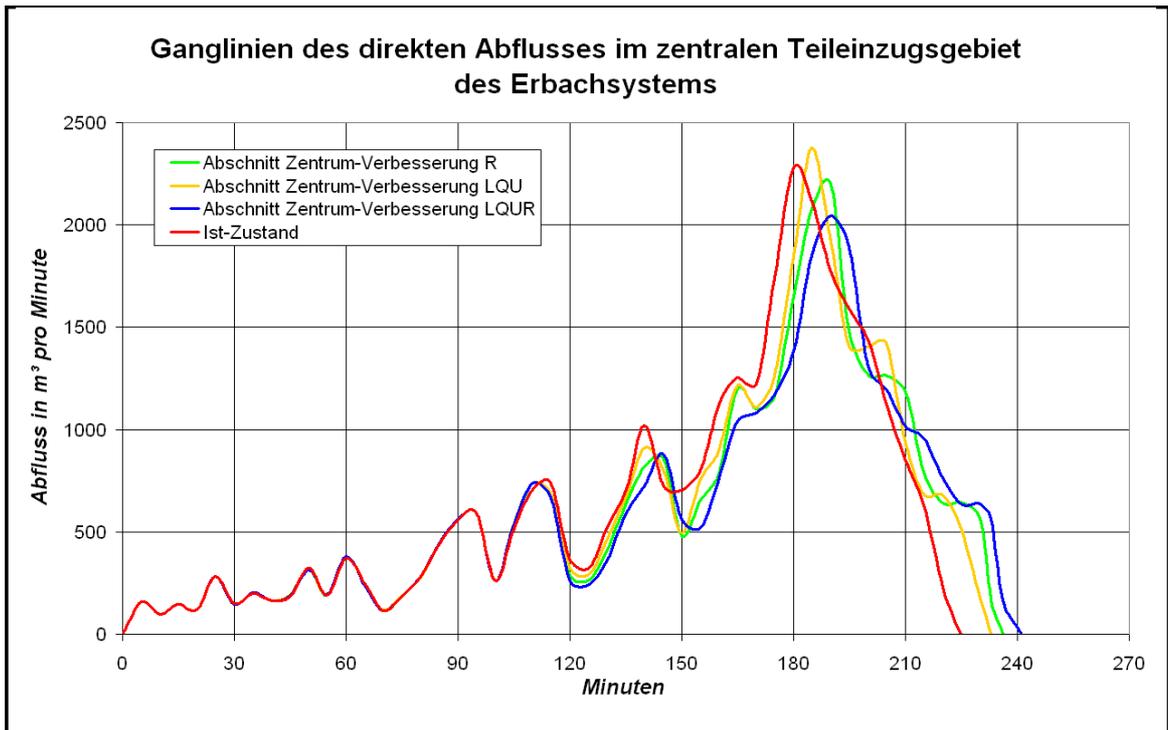


Abb. 26: Direkter Abfluss aus dem zentralen Teileinzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im zentralen Teileinzugsgebiet

Die Abflusskurven aus dem separat betrachteten, zentralen Teileinzugsgebiet zeigen, dass alle drei Maßnahmen gegenüber dem Ist-Zustand eine Dämpfung der Abflussspitzen – etwa ab der 110. Minute – und eine zeitliche Verzögerung des Abflusses bewirken (vergl. Abb. 26). Eine Ausnahme bilden die reinen Gewässerrenaturierungsmaßnahmen. Hier kommt es beim Spitzenabfluss in der 180. Minute zwar zu einer Verzögerung, aber auch zu einer Anhebung des Abflusses um rund 100 m³/min. Der Rückhalt des Abflusses – also die Retention – nimmt von den reinen Gewässerrenaturierungsmaßnahmen über die reine Randstreifenanweisung bis hin zu der Kombination aus Randstreifenanweisung und Renaturierung deutlich zu. Allein durch Renaturierungsmaßnahmen wird der Abfluss aus dem Teileinzugsgebiet von 225 auf 233 Minuten (um 3,6 %), durch reine Randstreifenanweisung von 225 auf 237 Minuten (um 5,3 %) und durch eine Kombination beider Maßnahmen von 225 auf 241 Minuten (um 7,1 %) zeitlich verzögert.

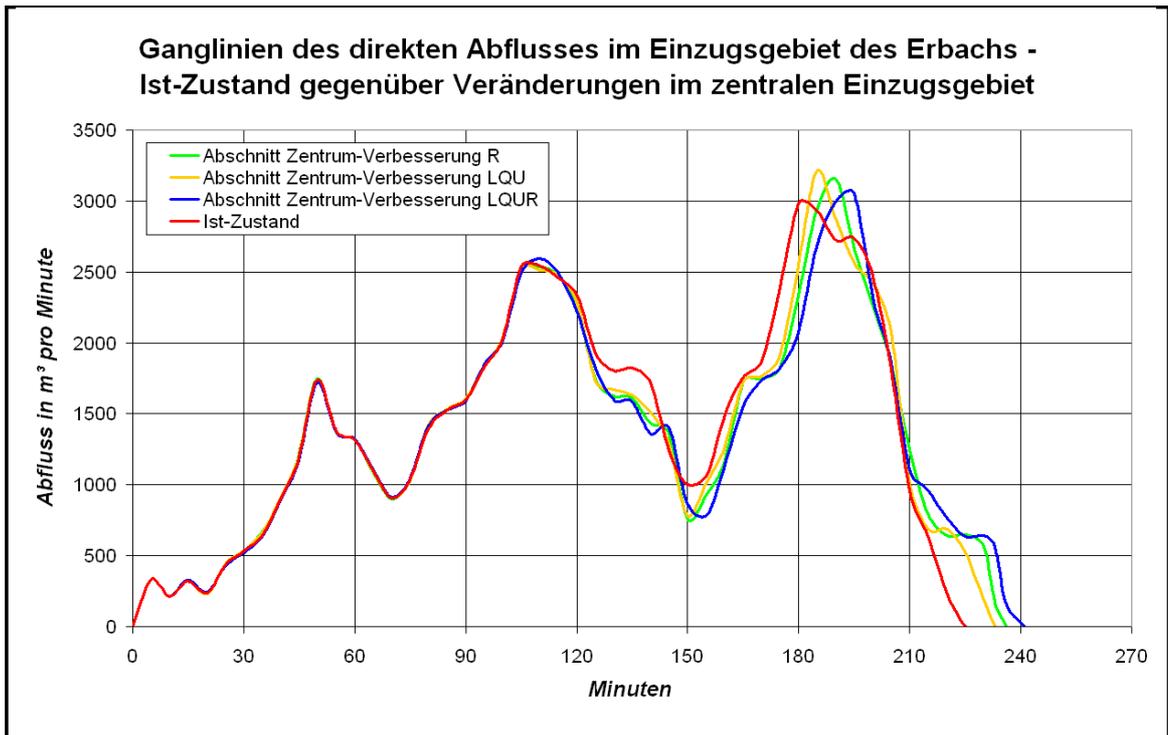


Abb. 27: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im zentralen Teileinzugsgebiet

Aus den Abflusskurven für das gesamte Erbacheinzugssystem ist erkennbar, dass im Vergleich zur Abflusskurve des Ist-Zustandes alle drei Maßnahmen im zentralen Teileinzugsgebiet eine Dämpfung des Hochwasserabflusses im Bereich nach der zweiten Abflussspitze bewirken (vergl. Abb. 27). Die dritte Abflusswelle am Ende der Kurve wird einerseits zeitlich verzögert, andererseits wird die Hochwasserspitze sogar noch erhöht. Dabei führen reine Renaturierungsmaßnahmen zu einer stärkeren Anhebung der Abflussspitze und zu einer geringeren Verzögerung des Abflusses als die Ausweisung eines Randstreifens. Von allen drei Maßnahmen hat die Kombination aus Randstreifen ausweisung und Renaturierung die niedrigste Abflusserhöhung und die größte zeitliche Abflussverzögerung zur Folge. Die Abflusserhöhung beträgt hier 68 m³/min im Vergleich zu 174 m³/min (Randstreifen ausweisung) und 227 m³/min (Renaturierung).

Die zeitlichen Abflussverzögerungen für das gesamte Erbacheinzugssystem sind hier die gleichen wie die in den Abflusskurven für das separat betrachtete Teileinzugsgebiet. Bei gleichzeitiger Randstreifen ausweisung und Renaturierung sind es 16 Minuten, bei reiner Randstreifen ausweisung 12 Minuten und bei reiner Renaturierung acht Minuten Verzögerung.

5.1.4 Testabschnitt im westlichen Teileinzugsgebiet

Der Abschnitt im westlichen Teileinzugsgebiet umfasst den Driescheiderbach ab dem Gewässerkilometer 1,8 bis einschließlich Kilometer 2,5 sowie die ersten 800 m des Heupelzerbaches (vergl. Abb. 28). Dieser 1,6 km lange Streckenabschnitt wurde hinsichtlich der gewässerstrukturellen Gesamtbewertung ebenfalls als überwiegend merklich bis stark geschädigt eingestuft (Index 5 bis 6).

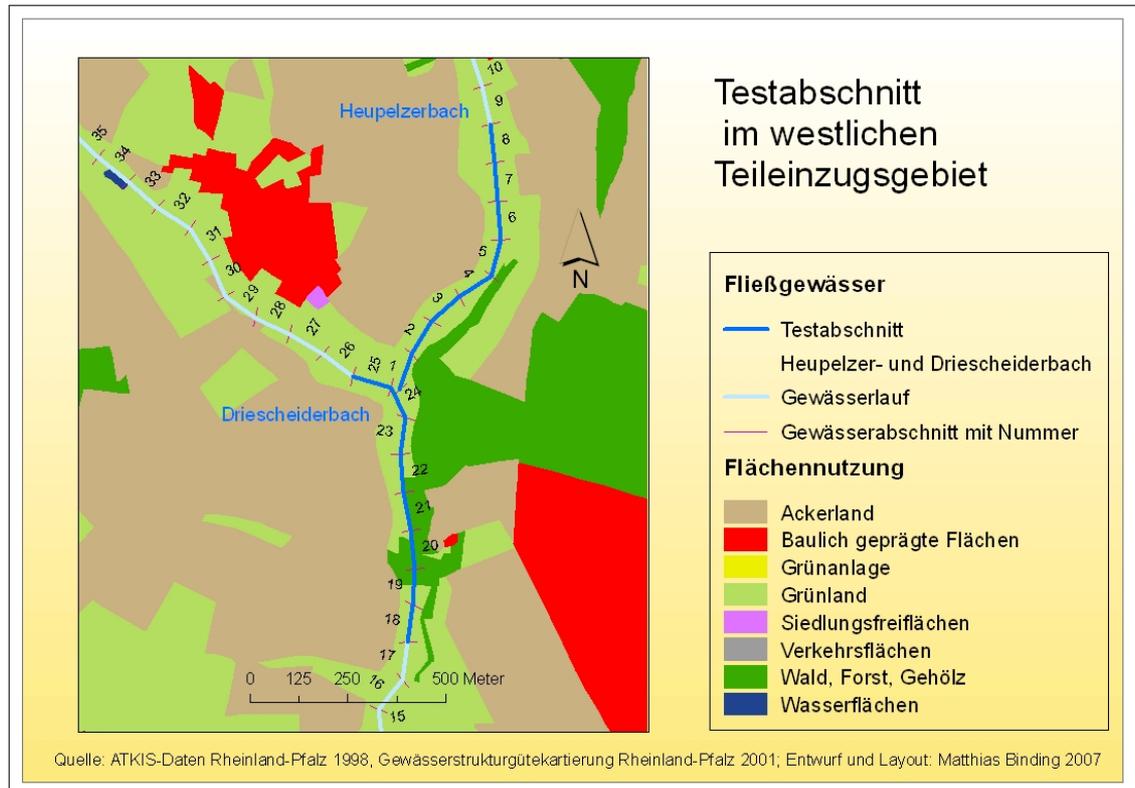


Abb. 28: Testabschnitt am Driescheider- und am Heupelzerbach im westlichen Teileinzugsgebiet

Auch dieser gewählte Testabschnitt zeichnet sich gänzlich durch einen ungekrümmten Lauf aus (vergl. Tab. 27). Bei rund 40 % der Querprofile handelt es sich um intakte Regelprofile und bei weiteren 40 % um verfallende Regelprofile. 50 % der Sohle ist verbaut bzw. trägt Steinschüttung.

An über 60 % sowohl des linken als auch des rechten Ufers stocken keine bodenständigen Gehölze und Randstreifen sind nur an rund 20 % der Ufer vorhanden. Als auenverträgliche bzw. auentypische Vegetation kommt Wald und Brache vor – am rechten Ufer zu fast 20 %, am linken Ufer zu 25 %.

Tab. 27: Gewässerstrukturgütebewertung des westlichen Testabschnitts

Westlicher Abschnitt		
<i>Gewässerstrukturgüteparameter</i>	<i>Kriterium</i>	<i>betroffene Strecke insgesamt/ Prozentanteil des Abschnitts</i>
Laufkrümmung	Bewertung > 3	1,6 km / 100,0 %
Querprofil	Bewertung = 4, 6 oder 7	1,3 km / 81,3 %
Querprofil	Bewertung = 6 oder 7	0,6 km / 37,5 %
Sohlenverbau		0,8 km / 50,0 %
Sohlensubstrat	Bewertung = 7	0,1 km / 6,3 %
Uferbewuchs	Bewertung > 3	1,4 km / 87,5 %
Uferbewuchs linkes Ufer	ohne bodenständige Ufergehölze	1,0 km / 62,5 %
Uferbewuchs rechtes Ufer	ohne bodenständige Ufergehölze	1,0 km / 62,5 %
Randstreifen linkes Ufer	< 2 m	1,3 km / 81,3 %
Randstreifen rechtes Ufer	< 2 m	1,3 km / 81,3 %
Flächennutzung linkes Ufer	ohne Brache, naturnahen Biotopen, bodenständigem oder nicht bodenständigem Wald	1,2 km / 75,0 %
Flächennutzung rechtes Ufer	ohne Brache, naturnahen Biotopen, bodenständigem oder nicht bodenständigem Wald	1,3 km / 81,3 %

Die Abflusskurven im westlichen Teileinzugsgebiet von Heupelzer- und Driescheiderbach zeigen, dass alle drei Maßnahmen, die in dem dortigen Testabschnitt angenommen wurden, mehr oder weniger die gleiche Retentionswirkung haben (vergl. Abb. 29) – die Kurven bei reiner Gewässerbettrenaturierung und bei einer Kombination aus Randstreifenausweisung und Renaturierung liegen direkt übereinander. Es kommt zu einer zeitlichen Verzögerung des Abflusses und zu einer minimalen Dämpfung der zweiten Hochwasserspitze. Eine zeitliche Verzögerung des Hochwasserabflusses für das Teileinzugsgebiet insgesamt tritt nicht auf.

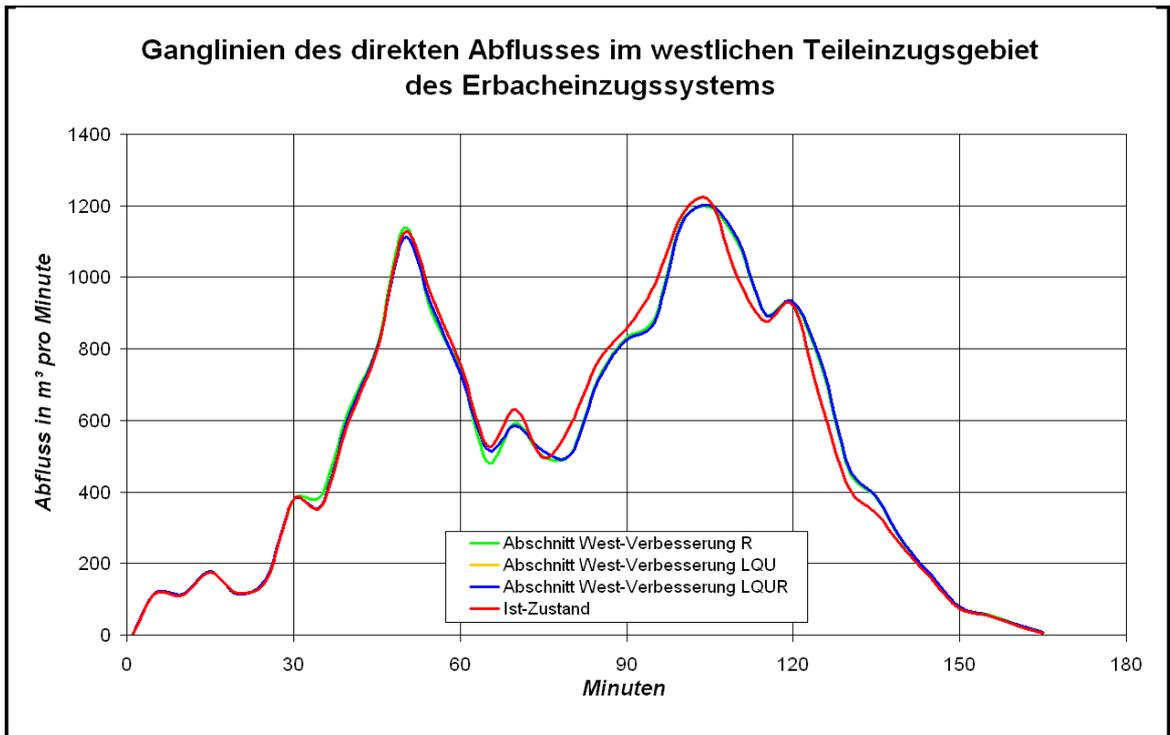


Abb. 29: Direkter Abfluss aus dem westlichen Teileinzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im westlichen Teileinzugsgebiet

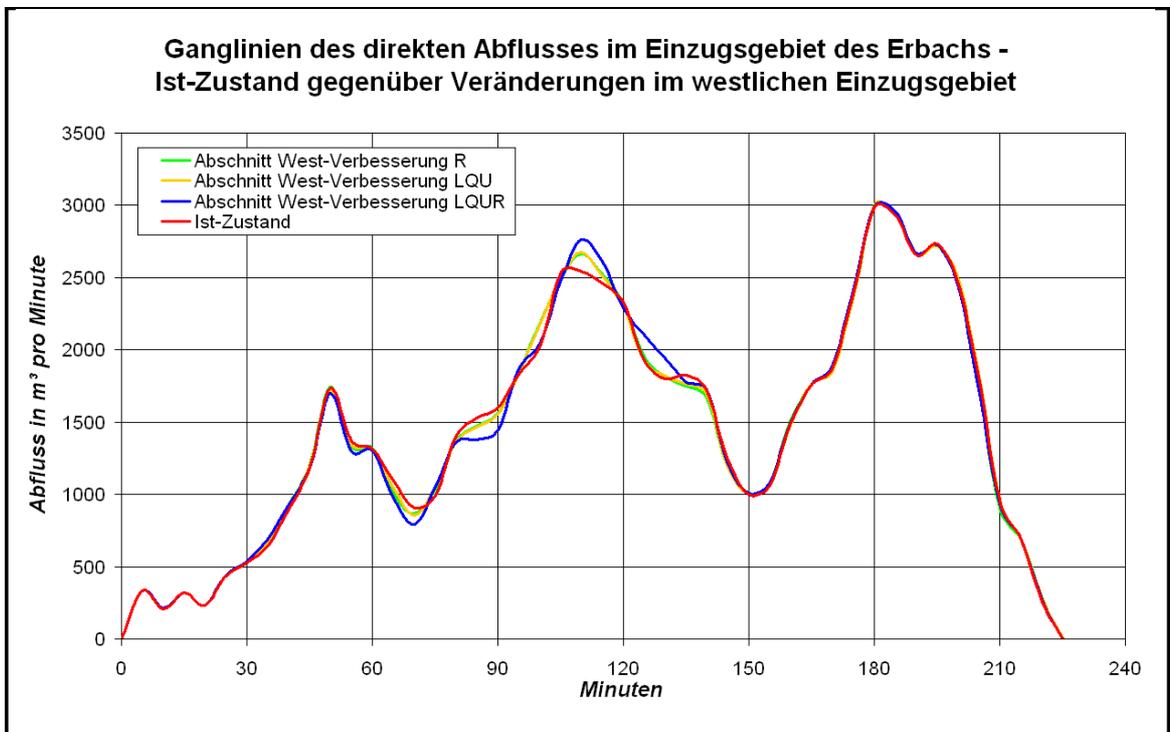


Abb. 30: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im westlichen Teileinzugsgebiet

Die Abflusskurven für das gesamte Erbachzugsgebiet lassen erkennen, dass es durch die fiktiven Verbesserungsmaßnahmen partiell zu einer Abflusssdämpfung gegenüber dem Ist-Zustand kommt (vergl. Abb. 30). Diese Abflusssdämpfung ist zwischen der ersten und der zweiten Hochwasserspitze zu beobachten. Gleichzeitig wird der Abfluss der zweiten Hochwasserspitze noch verstärkt. Renaturierungsmaßnahmen oder Randstreifenausweisung allein haben dabei die gleichen Effekte – zunächst eine geringe Dämpfung (bis zu 62 m³/s bei der 85. Minute) dann eine leichte Erhöhung des Abflusses (um 137 m³/s zwischen 105. und 110. Minute). Bei der Kombination aus Randstreifenausweisung und Renaturierung treten diese Effekte etwas stärker hervor. Die anfängliche Dämpfung beträgt bis zu 153 m³/s (bei der 85. Minute), die dann folgende Abflusserhöhung liegt bei 228 m³/s (zwischen 105. und 110. Minute). Der weitere Abfluss (um die dritte Hochwasserwelle) bleibt von den fiktiven Maßnahmen unbeeinflusst.

5.1.5 Testabschnitt im östlichen Teileinzugsgebiet

Der Abschnitt im östlichen Teileinzugsgebiet besitzt eine Länge von 1,9 km und umfasst die Gewässerkilometer 1,4 bis einschließlich Kilometer 3,2 des Soertherbaches (vergl. Abb. 31).

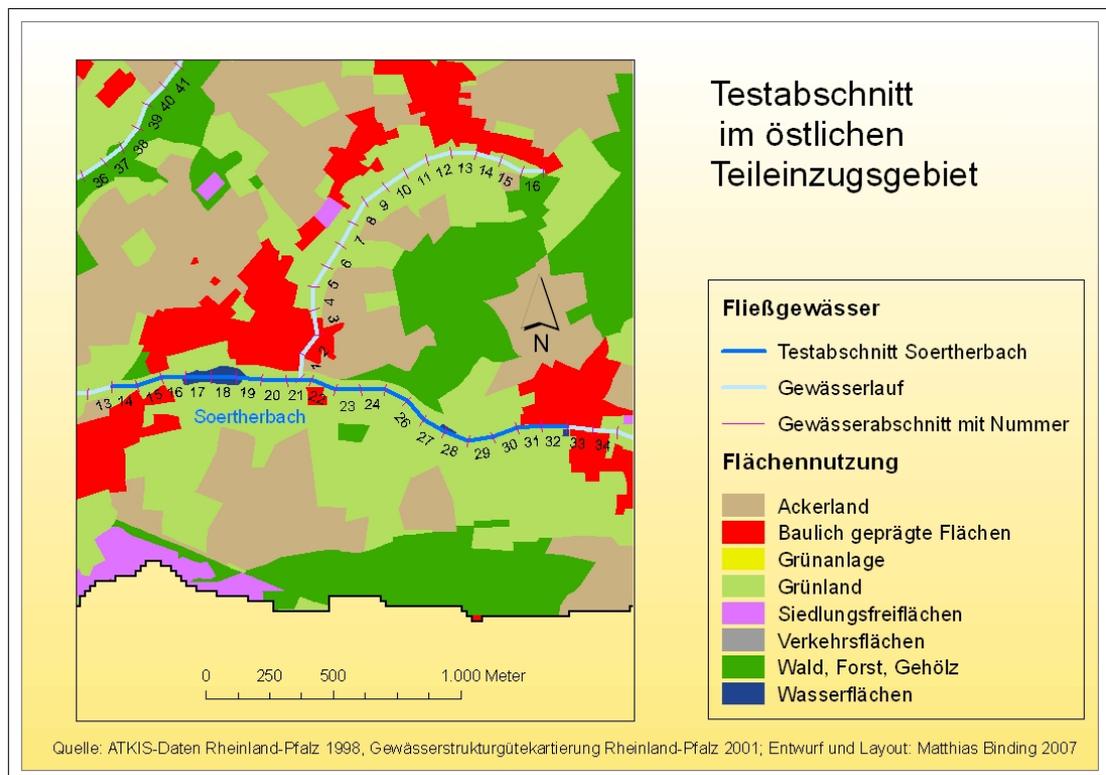


Abb. 31: Testabschnitt am Soertherbach im östlichen Teileinzugsgebiet

Abgesehen von einem 100 m-Abschnitt wurde die gesamte Gewässerstrecke gewässerstrukturell als überwiegend merklich bis übermäßig geschädigt eingestuft (Index 5 und 7). Zwei der 19 100 m-Abschnitte sind überstaut und werden als Fischteich genutzt. In diesen beiden Abschnitten wurden keine Einzelparameter erhoben. Fischteiche gelten als Sonderfall und werden gewässerstrukturell mit dem Index 7 bewertet.

Tab. 28: Gewässerstrukturgütebewertung des östlichen Testabschnitts

Östlicher Abschnitt		
<i>Gewässerstrukturgüteparameter</i>	<i>Kriterium</i>	<i>betroffene Strecke insgesamt/ Prozentanteil des Abschnitts ¹⁾</i>
Laufkrümmung	Bewertung > 3	1,7 km / 100,0 %
Querprofil	Bewertung = 4, 6 oder 7	1,6 km / 94,1 %
Querprofil	Bewertung = 6 oder 7	1,4 km / 82,4 %
Sohlenverbau		0,7 km / 41,2 %
Sohlensubstrat	Bewertung = 7	0,0 km / 0,0 %
Uferbewuchs	Bewertung > 3	1,2 km / 70,6 %
Uferbewuchs linkes Ufer	ohne bodenständige Ufergehölze	1,2 km / 70,6 %
Uferbewuchs rechtes Ufer	ohne bodenständige Ufergehölze	1,3 km / 76,5 %
Randstreifen linkes Ufer	< 2 m	1,1 km / 64,7 %
Randstreifen rechtes Ufer	< 2 m	1,4 km / 82,4 %
Flächennutzung linkes Ufer	ohne Brache, naturnahen Biotopen, bodenständigem oder nicht bodenständigem Wald	1,1 km / 64,7 %
Flächennutzung rechtes Ufer	ohne Brache, naturnahen Biotopen, bodenständigem oder nicht bodenständigem Wald	1,5 km / 88,2 %

¹⁾ ohne Fischteich

Wie die beiden anderen Untersuchungsstrecken, so zeichnet sich auch dieser gewählte Gewässerabschnitt, einschließlich des Fischteichs, durch einen ungekrümmten Lauf aus (vergl. Tab. 28). 94 % der Strecke ist als Regelprofil ausgebaut, wobei 82 % der Querprofile als noch intakte und 12 % als verfallende Regelprofile bewertet wurden. Zudem ist 41 % der Sohle verbaut bzw. trägt Steinschüttung.

Hinsichtlich Uferbewuchs, Randstreifen und Flächennutzung ist der linke Uferbereich etwas besser bewertet als der rechte. Etwa 30 % des linken Ufers ist mit bodenständigen Gehölzen bestockt. Randstreifen sowie auenverträgliche bzw. auentypische Nutzung existieren hier entlang rund 35 % der Gewässerstrecke. Das rechte Ufer trägt

zu einem Viertel bodenständige Gehölze, zu 18 % existiert Randstreifen und nur 12 % der Aue weist standorttypische/ -verträgliche Nutzungen auf.

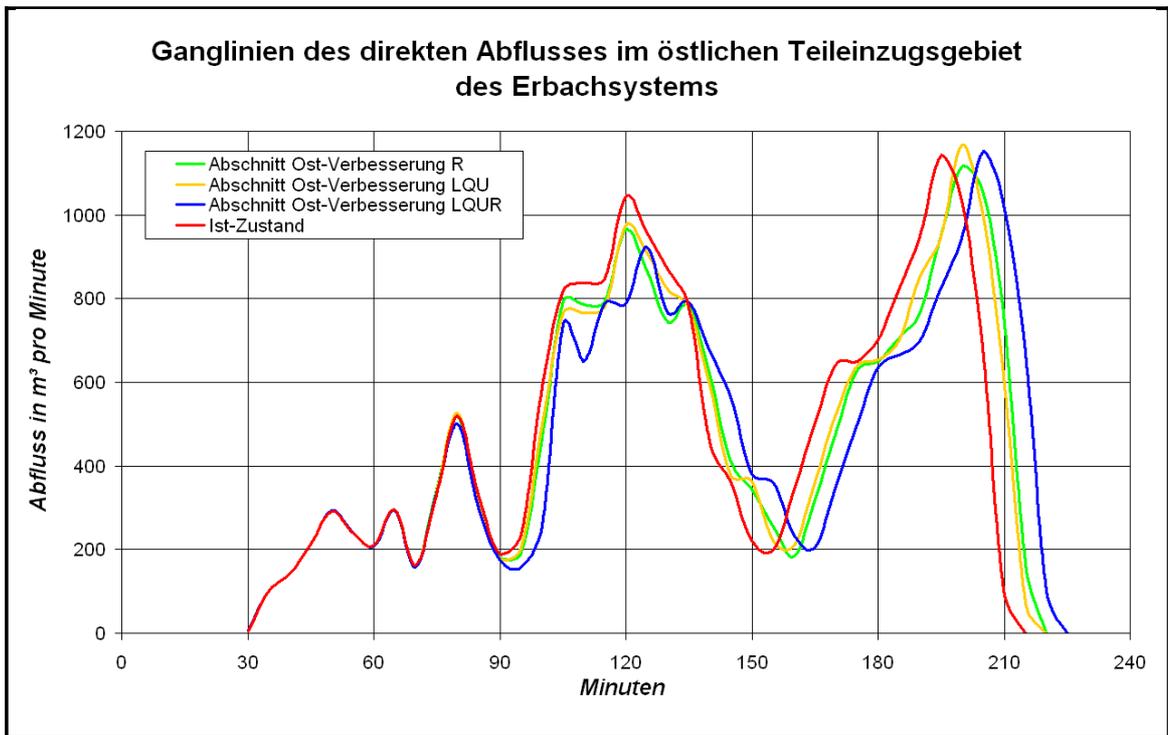


Abb. 32: Direkter Abfluss aus dem östlichen Teileinzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im östlichen Teileinzugsgebiet

Die Maßnahmen an dem Testabschnitt des Soertherbaches zeigen in der Abflusskurve des östlichen Teileinzugsgebietes eine zeitlich Verzögerung des Abflusses – beginnend ab der 90. Minute mit der zweiten Abflusswelle – und einer Dämpfung der zweiten Hochwasserspitze (vergl. Abb. 32). Die Abflusshöhe der dritten Hochwasserspitze ändert sich dabei nur minimal. Es kommt zu einer geringen Absenkung des Abflusses bei einer Randstreifenausweisung und zu einer geringen Erhöhung bei einer Gewässerrenaturierung (mit oder ohne Randstreifenausweisung).

Die Retention, welche sich in Dämpfung und zeitlicher Verzögerung des Hochwasserabflusses ausdrückt, nimmt von den reinen Gewässerrenaturierungsmaßnahmen über die reine Randstreifenausweisung bis hin zu der Kombination aus Randstreifenausweisung und Renaturierung deutlich zu. Dabei wird der Abfluss bis zu maximal 10 Minuten von 215 auf 225 Minuten, also um 4,4 % verzögert.

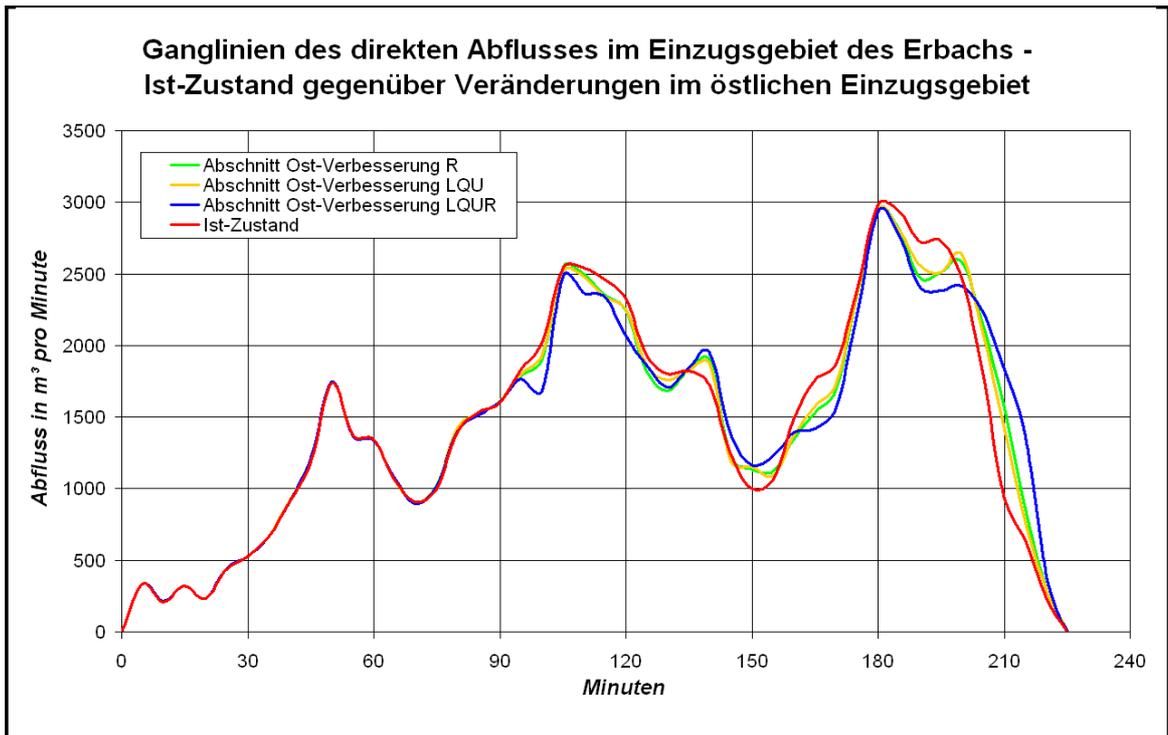


Abb. 33: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im östlichen Teileinzugsgebiet

Resultierend aus den fiktiv durchgeführten Maßnahmen zeigen die Abflusskurven für das gesamte Erbacheinzugsgebiet eine leichte Abflussdämpfung sowohl der zweiten als auch der dritten Abflussspitze (vergl. Abb. 33). Eine Verlängerung der Abflussdauer ergibt sich aus keiner der Maßnahmen.

Veränderungen im Kurvenverlauf des Abflusses zeigen sich – wie bei der Betrachtung der Teileinzugsgebietskurven – auch hier ab der 90. Minute, wobei zeitweise die Abflussmenge unter, zeitweise über der liegt, die bei dem derzeitigen Zustand des Gewässers abfließt. Die Abflussspitzen sowie das Zwischentief treten aber in allen Kurven, sowohl im Ist-Zustand der Gewässer als auch unter fiktiven Gewässerstrukturgüteverbesserungen, bei der 105. und der 180. Minute bzw. bei der 150. Minute auf.

5.1.6 Gewässerstrukturgüteverbesserungen in mehreren Testabschnitten

Werden Gewässerrenaturierungen einschließlich einer Randstreifenausweisung an zwei der drei bzw. allen drei Abschnitten gleichzeitig durchgeführt, so ergeben sich folgende Änderungen im Verlauf der Abflusskurven für das gesamte Erbacheinzugs-systems.

Gewässerrenaturierungen an den Testabschnitten im zentralen und im westlichen Teileinzugsgebiet führen insgesamt zu einer Verzögerung des Abflusses um 16 Minuten, wobei die Abflussverzögerung ab der 150. Minute einsetzt (vergl. Abb. 34). Neben

einer Absenkung der Zwischentiefs in der Abflusskurve bei der 70. Minute um $67 \text{ m}^3/\text{min}$ und der 150. Minute um $238 \text{ m}^3/\text{min}$ kommt es allerdings auch zu einer Erhöhung der zweiten Hochwasserspitze um $297 \text{ m}^3/\text{min}$.

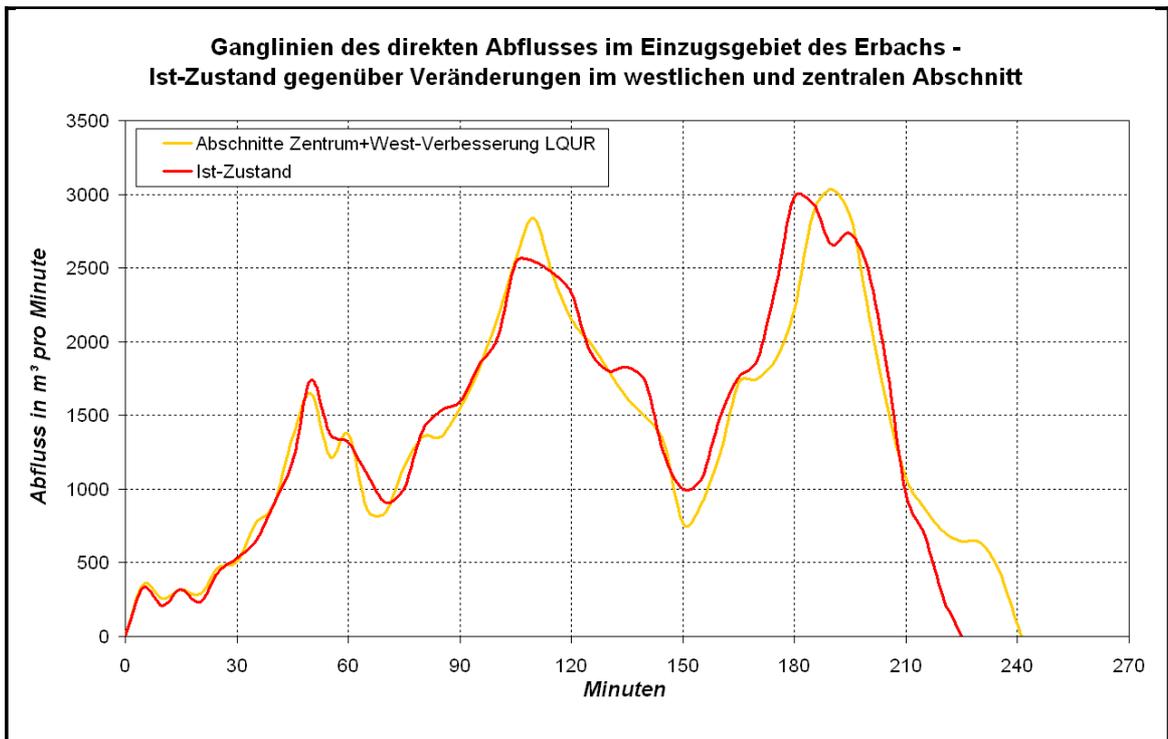


Abb. 34: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im westlichen und im zentralen Teileinzugsgebiet

Werden die Maßnahmen an den Testabschnitten im westlichen und im östlichen Teileinzugsgebiet durchgeführt, ergeben sich keine gravierenden Änderungen gegenüber dem Abfluss bei derzeitigem Zustand der Gewässer (vergl. Abb. 35). Abflussspitzen und Zwischentiefs treten nach gleicher Abflusszeit auf. Durch die Maßnahmen bedingt, wird die Abflussmenge am dritten Gipfel der Abflusskurve etwas abgesenkt (um $66 \text{ m}^3/\text{min}$), die an dem zweiten Peak etwas erhöht (um $63 \text{ m}^3/\text{min}$). Etwas stärker sind die Veränderungen an den Zwischentiefs der Kurve. Während die Abflussmenge am ersten Zwischentief noch um $118 \text{ m}^3/\text{min}$ gesenkt wird, erhöht sich die Menge an dem zweiten Zwischentief um $195 \text{ m}^3/\text{min}$.

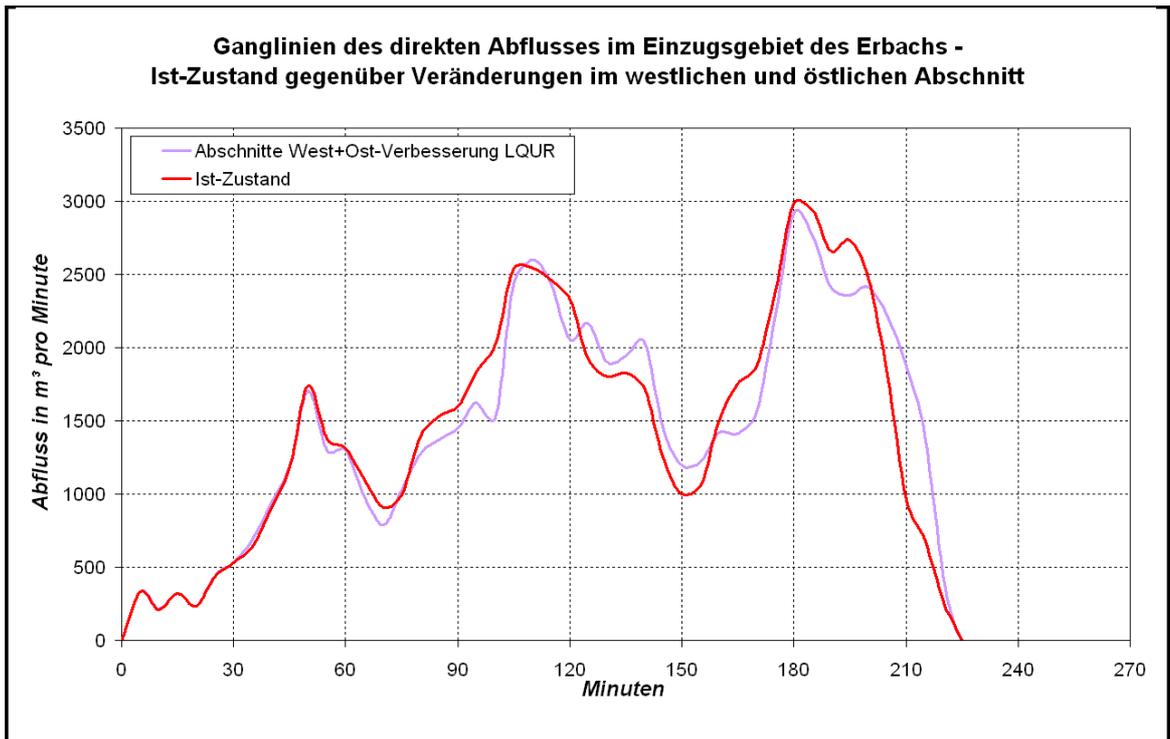


Abb. 35: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im westlichen und im östlichen Teileinzugsgebiet

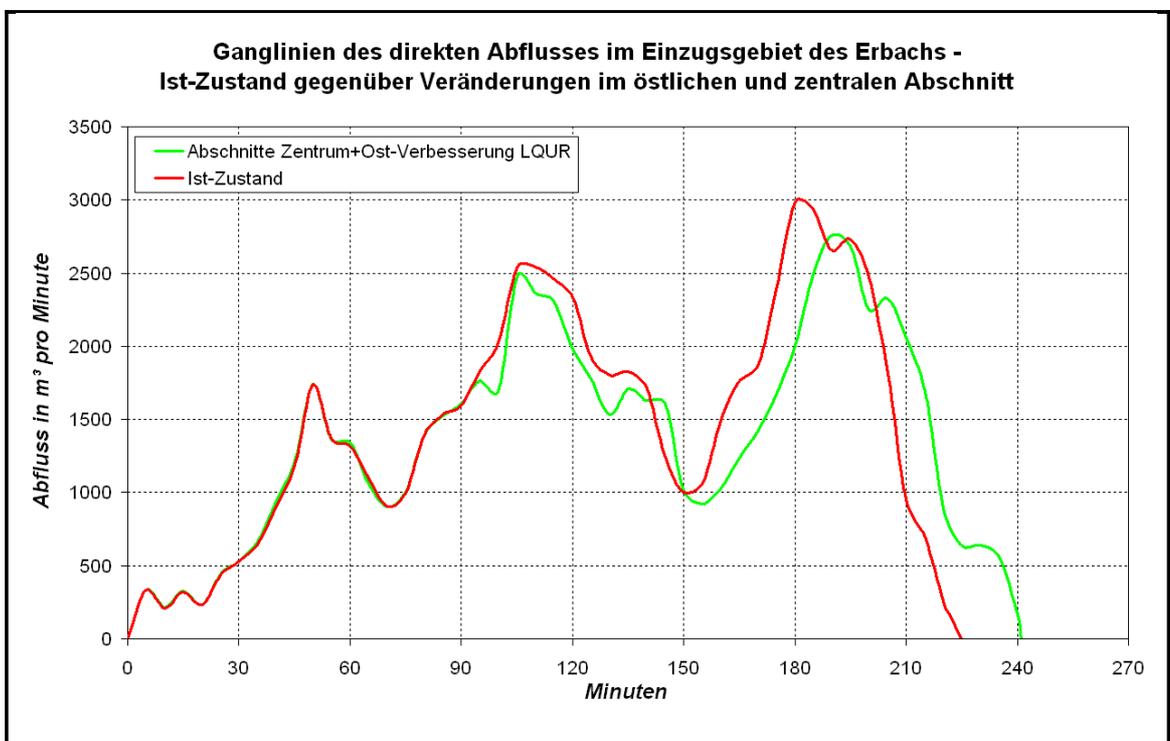


Abb. 36: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im östlichen und im zentralen Teileinzugsgebiet

Aus der Durchführung von fiktiven Gewässerrenaturierungsmaßnahmen an den Testabschnitten im östlichen sowie im zentralen Teileinzugsgebiet resultieren sowohl eine Dämpfung der Abflusskurve – etwa ab der 90. Minute – als auch eine Verzögerung des Abflusses um insgesamt 16 Minuten ab der 150. Minute (vergl. Abb. 36). Die Abflussmengen werden an der zweiten und dritten Hochwasserspitzen um 61 m³/min bzw. 224 m³/min und am Zwischentief um 79 m³/min abgesenkt.

Ein ähnliches Bild der Abflusskurve ergibt sich, wenn an allen drei Testabschnitten des Erbach-einzugs-systems Maßnahmen zur Struktur-güteverbesserung durchgeführt werden (vergl. Abb. 37). Hier ergibt sich schon ab der 50. Minute eine Dämpfung der Abflusskurve – mit Ausnahme der zweiten Hochwasserspitze – und der Abfluss wird ebenfalls um insgesamt 16 Minuten verzögert (ebenfalls ab der 150. Minute). Während die Abflussmenge an der dritten Abflussspitze wiederum um 224 m³/min und an den Zwischentiefs um 147 m³/min bzw. 72 m³/min reduziert wird, steigt sie am zweiten Peak um 64 m³/min an.

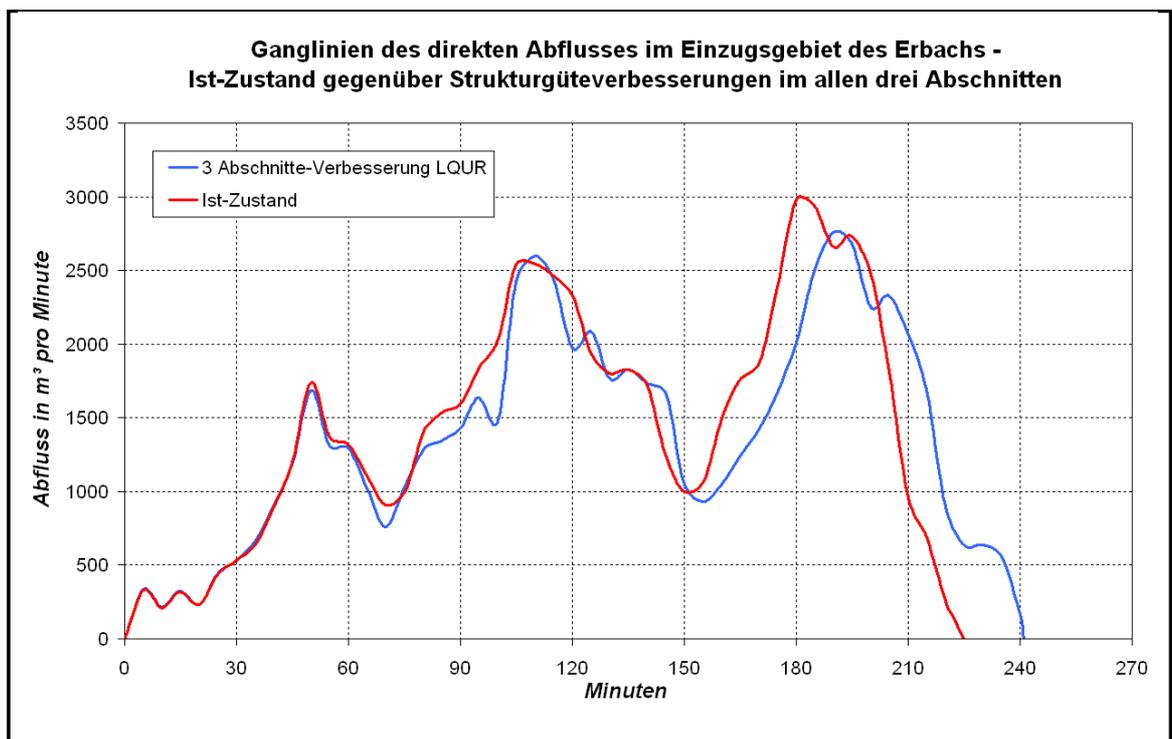


Abb. 37: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist-Zustand und fiktiven Strukturverbesserungsmaßnahmen im allen drei Teileinzugsgebieten

5.1.7 Potentiell natürlicher Zustand

Bei Annahme eines potentiell natürlichen Zustandes (mäandrierender Lauf, Naturprofil, natürliche Sohle, Ufer und Aue mit Erlenbruch bestock) außerhalb der Ortslagen des gesamten Erbach Einzugsgebietes ist die Retentionssteigerung gegenüber dem derzeitigen Zustand am deutlichsten zu beobachten (vergl. Abb. 38). Es tritt eine erhebliche Verzögerung der zweiten und der dritten Hochwasserwelle um 30 bzw. 45 Minuten ein und die Abflussmengen werden um 469 m³/min (erster Peak), um 488 m³/min (zweiter Peak) und 707 m³/min (dritter Peak) reduziert. Die Abflussdauer verlängert sich um rund eine Stunde von 225 auf 286 Minuten (um 27,1 %).

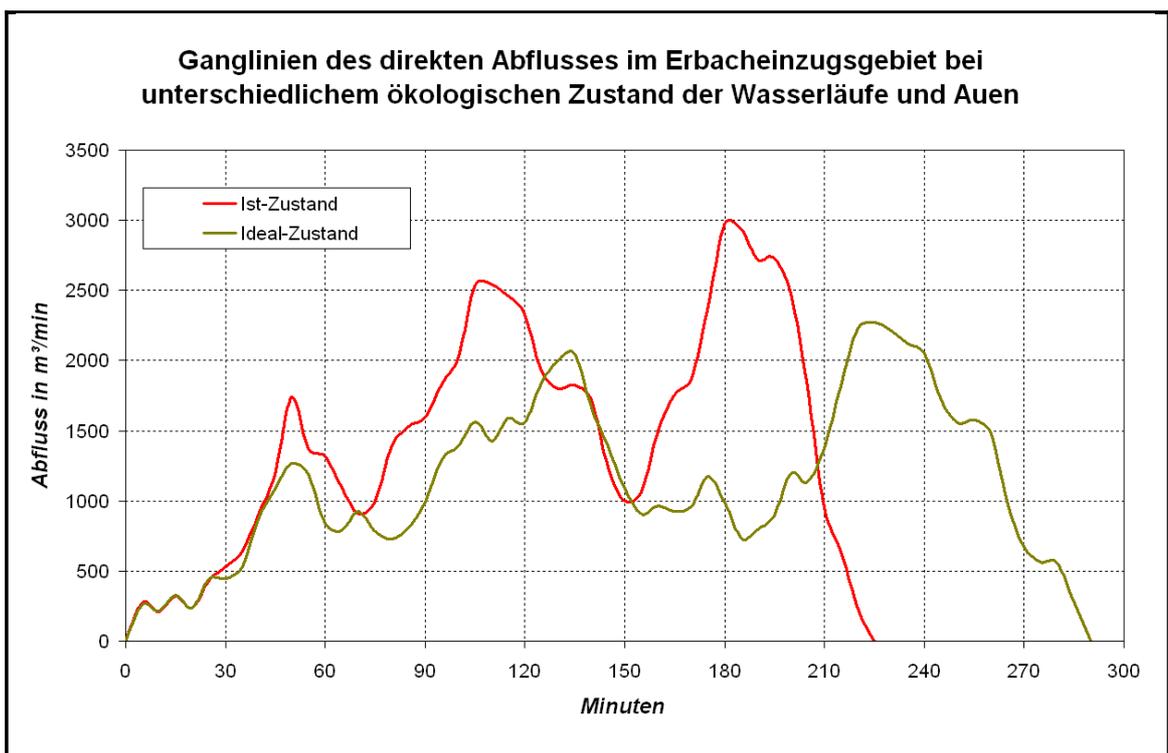


Abb. 38: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Erbachs – Vergleich zwischen Ist- und Ideal-Zustand

5.2 Unterlauf und unterer Mittellauf der Wied

5.2.1 Charakterisierung

5.2.1.1 Flächennutzung

In dem klimatisch insgesamt rauen Einzugsgebiet der Wied ist die forstwirtschaftliche Nutzung die dominierende Landnutzungsform. Wald- und Forstflächen nehmen 43,1 % des Gebietes ein (vergl. Abb. 39 und Tab. 29).

Flächennutzung des Wiedeinzugsgebietes

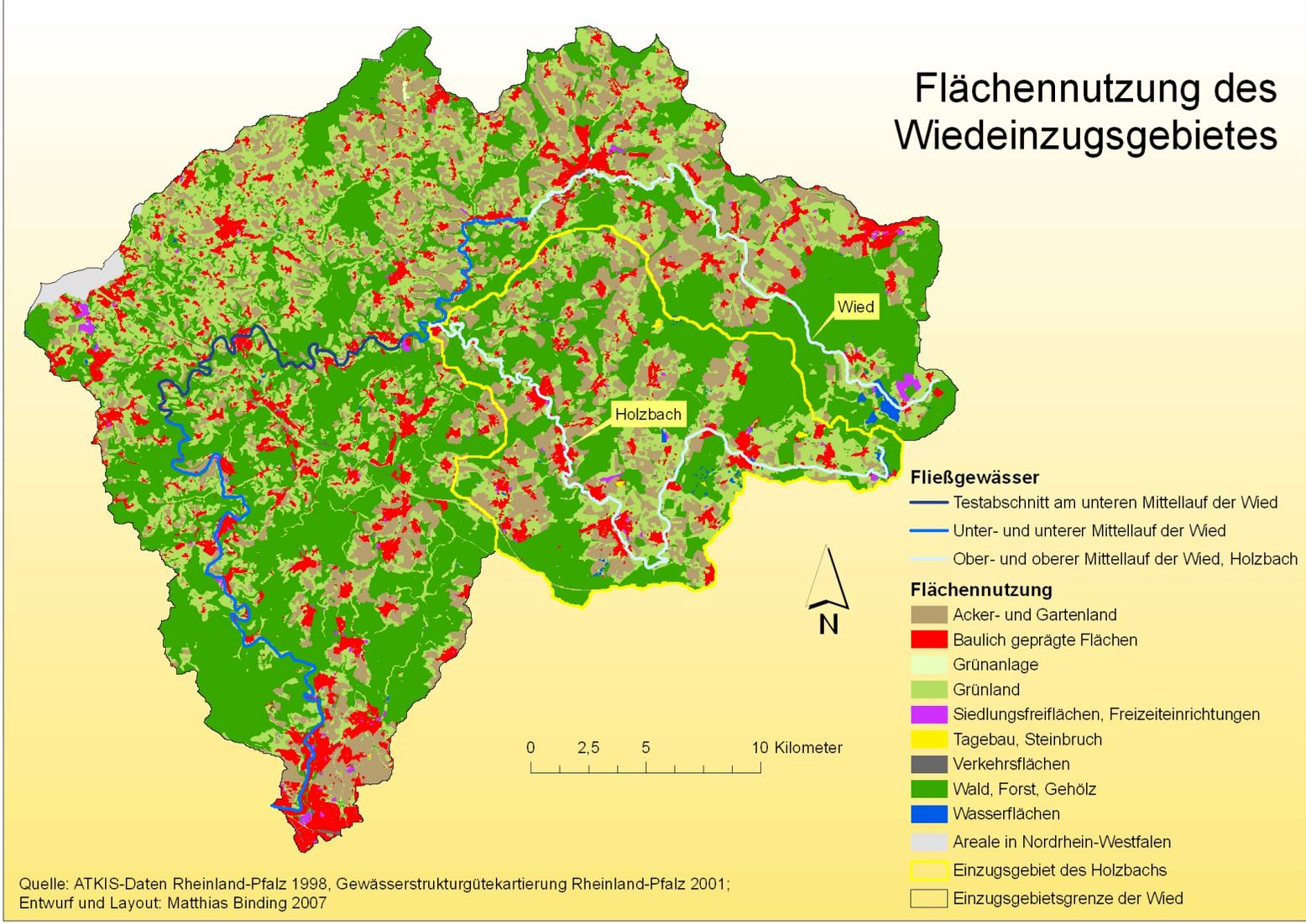


Abb. 39:
Flächennutzung im
Einzugsgebiet der
Wied

Mit einem Flächenanteil von 27,4 % folgt Grünland und mit 18,2 % Ackerland. Das Gebiet ist relativ stark be- und zersiedelt, wobei auch zahlreiche Ortslagen entlang der Wied liegen. Der Anteil an baulich geprägten Flächen einschließlich der Siedlungsfreiflächen beträgt rund 11 %.

Tab. 29: Flächennutzung im Einzugsgebiet der Wied

Flächennutzung	Fläche in km ²	Prozentanteil
Ackerland	139,2	18,2
Grünland	208,9	27,3
Wald, Forst, Gehölz	330,3	43,1
baulich geprägte Flächen	72,2	9,4
Siedlungsfreiflächen	8,2	1,1
Tagebau	0,8	0,1
Verkehrsflächen	1,3	0,2
Wasserflächen	5,2	0,7
sonstige Nutzungen	< 0,5	< 0,1
insgesamt	766,4	100,0

5.2.1.2 Gewässerstrukturgüte

In der Untersuchung des gesamten Wiedereinzugsgebietes lag das Hauptaugenmerk auf den Abschnitt von der Mündung bis zum Gewässerkilometer 70,2 des 102,4 km langen Flusses. Es wurde also nur unter Berücksichtigung der Gewässerstrukturgütedaten dieses Abschnittes das Retentionspotential von Unter- und unteren Mittellauf ermittelt.

Naturnahe oder bedingt naturnahe Gewässerabschnitte (Strukturgüteklasse 1 bzw. 2 in der Gesamtbewertung) sind in diesen 70,2 km nicht vertreten (vergl. Tab. 30). Rund die Hälfte der Gewässersegmente (53,6 %) weisen eine Gesamtbewertung von 3 oder 4 auf und gelten damit als mäßig bis deutlich beeinträchtigt. Die andere Hälfte der Abschnitte (46,4 %) wurde als merklich bis übermäßig geschädigt eingestuft (Strukturgüteklasse 5 bis 7).

Fast zwei Drittel (65,2 %) der Gewässersegmente besitzt einen stark bis übermäßig geschädigten Profiltyp (Index 6 und 7), 28 % sind mäßig bis deutlich beeinträchtigt (Index 3 und 4) und nur knapp 7 % sind bedingt naturnah (Index 2). Fast 90 % der Gewässerabschnitte weisen einen beeinträchtigten (Index 3 bis 4) und nur 10 % einen bedingt naturnahen Uferbewuchs auf.

Im Gegensatz dazu ist die Laufkrümmung des überwiegenden Anteils der Abschnitte naturnah, da die ersten 63,8 km der Wied (ab der Mündung) als Mäandertalgewässer

typologisiert wurden. 3,1 % der Abschnitte besitzt einen ungekrümmten Lauf (Index größer gleich 4).

Tab. 30: Verteilung der Gewässerstrukturgüte am Unter- und unteren Mittellauf der Wied

Strukturgüte-Index	Laufkrümmung	Profiltyp	Uferbewuchs	Gesamtbewertung
	Anzahl der Gewässerabschnitte			
nicht bewertet, da Mäandertalabschnitt	638	-	-	-
1	22	0	0	0
2	10	48	70	0
3	10	66	324	78
4	4	130	296	298
5	0	0	12	224
6	2	76	0	86
7	16	382	0	16
Summe	702	702	702	702

5.2.2 Testabschnitts an der Wied mit fiktiven Gewässerstrukturgüteverbesserungen

Für die Untersuchung zur Auswirkung von Gewässerstrukturgüteveränderungen auf den Abfluss wurde ein Testabschnitt entlang des Flusses ausgewählt, der möglichst wenig Orts- und Restriktionslagen aufweist. Zur Auswahl kam die Strecke von Gewässerkilometer 33,6 bis Kilometer 55,6. Auf diesen 22,1 km stehen 18,8 km für Entwicklungsmaßnahmen bereit. Bei 3,4 km handelt es sich um Orts- oder Restriktionslagen, die nicht für gewässerstrukturelle Verbesserungsmaßnahmen berücksichtigt wurden.

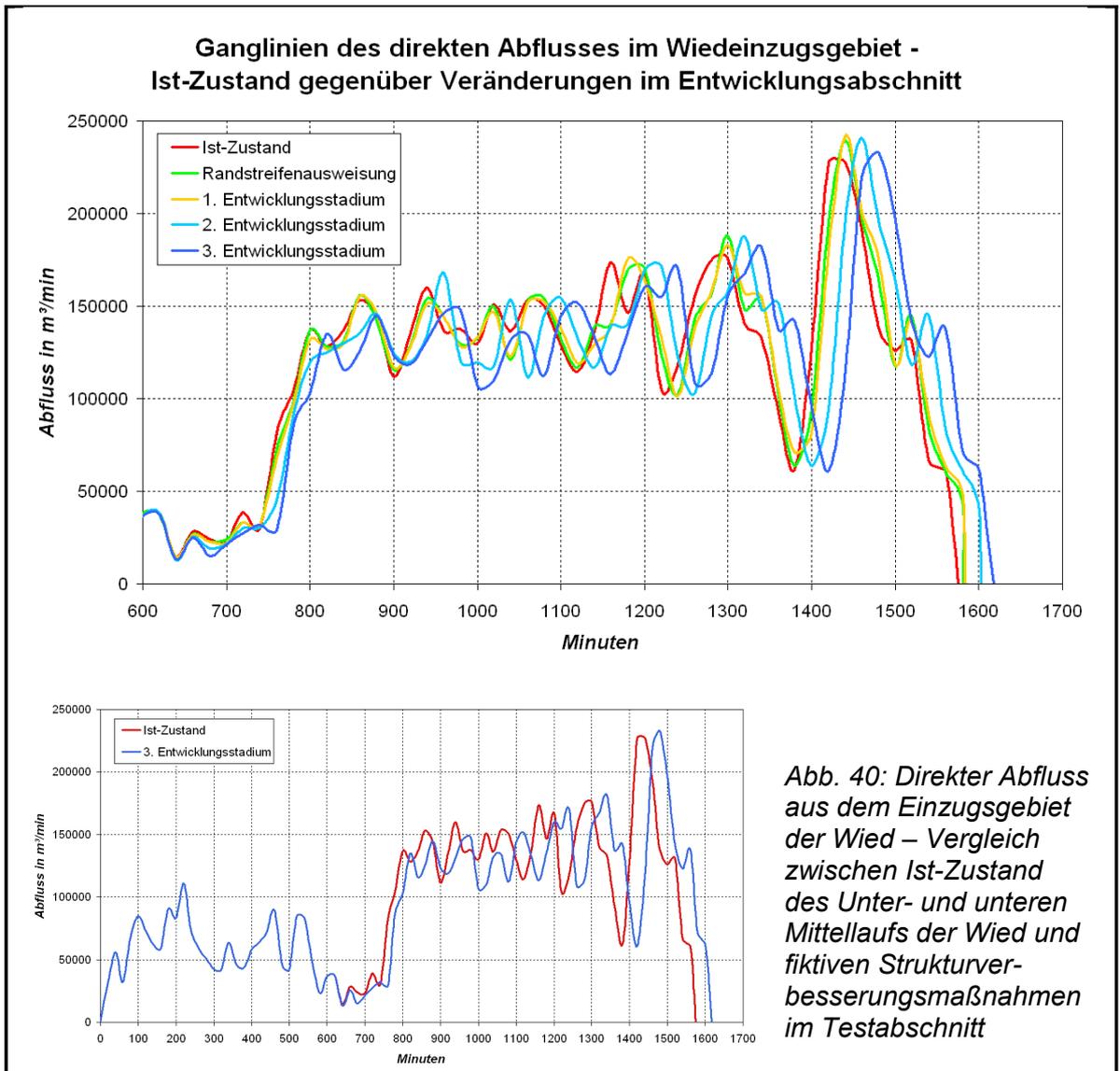
Der gesamte Testabschnitt zeichnet sich durch einen naturnahen Lauf aus (vergl. Tab. 31) – eine gewässerstrukturelle Aufwertung dieses Parameters scheidet also aus. Querprofil, Uferbewuchs und Flächennutzung einschließlich Randstreifen lassen sich aber (fiktiv) verbessern. Rund 87 % der Querprofile der Untersuchungstrecke sind ausgebaut, wobei rund ein Viertel dieser Profile im Verfall begriffen ist. Zum überwiegenden Teil stocken bodenständige Gehölze an den Ufern, doch dabei handelt es sich meist um Einzelgehölze (Indexbewertung > 3). 60 % der Ufer weisen aber keine größeren Gehölzbestände auf, weder eine Galerie noch Wald. Randstreifen sind an rund 30 % der Ufer vorhanden und auentypische bzw. auenverträgliche Vegetation ist ebenfalls nur wenig vertreten. Auf 1,2 km ist die Sohle mit einer Steinschüttung bedeckt. Hierbei handelt es sich (nach Kartieranleitung) zwar um einen Sohlenverbau,

doch eine Aufwertung ist hier nicht möglich, da die Rauigkeitsbeiwerte von natürlicher Sohle mit Steinen und Schotter und von Steinschüttung identisch sind.

Tab. 31: Gewässerstrukturgütebewertung des Testabschnittes an der Wied

Testabschnitt		
<i>Gewässerstrukturgüteparameter</i>	<i>Kriterium</i>	<i>betroffene Strecke insgesamt/ Prozentanteil des Abschnitts</i>
Laufkrümmung	Bewertung > 3 die Laufkrümmung ist naturnah, da Mäandertalgewässer	0,0 km / 0,0 %
Querprofil	Bewertung = 4, 6 oder 7	16,3 km / 86,7 %
Querprofil	Bewertung = 6 oder 7	12,8 km / 68,1 %
Sohlenverbau	(Steinschüttung)	1,2 km / 6,4 %
Sohlensubstrat	Bewertung = 7	0,0 km / 0,0 %
Uferbewuchs	Bewertung > 3	11,6 km / 61,7 %
Uferbewuchs linkes Ufer	ohne bodenständige Ufergehölze	2,4 km / 12,8 %
Uferbewuchs rechtes Ufer	ohne bodenständige Ufergehölze	0,4 km / 2,1 %
Randstreifen linkes Ufer	< 2 m	12,8 km / 68,1 %
Randstreifen rechtes Ufer	< 2 m	14,0 km / 74,5 %
Flächennutzung linkes Ufer	ohne Brache, naturnahen Biotopen, bodenständigem oder nicht bodenständigem Wald	13,2 km / 70,2 %
Flächennutzung rechtes Ufer	ohne Brache, naturnahen Biotopen, bodenständigem oder nicht bodenständigem Wald	12,8 km / 68,1 %

In diesem Testabschnitt der Wied wurden zunächst Gewässerrandstreifen beiderseits der Ufer ausgewiesen. Auf diesen Fläche sowie entlang des Fließgewässers sollten jegliche Unterhaltungsmaßnahmen unterbleiben. Nach dieser Initialisierungsmaßnahme wurde eine fortschreitende Sukzession innerhalb der Gewässerrandstreifen sowie eine beginnende Eigenentwicklung bzw. Selbstregulierung des Flusses durch Krümmungs- und Seitenerosion angenommen und damit eine sich stetig verbessernde Gewässerstrukturgüte unterstellt. Die folgenden Abflusskurven aus dem Wiedeinzugsgebiet beziehen sich auf den Gebietsauslass in Neuwied an der Mündung des Flusses in den Rhein.



Die Abflusskurve unter dem derzeitigen Nutzungs- und Gewässerstrukturgütezustand und die Kurven unter den verschiedenen Verbesserungsstadien verlaufen bis etwa zur 11. Stunde (660. Minute) gleich. Die Abflusskurve nach einer Randstreifenausweisung sowie die Abflusskurve bei einer einsetzenden Selbstregulierung und Sukzession (1. Entwicklungsstadium) zeigen bis zur 19. Stunde (1140. Minute) nur geringe Retentionswirkung. Im weiteren Verlauf – ab der 1160./1180. Minute – kommt es dann zeitweise zu längeren Verzögerungen des Abflusses, verbunden mit einer merklichen Zunahme der Abflussspitzen bei der 1290./1300. Minute und der 1430./1440. Minute. Es kommt zu einer geringfügigen Verlängerung der Abflussdauer um 7 Minuten (Randstreifenausweisung) bzw. 10 Minuten (1. Entwicklungsstadium).

Das 2. Entwicklungsstadium zeichnet sich durch ein stark verbessertes Querprofil (variierendes Erosionsprofil) aus. Auf den Ufern und innerhalb der Randstreifen wachsen bodenständige Gehölze. Bei diesem Stadium tritt ab der 11. Stunde (660. Minute) eine Dämpfung und ab der 740. Minute eine Verzögerung des Abflusses auf. Diese Verzögerung beträgt rund 20 Minuten und bleibt bis zum Ende des Abflusses

konstant, wodurch die Abflussdauer um 1,7 % von 1576 auf 1603 Minuten verlängert wird. Auch hierbei kommt es wieder zu einer Anhebung der Abflussspitzen bei der 1290./1320. Minute und der 1430./1460. Minute. Deutlich wird eine weitere Zunahme der Abflussmenge zur 16. Stunde (960. Minute), die aber nur bei diesem Selbstregenerierungs- bzw. Sukzessionsstadium auftritt.

Erreicht der Gewässerabschnitt ein annähernd natürliches Querprofil mit bodenständigen Gehölzen an den Ufern und der gesamten Aue (3. Entwicklungsstadium), so zeigt sich eine weitere Erhöhung des Retentionsvermögens. Es ergibt sich zunächst wieder ab der 11. Stunde (660. Minute) eine Dämpfung und ab der 740. Minute eine Verzögerung des Abflusses, die kontinuierlich auf rund 42 Minuten ansteigt. Insgesamt wird in diesem Verbesserungsstadium die Abflussdauer um 2,7 % von 1576 auf 1618 Minuten angehoben. Die Zunahme der Abflussmengen, die auch schon bei den anderen Kurven zwischen der 1290. und 1340. Minute sowie der 1430. und der 1480. Minute festgestellt wurde, fällt hier nicht so hoch aus, wie bei den anderen Kurven.

5.2.3 Potentiell natürlicher Zustand am Unterlauf und unteren Mittellauf der Wied

Eine weitere Retentionssteigerung gegenüber dem derzeitigen Zustand zeigt sich bei Annahme eines potentiell natürlichen Zustandes (insgesamt mäandrierender Lauf, Naturprofil, natürliche Sohle, Ufer und Aue mit Erlenbruch bestockt) entlang des gesamten Unter- und unteren Mittellaufs der Wied außerhalb der Ortslagen. Im Verlauf der Abflusskurve tritt ab der dritten Stunde die erste Dämpfung des Abflusses auf und ab der 330. Minute beginnt eine Verzögerung, die kontinuierlich auf fast 153 Minuten ansteigt (vergl. Abb. 41). Das entspricht einer Abflussdauerverlängerung um 9,7 % (von 26,25 auf 28,8 Stunden). Mit Verlängerung dieser Abflussdauer ist allerdings auch eine Anhebung der Abflussmenge am Ende des Abflusszeitraumes um 7,7 % verbunden – der Abfluss steigt von 227.600 auf 245.200 m³/min an.

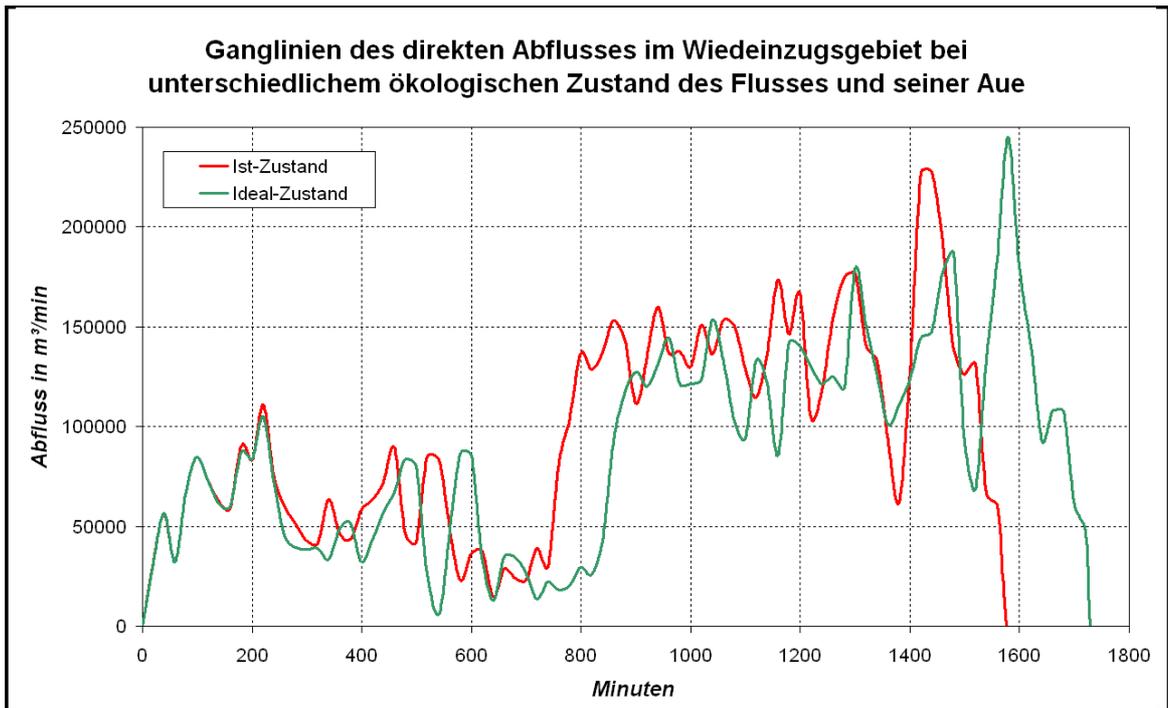


Abb. 41: Direkter Abfluss aus dem Einzugsgebiet der Wied – Vergleich zwischen Ist- und Ideal-Zustand des Unter- und unteren Mittellaufs der Wied

5.3 Naturschutzgebiete

Im Einzugsgebiet des Erbachs befinden sich keine, entlang der Wied liegen dagegen fünf Naturschutzgebiete (vergl. Abb. 42). Dies sind das NSG „Auf der Haardt“, das NSG „Berschaue“, das NSG „In der Rommerswiese“, das NSG „Wiedaue bei Borod“ und das NSG „Dreifelder Weiher“.

Das NSG „Berschaue“ tangiert den Testabschnitt der Wied und soll daher näher betrachtet werden.

In der Rechtsverordnung über das Naturschutzgebiet „Berschaue“, Landkreis Neuwied, vom 25. Januar 1990 wird in § 3 der Schutzzweck des Gebietes erläutert. Der Zweck ist die Erhaltung des Gebietes

1. als Standort seltener in ihrem Bestande bedrohter wildwachsender Pflanzen und Pflanzengesellschaften,
2. als Lebensraum bestandsbedrohter Tierarten und
3. aus wissenschaftlichen Gründen.

Unter § 4 werden die Handlungen aufgeführt, die im Naturschutzgebiet untersagt sind. Verboten sind unter anderem:

14. Flächen aufzuforsten, die vorher nicht mit Wald bestockt waren,
15. Landschaftsbestandteile wie Feldgehölze, Baumgruppen oder Einzelbäume, Hecken, Röhricht- oder Schilfbestände zu beseitigen oder zu beschädigen,
20. Gewässer anzulegen, zu beseitigen oder ihre Ufer und Flachwasserzonen zu verändern.

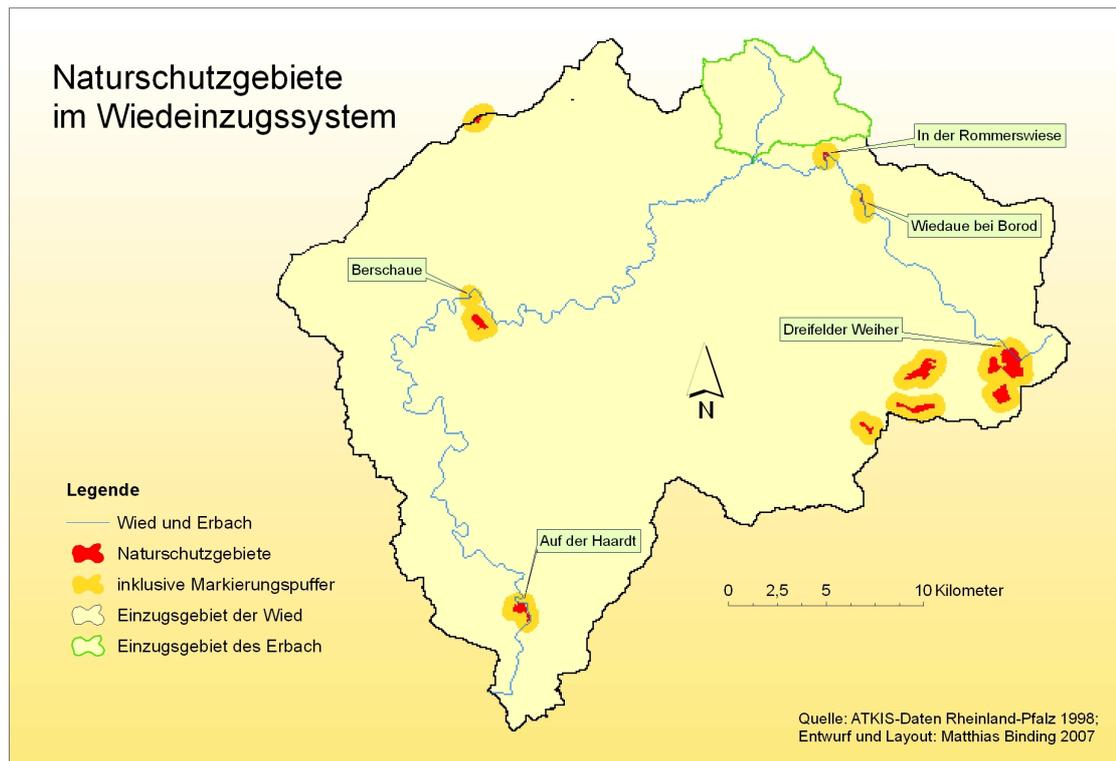


Abb. 42: Naturschutzgebiete im Einzugsgebiet der Wied

6. Analyse der Ergebnisse

6.1 Ermittlung der Konzentrationszeiten

Die maximale Fließlänge im Einzugsgebiet des Erbachs beträgt 8512 m. Das mittlere Gefälle liegt bei 0,088 (8,8 %) und der mittlere Rauheitsbeiwert bei $0,0444 \text{ s/m}^{1/3}$. Unter Annahme eines 10 mm starken Blockniederschlags ergibt sich dann nach der Formel für T_c eine Konzentrationszeit von 200,7 Minuten.

Die Ausbreitungsanalyse unter Berücksichtigung des mittleren Gefälles und des mittleren Rauheitsbeiwertes ($n^{0,6} / I^{0,3} = 0,3195$ dimensionslos) als Gewicht für alle Zellen errechnet ein Distanzflächendiagramm, das einen maximalen Wert von 2719,5 aufweist. Dieser Wert ist nun mit der berechneten Konzentrationszeit von 200,7 Minuten gleichzusetzen (Kalibrierung) und dient als Grundlage bei der Ermittlung der Konzentrationszeiten unter den jeweiligen realen und fiktiven Ausprägungen.

Bei Ausbreitungsanalyse mit den tatsächlichen Gefälle- und Rauheitsbeiwerten der einzelnen Rasterzellen (Ist-Zustand) ergibt sich z.B. ein Maximalwert von 3200,7, welcher dann einer Konzentrationszeit von 236,2 Minuten entspricht (vergl. Tab. 10).

Eine andere Variante zur Ermittlung der Konzentrationszeit ist die über die erweiterte Formel für T_c :

$$T_{c \text{ erw.}} = \frac{T_{cE}}{Z_{\max L} * T_{cZ}} * 6,92 * \frac{x^{0,6}}{x * P^{0,4}} * \frac{n^{0,6}}{I^{0,3}} .$$

Werden neben den Variablen Gefälle ($n^{0,6}$) und Rauheitsbeiwert ($I^{0,3}$) auch noch die konstanten Größen (Konzentrationszeit für das Einzugsgebiet und für eine Rasterzelle T_{cE} und T_{cZ} , Anzahl der Rasterzelle entlang der maximalen Fließlänge $Z_{\max L}$, Rasterauflösung x , Niederschlag P) bei der Berechnung des Gewichtungsrasters hinzugezogen, so kann die Konzentrationszeit direkt berechnet und in einem Distanzflächendiagramm dargestellt werden (vergl. Abb. 23).

In Tabelle 32 sind die Konzentrationszeiten gegenübergestellt, die für das Einzugsgebiet des Erbachs über eine Kalibrierung und die über Formel für $T_{c \text{ erw.}}$ berechnet wurden.

Es zeigt sich, dass die Konzentrationszeiten, deren Ermittlung über eine Kalibrierung erfolgte, durchschnittlich 12 Minuten oder 5,1 % höher sind als die, welche nach der Formel für $T_{c \text{ erw.}}$ berechnet wurden. Diese Unterschiede sind methodisch bedingt.

Tab. 32: Vergleich verschiedener Konzentrationszeiten im Erbachsystem

	maximaler Wert der Ausbreitungsanalyse mit der Gewichtung aus $n^{0,6} / I^{0,3}$	entspricht Minuten	ermittelte Konzentrationszeit mit der Formel für $T_{c\text{ erw.}}$
Kalibrierung mit der Kostenoberfläche aus mittlerem Gefälle und mittlerem Rauheitsbeiwert	(ermittelt aus mittlerem Gefälle und mittlerem Rauheitsbeiwert) 2719,5	(ergibt sich aus der Formel für T_c) 200,72	
Ist-Zustand	3200,26	236,21	225,00
Westliches Teileinzugsgebiet			
Verbesserung R	3224,79	238,02	226,03
Verbesserung LQU	3224,79	238,02	226,03
Verbesserung LQUR	3201,06	236,67	224,72
Zentrales Teileinzugsgebiet			
Verbesserung R	3348,92	247,18	236,82
Verbesserung LQU	3219,15	242,84	233,00
Verbesserung LQUR	3434,59	253,50	241,31
Östliches Teileinzugsgebiet			
Verbesserung R	3224,79	238,02	226,03
Verbesserung LQU	3224,79	238,02	226,03
Verbesserung LQUR	3224,79	238,02	226,03
Verbesserung von LQUR in			
allen drei Teileinzugsgebieten	3434,59	253,50	241,31
im westlichen und im östlichen Teileinzugsgebiet	3224,79	238,18	225,88
im westlichen und im zentralen Teileinzugsgebiet	3423,34	252,67	239,70
im östlichen und im zentralen Teileinzugsgebiet	3434,59	253,50	241,31
optimaler Zustand (naturnahe Abschnitte außerhalb der Ortslagen)	4090,12	301,89	286,17

Abkürzungen: L=Lauf mäandrierend, Q=Querprofil naturnah, U=Ufer mit Erlengalerien bestockt, R=Randstreifen beiderseits des Gewässers

Da in dieser Arbeit aber nur die relativen Auswirkungen der Strukturgüteverbesserungen ermittelt werden sollten, ist der exakte Wert der Konzentrationszeit nicht relevant, zumal die Ermittlung der Konzentrationszeit auch nur über eine empirisch abgeleitete Formel geschätzt wird. Die relativen Abflussveränderungen, die sich durch die Verbesserungsmaßnahmen ergeben, sind bei beiden Varianten zur Ermittlung der Konzentrationszeit gleich. So erhöht sich die Abflusszeit von Ist-Zustand zum optimalen Zustand um 27,8 % nach der Kalibrierungsvariante und um 27,2 % nach der Berechnung über die Formel für $T_{c\text{ erw.}}$.

Des Weiteren zeigen sich in fast allen Fällen – sowohl über Kalibrierung als auch über die Formel für $T_{c\text{ erw.}}$ – höhere Konzentrationszeiten gegenüber dem Ist-Zustand, auch in den Fällen, in denen es zu keiner Erhöhung der Abflussdauer kommt.

Werden die Verbesserungsmaßnahmen im zentralen Teileinzugsgebiet durchgeführt, dann ergibt sich durch das erhöhte Retentionsvermögen eine Verlängerung der Abflussdauer, sowohl für das Teil- als auch für das Gesamteinzugsgebiet. Eine Verlängerung der Abflussdauer des Gesamteinzugsgebietes kann aber auch durch gewässerstrukturelle Maßnahmen erreicht werden, die entweder im westlichen oder im östlichen Teileinzugsgebiet simuliert werden. Bei den Verbesserungsmaßnahmen, die in dieser Arbeit in diesen Gebieten angenommen wurden, war dies jedoch nicht der Fall. Die maximalen Abflusszeiten, die sich in den jeweiligen Distanzflächendiagrammen der Ausbreitungsanalysen zeigten, lagen stets im zentralen Teileinzugsgebiet, auch wenn das Retentionsvermögen in den anderen Teileinzugsgebieten erhöht wurde.

Das bedeutet, dass die Werte, die sich bei den Ausbreitungsanalysen ergeben, einer gewissen Schwankung unterliegen. Bei einer Konzentrationszeit von 225 Minuten sind dies Schwankungen von 0,46 % und bei einer Konzentrationszeit von 238,21 Minuten Schwankungen von 0,83 %.

Diese Schwankungen sind möglicherweise darauf zurückzuführen, dass bei der Berechnung der Distanzflächendiagramme die Werte für das Gewichtungsraster von Dezimalwerten (floating point) in Ganzzahlen (integer) umgewandelt wurden. Dies geschah – wie beschrieben – aus Gründen der Performance. Bei diesem Zwischenschritt werden die Nachkommastellen abgeschnitten – die Zahlen werden nicht gerundet. Bei den Berechnungen der Abfluss- bzw. Konzentrationszeiten für die jeweiligen Maßnahmen können sich dann unter Verwendung der umgewandelten Werte leicht variierende Ergebnisse für eine und dieselbe Konzentrationszeit ergeben. Die Schwankungen sind aber so gering, dass sie für die Betrachtung der Auswirkungen von Strukturgüteverbesserungen vernachlässigbar sind.

Zur Darstellung der Abflusskurven für das Erbacheneinzugsgebiet wurden die Abfluss- bzw. Konzentrationszeiten gewählt, die nach der Formel für $T_{c\text{ erw.}}$ berechnet wurden. Die Abflusszeiten für das Wiedereinzugsgebiet wurden durch Kalibrierung ermittelt.

6.2 Charakterisierung des Erbach einzugsystems

Ein bestimmender Faktor für den Verlauf der Abflusskurve bzw. den Abfluss ist die Form des Einzugsgebietes. Bei runden, baumartig verzweigten Einzugsgebieten treffen die abfließenden Wassermassen aus den Oberläufen mehr oder weniger gleichzeitig am Gebietsauslass zusammen. Ein allmähliches Anschwellen der Kurve bis zu einem Maximum ist für diesen Abfluss charakteristisch. Bei eher langgestreckten, wenig verzweigten Einzugsgebieten fließt der Niederschlag nach und nach ab (vergl. SÖNNICHSEN 2005).

Das Gesamteinzugsgebiet des Erbachs besitzt eine runde, annähernd baumartig verzweigte Form, wobei die kleineren Nebengewässer eine Gewässerbreite unter einem Meter haben und daher nicht kartiert und in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden. Eine Konzentration des Abflusses ist also auch hier zu erwarten. Die Abflusskurve des Erbach einzugsystems zeigt drei aufeinanderfolgende Abflussspitzen, die mit fortlaufender Abflussdauer stetig ansteigen. Der Kurvenverlauf kommt damit der Theorie vom Abflussverhalten runder Einzugsgebiete recht nahe, er wird aber noch von anderen Faktoren beeinflusst. Neben der Form des Gesamteinzugsgebiets und dessen Gewässernetz – die Lage der Mündungen zueinander – ist die Form der Teileinzugsgebiete sowie die Flächennutzung und das Gefälle relevant.

Die dreigipfelige Abflusskurve des Erbach einzugsystems (vergl. Abb. 22) resultiert aus den unterschiedlichen Größen und der Form der Teileinzugsgebiete sowie der Mündungslage der tributären Gewässer. Der Erbach besitzt als Hauptgewässer die längste Fließstrecke und das größte Einzugsgebiet von allen drei Bächen. Der charakteristische, pilz- oder trompetenförmige Umriss des Einzugsgebiets ist dafür verantwortlich, dass das Gros des Abflusses relativ spät den Gebietsauslass erreicht. Zudem führen die großen Waldareale im Oberlauf zu einem verzögerten Abfluss. Die Abflusskurve steigt also hier mit breiter werdendem Einzugsgebiet wellenförmig bis zu diesem Maximum an, wobei die kleineren Abflussschwankungen in diesem Anstieg auf unterschiedliche Flächennutzungen und Gefälledifferenzen zurückzuführen sind.

Die Einzugsgebiete von Driescheiderbach im Westen und Soertherbach im Osten besitzen beide eine längliche Form und sind annähernd gleich groß. Daher gleichen sich wohl auch die Verläufe beider Abflusskurven aus diesen Gebieten. Das Gebiet des Driescheiderbaches hat eine Fläche von 8,9 km² und die des Soertherbaches 9,5 km². Die maximale Fließlänge von der Wasserscheide bis zu der Mündung in den Erbach beträgt beim Driescheiderbach 6,8 km und beim Soertherbach 7,0 km.

Trotzdem ist das Einzugsgebiet vom Driescheiderbach etwas kleiner und der Anteil an landwirtschaftlichen Flächen gegenüber dem Anteil an forstwirtschaftlich genutzten Flächen ist in diesem Einzugsgebiet höher als im Gebiet des Soertherbaches. Daraus resultiert dann auch die deutlich kürzer Abflussdauer aus diesem Gebiet mit 168 Minuten im Vergleich zu der aus dem Einzugsgebiet des Soertherbaches mit

185 Minuten, obwohl in letzterem das Gefälle und damit die Abflussgeschwindigkeiten etwas größer sind.

Auffällig an den Abflusskurven beider Bäche ist jeweils das Zwischentief zwischen zwei breiten, etwa gleich hohen Abflussgipfeln. Die Zeiten für die jeweiligen Zwischentiefs in diesen Kurven, welche aus dem Distanzflächendiagramm für die Abflusszeiten im Ist-Zustand entnommen werden können (vergl. Abb. 23), decken sich mit den Flächen, die beim Driescheiderbach etwa 3001 bis 4000 m und bei Soertherbach etwa 5001 bis 6000 m vom Gebietsauslass entfernt liegen (vergl. Abb. 21). Diese Distanzflächen sind kleiner als die benachbarten Flächen, wodurch eine zwischenzeitliche Abnahme des Abfluss erklärt werden kann – der Abfluss ergibt sich ja aus der Niederschlagsmenge, die auf einer bestimmten Fläche niedergegangen ist. In diesem Fall ist also die Entfernung zum Gebietsauslass der entscheidendere Faktor für den Verlauf der Abflusskurve.

Da die Mündungen beider Bäche in den Erbach 850 m voneinander entfernt liegen, kommt es trotz ähnlicher Abflusskurven zu keiner Konzentration, sondern zu einer versetzten Überlagerung ihrer Abflussmengen. Die Überlagerung der direkten Abflüsse mit ihren z.T. versetzten und z.T. sich deckenden Amplituden führt zu der oben beschriebenen dreigipfeligen Abflusskurve des Erbacheinzugsystems. Dabei trägt der Abfluss aus dem Einzugsgebiet des Driescheiderbaches, dem westlichen Teileinzugsgebiet, maßgeblich zu der ersten Abflussspitze des Gesamtabflusses, alle drei Teileinzugsgebiete zu dem zweiten Peak und das zentrale sowie das östliche Teileinzugsgebiet von Erbach und Soertherbach zu dem dritten und höchsten Abflussgipfel bei.

Die Abflusskurve des Gesamteinzugsgebietes wird also weniger von dessen Gesamtform, sondern maßgeblich aus der Form, Größe und Länge der Teileinzugsgebiete sowie aus der Lage der Mündungen zueinander bestimmt. Für das Gesamteinzugsgebiet des Erbachs spielen Flächennutzungs- und Gefälleunterschiede eine eher untergeordnete Rolle, da die Ausprägungen beider Variablen im Gebiet relativ gleichmäßig verteilt sind.

6.3 Vergleich der Abflussveränderungen, die sich durch Gewässerstrukturgüteverbesserung ergeben

Betrachtung der Abflüsse aus den Teileinzugsgebieten des Erbachsystems

Alle fiktiv durchgeführten Maßnahmen zeigen Auswirkungen auf die abfließende Hochwasserwelle. In den jeweiligen Teileinzugsgebieten des Erbachsystems werden die Hochwasserwellen durch die Maßnahmen sowohl gedämpft als auch der Abfluss verzögert. Bis auf das westliche Teileinzugsgebiet von Heupelzer- und Driescheiderbach kommt es dabei auch zu einem Anstieg der Abflussdauer.

Der Abfluss, der einen gewässerstrukturell verbesserten Abschnitt passiert, wird abgebremst, wodurch sich eine Veränderung der Abflusskurve gegenüber der des Ist-Zustandes ergibt. Der mündungsnahe Anfang eines Testabschnitts zeigt sich damit am Beginn einer Verzweigung der Abflusskurven von Ist- und verbessertem Zustand.

Die zeitliche Verzögerung des Abflusses in den jeweiligen Teileinzugsgebieten und der damit verbundene Anstieg der Abflussdauer steigern sich mit den in ihnen durchgeführten Maßnahmen. Im zentralen und östlichen Teileinzugsgebiet von Erbach und Soertherbach zeigt sich, dass eine Kombination aus Randstreifenausweisung und Renaturierung die größten zeitlichen Verzögerungen bewirken. In der Wirkung folgen die reine Ausweisung eines Gewässerrandstreifens und dann die Gewässerrenaturierung ohne Randstreifenausweisung (vergl. Abb. 26 und Abb. 32).

Dieser Effekt lässt sich auf die Flächenanteile zurückführen, die durch die jeweiligen Maßnahmen betroffen sind. Bei einer Gewässerrenaturierung wird das Bachbett umgestaltet, das in dieser Arbeit mit 4 m Breite (horizontale Ufer- plus Sohlbreite) angenommen wurde. Eine Randstreifenausweisung führt zu einer Nutzungs- und damit zu einer Rauigkeitsänderung auf jeweils 8 m Breite rechts und links des Gewässers und eine Kombination hebt die Rauigkeit auf einer Breite von insgesamt 20 m (Pixelauflösung) an.

Mit der Verzögerung des Abflusses ist meist auch eine Dämpfung der Hochwasserwelle oder zumindest der Hochwasserspitzen verbunden. Diese Dämpfungswirkung kann sich ebenso mit den verschiedenen Maßnahmen verbessern (Renaturierung, Randstreifenausweisung, Kombination aus beidem) wie dies sehr anschaulich an dem zweiten Gipfel in der Abflusskurve des östlichen Teileinzugsgebietes zu erkennen ist (vergl. Abb. 32).

Der Hochwasserrückhalt kann aber auch dazu führen, dass Hochwasserspitzen, die im weiteren Verlauf des Abflusses folgen, zusätzlich angehoben werden. Dies lässt sich sehr gut an dem maximalen Peak der Abflusskurve aus dem zentralen sowie - etwas schwächer ausgeprägt – an dem dritten Gipfel der Kurve aus dem östlichen Teileinzugsgebiet erkennen (vergl. Abb. 26 und Abb. 32). Hier sind es die reinen Renaturierungsmaßnahmen bzw. im östlichen Teileinzugsgebiet die Renaturierungsmaßnahmen und die Kombination aus Randstreifenausweisung und Renaturierung, die

die Abflussmengen anheben. Wie diese Beispiele zeigen, kann dieser Effekt nicht einer bestimmten Maßnahme zugeordnet werden. Vielmehr ist der Abfluss relevant, der in den retentionsverbesserten Abschnitt zuströmt. Wächst dieser Abfluss kurzzeitig stark an kann er mit den im Retentionsabschnitt schon zurückgehaltenen Wassermassen weiter anschwellen.

Im westlichen Teileinzugsgebiet (Driescheiderbach) ist die Wirkung aller drei Maßnahmen nahezu gleich. Sie führen zu einer leichten Dämpfung der Hochwasserspitzen und zu einer Verzögerung des Abflusses innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls, allerdings ohne dass es zu einem Anstieg der Abflusssdauer kommt. Der Grund dieser nur geringen Retention und der ähnlichen Wirkung aller drei Maßnahmen könnte an der relativ kurzen Abschnittsstrecke liegen, in der die fiktiven Maßnahmen vollzogen wurden.

Betrachtung der Abflüsse aus dem Gesamteinzugsgebiet des Erbachs

Die gewässerstrukturellen Maßnahmen in den einzelnen Teileinzugsgebieten und die damit einhergehenden verbesserten Retentionseigenschaften zeigen z.T. andere Auswirkungen auf die Abflusskurve des gesamten Einzugsgebietes. Hierbei kommt es zu Überlagerungen der verzögerten Abflüsse mit den Abflüssen aus den beiden anderen Teileinzugsgebieten.

So zeigen die Abflusskurven aus dem Gesamteinzugsgebiet bei Strukturgüteverbesserungen im zentralen Teileinzugsgebiet ebenfalls zeitliche Verzögerungen des Abflusses. Die Abflussschwelle wird aber bei allen durchgeführten Maßnahmen nicht gedämpft, sondern noch erhöht (vergl. Abb. 27). Dies liegt daran, dass der Abfluss im zentralen Einzugsgebiet zurückgehalten bzw. gebremst wird und der Abflussschwelle (bei der 180. Minuten im Ist-Zustand) zeitlich um 5 bis 10 Minuten verschoben wird. Diese gebremste Welle trifft nun mit der Hochwasserschwelle aus dem östlichen Teileinzugsgebiet zusammen, deren Abflussschwelle bei der 195. Minute im Ist-Zustand liegt (vergl. Abb. 22). Von der Mündung des Soertherbaches in den Erbach strömen dann die vereinigten Abflussmengen dem Gebietsauslass in Altenkirchen zu.

Umgekehrt verhält es sich mit dem verzögerten Abfluss aus dem östlichen Teileinzugsgebiet. Durch die dort durchgeführten Maßnahmen kommt es zu einer Steigerung der Abflusssdauer von 215 auf 225 Minuten, z.T. in Verbindung mit einer Anhebung der Abflussmengen (3. Abflussschwelle) (vergl. Abb. 32). Bei der Überlagerung der Teilabflüsse werden die Hochwasserspitzen des Gesamtabflusses (2. und 3. Gipfel) kaum verändert, da das Gros des Abflusses aus dem zentralen (3. Welle) bzw. westlichen Einzugsgebiet (2. Welle) geliefert wird (vergl. Abb. 22). Es tritt hier also nur eine geringfügige Reduktion der Gesamtabflussmenge auf. Die Abflussschwelle indes wird verbreitert bzw. es treten Zwischenhochs auf, da nun zu den relativ hohen Abflussmengen des zentralen bzw. westlichen Einzugsgebietes die abgebremsten Mengen aus dem östlichen Einzugsgebiet zeitlich verzögert hinzukommen (vergl. Abb. 33).

Die Dominanz des Abflusses aus dem zentralen Erbachinzugsgebiet zeigt sich auch bei der Abflussdauer. Obwohl durch die gewässerstrukturellen Maßnahmen im östlichen Teileinzugsgebiet dort die Abflussdauer gesteigert wird (vergl. Abb. 32), bleibt eine Steigerung der Abflussdauer für das Gesamteinzugssystem aus (vergl. Abb. 33). Grund dafür ist die Tatsache, dass das Hochwasser aus dem zentralen Erbachgebiet ohne Renaturierungsmaßnahmen schon 225 Minuten von der Einzugsgebietsgrenze zum Gebietsauslass benötigt. Eine weitere Steigerung der Abflussdauer kann aber möglicherweise durch eine längere Renaturierungstrecke im Einzugsgebiet des Soertherbaches erreicht werden. Eine größere Flächenumgestaltung sollte letztendlich auch eine höhere Retention zur Folge haben, was sich dann in einem zeitlich verzögerten Gesamtabfluss widerspiegeln müsste.

Im westlichen Teileinzugsgebiet verbessert sich das Retentionsvermögen durch die dort durchgeführten gewässerstrukturellen Maßnahmen nur minimal – eine geringe Verzögerung der zweiten Abflusswelle ist das Resultat (vergl. Abb. 29). Diese geringe Abflussverzögerung – die Abflussspitze verschiebt sich nur um ein bis zwei Minuten – hat aber zur Folge, dass nun das abgebremste Hochwasser des Driescheiderbaches an dessen Mündung mit der anschwellenden Hochwasserwelle aus Erbach und Soerterbach zusammentrifft (vergl. Abb. 22). Die Abflussmenge der zweiten Welle des Gesamtabflusses wird dadurch erhöht (vergl. Abb. 30). Hier tritt der gleiche Effekt auf wie an der dritten Abflusswelle des Gesamtabflusses im Falle der Verbesserungsmaßnahmen im zentralen Teileinzugsgebiet.

Im Gesamteinzugsgebiet laufen ab der 140. Minute die Abflusskurve von Ist-Zustand und den Kurven, die sich durch die Verbesserungsmaßnahmen im westlichen Teileinzugsgebiet ergeben wieder exakt übereinander (vergl. Abb. 30). Dies liegt darin begründet, dass ab diesem Zeitpunkt das Gros des Abflusses aus dem westlichen Teileinzugsgebiet schon abgeflossen ist und das zentrale und das östliche Teileinzugsgebiet den Abfluss dominieren bzw. ab der 168. Minute alleinig am Abfluss beteiligt sind.

Betrachtung des Abflusses aus dem Wiedeinzugsgebiet

Wie im Erbachsystem, so zeigt sich auch in den Abflusskurven des Wiedeinzugsgebietes ein Anstieg des Retentionsvermögens mit zunehmender Verbesserung der Gewässerstrukturgüte. Das Retentionsvermögen wächst mit (fiktiver) fortschreitender Sukzession und Selbstregulierung des Fließgewässers innerhalb des ausgewählten Testabschnitts (vergl. Abb. 40).

Dieser Effekt lässt sich einerseits auf die Flächenanteile, die bei den jeweiligen Prozessen beteiligt sind, andererseits auf die Zunahme der Rauigkeit innerhalb dieser Flächen zurückführen. Mit der Ausweisung eines Randstreifens, als Maßnahme der Gewässerstrukturgüteverbesserung, wird auf einer relativ großen Fläche das Retentionsvermögen angehoben. Im nächsten Schritt, der beginnenden Selbstregulierung des Flusses, handelt es sich nur um eine geringfügige Aufwertung des Gewässers, da die Verbesserung eher einen linien- als einen flächenhaften Charakter

besitzt. Im dritten Schritt wird eine Verbrachung der Aue unterstellt, was wieder eine größere Flächenumwidmung und damit einhergehend eine weitere Anhebung des Retentionsvermögens bedeutet, das im vierten Schritt durch Annahme einer weiteren Sukzession noch einmal verbessert wird. Die zusätzliche Aufwertung der Gewässerstrukturgüte durch die fortschreitende Selbstregulierung des Gewässerlaufs im dritten und vierte Schritt fällt dabei wohl, wie es im zweiten Schritt zu beobachten ist, nur geringfügig ins Gewicht.

Insgesamt werden die Hochwasserwellen nur zeitweise gedämpft. Auffallender ist eher die Abflussverzögerung, die mit fortschreitender Gewässerstrukturgüteverbesserung zunimmt und die damit einhergehende Anhebung der Abflussdauer.

Einen großen Zuwachs des Retentionsvermögens ergibt sich auch bei Herstellung des potentiell natürlichen Zustandes entlang des gesamten Unterlaufs und unteren Mittellaufs außerhalb der Ortslagen (vergl. Abb. 41). Hierbei kommt es zu einer deutlichen Abflussverzögerung mit einer Verlängerung der Abflussdauer um fast 10 %. Abflussdämpfungen treten hier ebenfalls nur gelegentlich auf und sind auch dann nur minimal.

Auffällig in allen Abflusskurven des Wiedereinzugsgebietes, bei denen Strukturgüteverbesserungen vorliegen, sind die Zunahmen der Abflussmengen gen Ende des Abflusses, wie dies auch bei den durchgeführten Maßnahmen im zentralen Teil des Erbach-einzugs-systems zu beobachten ist.

Verantwortlich sind hierbei – wie schon erwähnt – einerseits die Abflussmassen, die in einen retentionsverbesserten Abschnitt zuströmen und sich dort mit den zurückgehaltenen Wassermassen aufsummieren. Dies dürfte gerade für den Testabschnitt im Wiedereinzugs-system zutreffen, der am Mittellauf des Flusses liegt. Ihm folgt flussaufwärts ein großes Resteinzugsgebiet, aus dem umfangreiche Wassermassen strömen können. Dazu gehört auch das Einzugsgebiet des Holzbaches, dem größten Nebengewässer der Wied (vergl. Abb. 39).

Ein weiterer Grund sind die Überlagerungen von abgebremsten mit nicht abgebremsten Abflusswellen mehrerer sich vereinender Teileinzugsgebiete (wie im Falle des Erbach-einzugs-systems). Der Erhöhung von Abflussspitzen durch Überlagerung kann aber dadurch entgegengewirkt werden, dass (gleichzeitig) entlang mehrerer Gewässerabschnitte in verschiedenen Teileinzugsgebieten eines Einzugs-systems Maßnahmen zur Erhöhung des Retentionsvermögens vorgenommen werden. Dies wird aus den Abflusskurven für das Erbach-system sehr deutlich, wo in mehreren Teileinzugsgebieten gewässerstrukturelle Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt wurden (vergl. Abb. 34 bis 37). Auch die fiktive Herstellung eines potentiell natürlichen Zustandes aller Fließgewässer (> 1 m Breite) außerhalb der Ortslagen ist eine Variante, um das Retentionsvermögen des gesamten Einzugs-systems aufzuwerten und die Abflusswellen zu reduzieren (vergl. Abb. 38).

Im Falle der Wied wurde allerdings nur ein Testabschnitt ausgewählt und an diesem Verbesserungen, inklusive die Herstellung eines potentiell natürlichen Zustandes angenommen.

6.4 Erwartete und erzielte Ergebnisse

Die in Kapitel 1.4 gestellten Fragen können wie folgt beantwortet werden:

Lässt sich eine relativ einfach Methode finden, um einen möglichen Einfluss der Gewässerstrukturgüteparameter auf das Abflussverhalten eines Fließgewässers zu testen?

Die rasterbasierte Ausbreitungsanalyse (mit dem Tool Flow Length) stellt eine geeignete Methode dar, den Einfluss der Gewässerstrukturgüteparameter auf das Abflussverhalten eines Fließgewässers zu testen. Ergebnis solcher Ausbreitungsanalysen sind Distanzflächendiagramme, die die Abflusszeiten aus den Einzugsgebieten angeben. Über Gewichtungen gehen dabei Verzögerungs-/Reibungsfaktoren ein, die den Abfluss bremsen – in diesem Fall sind es Rauigkeitsbeiwerte von Flächennutzungen und Gewässerstrukturgüteparametern sowie das Gefälle. Eine Abschätzung der Abflussdauer ist über die Konzentrationszeit möglich. Die Informationen aus den Distanzflächendiagrammen lassen sich letztlich in Abflusskurven übertragen anhand derer die Auswirkungen von Gewässerstrukturgüteveränderungen auf das Abflussverhalten optimal verdeutlicht werden.

Welche Veränderungen/Verbesserungen der Gewässerstrukturgüte spiegeln sich in einem veränderten Abflussverhalten wider?

Es können keiner bestimmten gewässerstrukturellen Aufwertung bestimmte Auswirkungen zugeordnet werden. Generell haben alle Veränderungen Auswirkungen auf das Abflussverhalten, sei es nun die Gewässerrenaturierung, eine reine Gewässerstrandstreifenanweisung oder die Kombination aus beiden Maßnahmen. Diese kommen allerdings nur zur Geltung bzw. werden in der Abflusskurve nur dann sichtbar, wenn die gewässerstrukturellen Aufwertungen auf einer, in Relation zu dem Einzugsgebiet entsprechend großen Fläche umgesetzt werden. Die Auswirkungen von positiven Veränderungen der Gewässerstrukturgüte sind Abflussverzögerungen, die z.T. auch zur Verlängerung der Abflussdauer führen, und Dämpfungen der Hochwasserspitzen bzw. –welle. Daneben kann es aber auch zu einer Anhebung der Hochwasserspitzen kommen (z.B. bei Maßnahmen im westlichen Teileinzugsgebiet des Erbachsystems). Diese Folgen sind im Rahmen des Hochwasserschutzes allerdings kontraproduktiv und Maßnahmen, die solche Auswirkungen nach sich ziehen, sollten entweder durch weitere Maßnahmen kompensiert werden oder – wenn nötig – ganz unterbleiben.

Welche Strukturgüteverbesserungen haben den effektivsten Einfluss auf eine mögliche Verzögerung der Abflusskurve oder einer Dämpfung der Hochwasserspitzen?

Mit wachsender Fläche, die umgestaltet bzw. umgewidmet wird, nimmt auch die Retentionswirkung zu – vorausgesetzt, der Entwicklungsabschnitt besitzt eine gewisse Mindestgröße. Innerhalb eines Entwicklungsabschnitts steigt die Anhebung des Retentionsvermögens mit den Maßnahmen Gewässerrenaturierung, reine Gewässer-Randstreifenanweisung und Kombination aus Randstreifenanweisung und Renaturierung.

Inwieweit können sich Maßnahmen in einem Teileinzugsgebiet negativ auf den Abfluss des Gesamteinzugsgebietes auswirken?

Die Frage nach den Gewässerabschnitten, die für gewässerstrukturelle Maßnahmen zu wählen sind, um das bestmögliche Ergebnis bzgl. einer Retention zu erhalten, ist ein zentrales Problem bei der Planung von Gewässer- und Auenentwicklungen.

Mit einer Verbesserung des Retentionsvermögens ist meist auch eine Veränderung der Abflusskurve verbunden. Bei der Überlagerung der Abflusskurven aller verbesserten und belassenen Teileinzugsgebiete kann es dabei zu den verschiedensten Auswirkungen auf den Gesamtabfluss kommen, wie es aus den Abflusskurven des Erbach-einzugs-systems ersichtlich wird. Neben Abflussverzögerung und Dämpfung als positive Auswirkungen ist die Anhebung der Hochwasserwelle als negative Auswirkung zu nennen.

Die Parameter Form, Größe und Länge der Teileinzugsgebiete bestimmen den Verlauf der Abflusswellen. Der Umfang der Gewässerstrukturgüteverbesserung (Maßnahme und Länge des Entwicklungsabschnitts) bestimmt den Grad der Retention, die wiederum die Abflusswelle verändert. Die Lage der Teileinzugsgebietsmündungen zueinander bestimmen, wie die Überlagerung der einzelnen Teileinzugsgebietswellen erfolgt. Sind die Abflusskurven der Teileinzugsgebiete und die Abflussüberlagerungen bekannt, so können Verbesserungsmaßnahmen gezielt (und dosiert) an bestimmten Gewässerstrecken geplant und durchgeführt werden, um eine optimale Retention für das Gesamteinzugs-system zu erhalten bzw. um Maßnahmen zu kompensieren oder zu unterlassen, die zu kontraproduktiven Auswirkungen führen.

6.5 Vorschlag von Rückbau- bzw. Renaturierungstrecken

Der Vergleich der Abflusskurven bei derzeitigem Gewässerstrukturgüte-Zustand gegenüber dem bei einem potentiell natürlichen Zustand zeigt sowohl für das Erbach als auch das Wiedereinzugsgebiet einen beachtlichen Unterschied hinsichtlich des Retentionsvermögens. Im Wiedereinzugsgebiet wurden zwar nur die ersten 70 km des Vorfluters ab der Mündung und nicht alle Fließgewässer des Einzugssystems berücksichtigt, doch schon allein für diesen Abschnitt ist ein enormes Retentionspotential erkennbar. Die Verlängerung der Abflussdauer ist hier um fast 10 %, im Erbacheinzugsgebiet um 27 % möglich.

Der potentiell natürliche Zustand lässt sich allerdings nur schwerlich und, wenn möglich, nur unter gewaltigen finanziellen Anstrengungen (Ankauf von Gewässerrandstreifen) verwirklichen. Eine Verbesserung des Retentionsvermögens muss sich daher (erst einmal) auf einige wenige Abschnitte pro Einzugsgebiet beschränken. Dabei ist es sinnvoll, an mehreren Strecken, innerhalb eines Einzugsgebiets verteilt, gewässerstrukturelle Verbesserungsmaßnahmen durchzuführen. Für dieses Vorgehen sprechen zwei Gründe: erstens nimmt die Retention mit der umgewandelten Fläche zu und zweitens wird durch eine räumliche Verteilung der Maßnahmen das Hochwasser innerhalb des Einzugsgebietes gleichmäßig zurückgehalten – vorausgesetzt, die Maßnahmen werden auf die Teilabflüsse abgestimmt.

Werden mehrere Maßnahmen an unterschiedlichen Abschnitten innerhalb des Erbacheinzugsgebietes gleichzeitig umgesetzt, so zeigen sich auch hier verschiedene Auswirkungen auf den Verlauf der Abflusskurven.

- Maßnahmen im Zentrum und im westlichen Teileinzugsgebiet sorgen für eine Verlängerung der Abflussdauer ist um ca. 7 %. Die Abflusswelle wird zeitweise aber auch stark angehoben (um 12 %) (vergl. Abb. 34).
- Maßnahmen im östlichen sowie im westlichen Teileinzugsgebiet zeigen kaum effektive Veränderung in der Abflusskurve (vergl. Abb. 35). Es kommt teils zu einer leichten Reduktion teils zu einem minimalen Anstieg der Hochwasserspitzen.
- Maßnahmen im Zentrum und im östlichen Teileinzugsgebiet sowie die Kombination von Maßnahmen in allen drei Teileinzugsgebieten bringen jeweils eine Verlängerung der Abflussdauer ist um ca. 7 % und gehen mit einer Senkung der höchsten Abflussspitzen um rund 8 % einher (vergl. Abb. 36 und 37). Die Maßnahmen, die nur im Zentrum und im östlichen Teil zusammen durchgeführt werden, bewirken die Senkung einer weiteren Abflussspitze, während diese bei der Dreierkombination sogar noch angehoben wird.

Die parallele Umsetzung von Maßnahmen im zentralen und im östlichen Teileinzugsgebiet muss hier also bevorzugt werden. Sie ist in diesem Fall (Auswahl von drei möglichen Entwicklungsabschnitten) die optimalste Lösung, um das Retentionsvermögen des Erbacheinzugssystems wirkungsvoll zu erhöhen. Zudem spart diese

Variante auch noch Kosten, da nur auf zwei statt auf möglichen drei Anschnitten Maßnahmen durchgeführt werden müssen.

Dies bedeutet allerdings nicht, dass auf lange Sicht im westlichen Teileinzugsgebiet keine Maßnahmen durchgeführt werden sollten. Vielmehr ist anzustreben, in allen drei Teileinzugsgebieten Maßnahmen zur Strukturgüteverbesserung zu ergreifen und die Länge der Entwicklungsabschnitte sowie die Aktionen so aufeinander abzustimmen, dass sich für das Gesamteinzugssystem eine möglichst große Steigerung des Hochwasserrückhalts ergibt.

Die Kombination mehrerer Retentionsverbesserungsmaßnahmen in einem Einzugsgebiet, wie dem des Erbachs, ist ganz im Sinne des dezentralen Hochwasserschutzes. Hierunter werden alle Maßnahmen zur Rückhaltung von Niederschlagswasser in den Teileinzugsgebieten, vorzugsweise der Flussoberläufe und Nebengewässer verstanden. Entlang der Fließgewässer und Auen sind dies Rückbau bzw. Renaturierungsmaßnahmen, die Schaffung von Uferstreifen und begleitenden Kleingewässern (Tümpel, Altwasser, Gewässerarme) in den Bach- und Flussauen, die Aktivierung potenzieller Retentionsräume sowie die Aktivierung des Rückhaltepotentials von Feucht- und Moorebenen, soweit diese entwässert sind. Daneben zählen auch Maßnahmen im Bereich der Landnutzung (z.B. Änderung der Landnutzung oder Änderung von Bewirtschaftungsformen) und Rückhaltemaßnahmen dazu. Der dezentrale Hochwasserschutz konzentriert sich dabei nicht allein auf Möglichkeiten zur Retentionsverbesserung im und am Gewässer, sondern hat die Gesamtfläche eines Einzugsgebietes im Blick (AULIG ET AL. 2004).

6.6 Berücksichtigung von Schutzgebietsausweisungen

Wie bei allen Planungen, so sind auch bei Gewässerentwicklungsplanungen Naturschutzgebiete zu berücksichtigen. Dies sollte hierbei frühzeitig geschehen. Bei der Prüfung von Entwicklungsabschnitten müssen diese Gebiete ausgespart werden, um die Wirkungen von geplanten Gewässerstrukturgüteverbesserungen auf den Hochwasserrückhalt relativ genau abzuschätzen. Werden die Gebiete mit einbezogen, so werden u.U. höhere Retentionseffekte berechnet als sie dann später durch die Umsetzung tatsächlich erreicht werden können.

Bei einer realen Gewässerentwicklungsplanung müssten im Einzugsgebiet des Erbachs keine Naturschutzgebiete beachtet werden, da sich hier keine befinden. Sollten innerhalb des Testabschnitts an der Wied gewässerstrukturelle Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt werden, so müsste das Naturschutzgebiet „Berschaue“ berücksichtigt werden.

Das Naturschutzgebiet „Berschaue“ liegt in unmittelbarer Nachbarschaft zur Wied zwischen den Flusskilometern 44,1 und 44,2 und damit direkt am linken Ufer des untersuchten Testabschnitts des Flusses. Es handelt sich um einen Grünlandstandort, auf dem bedrohte wildwachsende Pflanzen und Pflanzengesellschaften vorkommen. Unter anderem sind hier Aufforstungen auf Flächen verboten, die vorher nicht mit Wald bestockt waren. Zudem ist es untersagt, Veränderungen am Ufer vorzunehmen. Dies bedeutet also, dass bei der Planung von gewässerstrukturellen Verbesserungen in diesem Areal kein Auwald entwickelt werden darf und Renaturierungsmaßnahmen am linken Ufer der Wied zu unterlassen sind.

In dieser Arbeit wurde im Testabschnitt der Wied ein Gewässerrandstreifen ausgewiesen und auf diesem eine Sukzession simuliert – in weiterer Folge der Simulation auch innerhalb großer Bereiche der Aue. Weiterhin wurde angenommen, dass sich die Ufer des Gewässers durch eine parallel zur Randstreifenausweisung beginnenden Eigenentwicklung verbessern. Im Bereich des Naturschutzgebietes „Berschaue“ kann aber keine Auewaldentwicklung erfolgen. Hier wird durch Pflegemaßnahmen die Sukzession unterbunden, um den Grünlandstandort bzw. die Pflanzengesellschaften zu schützen. Eine mögliche Eigenentwicklung des Gewässers beeinträchtigt den Biotop nicht. Renaturierungsmaßnahmen am Gewässer (Umgestaltung des Ufers) sind allerdings von der oberen Naturschutzbehörde zu genehmigen, denn die Durchführung der Maßnahmen (z.B. der Einsatz von Baggern) kann u.U. den Biotop schädigen.

7. Diskussion, Ausblick, Zusammenfassung

7.1 Diskussion

7.1.1 Gewässerentwicklung und Hochwasserschutz

Hochwasserschutz wurde in den letzten 150 Jahren meist mit technischem Hochwasserschutz gleichgesetzt. Es wurden Fluss- und Bachbegradigungen durchgeführt, um u.a. anfallendes Niederschlagswasser schnell abzuführen. Es wurden Auen trockengelegt und das gewonnene Land zum Schutz vor Hochwasser eingedeicht. Die Folgen waren der Verlust von Retentionsfläche und damit verbunden eine Aufhöhung der Hochwasserwellen sowie eine Eintiefung der Gewässer durch die Konzentration und die Beschleunigung des Abflusses.

Lange Zeit wurde dem technischen Hochwasserschutz der Vorzug gegeben. In den letzten Jahrzehnten traten aber verstärkt integrierte und nachhaltige Betrachtungsweisen hinzu, die zum vorbeugenden Hochwasserschutz führten. Die Renaturierung von Gewässern und Auen zählt – mit der Regenrückhaltung, der Versickerung und einer standortgerechten Landwirtschaft – zu den Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes, welcher auch die Bezeichnungen passiver, planerischer, dezentraler Hochwasserschutz trägt. Hierbei soll durch eine positive Einflussnahme auf die Speicherkapazitäten der Gewässer-Aue-Systeme eine Dämpfung der Hochwasserereignisse erzielt werden (UHLIG 2001; S. 9 f).

Einzelne Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes zur Erhöhung der Retention auf den Hochwasserabfluss sind zwar als eher gering einzustufen. Eine Vielzahl von durchgeführten Maßnahmen zum natürlichen Rückhalt kann jedoch zu einem spürbaren Erfolg im Bereich des Hochwasserschutzes führen (HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH 2001, S. 90 f).

Positive Effekte auf den Hochwasserrückhalt zeigen die vorbeugenden Hochwasserschutzmaßnahmen, die in dieser Arbeit simuliert wurden. Im Erbachenzugssystem bedingen Gewässerstrukturgüteverbesserungen in Form von Gewässerrenaturierungen oder der Bereitstellung von Gewässerrandstreifen eine Anhebung des Retentionspotentials an der jeweiligen Gewässerstrecke. Dabei ist die Retentionssteigerung durch Gewässerrandstreifen größer als durch Gewässerrenaturierungen. Daraus lässt sich ableiten, dass es sinnvoll ist, sich im Zuge einer landesweiten Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Gewässer-Aue-Systeme, wie es die europäische Wasserrahmenrichtlinie anführt, auf den Ankauf von Randstreifen zu konzentrieren und die Laufregulierung den Fließgewässern selbst zu überlassen (Eigenentwicklung). Auch die Kosten sprechen für dieses Vorgehen. Während bei Gewässerrenaturierungen erstens Land angekauft werden muss und zweitens Kosten für die Renaturierung entstehen – für die Anlage eines neuen naturnahen Laufs mit naturnahem Querprofil sowie für den Kauf von Setzlingen für die Uferbepflanzung – resultieren bei der Ausweisung von Randstreifen die überwiegenden Kosten aus den Ausgaben für den Grundstückserwerb.

Gewässerrandstreifen bringen aber nicht nur einen merklichen Retentionsgewinn. Sie bieten dem Gewässer auch Raum für die Laufentwicklung und können es – v.a. bei dichtem, hohem Bewuchs – vor Einträgen aus der Landwirtschaft schützen (ANSELM 1990, S 17 ff; PETER und WOHLRAB 1990, S. 65 ff). Bei vielen Gewässerentwicklungsprojekten ist der Ankauf und die Einrichtung von Gewässerrandstreifen daher ein Schwerpunkt von vielen Maßnahmen bzw. diese Maßnahme wird von den Fachbehörden oder Ministerien empfohlen (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1997, S.72 ff, MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ 1996, S. 69 ff und 1999).

Ein Augenmerk liegt dabei auf die Eigenentwicklung der Gewässer sowie der Wiederherstellung einer natürlichen Aue. „Man kann die fehlenden natürlichen Gewässerstrukturen nicht mit Baumaschinen anfertigen und nicht mit Gewalt herbeiführen. Sie müssen auf natürliche Weise durch natürliche Regenerationsprozesse, durch naturnahe Überschwemmungen wiederentstehen“ (BOETTCHER 2000, S. 6).

Damit es zur Eigenentwicklung kommt, muss die natürliche Laufverlagerung unterstützt und z.T. auch angeregt werden. In verbauten Gewässerstrecken sollte der Uferverbau abschnittsweise beseitigt werden. Das Einbringen von Initialstrukturen wie Sturzbäume oder Ufersporene kann dabei helfen, dass die Strömung vor allem bei Hochwasser abgelenkt wird, es zur Krümmungserosion und damit zu einer beginnenden Laufverlagerung kommt.

Im Bereich der Aue können einzelne verstreut angelegte Pflanzungen von bodenständigen Gehölzen die Sukzession und damit die Entwicklung eines Auwaldes unterstützen (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1997, S. 73). Alle diese Maßnahmen in Verbindung mit der Bereitstellung von (großräumigen) Gewässerrandstreifen steigern den Fließwiderstand und damit auch die Retention – wie es sich in den Ergebnissen dieser Arbeit zeigt. Darüber hinaus ist mit der Retention des Hochwassers ein weiterer Effekt verbunden. Es kommt teilweise zu einer Versickerung des zurückgehaltenen Wassers, was zu einer Anreicherung des Grundwassers führt (HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH 2001, S. 93).

Die Wiederansiedlung von autotypischer Vegetation und die Vernetzung bestehender naturnaher Strukturen (Auwaldreste, Altarme, Altwässer etc.) ist ein wichtiger Bestandteil der Entwicklung naturnaher Gewässer-Aue-Systeme (HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, JUGEND, FAMILIE UND GESUNDHEIT 1998, S. 2796 f). Durch die Entwicklung von Auenwaldflächen oder -streifen auf ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen des Gewässervorlandes wird eine Erhöhung des Fließwiderstandes erreicht (BAUER 2004, S. 42). „Die so erhöhte hydraulische Rauheit soll höhere Wasserspiegellagen generieren...sowie den Hochwasserabfluss verlangsamen...“ (KAUTENBURGER, J. ET AL. 2002, S. 21).

Die hydraulische Wirkung von Gewässerrandstreifen oder Bracheinseln innerhalb der Aue ist abhängig von der Art ihres Bewuchses und ihrer Breite bzw. Fläche (ANSELM

1990, S 10 ff). Das zeigt sich auch in den Ergebnissen der fiktiven Eigenentwicklung und Sukzession an der Wied. Hier nimmt einerseits die Breite des Randstreifens zu (von 20 m auf 90 m) und andererseits ändert sich der Bewuchs von Brache zu Auwald. Aus dieser Entwicklung resultiert dann auch die steigende Retention. Zur Entwicklung eines gut gestuften Auwaldsaums wird ein 15 m breiter Uferstreifen für erforderlich angesehen (DVWK 1997, S 23). Die Mindestbreite von Gehölzstreifen sollte bei kleinen Gewässern 5 m und bei größeren Gewässern wie der Wied 10-15 m am Prallufer und am Gleitufer 30 m betragen (ANSELM 1990, S. 45, BAUER 1990, S. 214 ff).

Für den Hochwasserrückhalt sorgen auch natürliche Strukturen wie Flutmulden, Tümpel und Altwasser. Diese Strukturen können bei der Entwicklung einer natürlichen Aue entweder neu angelegt oder – wenn vorhanden – durch Deichrückverlegung reaktiviert werden. Sie halten auch nach dem Hochwasserereignis z.T. für längere Zeit das Wasser, das hier versickern und verdunsten kann.

Andere Möglichkeiten das Hochwasser zurückzuhalten besteht in der Schaffung von Rückhaltebecken, Vorlandwällen und Stauseen. Diese Maßnahmen fallen allerdings in den technischen Hochwasserschutz.

Bei der Anlage von Stauseen werden große Querbauwerke oder Dämme quer zum Fließgewässer errichtet, um das Wasser zurückhalten. Diese stauen aber nicht nur das Wasser oberhalb des Wehres, sondern stellen auch eine Wanderbarriere für Fische, das Makrozoobenthos und andere Tierarten dar. Zudem wird der Geschiebehaushalt stark beeinträchtigt. Gerade grobes Geschiebe, das für die gesamte gewässermorphologische Strukturbildung wichtig ist, fehlt unterhalb des Querbauwerkes, wo es verstärkt zu einem Strukturmangel und zur Tiefenerosion kommt (LAWA 1998 a, S 56). Stauseen sind daher kontraproduktiv zu den Zielen der Gewässerstrukturgüte und der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie und sollten nur dann unter dem Aspekt des Hochwasserschutzes gesehen werden, wenn andere, dringendere Gründe die Errichtung dieser Seen vorsehen (z.B. für den Trinkwasserbedarf oder die Energiegewinnung).

Vorlandwälle sind flache Dämme (z.B. 0,5 m), die in den Auen bzw. im Gewässervorland senkrecht zur Fließrichtung errichtet werden. Die Durchgängigkeit des Fließgewässers wird dabei nicht beeinträchtigt. „Durch die überströmbaren Wälle wird bis zu einem bestimmten Wasserstand der abflusswirksame Bereich der Vorländer abschnittsweise eingeschränkt und damit die Wasserspiegel lokal angehoben“ (BAUER 2004, S. 45). Wegen des bei Hochwasser entstehenden Rückstaus werden sie entweder stromaufwärts oder unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes stromabwärts von Ortslagen angelegt. Da die Vorlandwälle relativ niedrig sind, lassen sie sich gut und die Landschaft integrieren und mit vorhandenen talkreuzenden Wegen kombinieren.

Rückhaltebecken können im Fließgewässer (im Hauptschluss) oder parallel dazu (im Nebenschluss) angelegt werden. Rückhaltebecken im Hauptschluss (ohne Umlauf/Umgehungsgerinne) stellen wie die Stauseen eine Barrieren für Fische und andere

Tierarten sowie für das Geschiebe dar. Rückhaltebecken im Nebenschluss sind dagegen eine Möglichkeit des Hochwasserrückhalts, die die Durchgängigkeit der Fließgewässer gewährleisten. Hierbei können neue Becken angelegt oder aufgelassene Fischteiche genutzt werden. Die Rückhaltebecken sollten möglichst miteinander vernetzt und antizyklisch zum jeweiligen Wasserangebot entleert werden (SCHÜLER 2005). Wie Flutmulden, Tümpel u.ä. so führen auch naturnahe Rückhaltebecken das zurückgehaltene Wasser der Verdunstung und der Versickerung zu. Sowohl die natürlichen Senken als auch die naturnahen Rückhaltebecken haben damit positive Effekte auf die Grundwasserneubildung bzw. auf den Grundwasserhaushalt der Auen und auf das Kleinklima. Zusätzlich tragen sie zur Vielfaltigkeit des Landschaftsbildes bei.

7.1.2 Kritische Anmerkungen zu Daten und Methode

In der vorliegenden Arbeit wurden einige Annahmen getroffen bzw. Vereinfachungen vorgenommen und auf empirisch abgeleitete sowie klassifizierte Daten zurückgegriffen. Dies wirkt sich auf die Exaktheit der Ergebnisse aus.

1. Für jede Landnutzungsform im Untersuchungsgebiet wurde ein bestimmter Rauheitsbeiwert gewählt, der entweder aus der Literatur entnommen oder aus anderen Rauheitsbeiwerten abgeleitet wurde. Wie aber die Aufstellung der Rauheitsbeiwerte für Ackerland (vergl. Anhang B) verdeutlicht, schwanken die Werte mit Anbaufrucht und Vegetationszeitpunkt. Die gleiche Problematik ist bei vielen Landnutzungsformen anzunehmen. Bei Grünland sind die Werte von Standort (Fettwiese, Magerrasen etc.) und Grassorten, vom Vegetationszeitpunkt bzw. dem Zeitpunkt vor oder nach der Mahd sowie von der Nutzung (Mähwiese, Weide u.a.) abhängig. Im Wald sind z.B. Krautschicht und Unterholz bestimmende Faktoren und im Siedlungsbereich ist das Verhältnis von bebauten zu unbebauten Bereichen relevant.

Die Rauheitsbeiwerte haben erheblichen Einfluss auf die berechneten Abflusskurven. Daher sind für die Abschätzung der Auswirkungen von Gewässerstrukturgüteverbesserungen die Rauheitsbeiwerte der jeweiligen Landnutzungsform in einem Einzugsgebiet zu verifizieren. Dies kann allerdings nur mittels hydraulischer oder hydrologischer Verfahren erfolgen.

2. Bei den Gewässerstrukturgütedaten handelt es sich um klassifizierte Daten. Sie besitzen daher eine gewisse Unschärfe. Eine bodenständige Galerie wird z.B. dann erhoben, wenn auf einer Länge von über 50 % des Gewässerabschnitts Erlen, Weiden und/oder Eschen stocken. In einem 100 m-Abschnitt können damit folglich auf 51 m oder auf 100 m Länge bodenständiger Gehölze vorhanden sein. Zudem lassen die Daten keinen Rückschluss zu, wie dicht die Gehölze zueinander stehen. Weit auseinanderstockende Erlen auf 51 m eines

100 m-Abschnitts setzen dem Hochwasser deutlich weniger Widerstand entgegen als eine dicht stehende Gehölzreihe auf 100 m Länge. Die verwendeten Rauheitsbeiwerte für die Ausprägungen zur Gewässerstrukturgüte stellen damit gegenüber den realen Gegebenheiten nur einen ungefähren Wert dar.

3. Wegen fehlender Angaben zum Querprofil mussten Sohlbreite und Gewässertiefe abgeschätzt werden – letztere über das Tiefen-Breitenverhältnis. Die Uferbreite von Geländeoberkante bis Sohle ist abhängig von Böschungsneigung und Gewässertiefe. Je flacher die Neigung und je tiefer das Gewässerbett ist, desto breiter ist das Ufer. Umso größer ist damit auch dessen Flächenanteil bei der Berechnung der Gesamtrauheit des Fließgewässers. Eine Abschätzung von Sohlbreite und Gewässertiefe – so gut sie auch sein mag – führt so zu ungenauen Werten für die Gesamtrauheit des Fließgewässers bzw. des Gewässer-Aue-Systems.
4. Mit einer Renaturierung ist meistens auch eine Veränderung der Uferbreite von Geländeoberkante bis Sohle verbunden. Die Böschungen werden abgeflacht und die Ufer somit verbreitert. Diese Veränderungen wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.
5. Zur Ermittlung der Abflusskurven wurde ein Oberflächenabfluss innerhalb eines Einzugsgebietes simuliert und die Abflussdauer über die Konzentrationszeit abgeschätzt. Dies geschah über eine empirisch abgeleitete Formel. Die exakte Dauer des Abflusses ist aber nicht relevant. Ausschlaggebend sind vielmehr die Auswirkungen der Gewässerstrukturgüteverbesserungen auf den Hochwasserrückhalt. Diese zeigen sich in den Kurvenverläufen der jeweiligen Abflüsse unabhängig von der Abflussdauer.
6. Die Abflusskurven von Oberflächenabflüssen sind allerdings andere als die von linearen Abflüssen, die in der Realität in den Gewässern auftreten. Auch ist zu berücksichtigen, dass es bei kleineren Hochwässern nicht unbedingt zu einer Ausuferung des Abflusses kommen muss. In diesen Fällen konzentriert sich der Abfluss nur innerhalb des Gewässerbetts. Die hochwasserbremsenden Flächen von Randstreifen und/oder Aue kommen dann nicht zur Geltung, was wiederum Auswirkungen auf die Abflussgeschwindigkeit bzw. -dauer hat.
7. Die Niederschlagshöhe geht bei der Berechnung der Konzentrationszeit als Faktor ein, der beim jeweiligen Niederschlagsereignis konstant ist. Das bedeutet, dass die berechnete Abflussdauer mit steigender Niederschlagshöhe abnimmt. Der Kurvenverlauf des Abflusses bleibt aber gleich, er wird nur in seiner zeitlichen Erstreckung gestaucht. Dies bedeutet wiederum, dass sich die Retentionsveränderungen infolge gewässerstruktureller Verbesserungen – wenn sich welche ergeben – bei allen unterschiedlichen Blockniederschlägen zeigen. Lediglich das Ausmaß dieser Retentionsveränderungen ist ein anderes.

Trotz der aufgeführten Schwächen in der Datengrundlage ist es möglich, die mit den gewässerstrukturellen Verbesserungen verbundenen Auswirkungen auf den Hochwasserabfluss aufzuzeigen und einzuschätzen. Durch genauere bzw. zusätzliche Daten kann auch die Exaktheit der Ergebnisse gesteigert werden. Während die Datengrundlage nicht optimal war, so zeigte sich die in dieser Arbeit angewandte Methode als adäquat zur Bestimmung des Retentionspotentials bzw. -vermögens.

Der große Vorteil der angewandten Methode beruht darauf, dass das Retentionsvermögen von Einzugsgebieten über die jeweiligen Abflusskurven ermittelt wird. Werden Retentionspotentialdefizite oder Retentionspotentialsteigerungen in Karten dargestellt, so lassen sich diese Unterschiede im Raum ablesen. Eine bildliche Vorstellung von den Auswirkungen der Verbesserungsmaßnahmen bringen aber erst die Darstellungen von Distanzflächen bzw. den daraus abgeleiteten Abflusskurven. Zudem zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass nicht jede Verbesserungsmaßnahme auch einen positiven Effekt auf den Gesamtabfluss hat (vergl. Kap. 5.1.4). So führen fiktive Gewässerstrukturgüteverbesserungen im westlichen Teileinzugsgebiet des Erbachsystems zu einer Anhebung der Hochwasserspitze im Abfluss des Gesamteinzugsgebietes. Auf einer Karte mit Darstellung der Speicherkonstanten o.ä. würde im Bereich dieser Verbesserungsmaßnahme eine Aufwertung deutlich werden. Die kontraproduktive Auswirkung für das Gesamtsystem ginge daraus jedoch nicht hervor.

7.2 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen von fiktiven Gewässerrenaturierungen und Gewässerrandstreifenausweisungen auf die Steigerung der Retention untersucht. Dabei gingen Gewässerstrukturparameter aus dem Vor-Ort-Verfahrens nach LAWA (1998 a) in die Analyse ein. Dies waren Laufkrümmung, Profiltyp, Sohlensubstrat, Uferbewuchs, Flächennutzung und Uferstreifen. Weitere Parameter, die zur Verzögerung des Hochwasserabflusses beitragen, wie z.B. Lauf-, Ufer- oder Sohlenstrukturen, konnten über die Formel zur Bestimmung der Gewässerbetrauheit (nach BAUER 2004) nicht berücksichtigt werden.

In der Fortsetzung dieser Arbeit ist daher die Integration aller Gewässerstrukturgüteparameter des Vor-Ort-Verfahrens anzustreben. Dadurch ließen sich über die Verbesserung eines jeden einzelnen Parameters oder über die Verbesserung ein oder mehrerer Hauptparameter die Auswirkungen auf den Abfluss bzw. die Veränderungen der Retention untersuchen. Möglicherweise können sich die Untersuchungen dann allein auf die Gewässerstrukturparameter stützen ohne exakte Angaben zum Querprofil hinzu nehmen zu müssen.

Zudem sollten die Effekte zur Retentionssteigerungen von natürlichen Senken, Vorlandwällen und Rückhaltebecken mit in die Analyse einfließen. Dies könnte z.B. über Zuschläge des Rauheitsbeiwertes im Gewässerumfeld (Flächennutzung oder Uferstreifen) geschehen.

Aus zeitlichen Gründen konnte in dieser Arbeit allerdings die Erarbeitung einer Integration aller Gewässerstrukturgüteparameter des Vor-Ort-Verfahrens nicht mehr berücksichtigt werden.

Als ein weiterer Schritt ist die Übertragung der Methode auf das Übersichtsverfahren (LAWA 1998 b) zu sehen. Das Übersichtsverfahren, welches vor allem in den Flächenländern der Bundesrepublik Deutschland angewendet wurde (z.B. im Freistaat Bayern), nutzt zur Bewertung der Gewässerstrukturgüte nur neun Parameter (Vergl. Tab 33).

Tab. 33: Parameter zur Bestimmung der Gewässerstrukturgüte nach dem Übersichtsverfahren

Parameter			
Linienführung			Gewässerstrukturgüte
Uferverbau	Strukturbildungsvermögen	Gewässerbett-dynamik	
Querbauwerke			
Abflussregelung			
Uferbewuchs			
Hochwasserschutzbauwerk	Retention	Auedynamik	
Ausuferungsvermögen			
Auennutzung	Entwicklungspotential		
Uferstreifen			

Linienführung ist hierbei mit Laufkrümmung und Auennutzung mit Flächennutzung gleichzusetzen. Es fehlen allerdings die Parameter Profiltyp und Sohlensubstrat, so dass die Bestimmung des Rauheitsbeiwertes ohne Änderung der Formel nach BAUER (2004) nicht möglich ist.

Bei dem Übersichtsverfahren werden die Parameter Hochwasserschutzbauwerke und Ausuferungsvermögen zum Kriterium Retention zusammengefasst. Aus dem Parameter Hochwasserschutzbauwerke geht aber lediglich hervor, ob Bauwerke dieser Art vorhanden sind oder nicht, und der Parameter Ausuferungsvermögen gibt an, wie häufig das Gewässer über die Ufer tritt. Für eine Bewertung des Retentionsvermögens genügen diese beiden Parameter alleine nicht.

7.3 Zusammenfassung

Das Anliegen dieser Arbeit war es, den Zusammenhang zwischen Gewässerstrukturgüte und Hochwasserrückhalt zu beleuchten. Dazu wurde in zwei ausgesuchten Einzugsgebieten (Wied und Erbach) unter Anwendung eines einfachen Niederschlag-Abfluss-Modells der Abfluss ermittelt. Es wurde der direkte Abfluss berechnet, der sich

nach einem angenommenen Niederschlagsereignis in Abhängigkeit vom Gefälle des Geländes und der Rauigkeit des Untergrundes einstellt. Versickerung und Verdunstung wurden dabei vernachlässigt, d.h. der gesamte, gleichmäßig über dem Einzugsgebiet verteilte Niederschlag kam zum Abfluss. Die Abflussdauer wurden über die Konzentrationszeit abgeschätzt.

Die Berechnung der Fließzeit erfolgte unter Anwendung des Tools Flow Length aus dem Hydrology Toolset von ArcGIS 9.0 (Fa. ESRI). In dieser rasterbasierten Analyse fanden Gefälle und Rauigkeit als Gewichtung Eingang. Berücksichtigt wurden dabei die Rauheitsbeiwerte der Landnutzungen sowie die der Gewässer-Aue-Systeme. Die Gesamtrauigkeit der Gewässer-Aue-Systeme ergab sich aus den Rauheitsbeiwerten der Gewässerstrukturgüteparameter Laufkrümmung, Profiltyp, Sohlensubstrat, Uferbewuchs, Flächennutzung und Uferstreifen. Das Ergebnis der Abflussanalysen waren Isochronendiagramme (Linien gleicher Abflusszeiten) bzw. Diagramme mit unterschiedlichen Abflussintervallen. Über diese Flächendiagramme konnten schließlich die Abflussmengen pro Zeitintervall ermitteln werden.

Berechnet wurde der Abfluss unter der aktuellen Nutzung und dem derzeitigen Gewässerzustand sowie der Abfluss nach simulierten Gewässerstrukturgüteverbesserungen. Im Einzugsgebiet des Erbachs wurden dabei fiktive Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt. Diese erfolgten sowohl separat an gewählten Gewässerabschnitten in den einzelnen Teileinzugsgebieten als auch kombiniert an mehreren Gewässerabschnitten gleichzeitig. In dem Einzugsgebiet der Wied wurde an einem Gewässerabschnitt nach einer Gewässerrandstreifenausweisung eine Sukzession und eine parallel dazu einsetzende Eigenentwicklung des Fließgewässers angenommen. Die Auswirkungen der einzelnen Verbesserungsmaßnahmen bzw. Entwicklungsstufen auf den Hochwasserrückhalt wurden dann über die Abflussveränderungen bestimmt.

Es zeigte sich,

1. dass alle Gewässerstrukturgüteverbesserungen Auswirkungen auf das Abflussverhalten haben. Diese kommen allerdings nur dann zur Geltung, wenn die gewässerstrukturellen Aufwertungen auf einer, in Relation zu dem Einzugsgebiet entsprechend großen Fläche umgesetzt werden.
2. dass Gewässerrandstreifenausweisung bzw. eine Auewaldentwicklung einen größeren Gewinn an Hochwasserrückhalt bringen als Renaturierungen des Gewässers (Lauf, Ufer, Sohle) oder Maßnahmen an einzelnen Gewässerstrukturen,
3. dass gleichzeitig an mehreren Gewässerabschnitten durchgeführte Maßnahmen zu einem größeren Hochwasserrückhalt führen als Maßnahmen, die nur an einem Gewässerabschnitt erfolgen,
4. dass Gewässerstrukturgüteverbesserungen in einzelnen Teileinzugsgebieten auch dazu führen können, dass die Hochwasserspitzen des Gesamtabflusses eines Einzugsgebietes angehoben werden,
5. dass durch eine Kombination von Maßnahmen in verschiedenen Teileinzugsgebieten diese negativen Folgen der Hochwasseranhebung vermindert werden können (vergl. Abb. 37).

Das Retentionsvermögen eines Gewässer-Aue-Systems sowie die Auswirkungen, die bestimmte Gewässerstrukturgüteveränderungen bewirken, lassen sich sehr anschaulich über die Abflusskurven eines Einzugsgebietes verdeutlichen. Im Gegensatz zu Kartendarstellungen, die „nur“ die Retentionspotentialsteigerungen aufzeigen, können die Abflusskurven auch negative Auswirkungen von Gewässerstrukturgüteverbesserungen aufdecken.

Schriften- und Quellenverzeichnis

- AGENCE DE L'EAU BASSIN RHÔNE-MEDITERRANÉE-CORSE (1998): Guide Technique N°2 – Détermination de l'espace de Liberté des cours d'eau. Paris
- ANSELM, R. (1990): Gestaltung und Wirkung der Uferstreifen aus gewässerkundlicher und wasserbaulicher Sicht. In: Uferstreifen an Fließgewässern. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (Hrsg.), Heft 90, S. 1-53. Hamburg, Berlin
- ARCEMENT, G. J., JR.; SCHNEIDER, V. R. (2002): Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. United States Geological Survey (USGS) Water-supply, Paper 2339.
- AULIG, G. ET AL. (2004): Vorbeugender Hochwasserschutz in der Ländlichen Entwicklung. DVW Mitteilungsblatt 1/2004. www.blasy-overland.de/Aulig_DVW_Heft_1_2004.pdf (abgerufen 31.03.2007)
- BAUER, C. (2004): Bestimmung der Retentionspotenziale naturnaher Maßnahmen in Gewässer und Aue mit hydraulischen Methoden (=Kasseler Wasserbau-Mitteilungen Heft 6/2004). Kassel
- BAUER, G. (1990): Ökologische Gliederung und Anforderungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege. In: Uferstreifen an Fließgewässern. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (Hrsg.), Heft 90, S. 135-239. Hamburg, Berlin
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.) (1997): Flüsse, Auen, Täler – erhalten und entwickeln. Schriftenreihe „Wasserwirtschaft in Bayern“, Heft 30. München
- BEHRENS, T.; SCHOLTEN, T. (GEOEXTEND) (2002): DGMK20+ Rheinland- Pfalz. - Erstellung der Digitalen Geomorphografischen Karte für das Bundesland Rheinland- Pfalz. Im Auftrag des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz. Mainz
- BOETTCHER, R. (BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE GMBH) (2000): Multifunktionale Entwicklung von Überschwemmungsaue A2 – Umgang mit Überschwemmungen. Im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz. unveröffentlicht
- DISSE, M. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft I. Vorlesungsskript an der Universität der Bundeswehr München, Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, Institut für Wasserwesen. 2. überarb. Auflage. München www.geogr.uni-jena.de/.../Geoinformatik/Lehre/WiSe_06_07/Modul_311/Hydrologie_Skript_BWU_Muenchen_2005.pdf (abgerufen 31.03.2007)
- DVWK (1997): Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 244. Uferstreifen an Fließgewässern – Funktion, Gestaltung und Pflege. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.. Bonn
- DVWK (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil 2: Synthese. DVWK Regel 113. Deutscher Verband für Wasserbau und Kulturtechnik e.V.. Hamburg

- DYCK, S.; PESCHKE, G. (1989): Grundlagen der Hydrologie. 2. bearb. Auflage. Berlin
- ERNSTBERGER, H. (Büro für Umweltbewertung) (2005): Modifizierung des AUENMOD und HOWARÜPO: AUENRET. Im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. unveröffentlicht
- ESRI ArcGIS Desktop Help
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=welcome> und
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/body.cfm?tocVisible=1&ID=3191&TopicName=An%20overview%20of%20the%20Hydrology%20tools>
 (abgerufen 31.03.2007)
- GIS-gestützte Ermittlung potentieller Retentionsräume für den dezentralen, integrierten Hochwasserschutz am Beispiele der oberen Modau.
<http://www.gispreis.de/pages20/h/Modau.html> (abgerufen 31.03.2007)
- HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, JUGEND, FAMILIE UND GESUNDHEIT (1998): Gemeinsamer Runderlass zur Einführung der „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen, die der Wiederherstellung naturnaher Gewässer einschließlich ihrer Ufer und Auen dienen“ vom 5. August 1998, III4 - 79i02 - 3051/98. In: Staatsanzeiger für das Land Hessen 35/98, S. 2796. Wiesbaden.
www.hessen.de/.../med/cce/cce4039a-e059-d801-c5ec-3f197ccf4e69_22222222-2222-2222-2222-222222222222.true.pdf (abgerufen 31.03.2007)
- HINKELMANN, R. (2006): Hydrologie und Wasserwirtschaft – Hydrologische Modellierung. Vorlesungsskript an der Technischen Universität Berlin, Fachgebiet Wasserwirtschaft und Hydroinformatik. Berlin. http://www.wahyd.tu-berlin.de/.../wasserwirtschaft/unterlagen/script_hydrologische_modellierung.pdf (abgerufen 31.03.2007)
- HONECKER, U. (2005): Bewertung des naturnahen Retentionspotentials in Gewässer-Aue-Systemen (=Saarbrücker Geographische Arbeiten Band 49). Saarbrücken
- HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH (2001): Hochwasser-Aktionsplan Lenne. Teil I: Bericht und Karten. Im Auftrag des Staatlichen Umweltamtes Hagen. Aachen. www.stua-ha.nrw.de/map/p/hwlenne/main/19_Extremhochwasser/01_Bericht/extremhochwasser.pdf (abgerufen 31.03.2007)
- KAUTENBURGER, J. et al. (2002): Hochwasserrückhalt durch die Wiederentwicklung von Auwald. In: Wasserwirtschaft Nov.-Dez./2002, S. 21-25, 92. Jahrgang.
- KOVÁCS, S. ET AL. (2006). Das Hochwasserschutzkonzept an der Mittleren Theiß. In: Wasserwirtschaft 3/2006, S. 32-37, 96. Jahrgang.
- LECHER, K., LÜHR, H.-P., ZANKE, U. C. E. (Hrsg.) (2001): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 8. Auflage. Berlin
- LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (2006): Hydrologischer Atlas Rheinland-Pfalz. Mainz.

LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (1999): Grundlagen der Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz Heft 1, Gewässertypenatlas. Mainz.

LAWA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1998 a): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland – Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer.

LAWA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1998 b): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland – Übersichtsverfahren.

MAURER, T. (1997): Physikalisch begründete, zeitkontinuierliche Modellierung des Wassertransports in kleinen ländlichen Einzugsgebieten. Dissertation an der Universität Karlsruhe; Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft. <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/cgi-bin/psview?document=1997/bau-vern/4&format=1&search=%2f1997%2fbau-vern%2f4> (abgerufen 31.03.2007)

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (1999): Das Naheprogramm. Bilanz 1994-1999. Mainz

NÜTZMANN, G. (1999): Skript "Einführung in die Hydrologie". Kapitel 4 - Abfluss und Oberflächengewässer. Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Berlin. <http://www.igb-berlin.de/abt1/mitarbeiter/nuetzmann/skript/kap4.pdf> (abgerufen 31.03.2007)

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ Hrsg. (1996): Aktion Blau. Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz – Heft 1. 2. Auflage. Mainz

PATT, H., JÜRGING, P., KRAUS, W. (1998): Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. Berlin, Heidelberg

PETER, M; WOHLRAB, B. (1990): Auswirkungen landwirtschaftliche Bodennutzung und kulturtechnischer Maßnahmen. In: Uferstreifen an Fließgewässern. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (Hrsg.), Heft 90, S. 55-133. Hamburg, Berlin

Rechtsverordnung über das Naturschutzgebiet Berschaue, Landkreis Neuwied, vom 25. Januar 1990. <http://www.naturschutz.rlp.de/dokumente/rvo/13808.htm> (abgerufen 31.03.2007)

RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. L 327/2. eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:327:0001:0072:DE:PDF (abgerufen 31.03.2007)

SCHÜLER, G. (2005): Wasserrückhalt und Hochwasserschutz durch vorsorgende Waldbewirtschaftung. In: Wagner, W. (Hrsg.): Abwassertechnik und Gewässerschutz. Heidelberg. www.warela.de/uploads/media/Wasserrueckhaltmassnahmen_im_Wald.pdf (abgerufen 31.03.2007)

SINGH, V. P. (1988): Hydrologic Systems, Volume I, Rainfall-Runoff Modeling. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

- SÖNNICHSEN, D. (2005): Q oder W – worauf konzentriert sich die Hochwasservorsorge?
In: Wasserwirtschaft 6/2005, S. 20-26, 95. Jahrgang.
- TCHOUKANSKI, I (2004) :EasyCalculate 5.0 for ArcGIS. <http://www.ian-ko.com> (abgerufen 31.03.2007)
- UHLIG, K. (2001): Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens zur Abgrenzung hochwassergefährdeter Bereiche kleiner Fließgewässer Nordrhein-Westfalens. Dissertation an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2001/uhlig_kyne/index.htm (abgerufen 31.03.2007)

Anhang

Anhang A

Erhebungsbogen zur Gewässerstrukturgütekartierung in Rheinland-Pfalz

4.1 Sohlensubstrat

neutrale / ungenügend / positiv

Schlick, Schlamm
Ton, Lehm
Sand
Kies und Schotter
Schotter
Schotter und Steine
reines Blockwerk
ansteigender Fels
ansteigender Torf
Sohlverbau
nicht feststellbar

4.2 Sohlenverbau

Steinschüttung
Massenmaße mit Sediment
Massenmaße, kein Sediment
kein Sohlenverbau
nicht feststellbar

4.3 Substratversität

sehr groß
mäßig
gering
keine

nicht feststellbar

4.4 Besondere Sohlenstrukturen

viele
mehrere
zwei
eins
keine

Rauschhähnen, Schnellen
durchlaufende Poole
Kohwasser, Totholz
Flachwasser, (Dübel)
Tiefströme
Kolk, (Makrophyten)

nicht feststellbar

4.5 Sohlstruktur

Wertzahl

5.1 Uferbewuchs

L R

Wald
Galerie
Röhricht
tennweise Wald, Galerie
Gebüsch, Einzelgehölz
Krautflur, Hochstauden
Weise, Rasen
Feld
Galerie
Gleichsch, Einzelgehölz
Verbau
naturnahbedingt

5.2 Uferverbau

L R

Steinschüttung/Steinwurf
Holzverbau
Bioschuttungen
Pflaster, Steinsatz, unertugl
Beton, Mauer, Pflaster
kein Uferverbau

5.3 Besondere Uferstrukturen

viele
mehrere
zwei
eins
Ansätze
keine

Baumumlauf
Uferstrand
Sturzbaum
Holzsammung
Nischwand

5.4 Uferstruktur

Wertzahl

6.1 Flächennutzung

L R

Wald, lockenständig
naturnahe Biotope
Grünland
Wald, nicht lockenständig
Acker, Gärten, Nadelforst
Park, Grünanlage
Bebauung mit Freizeibächen
Bebauung ohne Freizeibächen
Flächenhafte Uferlandsstruktur

6.2 Gewässerrandstreifen

L R

flächennah Wald/Sackweiden
Gewässerrandstreifen
Saumstreifen
Nutzung

6.3 Sonstige Uferlandsstrukturen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

Augrabung
Fischteich
gewässerunverfügbare Anlagen
belaubte Vegetationslagen
Anschüttung, Müllablagerung
Hochwasserschutzbauwerk

6.4 Gewässerrandstreifen

L R

>50% 10-50% <50% 10-50% >50% 10-50%

6.5 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.6 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.7 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.8 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.9 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.10 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.11 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.12 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.13 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.14 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.15 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.16 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.17 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.18 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.19 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.20 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.21 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.22 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.23 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.24 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.25 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.26 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.27 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.28 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.29 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.30 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.31 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.32 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.33 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.34 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.35 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.36 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.37 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.38 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.39 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.40 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.41 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.42 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.43 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.44 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.45 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.46 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.47 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.48 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.49 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.50 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.51 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.52 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.53 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.54 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.55 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.56 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.57 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.58 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.59 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.60 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.61 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.62 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.63 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.64 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.65 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.66 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.67 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.68 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.69 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.70 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.71 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.72 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.73 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.74 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.75 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.76 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.77 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.78 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.79 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.80 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.81 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.82 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.83 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.84 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.85 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.86 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.87 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.88 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.89 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.90 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.91 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.92 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.93 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.94 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.95 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.96 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.97 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.98 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.99 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.100 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.101 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.102 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.103 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.104 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.105 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.106 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.107 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.108 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.109 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.110 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.111 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.112 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.113 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.114 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.115 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.116 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.117 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.118 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.119 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.120 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.121 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.122 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.123 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.124 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.125 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.126 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.127 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.128 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.129 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.130 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.131 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.132 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.133 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.134 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.135 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.136 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.137 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.138 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.139 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.140 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.141 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.142 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.143 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.144 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.145 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.146 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.147 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.148 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.149 Gewässerrandstreifen

L R

gering
mäßig
groß
Abstand

6.150 Gewässerrand

Anhang B

Rauheitsbeiwerte für Ackerland

Landnutzung und Bodenbedeckung		MANNINGS n			
		gering	mittel	hoch	
vegetationsfreier Boden: Rauheitstiefe	< 25 mm	0.010	0.020	0.030	1)
	25 - 50 mm	0.014	0.025	0.033	1)
	50 - 100 mm	0.023	0.030	0.038	1)
	> 100 mm	0.045	0.047	0.049	1)
Weizenstrohmulch	2.5 t/ha	0.050	0.055	0.060	1)
	5.0 t/ha	0.075	0.100	0.150	1)
	7.5 t/ha	0.100	0.150	0.200	1)
	10 t/ha	0.130	0.180	0.250	1)
geerntetes Maisfeld mit Pflanzenrückständen	2.5 t/ha	0.012	0.020	0.050	1)
	5.0 t/ha	0.020	0.040	0.075	1)
	10 t/ha	0.023	0.070	0.130	1)
Getreide (Reifestadium)		0.100	0.125	0.300	1)
vegetationsfreier toniger Lehm, erodiert		0.012	0.020	0.033	2)
Gras ("Bluegrass Sod")		0.390	0.450	0.630	3)
Brache ohne Pflanzenrückstände		0.006	0.050	0.160	3)
unbestelltes Feld mit Pflanzenrückständen	< 0.56 t/ha	0.030	0.040	0.070	3)
	0.56 - 2.24 t/ha	0.010	0.070	0.130	3)
	2.24 - 6.72 t/ha	0.160	0.300	0.470	3)
geeggtes Feld mit Pflanzenrückständen	< 0.56 t/ha	0.008	0.080	0.410	3)
	0.56 - 2.24 t/ha	0.100	0.160	0.250	3)
	2.24 - 6.72 t/ha	0.140	0.250	0.530	3)
geeggtes Feld mit Getreiderückständen			0.230		4)
geeggtes Feld ohne Vegetation			0.120		4)
Zuckerrüben (Blattbildungsstadium, verschlämmt)			0.050		4)
Zuckerrüben (Reifungsstadium, verschlämmt)			0.090		4)
Zuckerrüben (Reifungsstadium, z.T. gehackt)			0.120		4)
Wintergetreide (Reifestadium, engständig)			0.400		4)
Mais (Saat bis Reifestadium)		0.015	0.042	0.145	5)
Zuckerrüben (Saat bis Reifestadium)		0.019	0.036	0.123	5)
Sattbeetbereitung (geeggt), verschlämmt		0.015	0.037	0.074	5)
Getreide Aufgangsstadium, verschlämmt		0.010	0.026	0.050	5)
frisch bearbeitetes Feld, (Kettenrauheit im Gefälle)	< 4 cm	0.010	0.030	0.067	5)
	4 - 8 cm	0.012	0.036	0.123	5)
	8 - 12 cm	0.020	0.059	0.190	5)

(Quelle: MAURER 1997, S. 128, <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/cgi-bin/psview?document=1997/bau-verm/4&search=%2f1997%2fbau-verm%2f4&format=1&page=140>)

Anhang C

VBA-Codes zur Ermittlung der X/Y-Koordinaten der Anfangs- und Endpunkte der Gewässerabschnitte (Quelle TCHOUKANSKI 2004, <http://www.ian-ko.com>)

<pre>'===== 'polyline_Get_X_FromPoint.cal 'Author: Ianko Tchoukanski 'http://www.ian-ko.com '===== On Error Resume Next Dim pMxDoc As IMxDocument Dim pMap As IMap Dim pCurve As ICurve Dim pFromPoint As IPoint Dim dXFrom As Double Dim bSrefFromMap As Boolean '===== 'Adjust the parameter below 'bSrefFromMap = True ==> 'the coordinates will be calculated 'in the projection of the Map 'bSrefFromMap = False ==> 'the coordinates will be calculated 'in the projection of the data bSrefFromMap = True '===== If (Not IsNull([Shape])) Then Set pCurve = [Shape] If (Not pCurve.IsEmpty) Then If (bSrefFromMap) Then Set pMxDoc = ThisDocument Set pMap = pMxDoc.FocusMap pCurve.Project pMap.SpatialReference End If Set pFromPoint = pCurve.FromPoint dXFrom = pFromPoint.X End If End If __esri_field_calculator_splitter__ dXFrom</pre>	<pre>'===== 'polyline_Get_Y_FromPoint.cal 'Author: Ianko Tchoukanski 'http://www.ian-ko.com '===== On Error Resume Next Dim pMxDoc As IMxDocument Dim pMap As IMap Dim pCurve As ICurve Dim pFromPoint As IPoint Dim dYFrom As Double Dim bSrefFromMap As Boolean '===== 'Adjust the parameter below 'bSrefFromMap = True ==> 'the coordinates will be calculated 'in the projection of the Map 'bSrefFromMap = False ==> 'the coordinates will be calculated 'in the projection of the data bSrefFromMap = True '===== If (Not IsNull([Shape])) Then Set pCurve = [Shape] If (Not pCurve.IsEmpty) Then If (bSrefFromMap) Then Set pMxDoc = ThisDocument Set pMap = pMxDoc.FocusMap pCurve.Project pMap.SpatialReference End If Set pFromPoint = pCurve.FromPoint dYFrom = pFromPoint.Y End If End If __esri_field_calculator_splitter__ dYFrom</pre>
---	---

<pre> '===== 'polyline_Get_X_ToPoint.cal 'Author: Ianko Tchoukanski 'http://www.ian-ko.com '===== On Error Resume Next Dim pMxDoc As IMxDocument Dim pMap As IMap Dim pCurve As ICurve Dim pToPoint As IPoint Dim dXTo As Double Dim bSrefFromMap As Boolean '===== 'Adjust the parameter below 'bSrefFromMap = True ==> 'the coordinates will be calculated 'in the projection of the Map 'bSrefFromMap = False ==> 'the coordinates will be calculated 'in the projection of the data bSrefFromMap = True '===== If (Not IsNull([Shape])) Then Set pCurve = [Shape] If (Not pCurve.IsEmpty) Then If (bSrefFromMap) Then Set pMxDoc = ThisDocument Set pMap = pMxDoc.FocusMap pCurve.Project pMap.SpatialReference End If Set pToPoint = pCurve.ToPoint dXTo = pToPoint.X End If End If __esri_field_calculator_splitter__ dXTo </pre>	<pre> '===== 'polyline_Get_Y_ToPoint.cal 'Author: Ianko Tchoukanski 'http://www.ian-ko.com '===== On Error Resume Next Dim pMxDoc As IMxDocument Dim pMap As IMap Dim pCurve As ICurve Dim pToPoint As IPoint Dim dYTo As Double Dim bSrefFromMap As Boolean '===== 'Adjust the parameter below 'bSrefFromMap = True ==> 'the coordinates will be calculated 'in the projection of the Map 'bSrefFromMap = False ==> 'the coordinates will be calculated 'in the projection of the data bSrefFromMap = True '===== If (Not IsNull([Shape])) Then Set pCurve = [Shape] If (Not pCurve.IsEmpty) Then If (bSrefFromMap) Then Set pMxDoc = ThisDocument Set pMap = pMxDoc.FocusMap pCurve.Project pMap.SpatialReference End If Set pToPoint = pCurve.ToPoint dYTo = pToPoint.Y End If End If __esri_field_calculator_splitter__ dYTo </pre>
--	--