








Wirkanalyse und Umsetzungsbewertung einzugsgebietsweiter Retentionspotenziale für die Ahr

Stefanie Stenger-Wolf , *Holger Sauter* , *Jannis Wilkens* ,
Maike Zimmermann, *Jörn Birkmann*  und
Holger Schüttrumpf 

11.1 Anlass für eine einzugsgebietsweite Retentionspotenzialanalyse

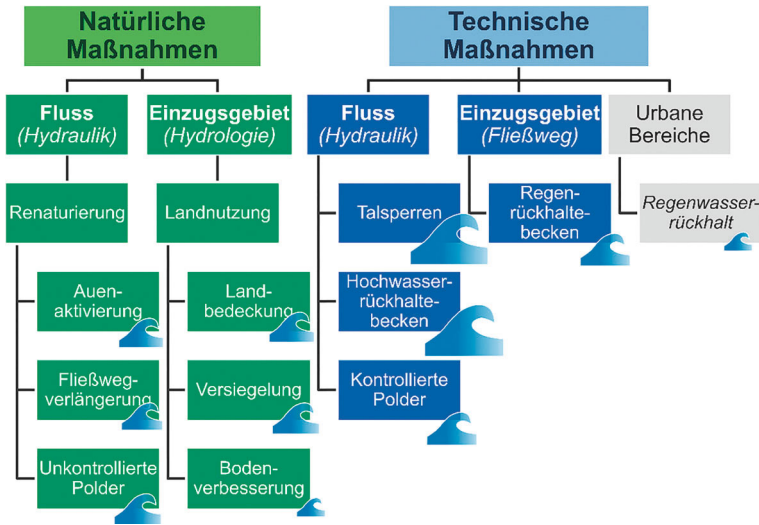
Wasserstände von bis zu 10 Metern in Ortschaften entlang der Ahr machten Mitte Juli 2021 deutlich, dass lokale Hochwasseranpassungsmaßnahmen bei extremen Hochwassern alleine nicht ausreichen. Schon kurz nach dem Katastrophenhochwasser war klar: um auf ein solches Ereignis vorbereitet zu sein, müssen die Abflussmassen rückgehalten werden, bevor sie sich in der Ahr akkumulieren.

Das Hochwasser von Mitte Juli 2021 hat vielerorts die höchsten Aufzeichnungen der sich aktuell in Betrieb befindlichen Pegel bei Weitem übertroffen, und sogar das HQ_{Extrem} überschritten (Kisseler et al. 2023; Schüttrumpf 2021; Apel et al. 2022). Der zugrundeliegende Abfluss für die Berechnungen der Überflutungsgebiete bei einem HQ_{Extrem} ist nicht bekannt, lediglich, dass die Wiederkehrwahrscheinlichkeit geringer als einmal in 200 Jahren sein muss (FGG Rhein 2019). In der Regel wird an der Ahr dafür das HQ_{100} um den Faktor 1,26 erhöht (Vorogushyn et al. 2022). Am Pegel Altenahr entsprach der Hochwasserabfluss von Mitte Juli 2021 mit ca. $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ungefähr dem 4-fachen des HQ_{100} , das sich zu der Zeit auf $241 \text{ m}^3/\text{s}$ belief (Ludwig et al. 2023), und mittlerweile auf $500 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöht wurde (Hochwasservorhersagezentrale Rheinland-Pfalz 2024). Recherchen zu historischen Hochwassern ergaben allerdings, dass im Juli 1804 ein Rekordabfluss von um die $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ in Dernau erzielt wurde, und im Juni 1910 wurden die Abflüsse in Altenahr immerhin noch auf $500 \text{ m}^3/\text{s}$ geschätzt (Roggenkamp und Herget 2014). Rückblickend erscheint eine Wiederholung eines vergleichbaren Hochwasser zu dem von Juli 2021 in absehbarer Zeit trotz seiner Extreme also als gar nicht so unwahrscheinlich (Roggenkamp und Herget 2024).

Für das zugrundeliegende Regenerereignis von Mitte Juli 2021 wurde die Wiederkehrwahrscheinlichkeit auf einmal in vierhundert Jahren geschätzt (Tradowsky et al. 2023). Gleichzeitig steigt die Wahrscheinlichkeit für vergleichbare Starkniederschläge mit dem aktuellen klimawandelbedingten Temperaturanstieg um ca. 20 % (Tradowsky et al. 2023; IPCC 2023; Blöschl et al. 2019; Koks et al. 2022; Kreienkamp et al. 2021; Vautard et al. 2019). Es ist also durchaus wahrscheinlich für aktuelle Generationen, ein vergleichbares Hochwasser nochmal zu erleben.

11.2 Forschungsbedarf

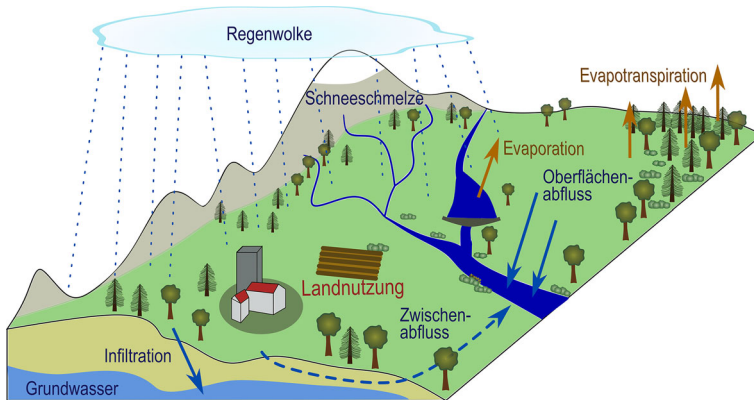
Es gibt verschiedenste Möglichkeiten, die Retention in einem Einzugsgebiet zu verbessern, sodass weniger Niederschlag direkt zum Abfluss kommt, und die Hochwasserwelle abgeflacht wird. Zunächst kann Retentionsraum über technische Bauwerke vorgehalten werden. Weiterhin sind natürliche Rückhaltemaßnahmen eine weitere Option des Wasserrückhalts. In der Regel sind sowohl technische als auch natürliche Maßnahmen mit einem hohen Aufwand verbunden. Hierunter fällt neben den Aufwendungen für Planung, Bau, Betrieb und Unterhaltung auch der Aufwand durch eine veränderte Nutzung auf der beanspruchten Fläche. Die Flächenverfügbarkeit ist eine weitere Umsetzungshürde, denn optimale Standorte für eine Maßnahme sind nicht selten aufgrund der Besitzverhältnisse der Fläche oder naturschutzrechtlicher Belange zunächst nicht verfügbar. Des Weiteren soll durch Maßnahmen zur Erhöhung des Retentionsraums im Einzugsgebiet ein greifbarer, also zahlenmäßig erfassbarer Schutz erzielt werden, bei dem das Kosten-Nutzen-



■ **Abb. 11.1** Systematische Einteilung verschiedener natürlicher und technischer Retentionsmaßnahmen im Einzugsgebiet. Die Maßnahmen werden jeweils nach ihrer Lage und Wirkung unterschieden. So gibt es sowohl technische als auch natürliche Maßnahmen, die direkt am oder im Flusslauf ansetzen, und Maßnahmen, die im Einzugsgebiet in den hydrologischen Kreislauf eingreifen, also zum Ziele haben, den Direktabfluss zu verringern. Zudem gibt es Maßnahmen zum Regenwasserrückhalt im urbanen Raum. Die Größe der Flutwelle zeigt qualitativ das theoretische Retentionspotenzial an

Verhältnis positiv ist. Hierfür muss ein Schutzziel bekannt sein und in einen konkreten Zielwert formuliert werden.

Für die Retentionspotenzialanalyse wurden mögliche Retentionsraummaßnahmen in natürliche und technische Maßnahmen unterteilt. Beide Maßnahmentypen können am Fließgewässer selbst ansetzen und eine hydraulische Wirkung entfalten oder flächenmäßig im Einzugsgebiet wirken und in den hydrologischen Kreislauf eingreifen (■ Abb. 11.1). Natürliche Retentionsmaßnahmen am Gewässer selbst sind Renaturierungen oder naturnah gestaltete Polder. Bei Fließgewässerrenaturierungen wird über Auwoldaufforstung die Rauheit erhöht, was lokal zu einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit und damit einem Abbremsen der Hochwasserwelle führt. Außerdem kann der Abfluss über eine Verlängerung des Gewässerlaufes weiter gebremst werden, wenn sich das Gewässer von einem begradigten Zustand zurück in einen mäandrierenden entwickeln kann. Über Geländeprofilierungen können zudem die Auen früher aktiviert werden, was dem Fluss mehr Raum gibt. Technischen Hochwasserrückhalt am Gewässer bieten Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren. Während des Hochwassers von Mitte Juli 2021 pufferten die Talsperrensysteme in der Eifel und im Wupper-Einzugsgebiet große Wassermassen ab und verhinderten größere Schäden, obwohl sie ursprünglich nicht für einen solchen Hochwasserrückhalt ausgelegt waren (Wolf et al. 2024b). Die Steuerung von Talsperren muss in der Regel mehrere Ziele in Einklang bringen, in die sich der Hochwasserrückhalt neben der Bereitstellung von Trink- und Brauchwasser sowie der Energieerzeugung mit einreicht. Hochwasserrückhaltebecken hingegen dienen rein dem Hochwasserrückhalt und werden nicht im Dauerstau betrieben.



■ **Abb. 11.2** Retentionsverbesserung im Einzugsgebiet durch angepasste Bodenbedeckung und Landnutzung. (Abbildung abgeändert nach Wolf (2023))

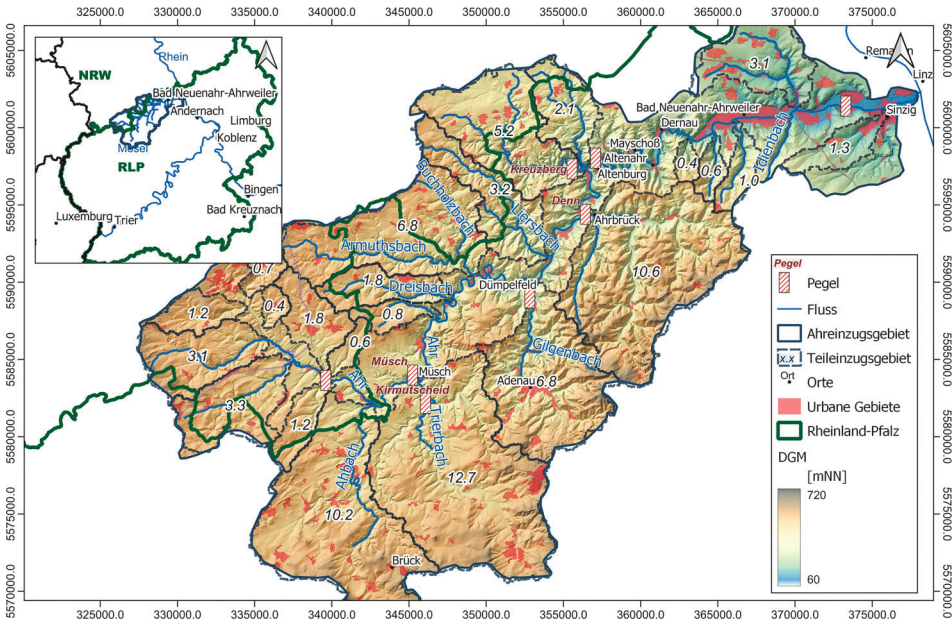
Im Einzugsgebiet kann über eine verbesserte Landnutzung bereits dort, wo der Niederschlag fällt, die Retention verbessert werden. Über eine angepasste Bodenbedeckung und Bewirtschaftung können die Infiltration und Evapotranspiration verbessert und so der Direktabfluss reduziert werden (■ Abb. 11.2). Auf versiegelten Flächen ist der Oberflächenabfluss („Surface Runoff“ in ■ Abb. 11.2) am höchsten, denn der Großteil des Niederschlags trägt zum Direktabfluss bei. Dichter gestufter Wald hingegen hat eine größere Oberfläche, was die Evapotranspiration begünstigt. Über einen durchwurzelten Boden wird zudem die Infiltration erhöht. Allerdings ist dieser Effekt bei Böden mit einem geringen Versickerungsvermögen sehr begrenzt. Eine hohe Hangneigung und Niederschlagsintensität reduzieren zudem die Effekte des natürlichen Flächenrückhalts. In vegetationsarmen Perioden, beispielsweise im Winter, ist der Rückhalteeffekt des Waldes ebenfalls reduziert.

Hochwasservorsorge ist in vielerlei Hinsicht aufwendig. Neben den Bau- und Unterhaltungskosten für Anpassungsmaßnahmen erfordern die zusätzlichen Aufgaben personellen Aufwand. Zudem ist die Flächenverfügbarkeit sehr oft eine große Herausforderung. Im Rahmen des vom BMBF geförderten KAHR-Projekts wurde eine Retentionsraumanalyse für das gesamte Ahr-Einzugsgebiet durchgeführt, um optimale Rückhaltemaßnahmen zu identifizieren. Hierbei wurden die Potenziale für verschiedene Maßnahmentypen grob abgeschätzt. Das Ziel war zunächst, vielversprechende Maßnahmentypen zu identifizieren. Dabei war das Erzielen einer hohen Genauigkeit zweitrangig, denn es ging um die Bestimmung der Größenordnung der erzielbaren Wirkung. Verglichen wurden natürliche Maßnahmen in Form von Landnutzungsanpassungen und technische Maßnahmen in Form von technischen Hochwasserrückhaltebecken.

11.3 Retentionspotenziale für das Ahr-Einzugsgebiet

Besonders im Mittellauf der Ahr ist das Tal steil und die Auenflächen sind sehr schmal. Die Bebauung in unmittelbarer Gewässernähe und die sonstige anthropogene Nutzung der Auen stellt ein hohes Schadenspotenzial und eine Herausforderung für den Hochwasserschutz dar (siehe beispielsweise ■ Abb. 11.3). Um die Hochwassersituation im

■ **Abb. 11.3** Die Skizze des Tals und der Ahr bei bordvollem Abfluss verdeutlicht die auf dem Foto gezeigte Situation: In engen Talabschnitten ist wenig Auenfläche vorhanden, sodass Wasserstände schnell ansteigen. An dem gezeigten Café wurde eine Flutmarke von 9,24 m auf einem Transparent festgehalten. (Bildquelle: Wolf et al. (2024b))



■ **Abb. 11.4** (oben rechts) Lage des Einzugsgebietes der Ahr in Rheinland-Pfalz (RLP) und Nordrhein-Westfalen (NRW). (Hauptkarte) Geländehöhen des Ahrtales auf Grundlage des digitalen Geländemodells (DGm) und flächenmäßige Anteile der Zuflüsse am Gesamteinzugsgebiet. (Datenquellen: DGm: Bezirksregierung Köln (2023) und LVermGeoRP (2021), Gewässersystem, Städte und Bundeslandgrenzen: Geofabrik GmbH (2018a; 2018b), Urbane Bereiche: EEA (2016), Landesgrenze: ESTAT (2020), Teileinzugsgebiete basierend auf dem DGm25: European Environment Agency (EEA) (2016). Bildquelle: abgeändert nach Wolf et al. (2024a))

Ahrtal zu verbessern, bedarf es einer Retention der Wassermassen, bevor sich diese im Tal akkumulieren.

■ **Abb. 11.4** schlüsselt die flächenmäßigen Anteile der Zuflüsse der Ahr am gesamten Einzugsgebiet basierend auf dem digitalen Geländemodell mit einer Auflösung von 25 m × 25 m auf. Insgesamt ist die Aufteilung sehr kleinteilig, und den größten Anteil am

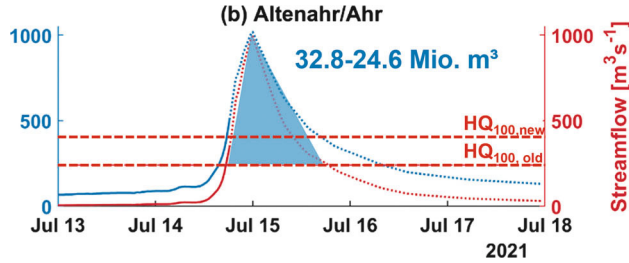


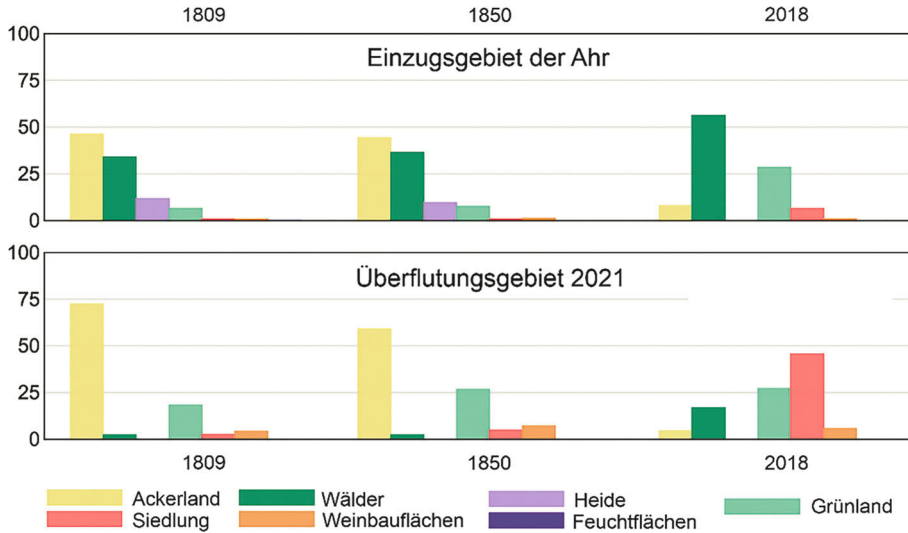
Abb. 11.5 Rekonstruierte Abflusskurve des Hochwassers von Mitte Juli 2021 an der Ahr von Mohr et al. (2023). Basierend auf der Rekonstruktion wurde abgeschätzt, welche Wassermassen mindestens rückzuhalten sind, unter der Annahme, dass ein HQ100 schadlos abgeführt werden kann. (Bildquelle: Wolf et al. (2024a). Alle Rechte vorbehalten)

Einzugsgebiet hat der Trierbach im Süden des Einzugsgebiets mit 12,7 %. Dies bedeutet, dass es keine einzelnen Zuflüsse gibt, die beispielsweise mit einem Hochwasserrückhaltebecken abgekoppelt werden könnten, um die Hochwassersituation zentral zu verbessern. Es wird Retention in allen Teileinzugsgebieten benötigt.

Zu Beginn der Analyse technischer und natürlicher Retentionspotenziale im Ahr-Einzugsgebiet wurde ein Rückhalteziel definiert. Das erklärte Ziel für das Ahrtal ist, ein Ereignis, wie es Mitte Juli 2021 auftrat, auf den Abfluss eines HQ₁₀₀ zu reduzieren. Da die Pegel in den schwer betroffenen Gemeinden entlang der Ahr während des Hochwassers ausfielen, zerstört wurden oder ihr Messbereich überschritten wurde, wird hier auf Rekonstruktionen der Abflusswelle zurückgegriffen. Das Bemessungshochwasser HQ₁₀₀ wurde nach dem Hochwasser von Mitte Juli 2021 nach oben korrigiert, wodurch sich eine Bandbreite für das rückzuhaltende Abflussvolumen ergibt (Abb. 11.5). Um sich vor einem Ereignis, wie dem von Mitte Juli 2021, zu schützen, liegt der Rückhaltebedarf bei rund 25 Mio. m³ bis 33 Mio. m³ (bei Annahme einer Scheitelkappung), wenn man davon ausgeht, dass die Gemeinden entlang der Ahr auf ein HQ₁₀₀ vorbereitet sind. Da sich das nächste Starkregenereignis räumlich anders verteilen kann, muss tatsächlich ein unbekanntes Vielfaches des abgeschätzten Volumens vorgehalten werden.

11.3.1 Natürliche Rückhaltepotenziale durch Landnutzungsanpassung

Die natürlichen und technischen Retentionsraumpotenziale wurden über eine geoinformationssystem-gestützte Analyse bestimmt. Zur Bestimmung der natürlichen Potenziale wurde zunächst die Landnutzung im Einzugsgebiet der Ahr analysiert. So sind ca. 55 % des Einzugsgebiets heute bewaldet, und nur rund 7 % sind versiegelt (Abb. 11.6). Anfang des 19. Jahrhunderts waren nur ca. 30 % des Ahr-Einzugsgebiets bewaldet (Vélez Pérez et al. 2023), wodurch der natürliche Flächenrückhalt tendenziell schlechter war. Auf der anderen Seite war die Versiegelung auf den Flächen, die Mitte Juli 2021 überschwemmt wurden, deutlich geringer (Vélez Pérez et al. 2023). Das Schadenspotenzial im Überflutungsbereich ist also deutlich gestiegen. Zur Bestimmung der Größenordnung der natürlichen Retentionspotenziale durch Landnutzungsanpassungen wurden



■ **Abb. 11.6** Landnutzungsanalyse der letzten zwei Jahrhunderte im Ahrtal im Rahmen einer Masterarbeit am IWW (Vélez Pérez 2023; Vélez Pérez et al. 2023). Entwicklung der Landnutzung im Einzugsgebiet der Ahr von 1809 bis 2018 (*oben*) sowie Entwicklung der Landnutzung von 1809 bis 2018 im Überflutungsbereich des Hochwassers von Mitte Juli 2021 (*unten*). ■ Abb. 11.6 wurde bereits mit gleicher Beschreibung in Wolf et al. (2024a) veröffentlicht

Siedlungsflächen, Waldflächen, landwirtschaftliche Flächen (Ackerflächen), Weinbauflächen und Wiesen bzw. Weiden betrachtet.

Vereinfacht kann über das Verfahren des Soil Conservation Service (SCS) über die sogenannte Curve Number (CN) abgeschätzt werden, welcher Anteil des kumulativen Niederschlags bei einer bestimmten Bodenbedeckung, Landnutzung, Bodengruppe und Vorfeuchte zum Abfluss kommt (Mockus 1965; Maniak 2016c; Gln. (11.1)–(11.3)):

$$A = \frac{(N - 0,2S)^2}{(N + 0,8S)} \quad (\text{Abfluss}) \quad (11.1)$$

$$\text{mit } S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (\text{Rückhalt}) \quad (11.2)$$

$$\text{mit } N > 0,2S \quad (\text{Niederschlag}) \quad (11.3)$$

Dabei wird für die verschiedenen Landnutzungsarten unter Hinzuziehen der hydrologischen Bodengruppe die Curve-Number abgeschätzt. Je höher die Curve-Number, desto höher ist der Direktabfluss. Die Curve-Number kann maximal 100 erreichen (Maniak 2016a, 2016c). In der vorliegenden Studie wurde die hydrologische Bodengruppe dem Datensatz „Global Hydrological Soil Groups“ mit einer Auflösung von 250 m × 250 m entnommen (Ross et al. 2018). Die Landnutzung wurde der CORINE Land Cover (CLC) Klassifizierung entnommen (EEA 2016). Damit wurde je nach Landnutzung nach Maniak (2016b) eine mittlere Curve-Number abgeschätzt. Es wurde vereinfacht davon ausgegangen, dass die aktuelle Landnutzung im Ahr-Einzugsgebiet noch Verbesserungspotenziale bietet, aber weder hydrologisch sehr ungünstig, noch hydrologisch sehr günstig gestaltet ist. Folglich wurde zunächst mit einem mittleren Wert für die Curve-Number der

Direktabfluss basierend auf dem Niederschlag von Mitte Juli 2021 berechnet. Für die Berechnung wurde außerdem, dem Niederschlag der Vortage entsprechend, die Bodenfeuchteklasse II von drei möglichen Klassen angenommen.

Normalerweise findet das SCS-Verfahren in Niederschlags-Abfluss-Modellen Anwendung, der Modellaufbau für ein komplettes Einzugsgebiet kann allerdings mehrere Monate bis wenige Jahre dauern. Die erste Abschätzung der Größenordnung wurde deswegen manuell durchgeführt. Für den Niederschlag wurden stündliche Werte des DWD, bestehend aus einer Kombination von Radardaten und Bodenmessstationen (DWD 2021), zwischen dem 12.07.2021 und 19.07.2021 aufsummiert. Die angesetzte Niederschlags-summe ist somit über das Ahr-Einzugsgebiet räumlich differenziert und variiert von ca. 50 mm bis zu ca. 130 mm in einer Auflösung von $950\text{ m} \times 950\text{ m}$. Da die Analyse händisch durchgeführt wurde, wurde der gesamte Niederschlag als ein einziger Zeitschritt ausgewertet, und es wurde der Direktabfluss nach Gl. (11.3) abgeschätzt. Anschließend wurden optimale Werte für die Curve-Number abgeschätzt (Tab. 11.1). Hierbei wurde angenommen, dass überall ein dichter Mischwald hergestellt werden kann, Wald-Strauch-Übergangsstadien aufgeforstet werden, Felder als konservierendes Ackerland bewirtschaftet werden können, und eine Reduktion der durchgängigen Asphaltierung im urbanen Raum möglich ist. Dies sind zunächst rein theoretische Annahmen, die der Abschätzung der Größenordnung des Retentionspotenzials durch eine Landnutzungsanpassung dienen.

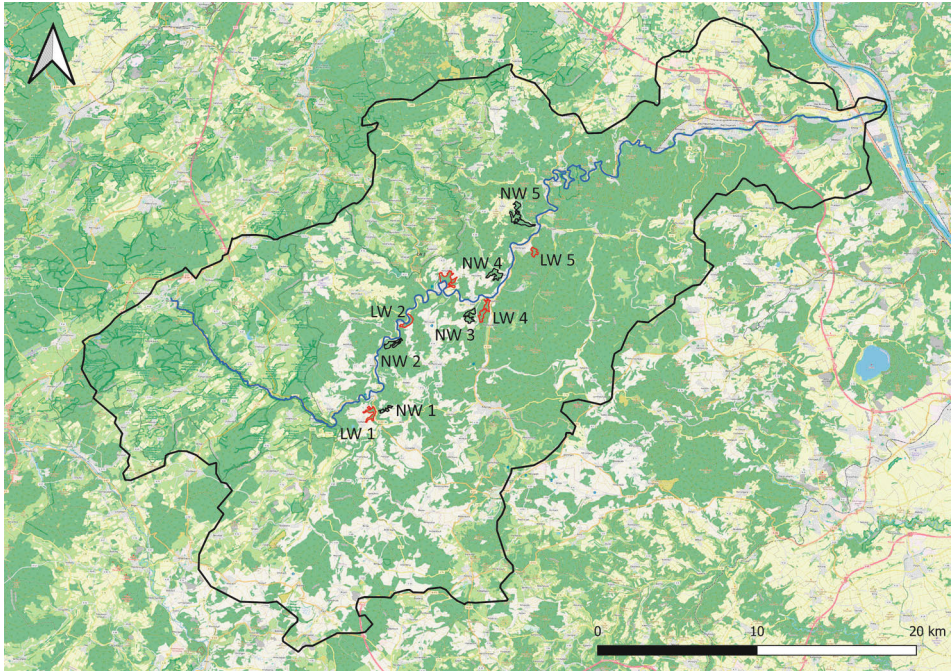
Wird nun der Abfluss einmal mit einem mittleren Wert für die Curve-Number und einmal mit einem optimalen Wert für die Curve-Number berechnet, und anschließend die Differenz gebildet, lässt sich die Größenordnung des Retentionspotenzials durch Landnutzungsänderungen abschätzen. Insgesamt wurde so ein ungefähres Rückhaltepotenzial von 7,2 Mio. m^3 auf allen Waldflächen im Ahrtal abgeschätzt, ein ungefähres Rückhaltepotenzial von 2,6 Mio. m^3 auf Ackerflächen, und ein ungefähres Rückhaltepotenzial von weniger als 0,5 Mio. m^3 für alle übrigen Flächen. Dieses Ergebnis ist in so weit nicht überraschend, da Waldflächen den größten flächenmäßigen Anteil am Ahr-Einzugsgebiet haben und urbane Gebiete nur einen kleinen Anteil (Abb. 11.6).

Im Rahmen einer Masterarbeit wurden fünf nach CORINE Land Cover als Laub- und fünf als Nadelwald klassifizierte Flächen genauer analysiert (Abb. 11.7; Zimmermann 2023). Es wurde die beschriebene Methodik angewendet, allerdings wurde ein pauschaler Niederschlag von 90,5 mm angesetzt (Zimmermann 2023). Dieser Wert entspricht dem durchschnittlichen Niederschlag, der dem Hochwasser von Mitte Juli 2021 zugrunde lag (DWD 2022). Auf den ausgewählten Waldflächen wurden die Annahmen zu der Curve Number mittels Digitaler Orthofotos verfeinert. Außerdem fanden die Baumwipfeldichte und das Wegenetz Eingang in die Abschätzungen (Zimmermann 2023).

Auf den fünf betrachteten Nadelwaldflächen von insgesamt 237 ha beträgt die mögliche Reduktion nach Zimmermann (2023) ca. 0,017 Mio. m^3 , was einer Retentionssteigerung um 32 % im Mittel der fünf Flächen entspricht. Bezogen auf den Gesamtabfluss im Einzugsgebiet macht dies allerdings nur einen Unterschied von 0,06 % aus. Auf den fünf betrachteten Laubwaldflächen von insgesamt 317 ha kann der Direktabfluss potentiell um 0,015 Mio. m^3 reduziert werden. Rechnet man die Ergebnisse auf alle Waldgebiete hoch, ergibt sich ein theoretisches potentielles Retentionsvolumen von 4,5 Mio. m^3 (Zimmermann 2023). Dieser Wert weicht zunächst von den vorher bestimmten 7,2 Mio. m^3 ab, allerdings wurde insgesamt eine geringere Niederschlagssumme angesetzt. Die Abweichung liegt also nicht alleine an der verfeinerten Bestimmung der Curve-Number. Beide Werte bilden dennoch eine vergleichbare Größenordnung ab, die hilft, das theoretische

■ **Tab. 11.1** Angesetzte Curve-Numbers nach im Ahr-Einzugsgebiet vorliegenden hydrologischen Bodengruppen, welche von A bis D die Infiltrationskapazität repräsentieren (C und C/D) für die verschiedenen Landnutzungsklassen (CORINE Land Cover Class (CLC)) sowie die angesetzten angenommenen Optimalwerte nach einer angepassten Landnutzung. Werte wurden abgeschätzt nach Maniak (2016b). ■ Tab. 11.1 wurde mit gleicher Beschriftung bereits in Wolf et al. (2024b) veröffentlicht

	CLC Class	C	C/D	Optimalwerte	
				C	C/D
Durchgängig städtische Prägung	111	87,5	90	83,5	86
Nicht durchgängige städtische Prägung	112	83,5	86	83,5	86
Industrie- und Gewerbeflächen	121	92,5	93,5	83,5	86
Straßen-, Eisenbahnnetze und funktionell zugeordnete Flächen	122	95	95,5	83,5	86
Hafengebiete	123	98		95	
Flughäfen	124	80	83	80	83
Abbauflächen	131	80	83	80	83
Deponien	132	80	83	80	83
Baustellen	133	80	83	80	83
Städtische Grünflächen	141	80	83	80	83
Sport- und Freizeitanlagen	142	80	83	74	77
Nicht bewässertes Ackerland	211	89,5	92	73	77,5
Weinbau	221	79	80,5	79	80,5
Obst- und Beerenobstbestand	222	79	80,5	79	80,5
Wiesen und Weiden	231	78,5	82	77,5	82
Komplexe Parzellenstruktur	242	73	77,5	73	77,5
Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung von signifikanter Größe	243	73	77,5	73	77,5
Laubwald	311	71,5	75	62	65,5
Nadelwald	312	75	78	62	65,5
Mischwald	313	62	65,5	62	65,5
Natürliches Grünland	321	71	78	62	65,5
Heiden und Moorheiden	322	80		66	71
Wald-Strauch-Übergangsstadien	324	77,5	83	62	65,5
Torfmoore	412	61	68	61	68
Wasserflächen	512	0	0	0	0

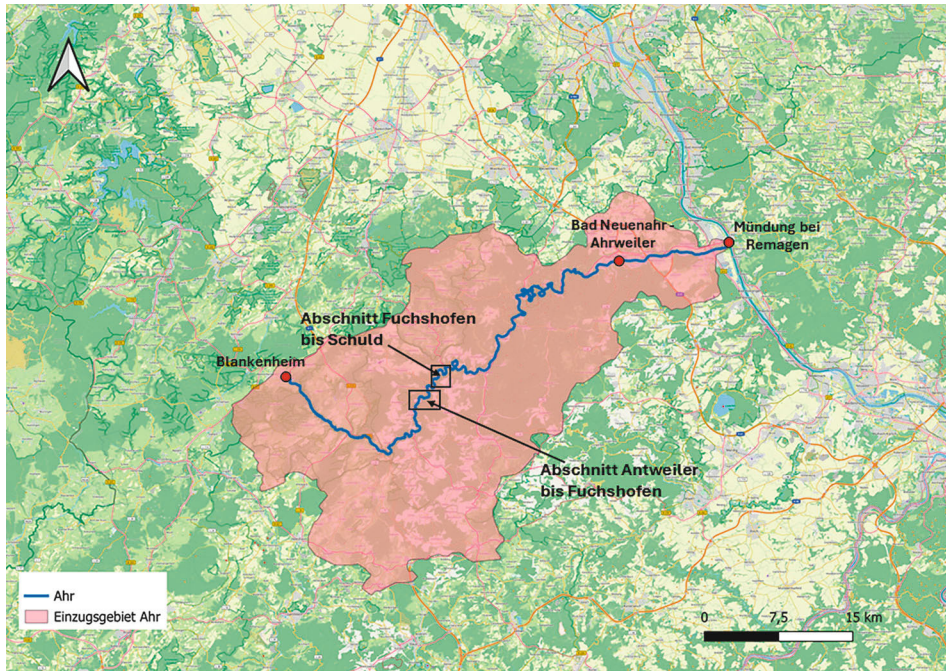


■ **Abb. 11.7** Lage der im Rahmen einer Masterarbeit betrachteten ausgewählten Laub- und Nadelwaldgebiete. (Bildquelle: Zimmermann (2023))

natürliche Retentionspotenzial durch Landnutzungsanpassung mit anderen Maßnahmen-typen zu vergleichen.

11.3.2 Natürlicher Rückhalt durch Gewässeranpassungsmaßnahmen

Die Auswirkung von Fließgewässerrenaturierungen lässt sich nicht händisch abschätzen, weswegen zwei ausgewählte Fließstrecken von jeweils zwischen 2 bis 2,5 km Länge systematisch in einer hydronumerischen Simulation untersucht wurden (■ Abb. 11.8). Die Ergebnisse ergaben hierbei, dass die Auwaldaufforstung im Vergleich zu einer Laufverlängerung und lokalen Geländeabsenkung eine deutlich größere Verzögerung des Spitzenabflusses bewirkt. Hierbei wurde eine Auwaldaufforstung über eine erhöhte Geländerauheit abgebildet, und die Laufverlängerung sowie lokale Geländeabsenkungen über Modifikationen des Geländemodells (Wilkins 2024). Für die beiden Abschnitte stellte sich bezogen auf ein HQ_{100} der Spitzenabfluss bei intensiver Auwaldaufforstung 70–75 min später ein. Die Fließgeschwindigkeit wurde in beiden Abschnitten am Ende des untersuchten Teilstücks um ca. 0,12 m/s bzw. 0,46 m/s reduziert (Wilkins 2024). Die Ergebnisse für eine lokale Geländeabsenkung und Laufverlängerung schwankten zwischen beiden Gebieten und lagen deutlich unter den Ergebnissen für eine Auwaldaufforstung (Wilkins 2024). Diese Ergebnisse sind lokal für die Hochwasservorsorge bedeutend, zeigen aber auch, dass die Wirkung von Renaturierungen für die Hochwasser-



■ **Abb. 11.8** Lage der beiden hydronumerisch simulierten Abschnitte zur Bestimmung des Rückhaltepotenzials durch eine Fließgewässerrenaturierung. (Bildquelle: Wilkens (2024))

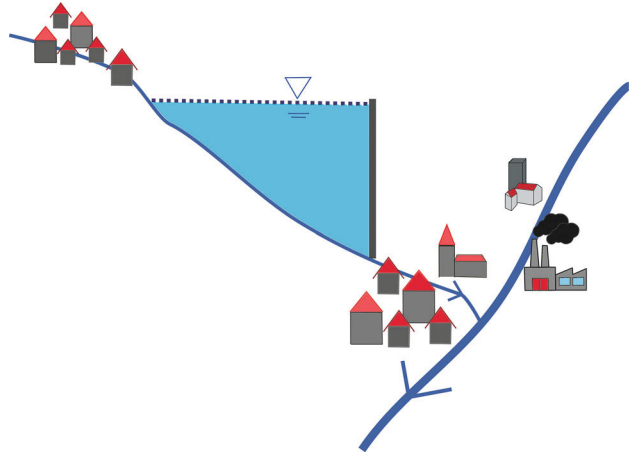
vorsorge mithilfe hydronumerischer Simulationen des jeweiligen Abschnitts abgeschätzt werden muss.

11.3.3 Technische Rückhaltepotenziale

Insgesamt zeigen die ermittelten Werte (► Abschn. 11.3.1 und 11.3.2) allerdings, dass das zuvor ermittelte Rückhalteziel (vgl. ■ Abb. 11.5) nicht alleine durch eine Landnutzungsanpassung und Fließgewässerrenaturierung erreicht werden kann. Daher wurde manuell das theoretisch maximale technische Rückhaltepotenzial abgeschätzt. Hierfür wurden in GIS auf Basis des digitalen Geländemodells mit einer Gitterweite von 1 m × 1 m (DGM1) zwischen Ortschaften Staudämme konstruiert, und anhand von Höhenlinien das Volumen abgeschätzt (■ Abb. 11.9). In die Analyse wurden nur Beckenvorschläge mit einem Mindestvolumen von 5 Mio. m³ mit aufgenommen, um eine einzugsgebietsweite Einschätzung möglich zu machen. Zudem wurden nicht durchgängige Siedlungen von bis zu 25 Gebäuden nicht als Ausschlusskriterium gewertet, um möglichst große Stauvolumina generieren zu können (Wolf et al. 2024a, 2024b). Die Analyse diente zunächst nur der Abschätzung des theoretisch maximalen technischen Rückhaltepotenzials und nicht der Unterbreitung von konkreten Standortvorschlägen. Insgesamt wurden so 47 km² theoretisch potentielle Stauffläche und ca. 1000 Mio. m³ an theoretisch potentiellem Rückhaltevolumen ermittelt (Wolf et al. 2024a, 2024b).

■ **Abb. 11.9** Systematische GIS-gestützte Suche nach möglichen Standorten für Hochwasserrückhaltebecken im Ahrtal zur Abschätzung eines ungefähren technischen Rückhaltevolumens über das gesamte Einzugsgebiet.

■ Abb. 11.9 wurde bereits mit gleicher Beschreibung in Wolf et al. (2024a) veröffentlicht



Hinweis für Entscheidungsprozesse

Auch wenn nicht unerhebliche Verbesserungen im Gebietsrückhalt über Landnutzungsanpassungen und Fließgewässerrenaturierungen erzielt werden können, ist der Bau von technischen Rückhalteräumen im Ahrtal unerlässlich, um sich auf große Hochwasser vorzubereiten.

Deswegen wird sich im Projekt „Plan zur Umsetzung und Weiterentwicklung von überörtlichen Maßnahmen zur Hochwasser- und Starkregenvorsorge für den Landkreis Ahrweiler und das Ahreinzugsgebiet unter Berücksichtigung der örtlichen Vorsorgekonzepte“ („überörtlicher Maßnahmenplan“ [üMP]) konkret mit der Priorisierung und Machbarkeit technischer und natürlicher Maßnahmen befasst (siehe auch ► Kap. 14).

Potentiell geeignete Flächen für einen technischen Hochwasserrückhalt sind mit einer hohen Wahrscheinlichkeit nicht frei verfügbar, sondern haben oft sogar mehrere konkurrierende Nutzungsansprüche.

11.4 Raumempfindlichkeit von Hochwasserrückhaltebecken

Die Flutkatastrophe vom Sommer 2021 hat zu einem hohen Engagement in Politik und Verwaltung geführt, die Schaffung von Retentionsraum durch natürliche und technische Maßnahmen der Hochwasservorsorge voranzutreiben. Der Wiederaufbauprozess im Ahrtal bietet hierfür die Möglichkeit damit auch langfristig einen Beitrag zur Steigerung der Hochwasserresilienz insgesamt zu leisten (Birkmann et al. 2023). Wie bereits im vorigen Unterkapitel dargestellt, liegen in der Verwirklichung von Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes erhebliche Rückhaltepotenziale für das Ahrtal. Die Suche nach möglichen Standorten für Hochwasserrückhaltebecken (HRB) erfordert jedoch neben der Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher Aspekte auch die Auseinandersetzung mit raumplanerischen Vorgaben und die Berücksichtigung von Umweltbelangen. Durch eine Raumempfindlichkeitsuntersuchung (REU) soll die Standortsuche unterstützt werden und eine Grundlage zur Bewertung dieser potenziellen Flächen hinsichtlich dieser

planerischen Restriktionen und Umsetzungshürden geschaffen werden. Dabei gilt es, gesetzliche und planungsrechtliche Vorgaben, die im Rahmen der Umsetzung konkreter Vorhaben greifen, bereits im Vorfeld in der Analyse durch die Auswahl geeigneter Kriterien zu berücksichtigen. Da die Rückhalteziele für das gesamte Einzugsgebiet, wie hier im Ahrtal, nur durch die Errichtung mehrerer kaskadierender HRB erreicht werden kann, ist von insgesamt vielen Jahren dauernden Planungs-, Genehmigungs- und schließlich Bauphasen zu rechnen. Deshalb ist auch eine frühzeitige Flächensicherung auf Ebene der Regional- und kommunalen Bauleitplanung sinnvoll, um konkurrierende Nutzungen in diesen Bereichen mittelfristig auszuschließen. Die Raumempfindlichkeitsuntersuchung zielt insgesamt darauf ab (a) einen Beitrag zur Standortfindung und -bewertung potenzieller HRB zu leisten, (b) eine Beurteilungsgrundlage für nachfolgende Prüf- und Genehmigungsverfahren zu schaffen und (c) abwägungsrelevante Informationen zur raumordnerischen Sicherung von geeigneten Potenzialflächen zusammenzustellen.

11.4.1 Planungsrechtlicher Rahmen

Gemäß § 14 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG¹) können HRB einen Eingriff in den Naturhaushalt darstellen. Erhebliche Beeinträchtigungen sind entsprechend § 13 BNatSchG zu vermeiden oder durch Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen zu kompensieren. Die frühzeitige Berücksichtigung dieser Vorgaben erfordert eine Abschätzung der möglichen Beeinträchtigungen auf den Naturhaushalt. Zudem stellen größere HRB ab einem Einstauvolumen von 10 Mio. m³ umweltverträglichkeitspflichtige Vorhaben nach dem Umweltverträglichkeitsgesetz (§ 6 UVPG²) dar, was eine Ermittlung der möglichen negativen Auswirkungen auf die in § 2 Abs. 1 UVPG aufgeführten Schutzgüter erfordert. Für kleinere HRB ist eine Vorprüfung des Einzelfalls (§ 7 Abs. 1 UVPG) erforderlich.

Die Schutzgüter nach UVPG sind:

1. Menschen, insbesondere die menschliche Gesundheit,
2. Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt,
3. Fläche, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,
4. kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter sowie
5. die Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern.

Bei überörtlich raumbedeutsam eingestuftem Vorhaben (i. S. von § 1 Raumordnungsverordnung³) ist zudem die Raumverträglichkeit gemäß § 15 Abs. 1 des Raumordnungsgesetzes ROG⁴ im Rahmen eines Raumordnungsverfahrens zu beurteilen. Auch hierbei sind die raumbedeutsamen Auswirkungen der Planung oder Maßnahmen abzuschätzen und die Übereinstimmung mit den Erfordernissen der Raumordnung zu prüfen.

Vor diesem Hintergrund berücksichtigt die vorliegende Analyse insbesondere auch die Inhalte des Regionalplans Mittelrhein-Westerwald (Planungsgemeinschaft Mittel-

1 Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 geändert worden ist.

2 Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung, In der Fassung der Bekanntmachung vom 24.02.2010 (BGBl. I S. 94), zuletzt geändert durch Gesetz vom 08.05.2024 (BGBl. I S. 151) m. W. v. 16.05.2024.

3 Raumordnungsverordnung vom 13. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2766), die zuletzt durch Artikel 12 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist.

4 Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist.

rhein-Westerwald, Koblenz 2017), um mögliche Konflikte mit bestehenden Zielen und Grundsätzen der Raumordnung zu vermeiden bzw. darzustellen.

Gleichermaßen stellt die Regionalplanung auch einen Adressaten für die räumliche Sicherung von Flächen für die Hochwasservorsorge auf regionaler Ebene dar. Nach dem Raumordnungsgesetz ist dem vorbeugenden Hochwasserschutz bei der Abwägung mit konkurrierenden Raumnutzungen besonderes Gewicht beizumessen. Zur Flächensicherung kann die Regionalplanung dabei auf ein breites Instrumentarium zurückgreifen. Zusätzliches Gewicht erhält sie seit 2021 durch die Vorgaben des Bundesraumordnungsplans Hochwasserschutz⁵, der weitergehende Regelungen in Bezug auf Retention enthält. Das Thema der Sicherung von Retentionsflächen wird sowohl für Renaturierungsmaßnahmen als auch für Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes in Grundsätzen des Bundesraumordnungsplans vorgegeben (vgl. 1.1.5 (G), II.1.6 (G)). So sollen auch aus wasserwirtschaftlicher Sicht geeignete Flächen u. a. für Hochwasserrückhaltebecken identifiziert und von entgegengesetzten Nutzungen freigehalten werden.

11.4.2 Raumempfindlichkeitsuntersuchung

Als Raumempfindlichkeit wird der Grad der Vereinbarkeit eines Projektes mit den Naturraumpotenzialen oder der Qualitätsminderung der Umweltgüter, die durch ein Vorhaben im betroffenen Untersuchungsraum zu erwarten sind, verstanden (Scholles und Fürst 2001). Die Raumempfindlichkeitsuntersuchung identifiziert auf Grundlage der möglichen Wirkungen des Vorhabens und der Empfindlichkeit relevanter Kriterien durch Überlagerung relativ konfliktarme Standorte und ist gerade in der Vorplanung eine wichtige Informationsbasis zur frühzeitigen Berücksichtigung umweltfachlicher Aspekte.

Grundsätzlich stellt der Vergleich von Standortalternativen ein Entscheidungsproblem dar, welches durch multikriterielle Bewertungsmethoden gelöst werden kann. Hierfür stehen zahlreiche formalisierte Verfahren zur Verfügung (Greene et al. 2011; Janssen 2001), die teils erhebliche Unterschiede in Bezug auf Komplexität und Nachvollziehbarkeit aufweisen. Für die Einstufung der Retentionseignung von Flächen (Vogel 2010) an der Elbe oder der Standortfindung für Hochwasserrückhaltebecken im Ahrtal (Eickelmann et al. 2022) liegen bereits Beispiele vor, an denen sich die vorliegende Arbeit insbesondere im Hinblick auf die verwendeten Bewertungskriterien orientiert. Die darin verwendeten kompensatorischen Verfahren scheinen jedoch im Kontext der Raumplanungsperspektive und Zielsetzungen dieser Arbeit weniger geeignet, weshalb methodisch auf die in der Planungspraxis hierzulande bekanntere Methode der Raumempfindlichkeitsuntersuchung zurückgegriffen wird (Diller 2010; Hoffmann 2016). Sie zeichnet sich durch eine hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit hinsichtlich der Bewertungskriterien und deren Aggregation zu einer Gesamtbewertung aus (Scholles und Fürst 2001) und kommt insbesondere häufig auf Ebene der Strategischen Umweltprüfung zum Einsatz.

Das schrittweise Vorgehen umfasst die Eingrenzung des Untersuchungsraumes, die Analyse möglicher Wirkungen von HRB auf die Schutzgüter, die Auswahl geeigneter räumlicher Bewertungskriterien und deren Gewichtung sowie die Aggregation

5 Verordnung über die Raumordnung im Bund für einen länderübergreifenden Hochwasserschutz (BRPHV) vom 19. August 2021, mit Länderübergreifender Raumordnungsplan für den Hochwasserschutz (Anlage zur Verordnung über die Raumordnung im Bund für einen länderübergreifenden Hochwasserschutz) vom 19. August 2021 (BGBl. I S. 3712).

der Schutzgutbewertungen zu Raumempfindlichkeitsklassen und die Erstellung einer Raumempfindlichkeitskarte. Die kriterienbasierte Analyse wird mit einem Geo-Informationssystem (GIS) durchgeführt. In den Bewertungsprozess wurden Akteure der Landes- und Regionalplanung in RLP, Vertreter der Verwaltung sowie des Naturschutzes und der Wasserwirtschaft des Landkreises Ahrweiler, private Ingenieurbüros sowie Vertreter aus der Wissenschaft (KAHR-Projektpartner) im Rahmen von zwei durchgeführten Workshops involviert. Dadurch konnten sowohl die Auswahl als auch die Gewichtung der Bewertungskriterien, die für die Raumempfindlichkeitsanalyse herangezogen wurden, durch Expertenwissen bestimmt werden.

11.4.3 Wirkungsanalyse und Bewertungskriterien

Die möglichen Wirkungen von Retentionsmaßnahmen sind abhängig von der Art und Intensität der Maßnahmen sowie der Empfindlichkeit der Schutzgüter. Bei der Errichtung von HRB ist im Bereich der Dämme und Sperrbauwerke meist von einem dauerhaften Verlust von Schutzgutfunktionen durch Überbauung auszugehen, während es in den Stau-bereichen nur im Ereignisfall zu temporären Überflutungen kommt. Hier ist die Dauer der Überflutung und die Einstautiefe für das Ausmaß der Wirkungen entscheidend. Gerade an den Zuflüssen und am Oberlauf der Ahr sind steile Hanglagen und tief eingeschnittene Bachtäler prägend. Dadurch ist bei der Errichtung von Hochwasserrückhaltebecken in diesen Bereichen mit teils sehr hohen Dämmen zu rechnen, um ausreichende Volumina zurückhalten zu können. Laut Experten der Wasserwirtschaft ist bei geplanten HRB aufgrund der nötigen Dimensionierung mit Einstauzeiten von bis zu ca. 21 Tagen zu rechnen.

Das Untersuchungsgebiet im Einzugsgebiet der Ahr im Landkreis Ahrweiler weist eine vergleichsweise hohe Struktur- und Artenvielfalt auf, die durch Biotopkomplexe von teils internationaler Bedeutung und zahlreiche Schutzgebiete nach Naturschutzrecht geprägt ist. Aufgrund der dargestellten Wirkungen kann vereinzelt mit Verlust und erheblichen Veränderungen von Biotopen und Habitaten sowie der Störung oder Individuenverlusten empfindlicher Arten gerechnet werden. Auch regionalplanerische Zielsetzungen für den Arten- und Biotopschutz bzw. -verbund können Konflikte mit der Errichtung und dem Betrieb von Hochwasserrückhaltebecken oder Poldern darstellen. Bei Inanspruchnahme besonders wertvoller Flächen können im Zuge der Umsetzungsplanungen umfangreiche Prüfungen, wie Zielabweichungsverfahren (sofern Ziele der Raumordnung entgegenstehen), FFH-Verträglichkeitsuntersuchungen oder spezielle artenschutzrechtliche Prüfungen notwendig werden.

Das Schutzgut Mensch und menschliche Gesundheit profitiert zunächst direkt durch die Anlage von Hochwasserschutzmaßnahmen durch den erhöhten Schutz der Unterlieger vor Hochwasser. Dennoch sind nachteilige Wirkungen zu berücksichtigen, die u. a. auf die Wohn- und Arbeitsverhältnisse, die Erholungsfunktion oder die menschliche Gesundheit abzustellen sind. Neben den Siedlungsbereichen werden auch anthropogene Infrastrukturen, wie Verkehrseinrichtungen oder Anlagen, der Ver- und Entsorgung mit besonderer Bedeutung für das Schutzgut Mensch berücksichtigt, da hier in der Regel bei Betroffenheit aufwendige und kostenintensive Umsiedelungen bzw. Verlagerung von Infrastruktur notwendig werden. Es ist bei der Errichtung von HRB auch zu beachten, dass von ihnen ein Risiko für die unterhalb liegende Bevölkerung ausgehen kann. Die Tendenz, dass unterhalb „hochwasserfreie“ Bereiche für die Siedlungsentwicklung nutzbar

gemacht werden, ist insbesondere für sensible Nutzungen kritisch zu sehen – schließlich besteht Schutz nur bis zum jeweiligen Lastfall (vgl. Greiving et al. 2021).

Im Zuge der Bearbeitung wurden zunächst Geodaten, die als räumliche Bewertungskriterien den Schutzgütern zugeordnet wurden, zusammengestellt und für eine Überlagerung im Geo-Informationssystem aufbereitet. ■ Tab. 11.2 gibt einen Überblick über die verwendeten Bewertungskriterien und die jeweiligen Datengrundlagen.

Für jedes Schutzgut wurden die potenziell betroffenen Kriterien und räumlichen Planungsziele in fünf Raumempfindlichkeitsklassen eingeteilt und Raumempfindlichkeitskarten erstellt. Die Einstufung erfolgte dabei unter Berücksichtigung der Ergebnisse des ersten Retentionsraumworkshops, bei dem die Empfindlichkeit unterschiedlicher Schutzgüter und planerischer Vorgaben gegenüber technischen Retentionsmaßnahmen bewertet wurde. Wesentlich für eine Zuordnung ist auch der Schutzstatus sowie die Vereinbarkeit

■ Tab. 11.2 Bewertungskriterien und Datengrundlagen für die Überlagerung

Schutzgut	Räumliches Kriterium	Datengrundlage
Arten und Biotope	NATURA 2000 (FFH/SPA-Gebiete)	Landschaftsinformationssystem der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz
	FFH-Lebensraumtypenkartierung	
	Naturschutzgebiet	
	Naturdenkmal	
	Naturpark	
	Geschützte Biotope (§ 30 BNatschG)	
	Biotopkomplexe	
	Bruthabitate	
	Landschaftsschutzgebiet	
	Ökokonto- und Kompensationsflächen (Kompensationsverzeichnis)	
	Vorranggebiet (VRG) Regionaler Biotopverbund	
VRG Ressourcenschutz		
VRG Regionaler Grünzug		
Vorbehaltsgebiet (VBG) Regionaler Biotopverbund		
VBG Ressourcenschutz		
Mensch	Wohnbebauung, Siedlungs- und Gewerbeflächen	Regionalplanung Mittelrhein-Westerwald 2017
	Anlagen der Ver- und Entsorgung	Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) – Rheinland-Pfalz ^a
	Verkehrsinfrastruktur (Bahn-, Straßen- und Flugverkehr)	
	Freizeit- und Erholungseinrichtungen	
	Straßennetz: Autobahnen, Bundes-, Landes-, und Kreisstraßen	Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz

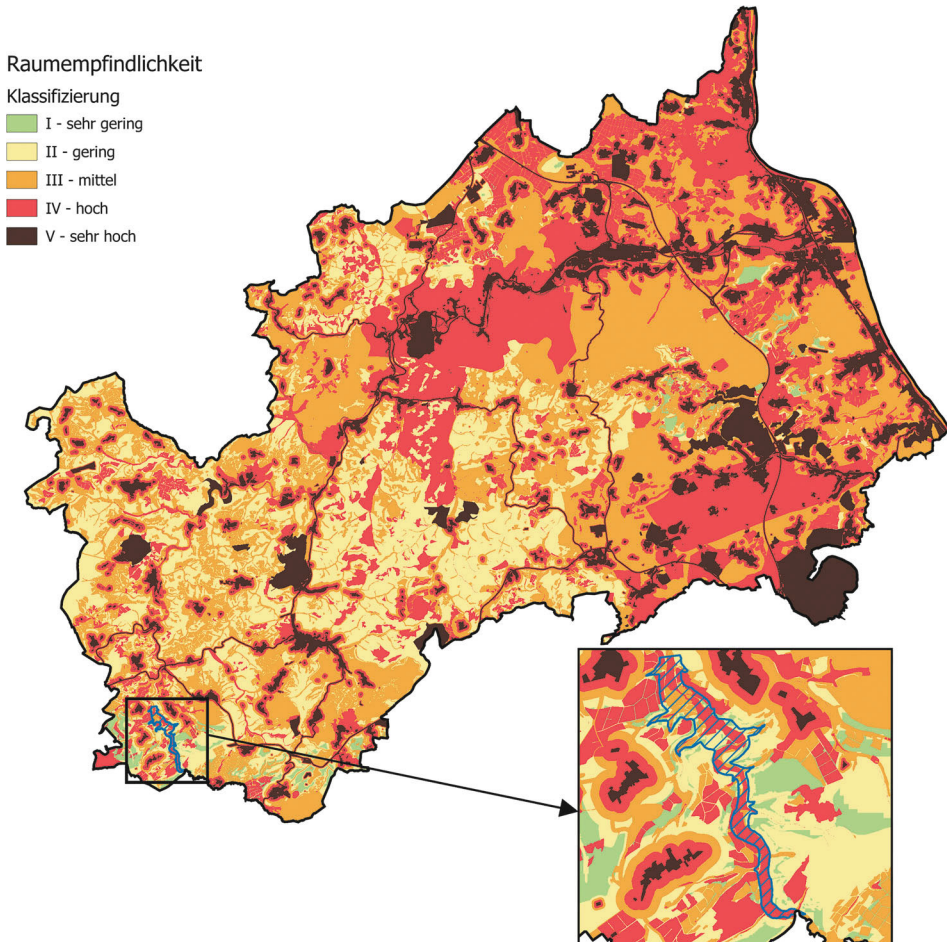
■ **Tab. 11.2** (Fortsetzung)

Schutzgut	Räumliches Kriterium	Datengrundlage
Kultur- und Sachgüter	Kulturgüter/Objekte, die nach Denkmalschutzrecht besonders geschützt sind	Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) – Rheinland-Pfalz
	Weinbaulagen	Regionalplanung Mittelrhein-Westerwald 2017
	VRG Landwirtschaft	
	VRG Forstwirtschaft	
	VRG Rohstoffabbau	
Land-schaftsbild	Gesamtanlagen mit Fernwirkung	Regionalplanung Mittelrhein-Westerwald 2017
	VBG Erholung und Tourismus	
	Landesweit bedeutsame Kulturlandschaften, LEP IV, 2013	Abgrenzung der landesweit bedeutsamen historischen Kulturlandschaften nach Gutachten MWKEL 2013
Wasser	Trinkwasserschutzgebiete	Wasserschutzgebiete Wasserwirtschaftsverwaltung WWV RLP
	Mineralwassereinzugsgebiete	
	Heilquellenschutzgebiete	
	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Grundwasserschutz	Regionalplanung Mittelrhein-Westerwald 2017
	Grundwasserflurabstände	Grundwasserflurabstände: Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGRB)
Boden	Ertragspotenzial Boden	Übersichtskarten zu Bodeneigenschaften und -funktionen (BFD200) Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGRB)
Fläche	Verlust von Fläche kann nur nach Einzelfall bewertet werden und ist je nach Dimension der Bauwerke zu beurteilen. Ein dauerhafter Verlust entsteht nur durch die baulichen Anlagen	
Klima/Luft	Aufgrund mangelnder Geodaten zu diesem Schutzgut, konnten die Auswirkungen auf das lokale Klima nur verbal argumentativ nach Einzelfall eingeschätzt werden	

^a Filterung der Daten nach Objektartenkatalog GeoInfoDok 6.0.

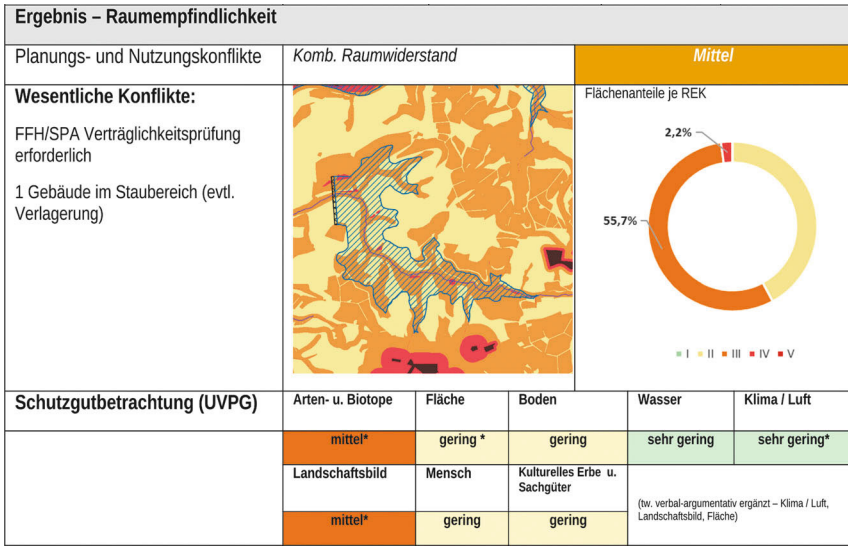
mit bestehenden raumordnerischen Zielsetzungen und Grundsätzen. Die räumliche Überlagerung der Kriterien wurde mit Relevanz- bzw. boolschen Entscheidungsbäumen, die mit UND/ODER – Verknüpfungsregeln zur jeweiligen Raumempfindlichkeitsklasse zugeordnet wurden, durchgeführt. ■ Abb. 11.10 zeigt exemplarisch den Relevanzbaum für das Schutzgut Arten und Biotope. Im Rahmen der Klassifizierung der Raumempfindlichkeit für die Schutzgüter Landschaftsbild und Mensch wurden Abstände zu den jeweiligen Objekten berücksichtigt, wenn von mittelbaren Wirkungen auf die Strukturen auszugehen ist.

Durch Aggregation der schutzgutbezogenen Raumempfindlichkeiten wird eine abschließend zusammenfassende Raumempfindlichkeit gebildet, wobei der jeweils höchste



■ **Abb. 11.11** Raumempfindlichkeitskarte für den Landkreis Ahrweiler, im Ausschnitt Überlagerung der Raumempfindlichkeitsklassen mit einer Potenzialfläche für HRB am Trierbach oberhalb Trierscheid. (Eigene Darstellung, Geobasisdaten: Landkreisgrenze Ahrweiler: © GeoBasis-DE/LVermGeoRP (2024), ► <https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>. Alle Rechte vorbehalten)

mit den zuständigen Behörden zu lösen. Gebiete mit überwiegend mittlerer Raumempfindlichkeit umfassen Sachverhalte oder Kriterien, die einem Vorhaben sachlich nicht zwingend entgegenstehen oder dessen nachteilige Auswirkungen durch Minimierungsmaßnahmen reduzierbar sind. Diese Bereiche sind für die Findung potenzieller Standorte eher geeignet, wenngleich Vorgaben bestehen, die im Sinne der Umweltvorsorge in die Abwägung einfließen sollten. Gebiete mit sehr geringer und geringer Einstufung umfassen Flächen, die gegenüber den Wirkungen von HRB relativ unempfindlich sind. Die Beurteilung der Raumempfindlichkeit der untersuchten Potenzialflächen kann durch die Flächenanteile der Raumempfindlichkeitsklassen (REK) abgeschätzt werden. Von den insgesamt auf 47 km² untersuchten Potenzialflächen befinden sich ca. 35 km² innerhalb des Landkreises Ahrweiler. Davon sind 16 % der Flächen als besonders unproblematisch anzusehen, da hier die Anteile der Raumempfindlichkeitsklassen IV und V insgesamt



■ **Abb. 11.12** Beispiel: Gebietssteckbrief (Ausschnitt) für die HRB-Potenzialfläche Limbach, Landkreis Ahrweiler

unter 10 % liegen. 19 % der untersuchten Fläche werden dagegen als besonders problematisch eingestuft, da hier die REK IV und V über 80 % der Fläche einnehmen.

Für ausgewählte Potenzialflächen für Hochwasserrückhaltebecken wurde zudem eine erste Einzelbetrachtung durchgeführt, deren Ergebnisse in Gebietsteckbriefen (vgl. ■ **Abb. 11.12**) zusammengefasst wurden. Eine vergleichende Beurteilung der Standorte ist durch die enthaltene Schutzgutbetrachtung und die Darstellung der wesentlichen zu erwartenden Konflikte im Sinne der untersuchten Bewertungskriterien möglich. Die Gebietssteckbriefe erlauben die konkrete Auseinandersetzung mit den Konflikten der jeweiligen Standortpotenziale und ermöglichen die Identifikation von Lösungsmöglichkeiten.

11.5 Fazit und Ausblick

Insgesamt liefern die erarbeiteten Ergebnisse der Retentionsraumanalyse wertvolle Erkenntnisse, die in den Aktivitäten und Projekten auf lokaler und regionaler Ebene im Ahrtal verwertet werden können. Dies entspricht auch dem Anspruch des KAHR-Projektes, den Wiederaufbau und die Steigerung der Hochwasserresilienz unterstützend zu begleiten.

Es konnte gezeigt werden, dass erhebliche Retentionspotenziale durch angepasste Landnutzung sowie natürliche und technische Maßnahmen im Einzugsgebiet der Ahr bestehen, um in Kombination das angestrebte Rückhalteziel zu erreichen. Allein durch die langfristige Anpassung der Landnutzung könnten bis zu 10 Mio. m³ Wasser in der Fläche zurückgehalten werden. Durch natürliche Maßnahmen, wie der Laufverlängerung am Fließgewässer oder Auwaldaufforstungen, kann zudem der Abfluss bei einem Hochwasserereignis deutlich verlangsamt werden. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass nur

durch die Kombination mit technischen Maßnahmen, wie Hochwasserrückhaltebecken, für vergleichbar große Hochwasser, wie das vom Sommer 2021, ausreichend vorgesorgt werden kann.

Für alle genannten Maßnahmentypen des natürlichen und technischen Hochwasserschutzes stellen Flächenverfügbarkeit und Nutzungs- oder Zielkonflikte Hemmnisse bei der Umsetzung dar, die bei technischen Maßnahmen teils erheblich sein können. Insbesondere die umweltfachlichen Belange wurden exemplarisch für den Landkreis Ahrweiler durch eine flächendeckende Darstellung schutzgutbezogener Raumwiderstände bzw. -empfindlichkeiten gegenüber Hochwasserrückhaltebecken aufgezeigt.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Raumempfindlichkeit nur einen Aspekt darstellt, der bei Standortentscheidungen berücksichtigt werden muss. Daneben sind insbesondere Kriterien der Wirtschaftlichkeit sowie der technischen Machbarkeit zu berücksichtigen. Dennoch stellt das Ergebnis der Raumempfindlichkeitsuntersuchung eine wertvolle Informationsbasis für die Standortfindung und die Beurteilung von Potenzialflächen für Hochwasserrückhaltebecken dar. Damit unterstützen die vorliegenden Ergebnisse auch den „Plan zur Umsetzung und Weiterentwicklung von überörtlichen Maßnahmen zur Hochwasser- und Starkregenvorsorge für den Landkreis Ahrweiler und das Ahreinzugsgebiet unter Berücksichtigung der örtlichen Vorsorgekonzepte“ (üMP) des Landkreises Ahrweiler. Zudem kann die vorliegende Raumempfindlichkeitsuntersuchung als eine erste Grundlage zur Flächensicherung im Rahmen der Raumordnung dienen, wengleich für diese Standorte noch weitere Untersuchungen und weitere Konkretisierungen nötig sind.

Darüber hinaus ergeben sich weitere Forschungsfragen, welche die vorliegenden Arbeiten zum Thema Retentionsraumpotenziale um weitere Aspekte sinnvoll ergänzen würden. Insbesondere das Thema des schadfreien Abflusses von Hochwasser und Starkregen innerhalb besiedelter Bereiche ist hier von Bedeutung. So könnten Freiflächen identifiziert werden, die langfristig von Bebauung freizuhalten sind, um das Schadenspotenzial nicht weiter zu erhöhen und Wassermassen schadlos und gezielt abzuleiten.

Zusammenfassung

- Um sich im Ahr-Einzugsgebiet auf ein Hochwasser wie das von Mitte Juli 2021 vorzubereiten, wurde ein Rückhaltevolumen von mindestens 25 bis 33 Mio. m³ als Ziel definiert, wobei aufgrund der räumlichen Variabilität von Starkregenniederschlägen eigentlich ein Vielfaches hiervon vorgehalten werden muss.
- Erste Analysen, in denen das auf der Curve-Number basierende SCS-Verfahren händisch angewendet wurde, ergaben ein Potenzial durch Landnutzungsanpassungen von bis zu 10 Mio. m³. Weitere natürliche Maßnahmen wie Auwaldaufforstungen und Laufverlängerungen von Fließgewässern würden den Abfluss bei Hochwasser zusätzlich verlangsamen.
- Technische Maßnahmen, wie der Bau von Hochwasserrückhaltebecken, sind jedoch unerlässlich, um auf extreme Ereignisse wie 2021 vorbereitet zu sein. Grobe GIS-Analysen ergaben hier ein theoretisches technisches Potenzial von bis zu 1000 Mio. m³.
- Ein wesentlicher Teil der Retentionsraumpotenzialanalyse befasste sich mit der Raumempfindlichkeit von potenziellen Standorten für Rückhaltemaßnahmen. Dabei werden verschiedene Schutzgüter wie menschliche Gesundheit, Arten und Biotope, Boden, Wasser, Landschaftsbild und Kultur- und Sachgüter näher untersucht.
- Es zeigte sich, dass neben schutzgutbezogenen Konflikten Flächenverfügbarkeit und konkurrierende Nutzungsansprüche oft die größten Hindernisse für die Umsetzung dar-

stellen. Hier wird empfohlen, frühzeitig Flächensicherungsmaßnahmen in die Planung aufzunehmen, um langfristig eine wirksame Hochwasservorsorge zu gewährleisten.

Danksagung Die Autorinnen und Autoren von ► Kap. 11 bedanken sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und beim DLR Projektträger für die Unterstützung und Förderung des KAHR-Projekts. Diese Forschung wurde vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 01LR2102A-M finanziert.

Literatur

- Apel H, Vorogushyn S, Merz B (2022) Brief communication – Impact Forecasting Could Substantially Improve the Emergency Management of Deadly Floods: Case Study July 2021 floods in Germany
- Bezirksregierung Köln (2023) Digitales Geländemodell. <https://www.bezreg-koeln.nrw.de/geobasis-nrw/produkte-und-dienste/hoeihenmodelle/digitale-gelaendemodelle/digitalesgelaendemodell>. Zuletzt geprüft am: 13.11.2023
- Birkmann J, Schütttrumpf H, Handmer J, Thieken A, Kuhlicke C, Truedinger A, Sauter H, Klopries E-M, Greiving S, Jamshed A, Merz B, Solecki W, Kirschbauer L (2023) Strengthening resilience in reconstruction after extreme events – Insights from flood affected communities in Germany. *Int J Disaster Risk Reduct* 96:103965. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103965>
- Blöschl G, Hall J, Viglione A et al (2019) Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature* 573:108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
- Diller C (2010) Methoden der Raumplanung in der Praxis. Universitätsverlag der TU Berlin
- DWD (2021) Frei verfügbare RADOLAN-Daten und deren aktuelle Visualisierung; Tagessumme SF (rechts). https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/daily/radolan/. Zugegriffen: 30. Dez. 2023
- DWD (2022) RADKLIM-Bulletin; Projekt-Rundschau | Panorama und Werkstatt § Jährliche Fortschreibung und Erweiterung der Radarklimatologie § Jahres-Ergebnisse der Klimatologie § Extreme Niederschlagsereignisse des vergangenen Jahres. DWD (https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/wasserwirtschaft/radarniederschlag/radklim-bulletin/radklimbuletin2022download.pdf?sessionid=7048FC7D1A9E83E1BD05D11D9F4E4831.live11043?__blob=publicationFile&v=3). Zugegriffen: 18. September 2024)
- EEA (2016) CLC 2018. European Environment Agency. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>. Zugegriffen: 19. Okt. 2020
- Eickelmann J, Engels S, Franzmann H, Gayko N, Hijazi A, Hölzner R, Hövel S, Kneilmann M, Knipper T, Niehues M, Paßlick O, Pilarczyk S, Schlott M, Schmidt M, Schultze-Schlutius T, Wrase T (2022) Identifizierung geeigneter Flächen für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotszonen: Eine GIS-basierte Analyse im Ahrtal
- ESTAT (2020) Countries, 2020 – Administrative Units – Dataset. <https://giscoservices.ec.europa.eu/distribution/v2/countries/download/>. Zuletzt geprüft am 27.10.2023
- Geofabrik GmbH (2018a) *gis_osm_waterways_free_1*. CC BY-SA 2.0. <https://download.geofabrik.de>. Zuletzt geprüft am 19.10.2020
- Geofabrik GmbH (2018b) *gis_osm_places_a_free_1*. CC BY-SA 2.0. <https://download.geofabrik.de>. Zuletzt geprüft am 19.10.2020
- Greene R, Devillers R, Luther JE, Eddy BG (2011) GIS-based multiple-criteria decision analysis. *Geogr Compass* 5:412–432. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2011.00431.x>
- Greiving S, Fleischhauer M, León CD, Schödl L, Wachinger G, Quintana Miralles IK, Prado Larraín B (2021) Participatory Assessment of Multi Risks in Urban Regions—The Case of Critical Infrastructures in Metropolitan Lima. *Sustainability* 13(5):2813. <https://doi.org/10.3390/su13052813>
- Hochwasservorhersagezentrale Rheinland-Pfalz Pegel Altenahr / Ahr; Pegelkennwerte. <https://www.hochwasser.rlp.de/flussgebiet/ahr/altenahr#pegelkennwerte>. Zugegriffen: 24. Okt. 2024
- Hoffmann A (2016) Methodeneinsatz in der räumlichen Planung: Methodenverständnis, Hemmnisse und Gelingskriterien
- IPCC Summary for Policymakers Climate Change (2023) Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (36 pages)

- Janssen R (2001) On the use of multi-criteria analysis in environmental impact assessment in The Netherlands. *Multi Criteria Decis Anal* 10:101–109. <https://doi.org/10.1002/mcda.293>
- Kisseler E, Wolf S, Sauter H, Schüttrumpf H (2023) Reduktion der Vulnerabilität gegenüber Hochwasser – Empfehlungen zur Flächennutzung auf Basis von Flutmarken des Juli-Hochwassers 2021. *Korrespondenz Wasserwirtsch* 2023:498–506
- Koks EE, van Ginkel KCH, van Marle MJE, Lemmitzer A (2022) Brief communication: critical infrastructure impacts of the 2021 mid-july western European flood event. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 22:3831–3838. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-3831-2022>
- Kreienkamp F, Philip SY, Tradowsky JS et al (2021) Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021
- Ludwig P, Ehmele F, Franca MJ, Mohr S, Caldas-Alvarez A, Daniell JE, Ehret U, Feldmann H, Hundhausen M, Knippertz P, Küpfer K, Kunz M, Mühr B, Pinto JG, Quinting J, Schäfer AM, Seidel F, Wisotzky C (2023) A multi-disciplinary analysis of the exceptional flood event of July 2021 in central Europe – Part 2: Historical context and relation to climate change. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 23:1287–1311. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1287-2023>
- LVerGeoRP (2021) DGM 1 m Gitterweite ASCII (X,Y,Z) 114 Kacheln (1×1 km), Ahrtal Sonderbefliegung: 12./13.08.2021. Datenbereitstellung am 2. Februar 2022.
- Maniak U (2016a) Einführung Hydrologie und Wasserwirtschaft. In: Maniak U (Hrsg) *Hydrologie und Wasserwirtschaft*. Springer, Berlin Heidelberg, S 1–19
- Maniak U (2016b) Niederschlag-Abfluss-Modelle für Hochwasserabläufe. In: Maniak U (Hrsg) *Hydrologie und Wasserwirtschaft*. Springer, Berlin, Heidelberg, S 301–414
- Maniak U (2016c) Niederschlag-Abfluss-Modelle für Hochwasserabläufe. In: Maniak U (Hrsg) *Hydrologie und Wasserwirtschaft*. Springer, Berlin, Heidelberg, S 301–414
- Mockus V (1965) *National Engineering Handbook; Section 4 Hydrology*. http://www.irrigationtoolbox.com/NEH/Part630_Hydrology/neh630-ch21.pdf. Zugegriffen: 22. Juni 2022
- Mohr S, Ehret U, Kunz M, Ludwig P, Caldas-Alvarez A, Daniell JE, Ehmele F, Feldmann H, Franca MJ, Gattke C, Hundhausen M, Knippertz P, Küpfer K, Mühr B, Pinto JG, Quinting J, Schäfer AM, Scheibel M, Seidel F, Wisotzky C (2023) A multi-disciplinary analysis of the exceptional flood event of July 2021 in central Europe – Part 1: Event description and analysis. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 23:525–551. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-525-2023>
- Planungsgemeinschaft Mittelrhein-Westerwald (2017) *Regionaler Raumordnungsplan Mittelrhein-Westerwald*. Koblenz
- Rath AV (2022) Vergleich von internationalen Hochwasserstatistiken auf Grundlage der International Disaster Database. Aachen (Bachelorarbeit)
- Rhein FGG (2019) Bericht der FGG Rhein über die Überprüfung und Aktualisierung der Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten im deutschen Teil des Rheineinzugsgebiets nach § 74 WHG; Stand: 16. Dezember 2019. <https://fgg-rhein.de/servlet/is/87526/>. Zugegriffen: 24. Okt. 2024
- Roggenkamp T, Hergert J (2014) Reconstructing peak discharges of historic floods of the river Ahr, Germany. *Erdkunde* 68:49–59. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2014.01.05>
- Roggenkamp T, Hergert J (2024) Flood reconstruction – The unexpected rather frequent event at River Ahr in July 2021. *Glob Planet Change* 240:104541. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2024.104541>
- Ross CW, Prihodko L, Anchang J, Kumar S, Ji W, Hanan NP (2018) Global Hydrologic Soil Groups (HY-SOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling. https://daac.ornl.gov/SOILS/guides/Global_Hydrologic_Soil_Group.html. Zugegriffen: 30. Dez. 2023
- Scholles F, Fürst D (2001) *Handbuch Theorien+ Methoden der Raum- und Umweltplanung*. Handbücher zur Umweltplanung-HzU, Bd 4. Dortmund
- Schüttrumpf H (2021) Das Juli-Hochwasser 2021 in NRW-Ein erster Erfahrungsbericht. *Wasser Abfall* 23:14–17
- Tradowsky JS, Philip SY, Kreienkamp F et al (2023) Attribution of the heavy rainfall events leading to severe flooding in Western Europe during July 2021. *Clim Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03502-7>
- Vautard R, Boucher O, van Oldenborgh GJ, Otto F, Hausteijn K, Vogel MM, Seneviratne SI, Soubeyroux J-M, Schneider M, Drouin A, Ribes A, Kreienkamp F, Stott P, van Aalst M (2019) Human contribution to the record-breaking July 2019 heat wave in Western Europe. <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/July2019heatwave.pdf>. Zugegriffen: 10. Aug. 2023
- Vélez Pérez M (2023) Investigation of the impact of land use changes of the flood event 2021 at the Ahr River. RWTH Aachen University, Aachen (Masterarbeit)

- Vélez Pérez M, Wolf S, Klopries E-M (2023) Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung an der Ahr auf das Abflussverhalten. *Korrespondenz Wasserwirtsch* 2023(16):435–441. <https://doi.org/10.3243/kwe2023.07.004>
- Vogel R (2010) GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen – am Beispiel der Elbe. Mensch und Buch Verlag, Berlin
- Vorogushyn S, Apel H, Kemter M, Thieken AH (2022) Analyse der Hochwassergefährdung im Ahrtal unter Berücksichtigung historischer Hochwasser. *Hydrol Wasserbewirtsch*. https://doi.org/10.5675/HyWa_2021.5_2
- Wilkens J (2024) Grenzen und Möglichkeiten des Hochwasserrückhaltes durch Renaturierungen entlang der Ahr. Aachen (Masterarbeit)
- Wolf S (2023) The long-term-memory of a typical mid-European upland to lowland river : or why we struggle to reach a good ecological state for our rivers. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen (Dissertation)
- Wolf SS, Zimmermann M, Holste I, Schüttrumpf H, Bucholz O, Yörük A (2024a) Möglichkeiten und Grenzen von natürlichem oder technischem Hochwasserschutz am Beispiel der Ahr. *Wasser Abfall* 26(5):33–37. <https://www.springerprofessional.de/moeglichkeiten-und-grenzen-von-natuerlichem-oder-technischem-hoc/27057246>
- Wolf SS, Steudtner F, Buchholz O, Yörük A, Schüttrumpf H (2024b) Natürlicher vs. Technischer Hochwasserschutz – Wo sind die Möglichkeiten und Grenzen? 57. Essener Tagung für Wasserwirtschaft, GWA 257, Aachen. Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e. V., Aachen, S 61/1–61/17
- Zimmermann M (2023) Identifikation von natürlichen Hochwasserrückhaltepotentialen an der Ahr. Aachen (Masterarbeit)

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

