Leitfaden zur Einbindung von Waldflächen in die kommunale Überflutungsvorsorge

WaldAktiv

Erkenntnisse und Empfehlungen aus dem Projekt WaldAktiv und dem Kreis Siegen-Wittgenstein

Universität Siegen

fwu Forschungsinstitut Wasser und Umwelt

Siegen-Wittgenstein in Südwestfalen

IMPRESSUM

Verfasst von
Sebastian Gürke, M.Sc.
Maren Beltermann, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen

Herausgeber
Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu) der Universität Siegen
Paul-Bonatz-Str. 9-11
57076 Siegen

Druck
UniPrint, Universität Siegen. Gedruckt auf Papier aus 100 % Recyclingfasern, das mit dem Umweltzeichen Blauer Engel ausgezeichnet ist.

Bildnachweise
Das Copyright aller Abbildungen liegt beim fwu. Grafiken mit abweichender Herkunft sind entsprechend gekennzeichnet.

Zitiervorschlag
fwu (2023): Leitfaden zur Einbindung von Waldflächen in die kommunale Überflutungsvorsorge. Erkenntnisse und Empfehlungen aus dem Projekt WaldAktiv und dem Kreis Siegen-Wittgenstein. Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu) der Universität Siegen (Hrsg.), Juli 2023, Siegen.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz unter dem Förderkennzeichen 67DAS179 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

VORWORT

In den vergangen rund drei Jahren haben wir im Rahmen des Projekts WaldAktiv modellgestützte Untersuchungen zur Nutzung von Waldflächen als Element der aktiven Starkregenvorsorge in urbanen Gebieten in Kooperation mit und am Beispiel des Kreises Siegen-Wittgenstein durchgeführt. WaldAktiv wurde dabei im Förderschwerpunkt „Kommunale Leuchtturmvorhaben sowie Aufbau von lokalen und regionalen Kooperationen“ des Förderprogramms „Förderung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel“ vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) und dem Kreis Siegen-Wittgenstein gefördert.

Mit einem Waldflächenanteil von 71 % ist der im Südosten von Nordrhein-Westfalen gelegene Kreis Siegen-Wittgenstein der waldreichste Kreis Deutschlands (Wald und Holz NRW, 2017) und damit besonders gut geeignet, um zuvor genannte Potenziale zu ermitteln. Gleichzeitig zählt der Kreis aufgrund seiner Mittelgebirgstopografie und den im Zuge des Klimawandels prognostizierten Veränderungen zu den Regionen in Deutschland, die gegenwärtig und in Zukunft eine hohe Gefährdung gegenüber den Auswirkungen von Starkregenereignissen aufweisen (LANUV NRW, 2021). Solche haben bereits in den vergangenen Jahren wiederholt zu Schäden innerhalb des Kreisgebietes und in angrenzenden Kommunen geführt.

Mit den Themen Klimaschutz und der Anpassung an die Folgen des Klimawandels befasst sich der Kreis Siegen-Wittgenstein bereits seit vielen Jahren. So wurde beispielsweise die Wirkung verschiedener klimatischer Einflüsse wie Hitze, Dürre, Starkregen und Hochwasser in einer Klimawirkungsanalyse untersucht. Auf Basis dieser und weiterer Klimafolgenanpassungsprojekte wurde jedoch insbesondere im Bereich der Starkregen- bzw. Überflutungsvorsorge weiterer spezifischer Handlungsbedarf identifiziert, der unter anderem mit dem Projekt WaldAktiv adressiert wird.

Ziel von WaldAktiv war es, geeignete planerische Werkzeuge zu entwickeln, um das Versickerungs- und Rückhaltepotenzial von vorhandenen Waldflächen für die kommunale Überflutungsvorsorge aktiv nutzbar zu machen und so Überflutungen infolge von Starkregenereignissen speziell in den Tallagen zu vermindern sowie möglichen Schäden vorzubeugen. Die Erkenntnisse und erarbeiteten Empfehlungen aus dem Projekt werden mit dem vorliegenden Leitfaden zusammengefasst. Um sicherzustellen, dass der Leitfaden dabei auf die Bedürfnisse aller Beteiligten eingeht, wurden die Inhalte unter anderem in mehreren projektbegleitenden Workshops mit den relevanten Fachämtern und den beteiligten Kommunen abgestimmt und diskutiert. Für das Mitwirken möchten wir uns an dieser Stelle recht herzlich bedanken.

Wir hoffen, dass Sie der Leitfaden bei der Überflutungsvorsorge in Ihrer Kommune unterstützt und wünschen Ihnen viel Erfolg bei Ihren Projekten!

Ihr WaldAktiv-Team

INHALTSVERZEICHNIS

1 HINTERGRUND UND ZIEL DES LEITFADENS 3

2 WIRKUNG VON WÄLDERN BEI STARKREGENEREIGNISSEN 6

2.1 Starkregenereignisse und Oberflächenabflüsse 6
2.2 Warum Wald natürlichen Überflutungs- und Hochwasserschutz bietet 8
2.3 Auswirkungen von Kahlschlägen 14

3 EINBINDUNG VON WALDFLÄCHEN IN DIE KOMMUNALE ÜBERFLUTUNGSVORSORGE 17

3.1 Veranlassung und Motivation 17
3.2 Herangehensweisen 18
3.3 Identifizierung von Problembereichen 20
3.4 Anforderungen an Einleitungsbereiche und Potenzialflächen 28

4 MAßNAHMEN UND HINWEISE ZUR ERHÖHUNG DES ABFLUSSRÜCKHALTS IN WALDFLÄCHEN 34

4.1 Leitgedanken und zentrale Planungsziele 34
4.2 Wasserbauliche Maßnahmen im Wald 35
4.3 Waldbauliche Maßnahmen 46

5 FACHLICHE UND RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN 49

6 FÖRDERMÖGLICHKEITEN 52

7 KOMPENSATION VON ENTWALDUNGEN 55

8 KOMPAKTE ZUSAMMENFASSUNG DES LEITFADENS 58

QUELLENVERZEICHNIS 61

ANHANG 67

Fließweganalysen 67

1 HINTERGRUND UND ZIEL DES LEITFADENS

Hintergrund

Starkregenereignisse haben in den vergangenen Jahren nicht nur zu erheblichen Schäden, sondern auch zum Verlust von Menschenleben geführt. Dass es sich bei solchen Ereignissen nicht um regionale Phänomene handelt, sondern diese grundsätzlich überall auftreten können, hat nicht zuletzt der Sommer 2021 auf tragische Weise gezeigt. Hinzu kommt, dass eine Zunahme der Anzahl und Intensität von Starkregenereignissen in vielen Regionen in Deutschland als wahrscheinlich gilt (Hänsel et al., 2023). **»Die Überflutungsvorsorge steht daher aktuell und auch zukünftig im Fokus der wasserwirtschaftlichen Planungen vieler Kommunen.«**

Im Kontext der technischen Vorsorge kann in Kommunen eine Vielzahl an Maßnahmen zur Reduzierung von Überflutungsgefährdungen ergriffen werden (z. B. Dachbegrünungen, Versickerungsanlagen, Regenrückhalteanlagen, Entsiegelungen). Die Auswahl bestimmter Maßnahmen ist dabei meist von regionalen und lokalen Randbedingungen abhängig (z. B. Topografie, Böden, Landnutzung, Flächenverfügbarkeit). **»Eine zielgerichtete kommunale Überflutungsvorsorge erfordert daher die Kombination verschiedener, aber aufeinander abgestimmter Maßnahmen.«** Dadurch wird auch dem Umstand Rechnung getragen, dass die aus Starkregenereignissen resultierenden Überflutungen im Gegensatz zu Flusshochwasser nicht ortsgebunden sind. **»So führen Starkregenereignisse üblicherweise zu vielen Gefährdungsschwerpunkten, denen mit einer entsprechenden Anzahl geeigneter Maßnahmen begegnet werden muss.«**

Vermehrte Aufmerksamkeit haben in den letzten Jahren multifunktionale Retentionsflächen erhalten (z. B. Benden et al., 2017). Denn insbesondere die begrenzte Flächenverfügbarkeit in urbanen Gebieten stellt für viele Kommunen eine große Herausforderung dar. **»Umso wichtiger ist es, das Potenzial vorhandener Flächen zu nutzen und diese aktiv in die kommunale Überflutungsvorsorge einzubinden.«**

Viele Städte und Gemeinden können vor oben genanntem Hintergrund in den Außen- und teilweise auch in den Innengebieten auf Waldflächen zurückgreifen. Waldböden, dies zeigen Untersuchungen (z. B. Markart et al., 2006; Puhlmann et al., 2013), gelangen jedoch selbst bei großen Niederschlagsmengen und -intensitäten oftmals nicht an die Grenzen ihrer Speicherfähigkeit. Die Böden von bewaldeten Flächen können daher ein wesentliches und bisher ungenutztes Potenzial für den Rückhalt und die Versickerung von Niederschlagswasser aufweisen. Gleichzeitig ist insbesondere in Außengebieten bei Starkregenereignissen häufig zu beobachten, dass über Straßen und Wege Oberflächenabflüsse aus Waldgebieten herausfließen. Weshalb dies kein Widerspruch ist, wie Waldflächen aktiv in die kommunale Überflutungsvorsorge eingebunden und der Abflussrückhalt in Waldflächen verbessert werden kann, wird in dem vorliegenden Leitfaden erläutert.

Ziel und Aufbau des Leitfadens

Übergeordnetes Ziel des Leitfadens ist es, Waldflächen stärker in den Fokus der kommunalen Überflutungsvorsorge zu rücken, sowohl als Potenzialflächen, aber auch als mögliche Problembereiche. Durch den Leitfaden sollen

die Forschungen in regionales politisches Handeln überführt und damit in die kommunale Praxis transferiert werden. Er soll dabei nicht nur durch Empfehlungen und Hinweise bei der Planung unterstützen, sondern auch im Allgemeinen für die Thematik sensibilisieren und dazu beitragen, die Legitimität und Akzeptanz von Maßnahmen zu stärken.

Der Leitfaden hat drei zentrale Empfehlungen:

1. »Waldflächen müssen als elementare Bausteine der kommunalen Überflutungs- und Hochwasservorsorge verstanden und erhalten werden.«

Zahlreiche Studien belegen die positive Wirkung von Waldflächen auf den Rückhalt von Niederschlagswasser auch bei Starkregenereignissen (z. B. Schüler et al., 2007; Nordmann, 2011). Dennoch werden weiterhin Waldflächen im Zuge der fortschreitenden Flächeninanspruchnahme beispielsweise für Gewerbegebiete entwaldet und dabei zu großen Teilen versiegelt. Dabei gehen nicht nur die Bäume mit all ihren wichtigen Ökosystemleistungen, sondern auch die wertvollen Waldböden praktisch dauerhaft verloren. Jene poren- und humusreichen, lockeren und damit versickerungs- und speicherfähigen Böden, die das Ergebnis jahrzehntelanger Entwicklungen und Prozesse sind.

In **Kapitel 2** wird deshalb ein kurzer Überblick über Starkregenereignisse und die Wirkung von Wäldern bei solchen gegeben. Aus aktuellem Anlass werden in diesem Kontext zudem die Auswirkungen von Kahlschlägen dargestellt.

2. »Der dezentrale Rückhalt von Oberflächenabflüssen in Waldflächen muss verbessert werden.«

Während in der Vergangenheit versucht wurde, die bei Starkregenereignissen entstehenden Abflüsse vor allem möglichst schnell abzuleiten, wird heute vermehrt das Ziel verfolgt, Niederschlagswasser dezentral, also durch zahlreiche kleine Maßnahmen in der Fläche und am Ort der Entstehung in den Einzugsgebieten zu halten bzw. zur Versickerung zu bringen, um nicht zuletzt auch von den positiven Synergieeffekten (z. B. Verbesserung des Mikroklimas, Schadstofffilterung, Grundwasserneubildung) zu profitieren.

Insbesondere die Sommer der letzten Jahre haben einen starken Kontrast zwischen zu viel Wasser (Überflutungsgefährdungen) und zu wenig Wasser (z. B. Trockenstress für Pflanzen) aufgezeigt, sodass die Verbesserung des Rückhalts von Oberflächenabflüssen in Wäldern nicht nur aus Sicht der Überflutungsvorsorge stärker in den Fokus rücken muss. Ziel sollte es daher sein, die Konzentration von Oberflächenabflüssen in Wäldern zu vermindern, Wasser in versickerungsfähige Bereiche einzuleiten und zusätzliches Retentionsvolumen zu schaffen. Im Fokus steht dabei die Verminderung von Überflutungen und potenziellen Schäden unter Berücksichtigung und Ausnutzung der lokalen Gegebenheiten durch kleine ökologisch verträgliche Maßnahmen. Diesbezüglich werden nachfolgende Aspekte innerhalb des Leitfadens behandelt:

- Wie können Problembereiche, deren Ursachen und nutzbare Potenzialflächen identifiziert werden (**Kapitel 3**)?
- Durch welche wasserbaulichen und forstwirtschaftlichen bzw. waldbaulichen Maßnahmen kann der Wasserrückhalt in Wäldern verbessert werden (**Kapitel 4**)?

- Welche fachlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen müssen berücksichtigt werden (**Kapitel 5**)?

In **Kapitel 6** werden zudem Fördermöglichkeiten dargestellt.

3. »Bei Entwaldungen im Zuge von Bauprojekten sollte der Verlust der natürlichen Retentionskapazität im Sinne eines Verschlechterungsverbots vor Ort kompensiert werden.«

Gemäß § 13 BNatSchG (Bundesnaturschutzgesetz) sind erhebliche Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft vorrangig zu vermeiden. Dennoch sind Eingriffe wie Entwaldungen, die mit erheblichen Beeinträchtigungen einhergehen, in der Praxis aufgrund überwiegender öffentlicher Interessen nach wie vor weitverbreitet. Die Kompensation solcher Beeinträchtigungen durch Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen gemäß §§ 13 ff. BNatSchG (z. B. i. V. m. § 31 LNatSchG NRW) berücksichtigt jedoch oftmals nur einzelne Funktionen des Naturhaushaltes.

Vor dem Hintergrund der Überflutungsvorsorge wird dringend empfohlen, auch den Verlust der standortbezogenen natürlichen Wasserspeicherkapazität von Waldflächen explizit bei Planungen zu berücksichtigen. Primäres Ziel muss dabei eine ortsnahe Kompensation des Wasserrückhalts sein, da ortsferne Ersatzmaßnahmen lokalen Überflutungsproblematiken nicht gerecht werden können.

In **Kapitel 7** werden daher Empfehlungen und Hinweise zur Kompensation der Retentionskapazität bei Entwaldungen dargestellt. **Kapitel 8** fasst die wesentlichen Aussagen des Leitfadens in kompakter Form zusammen und richtet sich vor allem an die Entscheidungsbefugten aus der Politik.

Zielgruppe des Leitfadens

Überflutungsvorsorge ist aus Sicht der Verwaltung eine Gemeinschaftsaufgabe und erfordert die Einbindung und Kooperation von vielen Agierenden und verschiedenen kommunalen Fachabteilungen. Hierzu zählen insbesondere jene, die in Planungsprozessen mitwirken und mitentscheiden, die sich auf die Oberflächengestaltung der Kommunen und damit direkt oder indirekt auf die Überflutungsvorsorge auswirken.

Der Leitfaden richtet sich daher insbesondere an **kommunale Fachämter und Fachabteilungen** wie:

- Obere und untere staatliche Behörden
- Stadt-, Verkehrs- und Bauleitplanung
- Grün- und Freiflächenplanung
- Tiefbau und Stadtentwässerung
- Klimafolgenanpassung

Gleichwohl richtet sich der Leitfaden auch an die **Forstwirtschaft**, also Forstbehörden sowie forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse (z. B. Waldgenossenschaften), die die Staats-, Körperschafts- und Privatwälder betreuen und bewirtschaften. Damit umfasst die Zielgruppe auch die Waldbesitzenden, deren Mitwirken Voraussetzung für die erfolgreiche Planung und Umsetzung von Maßnahmen ist.

Auch wenn die größten Potenziale in waldreichen Kommunen zu erwarten sind, soll der Leitfaden auch in waldarmen Regionen unter anderem dazu beitragen, dass die bestehenden Waldflächen als elementare Bausteine der Überflutungsvorsorge verstanden und diese aktiv in die Vorsorge eingebunden werden.

2 WIRKUNG VON WÄLDERN BEI STARKREGENEREIGNISSEN

2.1 Starkregenereignisse und Oberflächenabflüsse

Starkregen

Starkregen sind Niederschlagsereignisse, bei denen innerhalb kurzer Zeit große Regenmengen fallen. Man spricht daher auch von hohen Niederschlagsintensitäten. In den Sommermonaten, insbesondere von Mai bis September, sind solche Ereignisse vermehrt zu beobachten (DWD, 2022). Sie können dabei grundsätzlich in allen Landesteilen auftreten.

Die Merkmale von Starkregenereignissen (vgl. Abbildung 1) unterscheiden sich deutlich von Dauerregen, die durch länger andauernde Niederschläge (mindestens 6 Stunden) mit vorwiegend gleichmäßigen Niederschlagsintensitäten im niedrigen einstelligen Bereich (bis 5 l/m² pro Stunde) gekennzeichnet sind (DWD, 2021).

ⓘ **Der Deutsche Wetterdienst (DWD) warnt vor Starkregenereignissen in drei Stufen:**

Starkregen
15 bis 25 l/m² in 1 Stunde oder
20 bis 35 l/m² in 6 Stunden

Heftiger Starkregen
> 25 bis 40 l/m² in 1 Stunde oder
> 35 bis 60 l/m² in 6 Stunden

Extrem heftiger Starkregen
> 40 l/m² in 1 Stunde oder
> 60 l/m² in 6 Stunden (DWD, 2023)

Hinweis: Eine Niederschlagsmenge von 1 l/m² entspricht einer Niederschlagshöhe von 1 mm.

Abbildung 1: Merkmale von Starkregenereignissen (Eigene Darstellung).

Da die überregneten Flächen in der Regel mit Tiefdrucklagen zusammenhängen und entsprechend räumlich meist sehr ausgedehnt sind, können Dauerregen auch zu Hochwasser in größeren Gewässern führen. Schadensträchtige Überflutungen fernab von Gewässern, wie sie häufig bei Starkregenereignissen zu beobachten sind, treten aufgrund der geringen Intensitäten hingegen vergleichsweise selten auf. Allerdings stellt gerade dieser Umstand eine große Gefahr dar: Oft werden bei Starkregen Gebiete betroffen, in denen sich die Bevölkerung, nicht zuletzt aufgrund mangelnder Sensibilisierung, keiner Gefahr bewusst ist. Gleichzeitig sind die Warnungen vor Starkregen oftmals räumlich unpräzise und die Vorwarnzeiten gering.

ⓘ **Deutschlandweite Starkregenniederschlagshöhen**

Mit KOSTRA-DWD stellt der DWD unter anderem Niederschlagshöhen für verschiedene Dauerstufen (D von 5 min bis 7 Tage) und Jährlichkeiten (T von 1 bis 100 a) zur Verfügung. Sie können z. B. als Rasterdaten für GIS-Auswertungen beim DWD heruntergeladen werden.

Kurzlink: *t1p.de/tdbm5*

Eine komfortablere und interaktive Möglichkeit, die Daten für jeden Standort in Form von Tabellen mit Übersichtskarten herunterzuladen bietet *openko.de*.

Wetterlagen wie das Tief „Bernd“ im Sommer 2021 haben zudem gezeigt, dass Dauerregen und Starkregen auch kombiniert auftreten und verheerende Folgen verursachen können (DWD, 2021).

Vom Regen zum Oberflächenabfluss

Während auf vollständig versiegelten, also wasserundurchlässigen Flächen wie asphaltierten Straßen praktisch der gesamte Niederschlag unmittelbar oberflächlich abfließt, können auf unversiegelten Bereichen wie Wald-, Grün- und Ackerflächen Teile des Niederschlags versickern. Hierdurch kann die Entstehung von Oberflächenabflüssen reduziert oder sogar vollständig verhindert werden.

Oberflächenabfluss entsteht immer dann, wenn die Niederschlagsintensität die Versickerungsrate des Bodens übersteigt. Dies kann nicht nur bei seltenen Starkregenereignissen, sondern auch bei Dauerregen der Fall sein. Bei Starkregenereignissen ist dies in der Regel jedoch häufiger zu beobachten, da diese mit besonders hohen, wenn auch kurzen, Intensitätsspitzen einhergehen. Geringe Versickerungsraten können beispielsweise die Folge hoher Versiegelungsgrade, niedriger Durchlässigkeit oder Verdichtungen der Böden sein. Die Entstehung von Oberflächenabflüssen ist somit maßgeblich von der Regenintensität und -dauer sowie von der Landnutzung und den Böden abhängig. Ein Beispiel zur unterschiedlichen Reaktion verschiedener Landnutzungsarten bei einem aufgetretenen Starkregenereignis zeigt Abbildung 2.

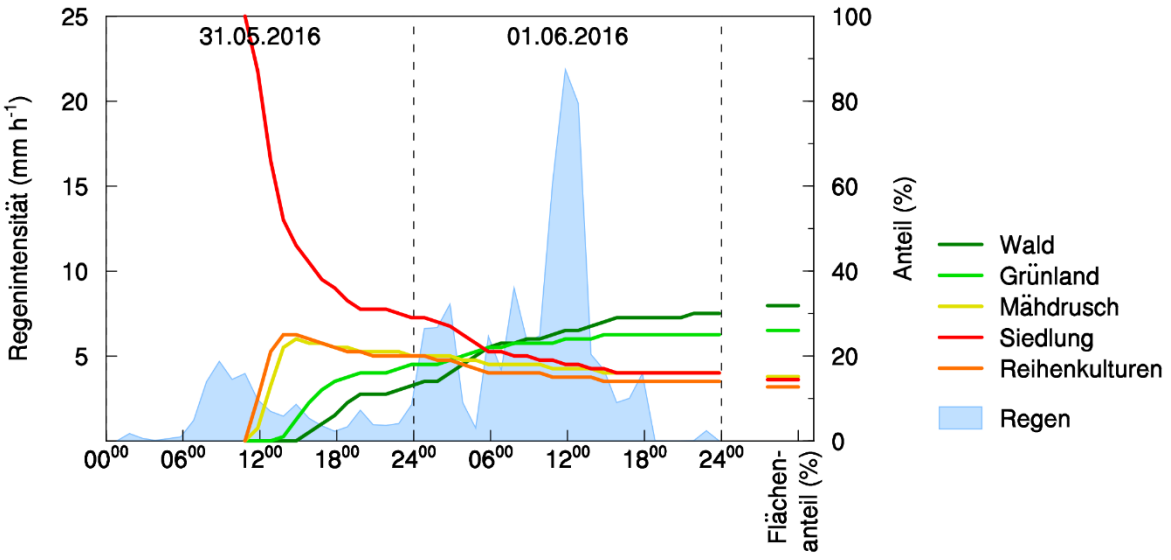


Abbildung 2: Verlauf der Regenintensität eines schweren Starkregenereignisses im Einzugsgebiet des Simbachs in Bayern aus dem Jahr 2016 und rekonstruierte Oberflächenabflussanteile verschiedener Landnutzungen, nach Auerswald (2017).

Vom Oberflächenabfluss zum Schaden

Ob aus Oberflächenabflüssen schadensträchtige Überflutungen entstehen, wird unter anderem von der Topografie, der Entwässerungsinfrastruktur und der Bebauungssituation beeinflusst. So treten im Hügelland oder Mittelgebirge häufig hohe Fließgeschwindigkeiten auf, die zu Erosion, dem Transport von Treibgut, Schlamm und Geröll und auch zu Erdrutschen führen können.

Die Kanalisationssysteme von Kommunen sind in der Regel aus wirtschaftlichen und technischen Gründen nicht darauf ausgelegt, die Wassermassen seltener Starkregenereignisse aufzunehmen (vgl. DWA-A 118, 2006). Es muss daher bei solchen Ereignissen, im Gegensatz zu Dauerregen, praktisch zwangsläufig mit einer Überlastung des Kanalnetzes und dem oberflächigen Abfließen des Wassers über Straßen und andere Siedlungsflächen gerechnet werden.

Besonders gefährdet sind vor allem Grundstücke in Senken, Hanglagen und im Einflussbereich kleinerer Fließgewässer sowie hoch versiegelte Bereiche, wie Industrie- und Gewerbeflächen. Ein wesentliches Ziel der kommunalen Überflutungsvorsorge ist daher, insbesondere durch Maßnahmen des dezentralen Wasserrückhalts, die Ansammlung großer Wassermassen in diesen Bereichen zu verhindern.

2.2 Warum Wald natürlichen Überflutungs- und Hochwasserschutz bietet

Vielfältige Erwartungen

Viele Wälder wie wir sie heute kennen, sind das Ergebnis forstwirtschaftlichen Handelns und unterscheiden sich als Wirtschaftswälder von natürlich gewachsenen Beständen. Infolge des fortschreitenden Klimawandels leiden schon jetzt zahlreiche Waldflächen beispielsweise unter der zunehmenden Trockenheit. Gleichzeitig unterliegen sie einem hohen

Nutzungsdruck, der mit vielfältigen, komplexen und zum Teil auch widersprüchlichen Erwartungen einhergeht. Der Nutzen bzw. die Vorteile von Ökosystemen wie Wäldern werden auch mit dem Begriff Ökosystemleistungen beschrieben. Hierzu zählen neben unterstützenden, bereitstellenden und kulturellen Dienstleistungen auch regulierende Leistungen wie der Hochwasser- und Erosionsschutz (Jay et al., 2015).

Wald

Nach § 2 Abs. 1 BWaldG (Bundeswaldgesetz) werden unter Wald Flächen verstanden, die mit Forstpflanzen bestockt sind. Als Wald gelten zudem z. B. auch Waldwege, Waldwiesen, Holzlagerplätze und kahlgeschlagene Grundflächen.

Dass Wälder Hochwasser- bzw. Oberflächenabflüsse dämpfen und verzögern können, ist inzwischen allgemeinhin bekannt und unstrittig (Sartor & Kreiter, 2007). Wälder tragen damit unmittelbar zur Reduzierung der Überflutungsgefährdung von Städten und Gemeinden bei (vgl. Abbildung 3).

Direkte Wirkung des Waldes

Trifft Regen auf Waldbestände, werden Teile des Niederschlags auf Blättern, Nadeln und Ästen zurückgehalten und verdunstet (sog. Interzeption). Die Interzeption ist dabei vor allem von der Baumart und der Jahreszeit abhängig. Da die Vegetationsoberfläche von Nadelbäumen größer ist als von Laubbäumen, können diese prinzipiell mehr Niederschlag zurückhalten. In DVWK-M 238 (1996) wird beispielsweise für eine 90-jährige Fichte eine maximale Interzeption von 4,7 mm bzw. für eine 120-jährige Buche von 2,6 mm angegeben.

Abbildung 3: Wirkung von Wäldern im Kontext von Regenereignissen (Eigene Darstellung).

Zu beachten ist jedoch, dass die Interzeption im Verhältnis zu den Niederschlagshöhen von seltenen Starkregenereignissen vergleichsweise gering ist (vgl. Abbildung 4). Regenwasser, das von den Baumkronen über die Baumstämme zum Boden abfließt, wird dabei zudem abgebremst.

Niederschlagswasser, das auf den Waldboden auftrifft, verdunstet (sog. Evaporation) oder infiltriert über die Grob- und Mittelporen und die organische Substanz und füllt den Bodenwasserspeicher auf. Dieser wird wiederum geleert, indem Wasser von den Baumbeständen über die Feinwurzeln aufgenommen und über die Blätter verdunstet wird (sog. Transpiration). Im Vergleich zu Grünland gelangt somit nicht nur weniger Regen auf den Boden, sondern auch der Bodenwasserspeicher wird effektiver geleert, sodass während Niederschlagsereignissen in Wäldern größere Wasserspeicherkapazitäten zur Verfügung stehen (Hegg, 2006; Markart & Kohl, 2013; Puhlmann et al., 2013). Nadelbäume weisen dabei höhere Wasserverbräuche als Laubbäume auf (Markart et al., 2020).

Indirekte Wirkung des Waldes

Da die Regentropfen durch den Waldbestand gebremst werden, wird der Boden vor Verschlämmung und Erosion geschützt (Kohl et al., 2008). Durch das Wurzelgeflecht der Bäume wird der Waldboden zudem fixiert und der Abtrag und die Auswaschung von Boden sowie Erosion weiter vermindert.

Im Gegensatz zu bewirtschaftetem Grünland weisen Waldflächen üblicherweise zahlreiche kleinere Bodenunebenheiten und stellenweise auch größere Geländesenken auf, in denen Niederschlagswasser zurückgehalten wird. Zudem werden durch die große Oberflächenrauheit, insbesondere im Vergleich zu anderen Landnutzungsarten, die Fließgeschwindigkeiten reduziert und Oberflächenabflüsse verzögert.

Durch die vergleichsweise tiefen Wurzelsysteme werden humus- und porenreiche lockere Böden geschaffen. Insbesondere der Anteil an Makroporen (Grob- und Gröbstporen, Sekundärporen infolge abgestorbener Wurzeln und Tierröhren), die das Wasser schnell in tiefere Bodenschichten leiten, ist auf Waldböden üblicherweise deutlich größer als auf umliegenden Freilandböden. Die Böden werden dadurch aufgelockert und die Infiltrationsbedingungen verbessert (Kohl et al., 2008; Markart & Kohl, 2013; Puhlmann et al., 2013). Baumarten mit flachen Wurzelsystemen wie Fichten sind dabei jedoch weniger effektiv als tiefwurzelnde Bäume (z. B. Eschen, Kiefern). So können tiefe Wurzeln einzelne Bodenschichten verbinden, Horizonte mit geringer Durchlässigkeit durchstoßen und zur Verbesserung der Versickerung auch in tiefe Schichten beitragen (Hümann et al., 2011).

Die Verbesserung der Speicherkapazität und der Versickerung der Böden durch Wälder ist dabei auf Böden mit mittlerer Speicherkapazität und gehemmter Durchlässigkeit am größten. Bei Böden mit kleiner Speicherkapazität auf undurchlässigen Böden oder Böden mit hoher Speicherkapazität auf durchlässigen Untergründen ist sie dagegen am geringsten (Hegg, 2006).

Einflussfaktoren und Grenzen der Wirksamkeit

Allgemeingültige Aussagen über das Speichervermögen von Niederschlagswasser und Oberflächenabflüssen in Wäldern sind aufgrund der Vielzahl an standortabhängigen

Einflussfaktoren nur bedingt möglich. Hierzu zählen z. B.:

- Art des Bewuchses
- Bodeneigenschaften und -mächtigkeit
- Geologische Bedingungen
- Topografie
- Witterungsbedingungen vor einem Ereignis
- Niederschlagsdauer und -intensität
- Vorherige Bewirtschaftung

Für das Wasserrückhaltevermögen stellen die Böden dabei den wichtigsten Faktor dar (Sartor & Kreiter, 2007). Dies gilt insbesondere für grund- und staunasse Böden und sehr lehmige und tonreiche Böden, da hier die Wirkung des Waldes im Besonderen von der Infiltrationskapazität der Böden abhängt (Markart et al., 2006). Je höher der Anteil an Kies und grobem Sand, desto besser ist die Durchlässigkeit und damit die Versickerungseignung. Dagegen nimmt die Durchlässigkeit mit steigendem Anteil feinkörniger Bestandteile wie Feinsanden, Schluff und Ton ab.

ⓘ Ermittlung des Speichervermögens von Waldflächen

Im Rahmen des Projekts WaldAktiv wurde die Leistungsfähigkeit der Waldflächen für verschiedene Starkregenszenarien mit dem bodenhydrologischen Modell „RoGeR“ der Universität Freiburg (Steinbrich et al., 2016) ermittelt (vgl. Abbildung 4).

Besonderheit des Modells ist einerseits die räumlich und zeitlich hochaufgelöste Abbildung der Abflussbildung und -konzentration sowie andererseits die Berücksichtigung der Infiltration über die in Wäldern typischen Makroporen.

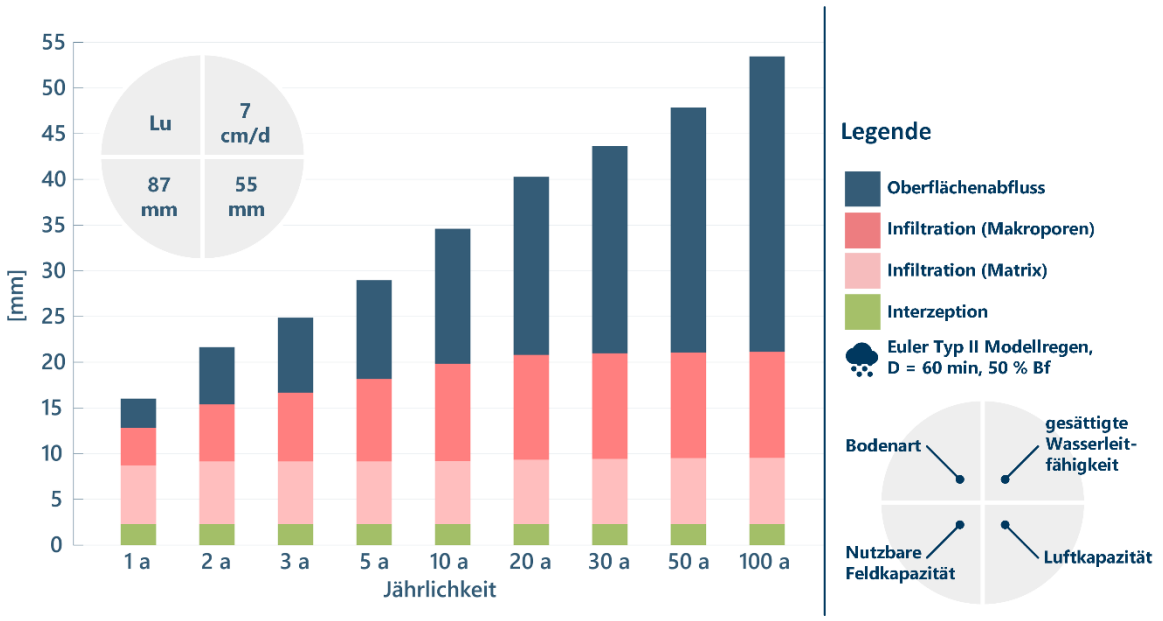


Abbildung 4: Ergebnisse bodenhydrologischer Modellierungen auf einer Waldfläche in einem Pilotgebiet des Projekts WaldAktiv mit Anteil von Interzeption, Makroporen- und Matrixinfiltration (Versickerung) und Oberflächenabfluss für Starkregenereignisse unterschiedlicher Jährlichkeiten. Die Ergebnisse zeigen beispielsweise, dass der Oberflächenabfluss infolge eines 100-jährlichen Starkregenereignisses, obwohl es sich um einen Boden mit geringer Durchlässigkeit handelt (Lu = schluffiger Lehm), auf der Waldfläche um etwa 40 % reduziert wird. Die Ergebnisse sind repräsentativ für den Großteil des Kreisgebietes (Eigene Darstellung).

Grundsätzlich nimmt die Speicherleistung mit zunehmender Regenintensität und -dauer ab, da sich die Bodenspeicher füllen. Wälder können durch ihren Wasserrückhalt Überflutungen infolge von Regenereignissen zwar zum Teil deutlich reduzieren, vollständig verhindert werden können diese insbesondere bei seltenen Starkregenereignissen hingegen jedoch nicht immer.

Einen großen Einfluss können auch die Witterungsbedingungen haben. Sind Böden beispielsweise infolge vorheriger Niederschläge bereits gesättigt oder gefroren, kann das Speichervermögen schneller erschöpft werden. In den Sommermonaten hingegen können stark ausgetrocknete Böden hydrophobe, also wasserabweisende Eigenschaften aufweisen und damit die Infiltration in den Boden hemmen. Speziell Nadelbaumarten, wie Douglasien, fördern diesen Effekt.

Zudem zeigt die Landnutzungsgeschichte, dass viele Wälder heute auf Flächen zu finden sind, die schlechte Bodenbedingungen aufweisen (z. B. flachgründige oder grund- und staunasse Böden), während bessere Böden landwirtschaftlichen Nutzungen vorbehalten bleiben. Oftmals wirken sich diese Bodenverhältnisse auch nachteilig auf das Abflussverhalten aus. Untersuchungen zeigen darüber hinaus, dass selbst wenn landwirtschaftliche Flächen aufgeforstet werden, diese selbst nach vielen Jahren, aufgrund der vergangenen Bewirtschaftung und Verdichtung noch die ungünstigeren Abflussbedingungen der ursprünglichen Nutzung aufweisen können (Hümann et al., 2011).

Innerhalb von Waldflächen muss in Bezug auf das Wasserrückhaltevermögen zwischen den näherungsweise ungestörten Waldbereichen und vom Menschen beeinflussten Flächen wie Holzlagerplätzen und Linienstrukturen wie z. B. Wegen und Entwässerungsgräben differenziert werden, da sich diese unterschiedlich auf den Wasserrückhalt auswirken.

Linienstrukturen können planmäßig, meist jedoch ungewollt zur Sammlung, Kanalisierung, Lenkung und Beschleunigung von Oberflächenabflüssen führen und beitragen (vgl. Abbildung 5 und Kapitel 3.3). Dies führt in der Regel zu hohen Mengen an Oberflächenabflüssen, die letztlich auch die Erosionsanfälligkeit, beispielsweise von Wegen erhöht. Sie können damit maßgeblich zu einem schnellen Abfluss aus Waldgebieten beitragen (Backes et al., 2007; Zemke, 2014).

Abbildung 5: Linienstrukturen wie z. B. Wege und Rückegassen können zur vermehrten Ausbildung und dem Transport von Oberflächenabflüssen führen (Foto: fwu).

Die primär der Walderschließung und -bewirtschaftung dienenden Waldwege und Feinerschließungsnetze spielen im Hinblick auf die Abflussentstehung eine wichtige Rolle. Denn in Wäldern gehen Bodenverdichtung, z. B. infolge mechanischer Belastung durch den Einsatz schwerer Maschinen, prinzipiell mit einer Abnahme des Makroporenvolumens und damit auch des Wasserspeichervermögens einher.

So zeigen beispielsweise umfangreiche Untersuchungen mit Beregnungsversuchen von Zemke (2014), dass auf Wegoberflächen und in Rückegassenspuren nur 7 bis 31 % des Niederschlags infiltrieren konnten, während trotz der sehr hohen Intensitäten auf den ungestörten Waldböden 96 % des Niederschlags infiltrierten. Wege und Rückegassen können daher bedeutend zur Entstehung von Oberflächenabflüssen in Wäldern beitragen.

Dies spielt insofern eine besonders wichtige Rolle, als dass sich Böden von den Folgen maschineller Befahrung kaum erholen und die Verdichtungen oft nicht umkehrbar sind (Langmasius et al., 2018). Nach Markart & Kohl (2013) bleiben solche Verdichtungen über Jahrzehnte im „hydrologischen Gedächtnis“ von Böden erhalten. Da unbeschädigte Bodenstrukturen Voraussetzung für die Funktion der Waldböden als Wasserspeicher sind, hat der Bodenschutz und die bodenschonende Bewirtschaftung im Wald zentrale Bedeutung und dies nicht nur für die Forstwirtschaft selbst, sondern auch für die kommunale Überflutungsvorsorge.

Fazit und Empfehlungen

Der Erhalt von Wäldern ist heute umso Wichtiger: Trockenheit, Schädlinge (z. B. Borkenkäfer) und Stürme (z. B. Orkan Kyrill 2007) haben in den vergangenen Jahren vielerorts bereits zu erheblichen Waldschäden und damit dem großflächigen Verlust von Baumbeständen geführt. Entwicklungen und Ereignisse, die infolge des Klimawandels auch zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen können und sich auch auf die Überflutungsgefährdung von Kommunen auswirken.

Waldflächen und die wertvollen Waldböden weisen langfristige Rückhaltefunktionen für Niederschlagswasser auf, verzögern Abflussspitzen und sollten daher nicht zuletzt aus Sicht und im Kontext der kommunalen Überflutungsvorsorge als schützenswerte Flächen betrachtet werden, die von jeglichen konkurrierenden Nutzungen freigehalten werden müssen. **»Der Erhalt von Waldflächen muss daher sowohl innerstädtisch als auch in Außengebieten ein zentrales Ziel der kommunalen Überflutungsvorsorge sein. Denn Waldschutz ist auch Überflutungsschutz.«**

ⓘ Waldbestände aus hydrologischer Sicht

Im Hinblick auf die Vielzahl von Kahlflächen und zukünftigen Aufforstungen sind nach Markart et al. (2020) aus hydrologischer Sicht standortangepasste Mischbestände zu empfehlen, die unter anderem folgendes aufweisen:

- einen hohen Anteil an Tiefwurzlern und unterschiedliche Wurzeltypen kombinieren,
- einen hohen Laubholzanteil und einen ausreichenden Anteil immergrüner Koniferen,
- eine dichte und raue Bodenvegetation mit hohem Anteil an Totholz und Schlagabraum und mehrschichtig aufgebaut sind.

Die Baumartenauswahl sollte jedoch nicht ausschließlich aufgrund hydrologisch günstiger Eigenschaften erfolgen, sondern immer in enger Abstimmung mit den örtlichen Forstämtern und unter Berücksichtigung der regionalen Waldentwicklungstypen und Waldbaukonzepte.

2.3 Auswirkungen von Kahlschlägen

In vielen nadelwaldreichen Regionen in Deutschland haben die vergangenen niederschlagsarmen Sommer zu einem großflächigen Baumsterben geführt. So auch im Kreis Siegen-Wittgenstein, in dem seit 2018 rund 25.000 ha Fichtenwälder von Borkenkäfern befallen und anschließend große Waldflächen kahl geschlagen wurden (vgl. Abbildung 6). Da sich Wald- bzw. entsprechende Kahlflächen nicht selten oberhalb urbaner Gebiete befinden, haben diese im Zusammenhang mit Starkregenereignissen zuletzt vermehrte Aufmerksamkeit erfahren.

Im vorherigen Kapitel 2.2 wurde die positive Wirkung von Wäldern bei Starkregenereignissen dargestellt. Entsprechend fördern Kahlschläge dagegen die Entstehung von Oberflächenabflüssen. Vereinfachend kann hierbei zwischen kurzfristigen Auswirkungen (näherungsweise unmittelbar nach einem Kahlschlag) und mittel- bis langfristigen Auswirkungen (Monate bis Jahre danach) unterschieden werden.

ⓘ Bundesnaturschutzgesetz

Nach § 5 Abs. 3 BNatSchG ist eine nachhaltige Bewirtschaftung von Wäldern ohne Kahlschläge zu verfolgen. So werden auch durch viele Landeswaldgesetze großflächige Kahlschläge (auch Kahlhiebe genannt) verboten. Kahlschläge auf Waldflächen, die beispielsweise von Schädlingen wie Borkenkäfern großflächig befallen sind, werden jedoch oftmals als notwendige Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitung angesehen.

Abbildung 6: Die großflächigen Kahlschläge infolge von Borkenkäferkalamitäten im Kreis Siegen-Wittgenstein können zur vermehrten Entstehung von Oberflächenabflüssen bei Starkregen und anhaltenden Dauerregen führen (Foto: fwu).

Kurzfristige Auswirkungen

Durch das Schlagen bzw. Fällen von Bäumen entfällt nicht nur die bremsende Wirkung der Vegetation auf die Regentropfen, sondern auch die zuvor beschriebene Interzeptionsleistung geht unmittelbar verloren. Hierdurch gelangt einerseits mehr Niederschlag auf die

Bodenoberfläche, andererseits nimmt die erosive Wirkung des Regens zu.

Zudem kommt es zu einer deutlichen Reduzierung der Transpiration. Aufgrund der fehlenden Bäume, die dem Boden große Mengen Wasser entziehen und verdunsten können, ist die Bodenfeuchte im Jahresdurchschnitt höher und der freie Bodenspeicher entsprechend geringer. Insbesondere während Starkregenereignissen kann somit von den Böden weniger Wasser aufgenommen werden (Markart et al., 2020).

Bei sehr großflächigen Kalamitäten hat sich gezeigt, dass die anzustrebende bodenschonende Bewirtschaftung, beispielsweise aufgrund von Zeitdruck und begrenzter personeller oder maschineller Ressourcen, nicht immer die erforderliche Aufmerksamkeit erfährt. Weichen die Forstmaschinen bei maschinell gestütztem Einschlag von den vorhandenen Rückegassen ab, kommt es zu zusätzlichen Verdichtungen des Bodengefüges und damit einer Abnahme der Infiltrationsleistung (Zemke, 2014). Bodenschädigungen treten insbesondere dann vermehrt auf, wenn Eingriffe unter ungünstigen Witterungsbedingungen erfolgen. Hierbei kann die Bodenauflage beschädigt und Erosion begünstigt werden. Besondere Bedeutung hat dies bei Rückegassen in Hanglagen, da diese technisch bedingt oftmals in Fallrichtung angelegt werden. Hier kommt es unabhängig von Kahlschlägen bei Starkregenereignissen bereits häufig zur Konzentration von Abflüssen und der Ausbildung von sogenannten linearen Fließwegen (vgl. Kapitel 3.3).

In niederschlagsarmen Zeiträumen können die weitestgehend ungeschützten Böden insbesondere auf sonnigen Hanglagen stark austrocknen. Dabei kann es auf den Böden zu wasserabweisenden Effekten kommen, wodurch die Infiltration vermindert, Oberflächenabflüsse verstärkt und die Gefahr von Bodenerosion erhöht wird. Dies ist vor allem in Hanglagen von besonderer Bedeutung.

Beispiel

Nach Markart et al. (2020) entsteht nach der Entfernung eines Fichtenbestandes ein jährlicher Mehranfall an Bodenwasser von:

- im Minimum 2.500 m³/ha aufgrund verringerter Interzeption und
- im Minimum 2.000 m³/ha aufgrund verringerter Transpiration (unter der Annahme, dass eine auf den Flächen entstehende Schlagflurvegetation (z. B. Weidenröschen oder Brombeeren) 50 % der Transpirationsleistung des Waldes erbringt).

Moeschke (1998) ermittelte in den bayerischen Voralpen eine Zunahme des Abflussvolumens auf Flächen mit vollständigem Kahlschlag bei einem 30-minütigen Starkregen von 77 % (1-jährlich mit 17 mm), 24 % (10-jährlich mit 30 mm) und 11 % (100-jährlich mit 43 mm).

Bedingt durch den verfügbaren Raum, die vermehrte Sonneneinstrahlung, Wasser und Nährstoffe bildet sich auf den Kahlschlagsflächen nach kurzer Zeit oftmals eine Schlagflurvegetation aus. Auch wenn diese zur Verminderung von Bodenerosion beitragen kann, kann eine vollständige und/oder kurzfristige Kompensation der Interzeption und der

Transpirationsleistung sowie der Bodenstabilisierung jedoch nicht erwartet werden (Markart et al., 2020).

Mittel- bis langfristige Auswirkungen

Mit ihrem Wurzelgeflecht stabilisieren Bäume den Oberboden auf Waldflächen, schützen vor Bodenerosion und tragen damit wesentlich zur Hangstabilisierung und zum Schutz vor sedimentführenden Oberflächenabfluss (Schlammlawinen) und Hangrutschungen bei. Letztere können vor allem auf steilen Lagen auf wassergesättigten Böden auftreten. Die Gefahr nimmt dabei mit steigenden Niederschlagsintensitäten und -dauern zu.

Innerhalb von wenigen Jahren nach einem Kahlschlag werden die verbliebenen Wurzeln durch natürliche Prozesse abgebaut, wodurch auch die bodenfestigende Wirkung abnimmt. Die verbleibenden Wurzelkanäle können dabei als Dränrohre über mehrere Jahre bestehen bleiben und zu einem Anstieg des Zwischenabflusses führen (Markart et al., 2020). Insbesondere auf flachgründigen Böden können vermehrte Zwischenabflüsse das Potenzial von Hangrutschungen erhöhen.

Fazit und Empfehlungen

Aufgrund der vorgenannten Auswirkungen muss prinzipiell mit einer Erhöhung von Oberflächenabflüssen auf Kahlflächen gerechnet werden. Nordmann (2011) spricht sogar von einer vorübergehenden deutlichen Erhöhung der Abflussmenge, sofern die Flächen nicht wieder in Bestockung gebracht werden. Ausnahmen können beispielsweise sehr durchlässige Böden sein (Markart et al., 2020). Im Hinblick auf die Überflutungsgefährdung von Unterliegern spielen die erhöhten Oberflächenabflüsse insbesondere dann eine Rolle, wenn die Versickerungsrate/-kapazität überschritten wird. Nicht zuletzt bei seltenen Starkregen kann es somit zu einem Anstieg des Abflusses und unter Umständen auch zu Erosion kommen.

»Kahlschläge sollten daher aus hydrologischer Sicht zwingend vermieden werden, auch auf Kalamitätsflächen.«

Empfohlen wird, die potenziellen Auswirkungen von Kahlschlägen in Entscheidungsprozessen stets miteinzubeziehen. Hierzu bedarf es einem intensiven Austausch zwischen den Kommunen und der Forstwirtschaft. Dies gilt insbesondere für Flächen:

- mit großer räumlicher Ausdehnung
- auf steilen Hanglagen
- in Gewässernähe
- unmittelbar oberhalb bebauter Gebiete
- die große Bereiche hydrologischer (Teil-)Einzugsgebiete umfassen

Die pflegliche Bodennutzung und die Einhaltung der „guten fachlichen Praxis“ sollte dabei im Hinblick auf die Überflutungsvorsorge besonders hohe Aufmerksamkeit erhalten. Aufgrund der langwierigen Prozesse zur Wiederherstellung der hydrologischen Bedingungen wird für Kahlschlagsflächen aus rein hydrologischen Gesichtspunkten zudem eine sofortige Wiederbewaldung empfohlen (vgl. Nordmann, 2011; Reinhardt-Imjela et al., 2018; Markart et al., 2020). Das Belassen von Schlagabraum (Kronenmaterial, Reisig etc.) kann zudem Abflussgeschwindigkeiten reduzieren und vor Erosion aufgrund von Tropfenschlag schützen.

3 EINBINDUNG VON WALDFLÄCHEN IN DIE KOMMUNALE ÜBERFLUTUNGSVORSORGE

3.1 Veranlassung und Motivation

In den vorherigen Kapiteln wurde der positive Einfluss von Wäldern auf den Wasserrückhalt und die Verminderung von Oberflächenabflüssen dargestellt. Dabei wurde jedoch auch erläutert, dass einerseits die Rückhaltekapazität der Wälder begrenzt ist und das andererseits Linienstrukturen, wie Forstwege oder Rückegassen, zu einer Akkumulation von Abflüssen führen können. Insbesondere letztere können dabei auch bei häufig auftretenden Starkregenereignissen zu Problemen führen. Nicht selten münden die Abflüsse in urbane Gebiete und führen dort zu Überflutungen und Schäden. Zudem können den Waldbeständen durch raschen Abfluss auch bei häufig auftretenden Regenereignissen Wassermengen verloren gehen, die in Zeiten zunehmender Trockenheit und sinkender Grundwasserspiegel von großer Bedeutung sind.

»Im Zusammenspiel mit der wahrscheinlichen Zunahme der Intensität und Häufigkeit von Starkregenereignissen (z. B. Hänsel et al., 2023) sollte der Wasserrückhalt in Waldflächen und damit der Schutz vor Überflutungen durch Maßnahmen aktiv erhöht werden. Aktuelle Entwicklungen wie die zum Teil großflächigen Kahlflächen in vielen Regionen müssen als Chancen gesehen werden, nicht nur, um klima- und standortangepasste Mischwälder zu etablieren, sondern auch, um den dezentralen Wasserrückhalt innerhalb von Wäldern zu verbessern.«

Dabei sollten alle Wasserrückhaltemöglichkeiten konsequent ergriffen werden, indem insbesondere der dezentrale Wasserrückhalt durch Maßnahmen gestärkt und das natürliche, landschaftsabhängige Retentionspotenzial ausgenutzt wird (Schüler, 2007).

ⓘ **„Wälder im Klimawandel“**

Im Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz (BfN, 2020) ist eine der Kernforderungen die Verbesserung des Wasserhaushalts und -rückhalts. Zu den möglichen Maßnahmen zählen unter anderem:

- Erhalt alter Wälder
- Erhöhung des Totholzanteils
- Einsatz bodenschonender Forsttechniken
- Verschluss von Drainagegräben
- Entwässerung der Wege in den Waldbestand
- Reaktivierung des Wasserspeicherpotenzials von Waldmooren durch Wiedervernässung

Mit dem Besitz von Waldflächen geht auch im Hinblick auf die Überflutungsvorsorge eine gewisse Verantwortung einher, da sich die Bewirtschaftung der Waldflächen und bauliche Maßnahmen (z. B. Wegebau) auf den Wasserrückhalt und damit Überflutungsgefährdungen auswirken können. Dies gilt im Besonderen, jedoch in keinem Fall ausschließlich, für Waldgebiete, die unmittelbar oberhalb bebauter Gebiete liegen.

Umso wichtiger ist es, dass sich die Agierenden der Auswirkungen bewusst sind und diese in Abwägungsprozesse miteinbeziehen. Denn die Vermeidung oder Verminderung

von Überflutungen infolge von Starkregenereignissen ist nicht nur Aufgabe der Kommunen, sondern auch jedes einzelnen (MULNV NRW, 2018).

3.2 Herangehensweisen

Um den Abfluss- bzw. Wasserrückhalt innerhalb oder mithilfe von Waldflächen zu verbessern und solche Flächen in die Überflutungsvorsorge einzubinden, können **zwei Ansätze bzw. Herangehensweisen** unterschieden werden:

- **Gefährdungsbasierter Ansatz**

  Zum einen kann die Planung von Maßnahmen basierend auf einem aufgetretenen Starkregenereignis bzw. daraus resultierten Überflutungen und gegebenenfalls entstandenen Schäden angestoßen werden. Es herrscht insofern konkreter Handlungsbedarf und gegebenenfalls ein öffentliches Interesse, dass zukünftige Überflutungen verhindert werden bzw. nicht mehr in einem bestimmten Ausmaß auftreten. Zusätzlich können Informationsquellen wie Starkregengefahrenkarten (vgl. Kapitel 3.3) Hinweise zu potenziellen Überflutungsgefährdungen geben und den Bedarf für Maßnahmen begründen. Während in ersterem Fall Gefährdungsschwerpunkte in der Regel bekannt sind, müssen diese im zweiten Fall zunächst mithilfe der zur Verfügung stehenden Daten ermittelt werden.

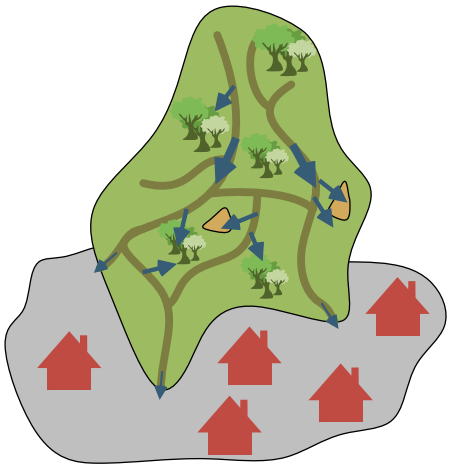
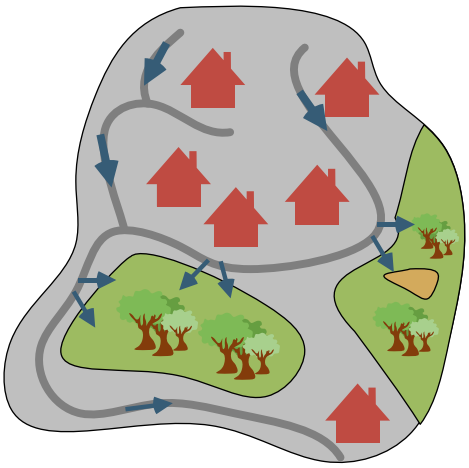
- **Potenzialbasierter Ansatz**

  Auch wenn keine offensichtliche Überflutungsgefährdung vorliegt, sollte vor allem für Waldflächen mit hohem Versickerungs- und Rückhaltepotenzial geprüft werden, ob diese insbesondere auch zur Ausnutzung der Synergieeffekte als kommunale Klimaanpassungsmaßnahmen eingebunden werden können. Dies gilt insbesondere für innerstädtische Bereiche, da in Außengebieten ohnehin ein möglichst hoher Wasserrückhalt in der Fläche anzustreben ist.

In beiden Ansätzen wird dabei primär das Ziel verfolgt, Oberflächenabflüsse innerhalb von Ortslagen zu reduzieren, indem oberflächig abfließendes Wasser entweder in bewaldeten Außengebieten zurückgehalten oder in innerstädtische Flächen zur Zwischenspeicherung und Versickerung aktiv eingeleitet wird.

Im nachfolgenden Kapitel 3.3 wird der Fokus dabei auf **Waldflächen in Außengebieten** gelegt, während in Kapitel 3.4 auch **innerstädtische Waldflächen** aufgegriffen werden (vgl. Tabelle 1). Hintergrund ist, dass einerseits die Probleme und andererseits aber auch die Potenziale in Außengebieten erfahrungsgemäß am größten sind. Unabhängig von der Lage der Waldflächen ist die Kenntnis der zugehörigen Einzugsgebiete für die Planung von Maßnahmen unerlässlich.

Tabelle 1: Unterscheidung von Waldflächen in Außengebieten und innerstädtischen Waldflächen im Kontext des Leitfadens (Eigene Darstellung).

Waldflächen in Außengebieten	Innerstädtische Waldflächen
	
Beschreibung Unter Waldflächen in Außengebieten werden vorwiegend Flächen verstanden, die außer- und oberhalb bebauter Gebiete liegen und aus denen Oberflächenabflüsse in Ortslagen fließen können. In der kommunalen Überflutungsvorsorge spielt der Rückhalt von Außengebietswasser eine wichtige Rolle, da dieser am Ort der Abflussentstehung meist effektiver und wirtschaftlicher ist, als Maßnahmen in bebauten Bereichen zu ergreifen. **Ziele** ▪ Verbesserung des Abflussrückhalts durch Maßnahmen innerhalb der Waldflächen ▪ Reduzierung der Überflutungsgefahren in den unterhalb liegenden (urbanen) Bereichen **Randbedingungen (Auswahl)** ▪ Abfluss entsteht insbesondere auf Wegen ▪ Meist zahlreiche kleine Problemstellen ▪ Zur Gewährleistung des Rückhalts bei seteneren Starkregen muss in der Regel zusätzliches Retentionsvolumen geschaffen werden	**Beschreibung** Unter innerstädtischen Waldflächen werden Flächen verstanden, die näherungsweise von Bebauung und urbaner Infrastruktur umschlossen sind. Bereiche mit hoher Versickerungs- und Rückhaltekapazität können unter Beachtung der Randbedingungen für die Einleitung von Oberflächenabflüssen infrage kommen. **Ziele** ▪ Verminderung von Überflutungen bei Unterliegern durch die aktive Einleitung von Oberflächenabflüssen ▪ Förderung von positiven Synergieeffekten für das Stadtklima und der Wasserversorgung der Bestände? **Randbedingungen (Auswahl)** ▪ Flächenverfügbarkeit oft begrenzt (Lage, Topografie, Bodeneigenschaften, Größe) ▪ Stoffliche Belastung der Oberflächenabflüsse (z. B. durch Straßenverkehr) ▪ Gefährdungsverlagerungen bei Überlastung der Versickerungs- und Rückhaltekapazitäten müssen ausgeschlossen werden

3.3 Identifizierung von Problembereichen

Vorbemerkungen

Unter Problembereichen werden Bereiche innerhalb von Waldflächen verstanden, die bei Niederschlagsereignissen in besonderem Maße zur Ausbildung und Ableitung von Oberflächenabflüssen beitragen können. Die Identifizierung solcher Bereiche bildet die Grundlage für die effiziente und zielführende Planung von Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserrückhalts zur kommunalen Überflutungsvorsorge.

Planungsunterlagen

Zunächst sollten Planungsunterlagen vorliegen, die Informationen über den

- potenziellen Verlauf und
- die Einzugsgebiete

von Oberflächenabflüssen bereitstellen.

Die Planung von Maßnahmen im Nachgang von aufgetretenen Ereignissen mithilfe von Hinweisen wie z. B. Bild- und Videomaterial oder Erosionsspuren im Gelände (vgl. Abbildung 7) kann sehr hilfreich sein, reicht in der Regel, auch aufgrund der üblicherweise geringen räumlichen Ausdehnung und der statistischen Seltenheit außergewöhnlicher Starkregenereignisse, für effektive und umfassende Maßnahmenplanungen jedoch nicht aus. So kann im Nachhinein beispielsweise oftmals nicht eindeutig geklärt werden, aus welchen Bereichen die Abflüsse stammten. Zusätzlich sind häufig nur einzelne Gefährdungsbereiche bekannt oder sie werden in Außengebieten erst später festgestellt.

»Die noch immer vielfach angewandte Praxis, Maßnahmen erst dann zu ergreifen, wenn es infolge von Ereignissen zu Schäden gekommen ist, ist keines Falls zielführend. Nicht zuletzt, da Starkregenereignisse überall auftreten können. Im Sinne der Überflutungsvorsorge muss das Ziel sein, möglichen zukünftigen Überflutungen und Schäden durch entsprechende Planungen und Maßnahmen zuvorzukommen.«

Abbildung 7: Erosionsspuren infolge von Starkregenereignissen können in Wäldern zwar Hinweise für die Planung geben, eine zielführende und systematische Maßnahmenplanung ist jedoch nicht möglich. Hierzu bedarf es weiterer Planungsunterlagen (Foto: fwu).

Die in Kommunen zur Verfügung stehenden Planungsunterlagen sind unter anderem aufgrund finanzieller Ressourcen oder der Betroffenheit in der Vergangenheit oftmals sehr unterschiedlich. Gleichzeitig existieren verschiedene Methoden zur Ermittlung von Überflutungsgefährdungen infolge von Starkregenereignissen (z. B. DWA-M 119, 2016), die sich dabei auch hinsichtlich der Art und Aussagekraft der Ergebnisse unterscheiden. Während in manchen Kommunen bereits detaillierte Starkregengefahrenkarten vorliegen, stehen andere Kommunen noch am Anfang entsprechender Planungen.

Starkregengefahrenkarten

Unter Starkregengefahrenkarten werden üblicherweise Karten verstanden, die für verschiedene Starkregenszenarien die potenziellen

- Überflutungsflächen,
- Wassertiefen und
- Fließgeschwindigkeiten

darstellen und auf hydrodynamisch-numerischen Modellierungen basieren. Die Szenarien unterscheiden sich dabei vor allem in Bezug auf die Jährlichkeit der Ereignisse (z. B. 100-jährlicher Starkregen) und damit im Hinblick auf die Niederschlagsmengen und -intensitäten.

ⓘ Starkregenhinweiskarte des BKG

Die vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) erstellte Karte deckt bislang NRW ab und soll bis 2025 deutschlandweit vorliegen. Sie stellt zwei Szenarien dar:

- seltener Starkregen mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren und einer Dauer von 1 Stunde
- extremer Starkregen mit einer Intensität von 90 mm/Stunde und einer Dauer von 1 Stunde

Hinweis: In den Berechnungen wurde die etwaige Versickerungsfähigkeit der verschiedenen Landnutzungen nicht berücksichtigt. Die Karte stellt somit im Hinblick auf die Oberflächenabflüsse näherungsweise ein Worst-Case-Szenario, also den maximalen Abfluss des jeweiligen Ereignisses bei wassergesättigten Böden dar.

Kurzlink: *t1p.de/bkg-karte*

Starkregengefahrenkarten dienen nicht nur zur Aufklärung und Sensibilisierung der Bevölkerung, sondern sie sind oftmals auch Bestandteil kommunalen Starkregenrisikomanagements und damit Grundlage für Risikoanalysen und die Erstellung von Handlungskonzepten (z. B. MULNV NRW, 2018). Für umfassende Detailplanungen ermitteln Ingenieurbüros aus den Berechnungsmodellen üblicherweise standortbezogene Bemessungsgrundlagen und prüfen gegebenenfalls vorab die Wirksamkeit von Maßnahmen in den Modellen.

»Die ortsbezogene Planung von (baulichen) Maßnahmen ist in kommunaler Eigenregie auf Basis der Karten in der Praxis häufig jedoch schwierig.« Dies gilt im Besonderen für kleinräumige Planungen in Außengebieten, aus denen oft an zahlreichen Stellen Oberflächenabflüsse mit geringen Wassertiefen in die Ortslagen fließen. Denn in vielen Karten werden die Wassertiefen und damit auch die Abflusswege erst ab einem Schwellwert von 10 cm dargestellt (z. B. in der Starkregenhinweiskarte des BKG, s. Infobox). Überflutungsflächen und Abflusswege mit geringeren Wassertiefen werden somit praktisch ausgeblendet. Zudem wird dadurch die Identifizierung und Abgrenzung von Einzugsgebieten erheblich erschwert.

In der kommunalen Praxis können die Ergebnisse von sogenannten Fließweganalysen daher nicht nur eine ideale Ergänzung zu Starkregengefahrenkarten darstellen, sondern auch eigenständig einen großen Mehrwert bieten.

Fließweganalysen

Fließweganalysen, die auch als topografische Analysen oder GIS-Analysen bezeichnet werden, sind vereinfachte Verfahren zur Ermittlung von Überflutungsgefährdungen (vgl. DWA-M 119, 2016), die meist mit Geoinformationssystemen (GIS) durchgeführt werden. Durch die Analysen, die allein auf einer Auswertung der Topografie basieren, kann der potenzielle Verlauf von Oberflächenabflüssen bzw. Fließwegen einschließlich der korrespondierenden Einzugsgebietsgröße sowie die Lage von Geländetiefpunkten ermittelt und visualisiert werden (vgl. Abbildung 8).

Der Vergleich mit den Erfahrungen aus aufgetretenen Ereignissen, Ortsbegehungen und Starkregengefahrenkarten zeigt in der Regel sehr gute Übereinstimmungen, die auch im Projekt WaldAktiv und den Pilotgebieten erneut bestätigt werden konnten. Fließweganalysen sind daher äußerst hilfreiche Werkzeuge für Planungen im Rahmen der kommunalen Überflutungsvorsorge und dies nicht nur im Hinblick auf die Ermittlung potenzieller Gefährdungs- und Problembereiche, sondern auch bei der Identifizierung von Potenzialflächen. Aus diesem Grund basieren auch die Ausführungen in den nachfolgenden Kapiteln maßgeblich auf den Ergebnissen und Erkenntnissen von Fließweganalysen. Die visuelle Darstellung der Fließwege kann zudem äußerst hilfreich sein, um einerseits die Legitimität von Maßnahmen zu stärken und andererseits die Personen, die die Verantwortung für die abflussverursachenden Flächen tragen, aktiv in die Planungen miteinzubeziehen.

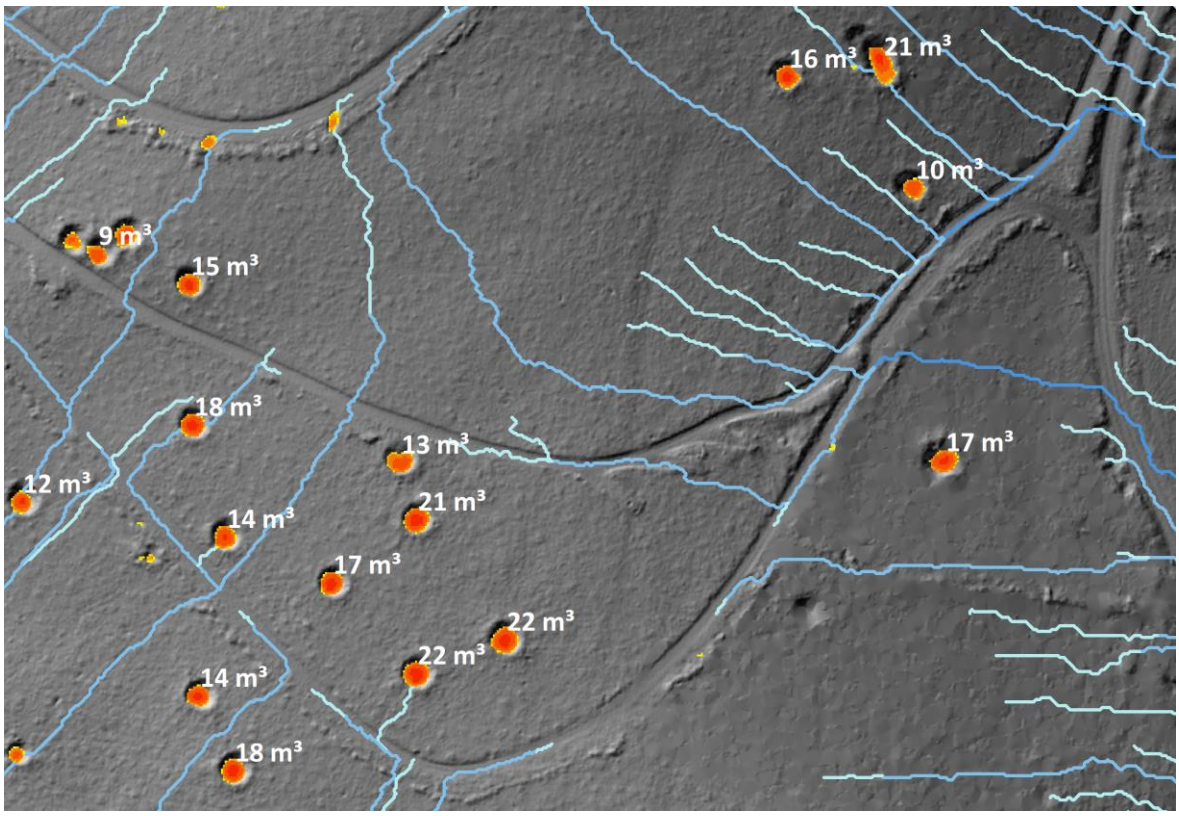


Abbildung 8: Ausschnitt der Ergebnisse der für den Kreis Siegen-Wittgenstein durchgeführten Fließweganalyse im Bereich einer Waldfläche: Fließwege (bläulich) und Geländesenken (rötlich) mit Angabe des jeweiligen Senkenvolumens (> 5m³) und einer Schummerungsdarstellung des Geländes im Hintergrund. Bei den Geländesenken handelt es sich großteils um Bombentrichter aus dem Zweiten Weltkrieg (Eigene Darstellung).

ⓘ **Fließweganalysen**

Praktische Empfehlungen und Hinweise zu den erforderlichen Daten, der Methodik, den Ergebnissen und zur Veröffentlichung von Fließweganalysen sind im Anhang des Leitfadens dargestellt.

Die Ergebnisse der in WaldAktiv für den Kreis Siegen-Wittgenstein durchgeführten Fließweganalysen wurden in das Geoportal des Kreises implementiert.

Kurzlink: *t1p.de/waldaktiv*

Ermittlung von Gefährdungsschwerpunkten

Insbesondere in Mittelgebirgsregionen können große Teile der Oberflächenabflüsse innerhalb von Ortslagen aus Außengebieten stammen und zu zahlreichen Gefährdungsschwerpunkten führen. Zur Planung von Maßnahmen sollten daher zunächst die **Schnittpunkte zwischen Fließwegen und der Bebauungsgrenze** auf Basis des Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems (ALKIS) rechnerisch oder visuell ermittelt werden. Alternativ oder ergänzend können dazu auch die Überflutungsflächen von Starkregengefahrenkarten genutzt werden. Im Kontext der in diesem Leitfaden dargestellten Maßnahmen sollte der Ursprung potenzieller Abflüsse dabei vor allem in bewaldeten Bereichen liegen.

Die Festlegung einer pauschalen Einzugsgebietsgröße, ab der an Schnittpunkten mit einer Überflutungsgefährdung zu rechnen ist, ist aufgrund der Vielzahl an Parametern, die bei der Abflussbildung eine Rolle spielen, nicht möglich. Für die anschließenden Planungen wird daher eine Priorisierung der Schnittpunkte empfohlen:

- Oberste Priorität haben Schnittpunkte bzw. Bereiche, die in der Vergangenheit bereits von Überflutungen betroffen waren. Die korrespondieren Einzugsgebietsgrößen können dabei erste Hinweise für die Festlegung weiterer relevanter Schnittpunkte geben.
- Da mit steigender Größe der Einzugsgebiete auch die Oberflächenabflüsse potenziell zunehmen, sollte sich die weitere Priorisierung an der Einzugsgebietsgröße der Fließwege orientieren.
- Bei Fließwegen mit größeren Einzugsgebieten kann es sich um Fließgewässer handeln. Da in solchen Bereichen oft eine höhere Sensibilisierung der Bevölkerung für Überschwemmungen vorhanden ist, sollten Fließwege fernab von Gewässern zunächst tendenziell eine höhere Priorität erhalten.

Grundsätzlich kann jedoch auch eine risikobasierte Priorisierung sinnvoll sein, beispielsweise indem kritische Infrastrukturen als Ausgangspunkt genutzt werden.

Abgrenzung von Einzugsgebieten

Für die Planung von Maßnahmen ist die Kenntnis über die Einzugsgebiete, aus denen die potenziellen Abflüsse stammen können, essenziell. Denn die Erfahrung zeigt, dass Oberflächenabflüsse oftmals aus mehreren Teilbereichen resultieren und die Einzugsgebiete zudem oft deutlich größer sind als ursprünglich angenommen.

Eine erste grobe Abschätzung der Einzugsgebiete für bestimmte Gefährdungsschwerpunkte kann auf Basis von Gewässerstationierungskarten erfolgen, die üblicherweise auch

die Teileinzugsgebiete von Fließgewässern enthalten. Aufgrund der groben Auflösung sind diese jedoch häufig nur bedingt geeignet. Erleichtert wird die visuelle Abgrenzung, durch Starkregengefahrenkarten in Kombination mit Schummerungsdarstellungen des Geländes und topografischen Karten (Einschränkungen siehe Abschnitt Starkregengefahrenkarten).

Eine detaillierte Abgrenzung ist basierend auf den Daten der Fließweganalysen möglich. Wurden diese in Eigenregie erstellt, können die Einzugsgebiete mit GIS-Werkzeugen für jeden Punkt des Fließwegenetzes ermittelt werden. Liegen die Fließwege hingegen als Ergebnis vor, kann ebenfalls eine visuelle Abgrenzung erfolgen, wobei durch die Fließwege eine deutlich genauere Abgrenzung ermöglicht wird. Anhand der in den Fließwegen hinterlegten Einzugsgebietsgrößen kann zudem eine Validierung der abgegrenzten Gebiete vorgenommen werden.

Ermittlung der Landnutzung in den Einzugsgebieten

Im Anschluss sollte zunächst eine qualitative Betrachtung der Landnutzungsverteilung innerhalb der Einzugsgebiete (z. B. Wald, Grünland, Ackerland, bebauter Anteil) auf Basis des ALKIS oder vereinfacht anhand von digitalen Orthophotos vorgenommen werden. Insbesondere in ländlichen Gebieten befinden sich zwischen den bebauten Bereichen und Wäldern häufig Grün- und Ackerland. Entsprechende Flächen tragen bei Starkregenereignissen erfahrungsgemäß in größerem Umfang zum Oberflächenabfluss bei als Waldflächen (vgl. Kapitel 2.2). Bestehen die Einzugsgebiete zu einem großen Teil aus Grün- und Ackerland, ist der Einfluss, der mit Wasserrückhaltemaßnahmen in den Waldflächen erzielt werden kann entsprechend begrenzt. Es ist daher unerlässlich, dass auch auf solchen Flächen Maßnahmen zur Stärkung des Wasserrückhalts ergriffen werden (z. B. Anlage von begrünten Abflussmulden oder Wasserretentionsbecken).

ⓘ Erhöhung des Wasserrückhalts auf landwirtschaftlichen Flächen

Weiterführende Literatur:

- Wasserrückhalt in der Fläche durch Maßnahmen in der Landwirtschaft – Bewertung und Folgerungen für die Praxis, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2015.
  Kurzlink: *t1p.de/81hcf*
- Land- und forstwirtschaftliche Maßnahmen zur Stärkung des Wasser- und Bodenrückhalts in Kommunen – Steckbriefe für die Praxis, WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, 2018.
  Kurzlink: *t1p.de/fzser*
- Verbesserung des natürlichen Wasserrückhaltes in der Agrarlandschaft, Deutscher Verband für Landschaftspflege e. V., 2021.
  Kurzlink: *t1p.de/yobe3*

Identifizierung von Problembereichen

Innerhalb der ermittelten Einzugsgebiete sollten anschließend Bereiche identifiziert werden, die zur Entstehung von Oberflächenabflüssen oder der Sammlung selbiger beitragen. Auch wenn sich die Versickerungsleistung von Waldflächen sehr stark unterscheiden kann, sollte der Fokus zunächst auf Linienstrukturen gelegt werden, da in diesen

Bereichen üblicherweise die größten Potenziale zur Minderung von Abflüssen bestehen. Zusätzlich können anhand von Bodenkarten oder den Ergebnissen bodenhydrologischer Modellierungen (s. auch Infobox auf S. 11) Waldflächen ermittelt werden, die niedrige Versickerungsraten aufweisen und damit auch bei häufig auftretenden Starkregenereignissen zum Oberflächenabfluss beitragen können.

Linienstrukturen und lineare Abflüsse

Unter Linienstrukturen werden vorwiegend anthropogen bedingte Strukturen im Gelände verstanden, die linienhaft und oftmals sehr geradlinig verlaufen. In Abhängigkeit ihrer Lage können sie zur Sammlung und Konzentration von Abflüssen sowie einem schnellen Abfluss aus der Landschaft führen und wirken damit dem Wasserrückhalt entgegen (vgl. Abbildung 5 auf S. 12 und Abbildung 15 auf S. 41). Meist sind solche Strukturen aufgrund der Oberflächenbefestigung oder Verdichtungen zudem selbst bei häufig auftretenden Regenereignissen stark abflusswirksam. Oberflächenabflüsse auf solchen Strukturen werden als lineare Abflüsse bezeichnet.

Innerhalb von Wäldern zählen zu **Linienstrukturen** nach Backes et al. (2007) unter anderem:

- Waldwege
- Feinerschließungsnetz mit Rückewegen und Rückegassen
- Wegseitengräben/wegbegleitende Entwässerungsgräben und Wegdurchlässe
- Entwässerungs- und Drainagegräben
- Abflusslinien und erkennbare Erosionsspuren im Gelände

In Wäldern finden sich zudem häufig weitere grabenähnliche Strukturen, wie z. B. historische Wegsysteme in Form von Hohlwegen (vgl. Kapitel 4.2).

Ermittlung potenzieller linearer Abflüsse

Um Bereiche zu ermitteln, die für lineare Abflüsse besonders anfällig sind, kann eine Verschneidung von Fließwegen mit Linienstrukturen vorgenommen werden. Üblicherweise sind von der Vielzahl an Linienstrukturen jedoch nur Straßen- und Wege systematisch kartiert. Die Verschneidung kann einerseits durch eine grafische Überlagerung von Fließwegen mit kleinmaßstäblichen topografischen Karten oder dem ALKIS erfolgen. Zielführender ist eine Verschneidung der Vektordaten mithilfe von GIS, da so sensible Fließwegbereiche extrahiert werden können (vgl. Abbildung 9). Die Vektordaten des Straßen- und Wegenetz können z. B. dem ALKIS und/oder OpenStreetMap entnommen werden.

ⓘ OpenStreetMap-Daten (OSM)

In OSM-Daten sind neben dem Straßen- und Wegenetz häufig zusätzlich auch kleinere Wege (z. B. Fuß- und Wanderwege) abgebildet. Eine komfortable Möglichkeit, entsprechende Daten herunterzuladen, bietet sich unter:
download.geofabrik.de/europe/germany.html

Mithilfe der Verschneidung von Linienstrukturen und Fließwegen können Bereiche ermittelt werden, denen sich in den nachfolgenden Planungsschritten maßgeblich gewidmet werden sollte, da sie bei Niederschlagsereignissen maßgeblich zur Kanalisierung von Abflüssen beitragen können.

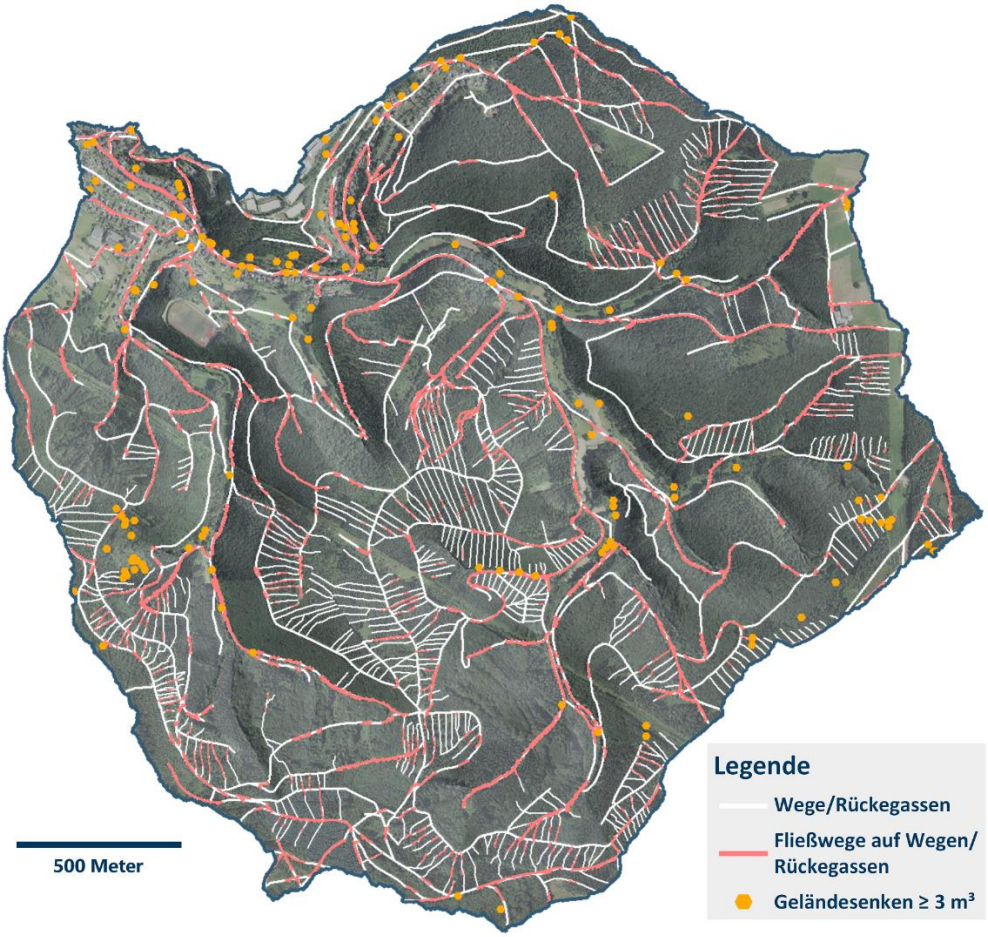


Abbildung 9: Durch die Verschneidung von Wegen und Rückegassen (weiß) mit Fließwegen können Bereiche ermittelt werden, in denen es zu linearen Abflüssen kommen kann (rot). Die Rückegassen wurden in dem WaldAktiv-Pilotgebiet exemplarisch auf Basis der Geländeschummerung digitalisiert (Eigene Darstellung).

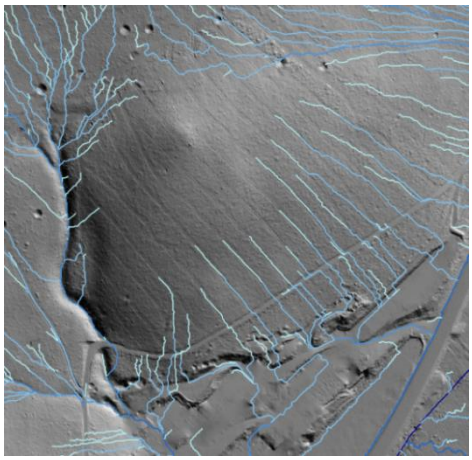
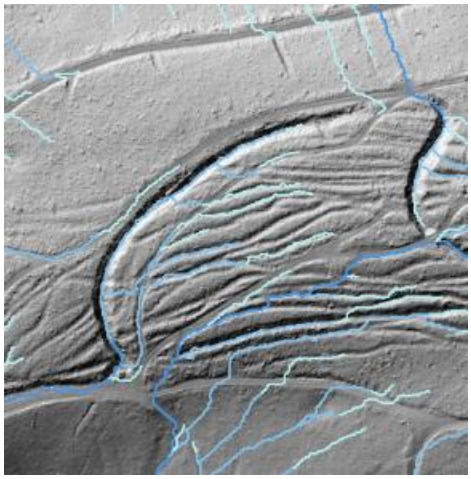
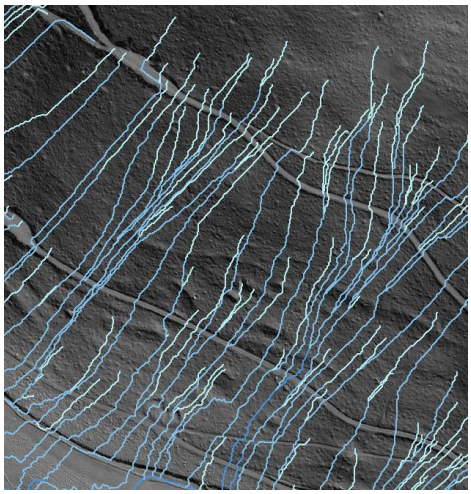
Beurteilung der Gefährdung durch lineare Abflüsse

Nicht alle linearen Abflüsse führen jedoch zwangsläufig auch zu Gefährdungen. Generell kritisch sind Abflüsse mit großen Einzugsgebieten und wenn diese den Linienstrukturen auf längeren Distanzen folgen. Je steiler die Strukturen sind, desto größer ist die Gefahr von Erosion, insbesondere auf unbefestigten Wegen. Treten lineare Abflüsse nicht nur in vereinzelten Abschnitten auf, sondern münden in bebaute Gebiete, muss tendenziell von einer erhöhten Gefahr ausgegangen werden.

Grundsätzlich wird empfohlen, bei der Beurteilung der Fließwege stets eine Schummerungsdarstellung des Geländes zu verwenden, da die potenziell abflussleitenden Geländestrukturen, die in Orthophotos und zum Teil selbst vor Ort nicht sichtbar sind, so visuell schnell identifiziert werden können. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind zwei Beispiele für kritische lineare Abflüsse und ein Beispiel für unkritische Fließwege dargestellt.

Die linearen Abflüsse können somit beispielsweise Hinweise geben, in welchen Bereichen ein erhöhter Bedarf für Querabschläge besteht oder in welchen Bereichen die Abflüsse in Gräben unterbrochen und z. B. durch Durchlässe oder Furten abgeleitet werden sollten (vgl. Kapitel 4.2).

Tabelle 2: Beispiele kritischer linearer Abflüsse und unkritischer Fließwege (Eigene Darstellung).

Kritische Bereiche linearer Abflüsse	
	▪ Die aus technischen Gründen meist in Falllinie von Hängen angelegten **Rückegassen** können zu linearen Abflüssen führen. ▪ Besonders kritisch sind sie an Hangfüßen und bei signifikanten Einzugsgebietsgrößen. ▪ In diesem Beispiel würden potenzielle Abflüsse auf kürzestem Weg in eine unterhalb liegende Gewerbefläche geleitet. ▪ Im Vergleich zu ungestörten Waldbereichen ist die Versickerungsleistung in Rückegassen oftmals reduziert. Die Gefahr von Erosion ist erhöht.
	▪ Neben modernen Wegsystemen können auch **historische Wege**, wie z. B. Hohlwege zu linearen Abflüssen führen. ▪ Entsprechende Strukturen werden oftmals erst durch die Verwendung der Geländeschummerung sichtbar. ▪ Hohlwege treten oft in Form von sogenannten Hohlwegbündeln auf, wodurch größere Flächen betroffen sind. ▪ Erosionsspuren sind in solchen Bereichen oft charakteristisch.
Tendenziell unkritische Fließwegverläufe	
	▪ Die **hangparallelen Waldwege** werden von den Fließwegen auf kurzer Distanz **orthogonal gekreuzt**. ▪ Markante lineare Abflüsse und Abflussakkumulationen treten nicht auf, die Fließwege verlaufen überwiegend diffus. ▪ Die Abflüsse gelangen auf kürzestem Weg zurück in die versickerungsfähigen Waldbereiche. ▪ Die Wassermengen können auf dem Fließweg versickern und stehen den Waldbeständen damit länger zur Verfügung. ▪ Die Erosionsgefahr wird maßgeblich verringert.

3.4 Anforderungen an Einleitungsbereiche und Potenzialflächen

Vorbemerkungen

Nachdem potenzielle Problembereiche identifiziert wurden, muss im Fokus der anschließenden Planungen insbesondere die Unterbrechung von linearen Abflüssen und die möglichst breitflächige Einleitung in geeignete Waldbereiche stehen. Als geeignet werden Bereiche angesehen, in denen Oberflächenabflüsse einerseits möglichst lange zurückgehalten und andererseits möglichst große Wassermengen versickert und gespeichert werden können. Gleichzeitig muss gewährleistet werden, dass es bei einer Überschreitung der Rückhaltekapazität zu keiner Verlagerung der Überflutungsgefährdung beispielsweise in bebaute Bereiche kommt. **»Es ist daher zwingend notwendig, dass bei jeglichen Planungen immer auch der potenzielle weitere Verlauf der Oberflächenabflüsse betrachtet wird.«** Gesucht werden somit Bereiche, in die Abflüsse guten Gewissens und nach bestem Wissen eingeleitet werden können.

Auf Basis der im Rahmen von WaldAktiv durchgeführten Fließweganalysen, bodenhydrologischen und hydrodynamischen Modellierungen sowie in Ortsbegehungen und Gesprächen im Zuge der Workshops konnten vielfältige Kriterien und Anforderungen abgeleitet werden, die bei der Auswahl geeigneter Einleitungsbereiche in Waldflächen in Außengebieten (vgl. Tabelle 3 auf S. 30) und in innerstädtischen Waldflächen beachtet werden sollten. Die Ergebnisse von Fließweganalysen stellen für die Bewertung und Planung dabei eine wesentliche Grundlage dar. Im Allgemeinen muss davon ausgegangen werden, dass nur in den seltensten Fällen Bereiche gefunden werden können, die alle Kriterien erfüllen. Gleichzeitig ist die praktische Umsetzung mitunter schwierig, da die Wahl eines Einleitungsbereiches aufgrund der topografischen Bedingungen zum Teil nur in geringem Maße beeinflusst werden kann.

Dennoch zeigt sich, dass gerade in Außengebieten oftmals in geringer räumlicher Entfernung von Problembereichen Flächen liegen, die für eine Einleitung besser geeignet sind als andere. In der Praxis basiert die entwässerungstechnische Oberflächengestaltung von Waldwegen oftmals allein auf der Erfahrung der ausführenden Bauunternehmen. **»Die Kriterien können daher als Abwägungs- und Entscheidungsgrundlage hilfreiche Hinweise geben; insbesondere, wenn diese mit den Ergebnissen von Fließweganalysen kombiniert werden.«** Gleichzeitig können die Kriterien zur Beurteilung der Gefährdung von Fließwegen oder bestehender Ein- und Ableitungen herangezogen werden.

> ⓘ **Überholte Praxis**
>
> Zum Teil wird in Wäldern noch immer die Praxis verfolgt, Oberflächenabflüsse von Wegen gezielt in Fließgewässer zu leiten. Dadurch wird nicht nur die Hochwassersituation in den unterhalb liegenden Bereichen verschärft, sondern auch die den Waldbeständen zur Verfügung stehenden Wassermengen reduziert.

Wesentlich für die Auswahl von Einleitungsbereichen können vorhandene Geländesenken sein, da diese ein potenzielles Retentionsvolumen für die Verbesserung des Abflussrückhalts bereitstellen können. Sollte

sich herausstellen, dass im Bereich bestimmter linearer Abflüsse eine Einleitung zur Versickerung und Zwischenspeicherung kritisch ist bzw. keine geeigneten Bereiche identifiziert werden können, sollte das Potenzial zur Anlage von Retentionsmulden geprüft werden (vgl. Kapitel 4.2). Bevor die Darstellung der Kriterien und Anforderungen folgt (vgl. Tabelle 3), wird im nächsten Abschnitt daher zunächst auf Geländesenken eingegangen.

Geländesenken

Unter Geländesenken werden Geländetiefpunkte verstanden, wobei diese sowohl natürlichen Ursprungs als auch anthropogen bedingt sein können. Während natürliche Geländesenken prinzipiell vergleichsweise selten sind, sind diese in ehemaligen glazialen Landschaften hingegen typisch und treten z. B. in Form von Toteislöchern auf (Grim, 2012). In Karstgebieten z. B. in Form von Dolinen. Anthropogen bedingte Geländesenken können beispielsweise die Folge von Bergbautätigkeiten sein (z. B. Pingen) oder in Form von Bombentrichtern als Weltkriegsrelikte auftreten. Während viele Geländesenken durch natürliche Prozesse oder auf landwirtschaftlichen Flächen zum Teil bewusst verfüllt wurden (Grim, 2012), sind diese in Waldflächen häufig erhalten geblieben.

Während Geländesenken selbst bei Begehungen in Wäldern oftmals nicht ohne Weiteres ersichtlich sind, können sie in Schummerungsdarstellungen des Geländes mit entsprechender Auflösung meist relativ schnell detektiert werden. Zielführender und systematischer ist jedoch die großflächige Ermittlung im Rahmen von Fließweganalysen, da hierbei nicht nur die Lage und Ausdehnung, sondern auch das Senkenvolumen bestimmt werden kann (vgl. Abbildung 8 auf S. 22).

Ob Geländesenken für die Einleitung und Zwischenspeicherung von Oberflächenabflüssen genutzt werden können, hängt zum einen von ihrer Lage und den topografischen Möglichkeiten, lineare Abflüsse um- bzw. einzuleiten, ab. Zum anderen kann die Art der Geländesenke Einfluss darauf haben, ob eine Nutzung möglich ist. Von besonderem Interesse sind Geländesenken, die noch nicht von markanten Fließwegen durchflossen werden, deren Potenzial somit noch nicht ausgeschöpft ist.

ⓘ **Beurteilung der Art von Geländesenken**

Während künstliche Geländesenken wie Fischteiche vergleichsweise leicht identifiziert werden können, kann z. B. die notwendige Unterscheidung zwischen Bergbaurelikten und Bombentrichtern schwierig sein. Während Bergbaurelikte wie Pingen als Bodendenkmäler unter Schutz gestellt werden können (s. auch Infobox auf S. 42), werden Bombentrichter nicht als Bodendenkmäler behandelt. Letztere sind damit im Hinblick auf die Einleitung von Oberflächenabflüssen aus Sicht des Denkmalschutzes unkritisch.

Erste Hinweise zur Beurteilung der Art von Geländesenken können der Handreichung „Bodendenkmäler unter Wald im LiDAR-Scan – Digitale Handreichung für Forstbedienstete“ des Landesamtes für Denkmalpflege Hessen entnommen werden.

Kurzlink: *t1p.de/hfhfw*

Detaillierte Auskünfte erteilen die zuständigen Denkmalbehörden.

Tabelle 3: Kriterien und Anforderungen zur Beurteilung der Eignung von Waldbereichen für die Einleitung von linearen Abflüssen in Waldflächen in Außengebieten.

Kriterien/Anforderungen	Begründung/Auswirkungen
Allgemeines	
Zu vermeiden sind Bereiche mit: ▪ Fließgewässern ▪ Linienstrukturen (insb. in Falllinie) ▪ markanten Fließwegen ▪ starker Oberflächenbearbeitung in der Vergangenheit (z. B. flächige Befahrung durch schwere Maschinen) ▪ Bebauung in unmittelbarer Nähe der Einleitung, an Hangfüßen oder im weiteren Verlauf von Fließwegen Informationsquellen: ▪ Digitale Gewässernetze, ALKIS ▪ Fließweganalysen ▪ Starkregengefahrenkarten ▪ Geländeschummerung	**Andernfalls besteht die Gefahr, dass es zur Ausbildung linearer Abflüsse kommt.** Es muss dann mit einer Erhöhung: ▪ des Abflussvolumens, der Fließgeschwindigkeiten, des Gebietsausflusses, ▪ der Erosionsgefahr und des Sedimenttransportes sowie mit einer Abnahme: ▪ der Infiltrationsdauer/-leistung und des ▪ Wasserrückhalts gerechnet werden. Die Verlagerung von Überflutungen (Gefährdungsverlagerung) ist in diesen Fällen wahrscheinlich.
Topografische Bedingungen	
Geländeneigung: wenig geneigt bzw. möglichst flach Informationsquellen: ▪ Hangneigungskarten ▪ Geländeschummerung	▪ Je flacher das Gelände geneigt ist, desto besser ist es zur Versickerung geeignet. Negative Auswirkungen (s. o.) werden dadurch maßgeblich reduziert. ▪ Steil geneigte Bereiche zwischen 15 bis 30 % sind für die Versickerung nur bedingt geeignet und erhöhen die Gefahr, dass Wasser als Zwischenabfluss aus dem Hang austritt. Zudem erhöht sich die Gefahr von Hangrutschungen bei Hangneigungen von mehr als 20 % (Burghardt et al., 1998).
Fließstrecke: möglichst lang Informationsquellen: ▪ Fließweganalysen ▪ Geländeschummerung ▪ (Starkregengefahrenkarten)	▪ Je länger die Fließstrecken sind, desto höher ist die potenzielle Infiltrationsmenge und -dauer. ▪ Das Potenzial zum Rückhalt von Abflüssen in kleineren Bodenunebenheiten wird erhöht und die Fließgeschwindigkeiten reduziert. ▪ Hangparallele streifenartige und gleichzeitig steil geneigte Waldbereiche, wie sie häufig in urbanen Bereichen zu finden sind, sind daher prinzipiell ungeeignet.

Vorhandene Geländesenken Informationsquellen: ▪ Fließweganalysen ▪ Starkregengefahrenkarten ▪ Geländeschummerung	▪ In Anhängigkeit der Volumina und der Anzahl von Geländesenken ist mitunter eine signifikante Reduzierung der Oberflächenabflüsse bei Anschluss an markante Fließwege möglich. ▪ Handelt es sich um anthropogen bedingte Geländesenken, ist unter Umständen eine Abstimmung mit den zuständigen Denkmalbehörden erforderlich. ▪ Geländesenken im Bereich von Geländekanten sollten aufgrund der Gefahr von Hangrutschungen gemieden werden.
Geologische Bedingungen und Bodeneigenschaften	
Besonders geeignet sind Böden mit: ▪ hoher Durchlässigkeit ▪ großem Wasserspeichervermögen ▪ lockerer Lagerung und grober Texturierung Informationsquellen: ▪ Geologische Karten und Bodenkarten ▪ Forstliche Standortkarten ▪ Bodenhydrologische Modellierungen	▪ Gut durchlässige Böden (z. B. sandige Böden) sind Grundvoraussetzung für eine effektive Versickerung und die Ausnutzung des Wasserspeichervermögens der Böden. ▪ Ungeeigneter für die Versickerung sind hingegen vor allem sehr flachgründige und/oder bindige und dichte Böden. Böden auf gering durchlässigen Untergründen (z. B. Lehm, Fels) sowie grund- und staunasse Böden hemmen die Versickerung ebenfalls.
Bewuchs	
Besonders geeignet sind Flächen mit: ▪ Mischbeständen ▪ einem hohen Anteil an tiefwurzelnden Bäumen ▪ dichter Bodenvegetation (z. B. Moos- und Krautschicht) ▪ hohem Totholzanteil Informationsquellen: ▪ Forstliche Standortkarten ▪ Ortsbegehungen	▪ Mischbestände vereinen die Wirkung von Interzeption und Transpiration am besten und wirken sich positiv auf den Bodenwasserspeicher, die Bodenvegetation und die Bodeneigenschaften aus. ▪ Je tiefer die Böden durch Wurzeln erschlossen sind, desto besser kann Wasser in den Boden infiltrieren. Zudem wird der Boden stabilisiert und schützt vor Hangrutschungen. ▪ Je rauer die Geländeoberfläche aufgrund von Bewuchs und Totholz ausgeprägt ist, desto größer ist die abflussverzögernde und bremsende Wirkung. Gleichzeitig schützt eine dichte Bodenvegetation vor Erosion. ▪ Sehr flache und senkenartige Bereiche in Verbindung mit gering durchlässigen Böden können gegebenenfalls zu längeren Einstaudauern und bei Baumarten mit geringer Überflutungstoleranz zu Schäden führen (s. hierzu z. B. Macher (2008), LWF (2017) und Benden et al. (2017)). ▪ Tendenziell ungeeignet sind nackte Mineralböden und aufgrund hydrophober Effekte Flächen mit dichter Nadelstreuauflage, Wurzelfilz und Vergrasung (z. B. Markart et al., 2020).

Innerstädtische Waldflächen

Hintergrund

In der Theorie stellt die Einleitung urbaner Oberflächenabflüsse und die anschließende Zwischenspeicherung und Versickerung in innerstädtischen Waldflächen eine ideale Lösung dar, einerseits um Überflutungsgefährdungen in urbanen Gebieten zu reduzieren und andererseits, um die damit einhergehenden positiven Synergieeffekte für die städtische Klimafolgenanpassung zu nutzen.

Waldflächen unterscheiden sich jedoch in vielen Aspekten von klassischen Versickerungsanlagen. Zunächst besteht ein erhebliches öffentliches Interesse daran (z. B. auch durch Baumschutzsatzungen), dass insbesondere Schädigungen an den zum Teil Jahrzehnte alten Baumbeständen in jedem Fall vermieden werden. Während die Lage, Bemessung und Gestaltung (z. B. Bodenaufbau und -substrat, Bewuchs) von Versickerungsanlagen Bestandteil umfangreicher Planungen ist, müssen bei vorhandenen Waldflächen die bestehenden Randbedingungen genutzt werden. Nicht zuletzt der Schutz vor Baumschädigungen schränkt den Handlungsspielraum daher erheblich ein.

In innerstädtischen Bereichen ist in der Regel davon auszugehen, dass Oberflächenabflüsse aus urbanen Einzugsgebieten mit heterogener Flächennutzung stammen. Insbesondere versiegelte bzw. befestige Flächen sind aufgrund ihrer Materialien oder bedingt durch die Nutzung (z. B. Kraftfahrzeugverkehr auf Straßen) oftmals durch Schadstoffe belastet. Letztere können durch die Oberflächenabflüsse mobilisiert, in Waldflächen eingetragen und zu einer Beeinträchtigung des Bodens und Grundwassers führen. Entsprechend kann die Versickerung von Niederschlagswasser bestimmter Flächen aus ökologischen bzw. rechtlichen Gründen Vorbehandlungsmaßnahmen der Abflüsse erfordern oder auch nicht zulässig sein.

Ergänzend zu den in Tabelle 3 aufgeführten allgemeinen Kriterien und Anforderungen spielen bei innerstädtischen Waldflächen – in Anlehnung an Versickerungsanlagen – qualitative Anforderungen somit eine maßgebliche Rolle. Zudem sind quantitative Aspekte im Hinblick auf die Bemessung von besonderer Bedeutung. Denn in urbanen Bereichen müssen Überlastungen bzw. damit potenziell einhergehende Gefährdungsverlagerungen durch Oberflächenabflüsse oder Vernässungen infolge der Versickerung zwingend ausgeschlossen werden.

Ersteinschätzung

In Deutschland ist die Planung, der Bau und der Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser im Arbeitsblatt DWA-A 138 (2005) bzw. DWA-A 138-1 (2020) geregelt. Für eine erste Abschätzung der Flächenverfügbarkeit wird daher zunächst eine Beurteilung der Waldflächen in Anlehnung an die Ersteinschätzung gemäß Arbeitsblatt DWA-A 138-1 (2020) analog zu Versickerungsanlagen empfohlen. Bestandteil der Ersteinschätzung sind unter anderem Parameter und Randbedingungen wie: Grundwasserflurabstand, Bodenbelastungen, Wasserschutzgebiete, Beschaffenheit des Untergrunds und die Hangneigung. Für die Ersteinschätzung empfiehlt es sich zudem, die Kriterien und Anforderungen aus Tabelle 3 unmittelbar mit zu betrachten, da diese bei der Versickerung innerhalb von Waldflächen maßgeblichen Einfluss auf die Wirksamkeit und die generelle Eignung der Flächen haben. Viele der zur Ableitung der Randbedingungen benötigten Informationen liegen in Form von Geodaten bei

den Ländern und Landesbehörden vor, sodass bei größeren Gebieten prinzipiell auch eine automatisierte Auswertung mittels GIS möglich ist.

Standortbezogene Beurteilung

Im Anschluss kann für ausgewählte Standorte eine weitergehende Beurteilung der Eignung anhand des Arbeitsblatts DWA-A 138-1 (2020) erfolgen. Maßgeblich bei der Versickerung von Niederschlagswasser ist der Schutz der Bodenfunktionen und des Grundwassers, weshalb der Eintrag von Schadstoffen durch Maßnahmen im Einleitungsbereich möglichst zu vermeiden ist. Bei der Beurteilung der stofflichen Belastung von Verkehrsflächen ist nach dem Arbeitsblatt DWA-A 138-1 (2020) vor allem die durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung (DTV-Werte) maßgebend. In WaldAktiv konnten hierfür Daten aus dem Projekt TyreWearMapping (Fraunhofer UMSICHT, 2021) hinzugezogen werden.

In diesem Kontext ist auch zu klären, ob die vorhandenen Bodenverhältnisse (z. B. Mächtigkeit, Durchlässigkeit, Humusgehalt, Ton- und Schluffgehalt) und Bodenvegetation (z. B. lückenloser Bewuchs) in den Waldflächen die definierten Eigenschaften der bewachsenen Bodenzone gemäß DWA-A 138-1 (2020) erfüllen können, da die Versickerung über die bewachsene Bodenzone als Behandlungsmaßnahme gilt. Wesentliche Aufgabe dieser Vegetationstragschicht ist die Zurückhaltung partikelgebundener und gelöster Stoffe durch Filterung und Adsorption, also der Anlagerung an die Bodenpartikel.

Unabhängig davon, ob es sich bei den Waldflächen um innerstädtische Gebiete oder Außengebiete handelt, ist bei der Versickerung von Niederschlagswasser zudem die Vorbelastung des Bodens zu berücksichtigen. Vorhandene Bodenkontaminationen, zumeist aufgrund vergangener Geländenutzungen, sollten nach Möglichkeit geprüft werden, da sie den Ausschluss von Versickerungsflächen zur Folge haben können (vgl. z. B. DWA-A 138-1, 2020). Durch die Einleitung und damit einhergehende Versickerungsprozesse können im Boden angelagerte Schadstoffe remobilisiert und in das Grundwasser verschleppt werden. Entsprechende Flächen (z. B. Altstandorte, Altablagerungen, Altlastverdachtsflächen, Altlasten) werden in der Regel auf Kreisebene in Altlasten-Katastern geführt, sodass eine Auskunft für bestimmte Flächen möglich ist.

4 MAßNAHMEN UND HINWEISE ZUR ERHÖHUNG DES ABFLUSSRÜCKHALTS IN WALDFLÄCHEN

Vorbemerkungen

Innerhalb von Wäldern entstehen Oberflächenabflüsse insbesondere auf Flächen, die der forstwirtschaftlichen Erschließung dienen, also insbesondere auf Waldwegen und dem Feinerschließungsnetz mit Rückewegen und Rückegassen. Maßnahmen in diesen Flächen sollten einerseits darauf abzielen, lineare Abflüsse gezielt zu unterbrechen und diese in geeignete Waldbereiche einzuleiten sowie andererseits zusätzliche Rückhaltekapazitäten zu schaffen. Im Fokus steht damit die Zurückhaltung von Oberflächenabflüssen in der Fläche, einerseits um deren Ablauf zu verzögern und andererseits, um die bestehenden Wege und gleichzeitig unterhalb liegende Gebiete vor Schädigungen zu schützen. Entsprechende Maßnahmen werden im Folgenden, auch wenn sie maßgeblich die forstwirtschaftliche Infrastruktur betreffen, als **wasserbauliche Maßnahmen im Wald** bezeichnet und bilden den Kern dieses Kapitels.

Mit zunehmender Niederschlagsintensität- und -menge nimmt jedoch auch der Wasserrückhalt in den ungestörten Waldbereichen ab und kann auch vollständig erschöpft werden. Die direkte Verbesserung des Wasserrückhalts in diesen Flächen ist im Vergleich zu den vorgenannten Bereichen nur eingeschränkt durch die Bewirtschaftung bzw. **waldbauliche Maßnahmen** der Forstwirtschaft möglich und wird daher hier nur angeschnitten. Oberflächenabflüsse aus ungestörten Waldbereichen können jedoch auch auf Erschließungslinien gelangen und dort durch wasserbauliche Maßnahmen reduziert werden.

4.1 Leitgedanken und zentrale Planungsziele

Den **Fokus auf die Ursachen von Oberflächenabflüssen** zu legen und diese bevorzugt anzugehen, muss das übergeordnete Ziel von Planungen sein. Die Planungen ausschließlich auf Bereiche in unmittelbarer Nähe von Bebauung zu konzentrieren, ist in der Regel hingegen nicht zielführend. Je weiter oberhalb in den Einzugsgebieten die Akkumulation von Abflüssen dezentral verringert wird, desto weniger Problembereiche entstehen auch in den unterhalb liegenden Bereichen.

Der **Rückhalt von Niederschlagswasser am Ort der Entstehung** ist für die kommunale Überflutungsvorsorge und für die Waldbestände essenziell. Große, technische Maßnahmen können dem Anspruch „Das Wasser im Wald halten“ nicht gerecht werden.

Individuelle, den Standortbedingungen angepasste sowie ökologisch und ökonomisch effiziente Maßnahmen sind elementar. Pauschale Lösungen sind hingegen in der Regel nicht zielführend. Dabei ist eine aktive und fortwährende Anpassung unverzichtbar.

Die **bestmögliche Ausnutzung vorhandener Potenziale** ist von zentraler Bedeutung, um negative Auswirkungen effizient zu vermindern oder auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren.

Die **Umsetzung vieler kleiner Maßnahmen in den Ursprungsbereichen** erlaubt es, markan-

ten Überflutungsgefährdungen, die in der Regel aus vielen kleinen Problembereichen in den Einzugsgebieten resultieren, effektiv zu begegnen. Denn:

- Die Einzugsgebiete und damit die Abflussvolumina sowie die Fließgeschwindigkeiten sind bei dezentralen Maßnahmen üblicherweise geringer und damit besser handhabbar.
- Kleine Maßnahmen fügen sich besser in die Landschaft ein und stoßen meist auch auf eine höhere Akzeptanz als große Eingriffe (DVL, 2021).

Die **Vermeidung potenziell nachteiliger Auswirkungen von Maßnahmen** muss sichergestellt und in den Planungen berücksichtigt werden, indem auch der Verlauf von Oberflächenabflüssen bei Überschreitung der Versickerungs- und Rückhaltekapazität betrachtet wird.

»Es bedarf daher zukünftig einer deutlich intensiveren Vernetzung und Zusammenarbeit zwischen der Forstwirtschaft und den Fachabteilungen die mit der kommunalen Überflutungsvorsorge betraut sind. Für die effiziente und zielführende Planung von Maßnahmen muss hierbei eine frühzeitige und aktive Einbindung der Verantwortlichen stattfinden. Hierzu zählen neben gemeinsamen Ortsbegehungen und der gemeinsamen Erarbeitung von Konzepten auch die eindeutige Aufgabenverteilung sowie Abstimmungen während und nach der Maßnahmenumsetzung.«

Durch die Abstimmung der Forstwirtschaft mit den Kommunen kann insbesondere bei wege- und wasserbaulichen Maßnahmen eine über die Waldflächen hinausgehende Beurteilung der Wirksamkeit und eine Betrachtung im Gesamtkontext der kommunalen Überflutungsvorsorge erfolgen. Zudem können mit der Verbesserung des Wasserrückhalts zur Verminderung von Oberflächenabflüssen in Waldflächen, auch zahlreiche positive Synergieeffekte einhergehen wie:

- Verminderung von Erosion und dem Eintrag von Sedimenten in Gewässer
- Förderung der Grundwasserneubildung
- Erhöhung der Vitalität von Bäumen gegenüber Trockenstress und Dürren
- Verbesserung der Biodiversität (z. B. Feuchtbiotope)

4.2 Wasserbauliche Maßnahmen im Wald

Unter wasserbaulichen Maßnahmen werden im Kontext des Leitfadens Maßnahmen verstanden, die im Zusammenhang mit der forstwirtschaftlichen Infrastruktur stehen. Im Fokus steht dabei die:

- Vermeidung, Verminderung und Unterbrechung linearer Abflüsse und die
- Erhöhung des Wasserrückhalts durch flächige Versickerung und die Anlage von Retentionsmulden.

Oftmals handelt es sich hierbei um kleinräumige Eingriffe, die durch Veränderung der Fließ- bzw. Abflusswege erreicht werden können. Im Idealfall werden beide Maßnahmen miteinander kombiniert. Im Folgenden werden Hinweise zu Maßnahmen gegeben, die die bestehenden forstwirtschaftlichen Vorgaben und Planungen im Hinblick auf die Betrachtung von Starkregenereignissen und die Überflutungsvorsorge ergänzen können.

Vermeidung, Verminderung und Unterbrechung linearer Abflüsse

In Kapitel 3.3 wurden bereits die verschiedenen Arten von Linienstrukturen und die Ermittlung von Bereichen, die ein besonders hohes Potenzial für die Entstehung von linearen Abflüssen aufweisen, dargestellt.

Aufgrund ihrer Bauweise und des hohen Versiegelungsgrades tragen dabei insbesondere Waldwege zur Entstehung von Oberflächenabflüssen bei. Gleichzeitig werden durch die Wege in Hanglagen häufig die Hänge angeschnitten, sodass der normalerweise im Boden fließende Zwischenabfluss wieder an die Oberfläche tritt und im Anschluss auf den linearen Strukturen akkumuliert wird und gebündelt abfließt. Die Wege verbinden in der Regel die Waldflächen mit Siedlungsgebieten und wirken für die Oberflächenabflüsse als Leitbahnen. Aus diesem Grund ist es notwendig, potenzielle lineare Abflüsse zu identifizieren und möglichst zu unterbrechen. Um den Erhalt und die Nutzbarkeit von Waldwegen langfristig sicherzustellen, werden Waldwege daher planmäßig entwässert.

»In der Praxis werden beispielsweise Querabschläge zur Unterbrechung von linearen Abflüssen jedoch oftmals nicht aktiv und systematisch im Vorfeld geplant. Stattdessen entscheiden die ausführenden Bauunternehmen vor Ort in Abhängigkeit der topografischen Bedingungen und auf Basis von Erfahrungen über die Anzahl und die Positionierung der Querabschläge. Die Untersuchungen im Projekt WaldAktiv und die Erfahrung vieler Kommunen zeigen jedoch, dass diese Vorgehensweise, nicht zuletzt im Kontext zunehmender Starkregenereignisse, oftmals nicht zielführend ist.«

Dies führt in der Praxis einerseits dazu, dass die Anzahl entsprechender Querabschläge in der Regel unzureichend ist. Zudem werden dabei Bereiche, die auch bei selteneren Starkregenereignissen zu Problemen führen können, aufgrund der mangelnden Kenntnis über diese potenziellen Problembereiche nicht berücksichtigt. Andererseits werden unter Umständen etwaige Potenziale nicht ausgeschöpft, da beispielsweise die Lage vorhandener und wegnaher Geländesenken nicht bekannt ist. Ferner hat sich gezeigt, dass mitunter in Geländebereiche abgeschlagen wird, die prinzipiell ungeeignet sind, da sie lediglich zu einer Verlagerung der Wassermassen und der Überflutungsgefährdungen führen.

Um lineare Abflüsse auf effiziente Weise zu vermeiden und zu unterbrechen, wird daher eine konsequente Planung unter Zuhilfenahme der wesentlichen Informationsquellen (vgl. Tabelle 3) dringend empfohlen. Je näher die Wege dabei zu Siedlungsbereichen sind, desto wichtiger ist insbesondere die genaue Betrachtung der potenziellen Fließwege. Nicht zuletzt um auch die Ausbildung sekundärer Fließwege und die bereits vorgenannten Gefährdungsverlagerungen zu vermeiden.

Auch seitens der Forstwirtschaft besteht ein großes Interesse, lineare Abflüsse zu verringern, da diese mit erheblichen Erosionsschäden auf Wegen einhergehen können, wodurch die Tragfähigkeit und Befahrbarkeit massiv eingeschränkt werden kann. Es zeigt sich jedoch, dass die bestehenden Maßnahmen oftmals nicht auf Starkregenereignisse ausgelegt sind und deren Leistungsfähigkeit daher schnell überschritten wird. Im Kontext der prognostizierten Zunahme von Regenereignissen mit hohen Intensitäten müssen daher viele bestehende Maßnahmen angepasst und optimiert werden.

Der Großteil aller Waldwege wird aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen in ungebundener Bauweise ausgeführt (Langmasius et al., 2018). Bei Starkregenereignissen besteht daher ein großes Risiko von Erosion, wenn es zur Ausbildung linearer Abflüsse kommt. Die Beseitigung der Schäden ist zudem oftmals mit hohen finanziellen Mitteln verbunden. So wird auch im Merkblatt DWA-M 550 (2015) darauf hingewiesen, dass **wegebauliche Maßnahmen zur Wasserabführung kostengünstiger sind als die Folgekosten, wenn im Zuge des Wegebaus keine Berücksichtigung der Wasserabführung stattfindet**. Entsprechende Maßnahmen können jedoch oftmals auch im Rahmen der Wegeunterhaltung umgesetzt werden.

Planung von Wegen

- Bei der Planung und Ausführung sind die **„Richtlinien für den Ländlichen Wegebau (RLW)“** der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA-A 904-1, 2016) zu berücksichtigen.
- Dort, wo das Bodengefüge ungestört ist, sollte es nicht durch Wegebau versiegelt oder durch Rücketechnik zerstört werden. Über das bestehende Walderschließungsnetz hinaus sollten daher **keine weiteren Wege und Rückegassen** angelegt werden (DWA-M 550, 2015).
- Waldwege sollten so geplant, angelegt und verändert werden, dass sie **nicht direkt auf Siedlungsbereiche in Falllinie** zuführen und somit Oberflächenabflüsse gebündelt in Siedlungen leiten (Langmasius et al., 2018). Es ist darauf zu achten, diese **möglichst hangparallel** anzuordnen, sodass es nicht zu einer Beschleunigung der oberflächigen Abflusskonzentration auf den Wegen kommt. Waldwege und das Feinerschließungsnetz sollten zudem mit geringem Gefälle hergestellt und etwaige daraus resultierende längere Fahrstrecken daher in Kauf genommen werden. Von MURL NRW (1999) wird darauf hingewiesen, dass die ungebundene Deckenbauweise, bei Längsneigungen von mehr als 10 % stark anfällig für Erosion ist.
- In Bereichen, in denen **markante Fließwege** verlaufen, sollte auf die Anlage von Rückegassen und anderen, insbesondere in Falllinie ausgerichteter Wege, verzichtet werden.
- Insbesondere bei steilen Wegen und solchen mit grabenartigen, ausgewaschenen Strukturen sollte geprüft werden, ob die **Wege aus der Nutzung genommen und zurückgebaut** werden können (Billen et al., 2017). Hierzu können diese beispielsweise verfüllt werden, sodass das Niederschlagswasser nach dem Auftreffen auf den Boden direkt seitlich dem Gefälle folgend in die ungestörten Waldbereiche geleitet wird. Empfehlenswert ist mit dem Rückbau auch die Anlage von Retentionsmulden zu verbinden.

Entwässerung von Wegen und Ableitung von linearen Abflüssen

- Die Gestaltung von Waldwegen erfolgt in der Regel als ein- oder zweiseitig geneigtes **Querprofil**. Während im Flachland zweiseitig geneigte Profile üblich sind, werden im Bergland üblicherweise einseitig zur Talseite geneigte Profile erstellt (MURL NRW, 1999). In der Praxis und in den einzelnen Bundesländern wird dies zum Teil jedoch sehr unterschiedlich und mitunter auch gegensätzlich gehandhabt.
- **Zweiseitig geneigte Wege** werden in der Regel mit beidseitigen wegbegleitenden

Gräben ausgeführt die das Wasser aufnehmen. **Einseitig geneigte Wege** werden dagegen mit talseitiger Neigung und ohne Gräben angelegt, sodass das Wasser **breitflächig versickern** kann. Sie sind daher eindeutig positiv zu bewerten. In Hangbereichen mit hangseitigem Wegeeinschnitt werden Gräben oftmals einseitig auf der Bergseite angelegt um etwaige Zwischenabflüsse zu fassen (MLR BW, 2018). Ziel sollte jedoch die breitflächige Versickerung ohne Abflussakkumulation sein.

- Zum Teil erfolgt die Anlage von Entwässerungsgräben auch in Abhängigkeit von der **Durchlässigkeit des Untergrundes**, sodass in der Ebene bei hoher Durchlässigkeit oder in grundwasserfernen Bereichen beispielsweise darauf verzichtet wird (MELFF MV, 2004).
- Damit die Wegseitengräben ihre Wasserableitungsfunktion erfüllen können, sollten diese als **Trockengräben** ausgeführt und unterhalten werden. Andernfalls besteht zudem die Gefahr, dass es in den Fahrwegkörpern zu Durchweichungen kommt (Langmasius et al., 2018).
- Wenn die Sammlung und Bündelung von Abflüssen durch Gräben nicht vermieden werden kann, sollte jedoch gewährleistet werden, dass diese **dezentral und in kleinen Mengen zur Versickerung** in geeignete Bereiche abgeleitet werden (Langmasius et al., 2018). Die Gräben sollten daher so kurz wie möglich sein.
- Grundsätzlich sollte jedoch das **Ziel** sein, das auf Wegen anfallende Oberflächenwasser möglichst **ungebündelt und breitflächig in Waldflächen einzuleiten und zu versickern** (vgl. Abbildung 10). Lineare Abflüsse auf den Wegen müssen dabei durch regelmäßige Querabschläge unterbrochen werden, sodass das Abflussvolumen innerhalb der Wege reduziert wird.

Abbildung 10: In Abhängigkeit von den topografischen Bedingungen kann durch den Verzicht auf Wegseitengräben die Ausbildung linearer Abflüsse oftmals verhindert oder vermindert und eine breitflächige Ableitung der Oberflächenabflüsse in angrenzende Waldbereiche ermöglicht werden. Voraussetzung sind jedoch regelmäßige breite Querabschläge auf den Wegen (Foto: fwu).

- Die in bergseitigen Gräben gesammelten Abflüsse werden häufig mithilfe von Durchlässen durch die Wegekörper in die talseitigen Waldbereiche abgeleitet. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass bestehende Gräben und **Durchlässe** bei seltenen Starkregenereignissen in der Regel **überlastet** werden. Infolgedessen kommt es oftmals zu erheblichen **Erosionsschäden** in den Ein- und Auslaufbereichen sowie einem **unkontrollierten Verlauf der Abflüsse**. Zudem sind Durchlässe sehr anfällig für Verklausungen, da mit den Abflüssen im Wald häufig auch Geschiebe, Blattwerk und Geschwemmsel (Treibgut) transportiert wird (vgl. Abbildung 11). Gleichzeitig führt schleichende Sedimentation häufig zu einer Abnahme der Leistungsfähigkeit. Die Gewährleistung der Wirksamkeit von Durchlässen geht daher mit einer **sorgfältigen baulichen Gestaltung** und einem **hohen Unterhaltungsaufwand** einher. Durchlässe sollten daher im Zuge von Reparaturen und Neubauten ausreichend **groß dimensioniert werden**.

Abbildung 11: Unterdimensionierte und verstopfte Durchlässe (links) können zu Folgeschäden wie Erosion an Gräben und Wegen führen. Die aus Starkregenereignissen resultierenden Oberflächenabflüsse können auch zur Mobilisierung und zum Transport von Gesteinsbrocken und Treibgut führen (rechts) und die Funktionsfähigkeit von Durchlässen einschränken oder vollständig verhindern (Foto: fwu).

- **Furten** sind alternative Querungsbauwerke und insbesondere im Hinblick auf Geschiebe und Geschwemmsel deutlich positiver zu bewerten als Durchlässe; gleichwohl gilt dies für die ökologische Durchgängigkeit bei Anwendung an Fließgewässern. Bei Furten stellt die Oberfläche des Weges die Gerinnesohle dar (vgl. Abbildung 12), weshalb diese mit einem geringeren Unterhaltungsaufwand einhergehen. Die **erosionssichere Konstruktion** ist dagegen aufwändiger und erfordert eine sorgfältige Planung und Ausführung. Hinweise zur Dimensionierung und Gestaltung können z. B. Fobatec (2014) entnommen werden.

Abbildung 12: Furten können nicht nur wie im Bild dargestellt bei der Querung von kleineren Fließgewässern sondern auch bei Wegseitengräben und markanten Fließwegen Anwendung finden (Foto: fwu).

- Kostengünstige Alternativen zu Durchlässen sind nach Backes et al. (2007) **Rigolen** (vgl. Abbildung 13). Diese verlaufen ebenfalls diagonal zur Wegrichtung, bestehen aus **groben Steinschüttungen** und erlauben das **durchströmen des Wegekörpers** von den bergseitigen Gräben hin zur Talseite auf einer Breite von etwa 2 m. Zur Gewährleistung der Funktion müssen die Gräben im bergseitigen Einleitungsbereich als kleine vertiefte Sedimentierbecken ausgeführt werden, die regelmäßig geräumt werden (Backes et al., 2007).

Abbildung 13: Ableitung der Abflüsse aus einem bergseitigen Wegseitengraben durch den Wegekörper mit einer Rigole. In diesem Beispiel erlaubt die talseitige Profilierung jedoch keine breitflächige Versickerung. Zudem ist die Rigole zu schmal ausgeführt (Foto: fwu).

- Damit die Wasserableitung und anschließende Einleitung des im Wegeverlauf und in Fahrspuren abfließenden Oberflächenwassers in den Wald möglichst breitflächig erfolgen kann, sollte auch die Wasserfassung auf den Wegen möglichst breit erfolgen. Hierfür bieten sich insbesondere **flache trichterförmige Querabschläge bzw. Abschlagsmulden** an (vgl. Abbildung 14), die nach Backes et al. (2007) mindestens 1,20 bis 3 m breit und **diagonal zur Fahrbahn** verlaufen sollten. Sie sollten zudem eine Tiefe von mindestens 15 cm aufweisen. In der Praxis werden die Mulden dabei häufig jedoch zu flach profiliert und die Oberflächenabflüsse fließen bei Starkregen über die Mulden hinaus. Gleichzeitig muss auch der Einleitungsbereich eine breite Verteilung der Abflüsse ermöglichen.
- Bei der Anlage von **Querabschlägen** sollten die in Tabelle 3 aufgeführten Kriterien und Anforderungen berücksichtigt werden. Besonders sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Wirkung von Querabschlägen deutlich beeinträchtigt wird, wenn die Oberflächenabflüsse in Bereiche eingeleitet werden, die bereits von markanten Fließwegen durchzogen sind. Häufig führt dies lediglich zu einer Verlagerung der Abflüsse.
- Generell sollte die **Anzahl wasserableitender Durchlässe, Querabschläge, Furten und Rigolen erhöht** bzw. deren Abstände reduziert werden. Dies gilt im Besonderen, je größer das Gefälle der Wege und die zufließenden Abflussmengen sind. Von Land RLP (2002) werden für Querabschläge Abstände von unter 50 m empfohlen. Backes et al. (2007) empfiehlt im Bergland Abstände von 40 bis 50 m, wobei in steilerem Gelände auch Abstände von 30 m sinnvoll sein können. **In der Praxis sind sowohl die Anzahl als auch die Abstände von Querabschlägen jedoch oftmals unzureichend.** Die Ausbildung von linearen Abflüssen und infolgedessen entstehende Erosionsschäden sind damit oft die Folge mangelnder Planungen.
- Im Hinblick auf selten auftretende Starkregenereignisse und in Abhängigkeit von der Topografie und der Bodeneigenschaften sind **alleinige Querabschläge jedoch oft unwirksam**. Wenn in Verbindung mit Querabschlägen eine unmittelbare Versickerung oder sichere Ableitung

Abbildung 14: Mithilfe von Querabschlägen bzw. breiten Abschlagsmulden kann das auf Wegen anfallende und abfließende Oberflächenwasser gesammelt und breitflächig in die angrenzenden Waldbereiche abgeleitet werden (Foto: fwu).

des Wassers im Wald nicht möglich ist, sollten daher **zusätzlich Retentionsmulden** angelegt werden, um Teile des Abflusses am Entstehungsort im Wald zurückzuhalten.

Wegeunterhaltung und -instandsetzung

- Waldwege und die angrenzenden Bereiche wie Böschungen und die Waldböden sind verhältnismäßig weich und damit leicht veränderlich. Neben planmäßigen Instandsetzungen und Neugestaltungen können jedoch auch die **unsachgemäße Nutzung und Erosion** zu Veränderungen der Oberfläche führen. Dabei können bereits kleine Änderungen der Topografie den Verlauf von Fließwegen beeinflussen und mitunter auch zur Veränderung der Einzugsgebiete führen. **Fließwege** sind damit veränderlich und sollten **nicht als statisch betrachtet** werden.
- Da die meisten Waldwege in ungebundener Bauweise ausgeführt sind, kann das **unsachgemäße Befahren** (z. B. Abweichen von den Wegen) oder die **Befahrung bei schlechten Witterungsbedingungen** zu **Schäden** führen. Letztere können sich dabei durch Niederschlagsereignisse und Erosion weiter verstärken. Kritisch ist insbesondere die Ausbildung von Wallungen an den Wegrändern (vgl. Abbildung 15) oder in Fahrbahnmitte sowie die Entstehung von Spurrinnen, da dadurch lineare Abflüsse und Erosion verstärkt werden. Generell sollten **geschädigte Waldwege** zeitnah nach Schädigung, mindestens aber vor der Beginn der Starkregensaison (vgl. Kapitel 2.1) **wiederhergestellt** werden, indem beispielsweise etwaige Seitenwallungen entfernt werden.

Abbildung 15: Das unsachgemäße Befahren von Waldwegen kann z. B. in den Randbereichen zur Bildung von massiven Seitenwallungen führen, die eine Kanalisierung und Ausbildung von linearen Abflüssen begünstigen. Die flächige Ableitung der Oberflächenabflüsse in die Waldflächen wird dadurch verhindert. Gleichzeitig erhöht sich auf den Wegen die Gefahr von Erosion (Foto: fwu).

Verschluss von Entwässerungsgräben

- Um beispielsweise auch sumpfige Gebiete mit Bäumen bepflanzen zu können, wurden in vielen Regionen in der Vergangenheit oftmals **engmaschige Netze aus Entwässerungsgräben** angelegt (vgl. Bieker et al., 2018). Entwässerungsgräben ziehen sich dabei „(…) oft regelmäßig systematisch oder in Form von Fließgewässern verschiedener Größenordnungen durch die Wälder und drainieren so die stau- und wechselfeuchten Böden.“ (Linnemann et al., 2018). Auch wenn viele Gräben seit langem keine Grabenunterhaltung mehr erfahren, können die Entwässerungsgräben nach wie vor zur Entwässerung von Gebieten führen (Bieker et al., 2018). In Zeiten des Klimawandels wirkt sich dieser Entwässerungseffekt bzw. die reduzierte Wasserverfügbarkeit auch negativ auf das Wachstum und die Vitalität von Bäumen aus.
- Im Projekt „Fit für den Klimawandel“ (s. auch Infobox auf S. 52) wurden daher **künstlich angelegte Entwässerungsgräben stufenweise zurückgebaut**. Auf einer Fläche von rund 480 ha wurden dazu

2.500 Grabenverschlüsse vorgenommen, indem entweder mittels Minibagger Staukörper aus Lehm oder mit Holzkernen erzeugt wurden. Auf das Projekt wird an dieser Stelle explizit verwiesen (z. B. Bieker et al., 2018; Linnemann et al., 2018).

ⓘ Potenzielle Bodendenkmäler

Bei der Planung von Maßnahmen zur Unterbrechung linearer Fließwege oder zur Erhöhung des Wasserrückhalts können auch Geländestrukturen wie Hohlwege, bergbauliche (z. B. Pingen) oder andere historische Strukturen in den Fokus rücken. Oftmals sind diese den zuständigen Denkmalbehörden bereits bekannt (z. B. Landschaftsverbände in NRW) und zum Teil auch in Denkmallisten von Kommunen enthalten oder werden als vermutete Bodendenkmäler geführt; letztere sind den vorgenannten dabei rechtlich gleichgestellt.

Bauliche Veränderungen in solchen Bereichen sind in der Regel problematisch und daher genehmigungspflichtig. Es handelt sich dabei zudem meist um Einzelfallentscheidungen, die immer einer frühzeitigen Abstimmung mit den zuständigen Ämtern bedürfen und von den Unteren Denkmalbehörden der Kommunen initiiert werden sollten.

Anlage von Retentionsmulden

Unter Retentionsmulden werden im Kontext des Leitfadens kleine lokale Rückhaltemöglichkeiten im Wald verstanden, in die Oberflächenabflüsse bewusst ein- bzw. abgeleitet werden können und die in keiner Verbindung zu Fließgewässern stehen (vgl. Abbildung 16). Entsprechende Rückhaltemöglichkeiten werden in der Literatur beispielsweise als Flutmulden, Abschlagsmulden, Klein- oder Kleinstrückhalte, Mulden(-speicher) sowie Retentionsmulden oder -becken bezeichnet. Da es zu den Begriffen keine festen Definitionen gibt, können diese in der Praxis unterschiedlich ausgeprägt sein und mitunter auch im Bereich von Fließgewässern Anwendung finden.

Abbildung 16: Durch die Nutzung vorhandener Geländesenken oder das Anlegen von Retentionsmulden können die über Querabschläge zugeleiteten Abflüsse zwischengespeichert und versickert werden (Foto: fwu).

Im Hinblick auf die Anlage von Retentionsmulden besteht zum einen die Möglichkeit, vorhandene Geländesenken (vgl. Kapitel 3.4) zu nutzen. Zum anderen können diese planmäßig angelegt werden, wobei grundsätzlich auch Mischformen, z. B. durch die Vergrößerung bestehender Geländevertiefungen, möglich sind. Die Füllung der Mulden wird erreicht, in dem durch die Oberflächengestaltung und insbesondere Querabschläge von Waldwegen eine Einleitung von Oberflächenabflüssen ermöglicht wird. Die Entleerung erfolgt vor allem durch Versickerung und in Abhängigkeit der anstehenden Böden gegebenenfalls durch Verdunstung. Sie weisen demnach keine Auslässe bzw. Auslassbauwerke

auf. In Abhängigkeit von der Zuflussmenge, den topografischen Bedingungen und den Bodeneigenschaften können bzw. sollten gegebenenfalls mehrere solcher Mulden im Zusammenschluss angelegt werden.

ⓘ Abgrenzung zu DIN 19700

In DIN 19700 werden Vorgaben für Stauanlagen definiert, durch die deren Sicherheit gewährleistet werden soll (z. B. Tragsicherheitsnachweise, Hochwasserentlastungsanlagen). In der Praxis ergibt sich nach Merkblatt DWA-M 550 (2015) bei der Planung daraus ein hoher Abstimmungsbedarf (s. auch DWA-M 522 (2015)).

Gemäß Merkblatt DWA-M 550 (2015) fallen Rückhaltemaßnahmen wie Mulden, die allein durch Abgrabung hergestellt werden, jedoch nicht unter die Regelungen der DIN 19700. Werden zum Rückhalt hingegen Dämme oder Verwallungen angelegt, sind die Vorgaben der DIN 19700 und des Merkblatts DWA-M 522 (2015) zu berücksichtigen, da in diesen Fällen die Gefahr einer Überströmung und/oder des Bruchs bestehen kann.

In der Regel muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die alleinige Nutzung vorhandener Geländesenken nur selten zielführend ist. Zum einen ist das Vorkommen solcher Strukturen regional sehr unterschiedlich. Zum anderen befinden sich diese nicht zwangsläufig in den Bereichen, in denen beispielsweise die Unterbrechung linearer Abflüsse erforderlich wäre. In den folgenden Abschnitten werden daher Empfehlungen und Hinweise im Zusammenhang mit dem Anlegen von Retentionsmulden dargestellt.

Lage

- Die Festlegung der Lage von Retentionsmulden sollte insbesondere unter Verwendung der Ergebnisse von **Fließweganalysen** erfolgen, da diese effiziente Planungen im Kontext gesamtheitlicher Einzugsgebietsbetrachtungen erlauben. Darüber hinaus sollten die in Tabelle 3 dargestellten Kriterien und Anforderungen unbedingt berücksichtigt werden. Die Lage von Mulden hängt damit maßgeblich vom Verlauf linearer Abflüsse und markanter Fließwege sowie der Lage von Querabschlägen ab.
- Mulden sollten prinzipiell **in der Nähe von Wegen** angelegt werden, sodass der Aushub und die Profilierung von den Wegen aus erfolgen kann und eine Befahrung der ungestörten Waldbereiche vermieden wird. Idealerweise werden die Mulden **talseitig** von Wegen angelegt, sodass potenzielle **Durchweichungen der Wegekörper** durch den bergseitigen Wasseraufstau in den Mulden vermieden werden und es bei Überschreitung des Rückhaltevolumens zu einer direkten Ableitung in die angrenzenden Waldbereiche kommt.
- **Ungeeignet** sind zudem Bereiche in der unmittelbaren Nähe von **Rückegassen**, da die Versickerung in Verbindung mit der Befahrung Bodenschäden fördern kann. Zudem besteht die Gefahr, dass es bei Überlastung der Mulden zum Abfluss in den Rückegassen kommt.
- Bei der Planung sollte daher immer auch die **Überlastung** der Mulden betrachtet werden, da eine Wirksamkeit für extreme Starkregenereignis keinesfalls gewährleistet werden kann. Die Leistungsfähigkeit von Mulden nimmt mit zunehmender Seltenheit der Ereignisse dabei prinzipiell ab. In diesem Zusammenhang muss

der potenzielle weitere Verlauf der Abflüsse z. B. mithilfe der Informationen von Fließweganalysen betrachtet und beurteilt werden.

ⓘ **Kombination von Retentionsmulden und Löschwasserteichen**

In DIN 14210 sind detaillierte und vor allem bauliche Anforderungen für künstlich angelegte Löschwasserteiche festgelegt. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Entnahme der notwendigen Löschwassermenge jederzeit gegeben ist. Retentionsmulden im Wald können diese spezifischen Vorgaben in der Regel nicht erfüllen, da sie im Gegensatz zu Löschwasserteichen ihr Volumen zeitnah wieder für den Rückhalt bereitstellen sollten.

Auch wenn Retentionsmulden nicht den Vorgaben der DIN 14210 entsprechen, bieten sie dennoch den Vorteil, dass sie im Brandfall gegebenenfalls Wassermengen bereitstellen können. Es kann somit sinnvoll sein, z. B. die Lage entsprechender Mulden und Geländesenken unter Angabe der maximalen Volumina zu kartieren und den entsprechenden Stellen zur Verfügung zu stellen. Ob eine Anbindung von Fließwegen an künstliche Löschwasserteiche möglich ist, muss im Einzelfall geprüft werden.

- Nicht immer befinden sich geeignete Einleitungsbereiche (vgl. Tabelle 3) in unmittelbarer Nähe der Problembereiche. In diesen Fällen kann die **Anlage von Gräben** und damit die bewusste Sammlung von Abflüssen **über kürzere Strecken** mit dem Ziel einer anschließenden Einleitung in geeignetere Bereiche wie z. B. vorhandene Geländesenken zweckmäßig sein.
- Die großflächigen **Kahlschlagsflächen** in vielen Regionen sollten als Chance für das Anlegen von Mulden in der Nähe von Wegen und noch nicht aufgeforsteten Waldbereichen gesehen werden.
- Besonders geeignet sind Bereiche, in denen die **topografischen Bedingungen** den Herstellungsaufwand reduzieren.
- Die vorherrschenden Bodenverhältnisse sollten durch möglichst **gute Durchlässigkeiten** (vgl. Tabelle 3) eine zeitnahe Leerung der Mulden ermöglichen.
- Geprüft werden sollte zudem, ob Mulden mit waldbaulichen Maßnahmen zur **Waldbrandvorsorge** kombiniert werden können, z. B. durch die Anlage von Mulden auf Flächen, die von leicht entzündlichen Materialien freigehalten werden (sog. Wundstreifen).

Herstellung und Gestaltung

- Mulden können einfach und kostengünstig mit Baggern durch **Abgrabungen** hergestellt werden und dabei beispielsweise Tiefen von 0,5 bis 1,0 m und Fassungsvermögen von 3 bis 6 m³ aufweisen (Land RLP, 2002). In Merkblatt DWA-M 550 (2015) werden für Muldenspeicher Größen < 100 m³ genannt. In der Praxis hängen die Gestaltung und die erzielbaren Volumina vor allem von der Topografie und der damit einhergehenden Flächenverfügbarkeit ab, sodass keine pauschalen Aussagen und Empfehlungen möglich sind.
- Um den Abfluss bestmöglich zu Verzögern sollten die **Mulden möglichst breit und flach** sein und dabei den natürlichen Höhenlinien angepasst werden.

- Durch die Oberflächengestaltung sollte ein näherungsweise kontrollierter **breitflächiger Überlauf** bei Überlastung in die Waldflächen ermöglicht werden.
- Um die Infiltrationsbedingungen in den umliegenden Bereichen nicht negativ zu beeinflussen, sollte das **ausgehobene Erdreich** nicht großflächig, sondern im unmittelbaren Randbereich der Mulden abgelegt werden. Die Ausbildung von Dämmen und Verwallungen sollte dabei jedoch vermieden werden (s. auch Infobox auf S. 43).
- Zur **Vermeidung von Schädigungen des Wurzelwerks** sollte bei der Abgrabung in der Nähe von Baumbeständen ein ausreichender baumspezifischer Abstand eingehalten werden.
- Die **Einleitung** in die Mulden sollte dabei möglichst **breitflächig** durch Abgrabung kurzer grabenähnlicher Rinnen ermöglicht werden. Im Bereich von Rückegassen sollten die Ableitungswege länger ausgeführt werden, sodass etwaige Vernässungen und Bodenschädigungen bei der Befahrung der Rückegassen vermieden werden.

Unterhaltung

- Durch die Oberflächenabflüsse können **Sedimente und Grobmaterial** in die Mulden eingetragen werden, die das Retentionsvolumen langfristig reduzieren. Es kann dabei zudem nicht ausgeschlossen werden, dass es durch den Eintrag von Sedimenten mit der Zeit auch zu einer Verringerung der Durchlässigkeit und damit zu einer Abnahme der Versickerungsleistung kommt (sog. Kolmation).
- Zum Erhalt des Retentionsvolumens sind daher gegebenenfalls **Unterhaltungsmaßnahmen wie Ausbaggerungen**, analog zur Grabenunterhaltung, erforderlich. Hierzu sollte im Frühjahr, aber in jedem Fall mit ausreichendem Abstand zur Starkregensaison (vgl. Kapitel 2.1) der Bedarf durch Ortsbegehungen ermittelt und erforderliche Maßnahmen zeitnah umgesetzt werden.

ⓘ Vom Wasserrückhalt zum Biotop?

Nicht auszuschließen, insbesondere bei hohem Sedimenteintrag und/oder gering durchlässigen Böden, ist die Entwicklung der Mulden hinzu Feuchtbiotopen.

Naturschutzrechtliche Gründe können in diesem Fall unter Umständen Ausbaggerungen verbieten (vgl. § 44 Abs. 1 BNatSchG). Feuchtbiotope sind im Hinblick auf die Stärkung der biologischen Vielfalt eindeutig positiv zu bewerten, führen aber gegebenenfalls zum Verlust der Retentionsleistung der Mulden.

Weisen Mulden einen entsprechenden Biotopcharakter auf, sollte vor Ausbaggerungen daher zunächst Kontakt mit den Unteren Naturschutzbehörden aufgenommen werden. Je durchlässiger der Untergrund und seltener der Zufluss ist, desto unwahrscheinlicher ist die Entwicklung von Feuchtbiotopen.

4.3 Waldbauliche Maßnahmen

Um den Wasser- und Abflussrückhalt innerhalb von ungestörten Waldbereichen zu verbessern, bestehen verschiedene waldbauliche Möglichkeiten, die jedoch in jedem Fall unter Berücksichtigung der standörtlichen Bedingungen und in enger Abstimmung mit den zuständigen Forstämtern geplant und umgesetzt werden müssen.

Während durch wasserbauliche Maßnahmen der Abflussrückhalt im Wald direkt verbessert werden kann, kann durch waldbauliche Maßnahmen einerseits nur in einem geringeren Maße und andererseits nur in einem größeren Zeithorizont Einfluss genommen werden. Umso wichtiger ist es, Planungen möglichst früh anzustoßen. Bedacht werden sollte, dass die ungestörten Waldbereiche an der Gesamtwaldfläche den größten Anteil haben und sich die Wirkung der Maßnahmen über die Fläche akkumuliert und damit einen signifikanten Beitrag leisten kann. Maßnahmen in diesen Flächen tragen damit letztlich auch zur Verringerung von Abflüssen auf Erschließungslinien und damit auch unmittelbar zur Überflutungsvorsorge bei.

Etablierung klimastabiler, arten- und strukturreicher Mischbestände

Grundsätzliches Ziel sollte immer der Erhalt bestehender und insbesondere alter Wälder sein. In Kapitel 2.2 und 2.3 wurde bereits die Wirkung von Wäldern auf den Wasserrückhalt erläutert und Empfehlungen hinsichtlich hydrologisch sinnvoller Waldbestände dargestellt (s. auch Infobox auf S. 13). Festzuhalten ist, dass über die Wahl des Bewuchses langfristig eine Erhöhung der Infiltration und des Wasserrückhalts erreicht werden kann. Voraussetzung hierfür sind in jedem Fall standortangepasste klimastabile Mischwälder (vgl. Markart et al., 2020), die auch im Zuge von Aufforstungen etabliert werden sollten.

Die zahlreichen und großflächigen Kahlschlagsflächen in vielen Mittelgebirgsregionen können aufgrund begrenzter Kapazitäten in der Regel nur schrittweise aufgeforstet werden. Für die Überflutungsvorsorge besonders sensible Bereiche, beispielsweise Flächen direkt oberhalb von Siedlungsgebieten, auf steilen Hanglagen und/oder Bereiche, die markante lineare Abflüsse aufweisen, sollten in diesem Zusammenhang eine höhere Priorisierung erhalten bzw. der Aspekt der Überflutungsvorsorge in den Planungen mitberücksichtigt werden.

Foto: fwu

Einhaltung der „guten fachlichen Praxis“

Oberstes Ziel sollte immer die bodenschonende Bewirtschaftung und die Einhaltung der „guten fachlichen Praxis“ sein. Hierunter wird unter anderem der Walderhalt, die Vermeidung von Kahlschlägen, der Schutz vor Bodenerosion und Bodenverdichtung und die Aufrechterhaltung des Wasserrückhaltevermögens von Wäldern verstanden (WBW, 2022). Diese Grundsätze sollten dabei auch bei Eingriffen auf Kalamitätsflächen infolge von Extremereignissen beachtet werden. Insbesondere die durch Befahrung mit schweren Forstmaschinen entstehenden Bodenverdichtungen sind praktisch unumkehrbar. Sie führen unmittelbar und für lange Zeit zur Verringerung der Versickerungsleistung und damit erhöhten und beschleunigten Abflüssen (Schüler, 2007) und sollten daher vor allem in ungestörten Waldbereichen und bei ungünstigen Witterungsbedingungen zwingend vermieden werden (vgl. Abbildung 17). Zur Vermeidung flächiger Befahrung sollten dauerhafte Rückegassensysteme festgelegt werden, die bei der Holzernte zum Schutz vor Erosion konsequent mit Reisig ausgelegt werden (vgl. Nordmann, 2011).

Insbesondere in steilen Hanglagen unmittelbar oberhalb bebauter Bereiche sollte das Potenzial für eine bodenschonende Holzernte mit Seilkränen geprüft werden, da so Bodenverdichtungen und die Ausbildung von linearen Abflüssen auf Rückegassen vermindert oder vermieden werden können.

Bodenschutzkalkungen

Viele Waldstandorte in Deutschland sind aufgrund anthropogener Prozesse als auch durch natürliche Verwitterungsprozesse versauert und weisen niedrige pH-Werte auf (BMEL, 2018; Puhlmann et al., 2021). Durch Bodenschutzkalkungen kann der pH-Wert der Waldböden erhöht werden, wodurch sich die Bodenstruktur langfristig verbessert und das Bodenleben gefördert wird. Dadurch können die Niederschläge besser in den Boden infiltrieren und gespeichert werden. Gleichzeitig wird das Wachstum der Vegetation gefördert, was sich ebenfalls positiv auf die Wasserspeicherkapazität auswirkt (Puhlmann et al., 2021). Unter anderem in Abhängigkeit des eingesetzten Kalkmittels und des Verfahrens zur Ausbringung liegen die Kosten etwa im

Abbildung 17: Durch Befahrung bei ungünstigen Witterungsbedingungen geschädigte Bodenbereiche sind bei Starkregen besonders anfällig für die Entstehung von Oberflächenabflüssen und Erosion (Foto: fwu).

Bereich von 250 bis 420 Euro/ha (Kostenstand 2019; Puhlmann et al., 2021). Umfassende Information zu den Wirkungen, Risiken und Rahmenbedingungen von Bodenschutzkalkungen in Wäldern finden sich in Puhlmann et al. (2021).

Erhöhung des Totholzanteils

Verbleibt Totholz im Wald auf den Waldböden wird die Oberflächenrauheit innerhalb dieser Bereiche erhöht (vgl. Abbildung 18). In Abhängigkeit von der Oberflächenneigung kann dies zu einer Verringerung der Fließgeschwindigkeit und damit zur Abflussdämpfung und -verzögerung führen. Das aktive Belassen von Totholz kann sich nach Markart et al. (2020) somit positiv auf den Wasserrückhalt auswirken. Während in Fließwegen mit kleinen Einzugsgebieten und im Bereich diffuser Fließwege das aktive Belassen und Platzieren von Totholz denkbar ist, sollte im Bereich von Durchlässen aufgrund der Gefahr von Verklausungen sichergestellt werden, dass z. B. nach Kahlschlägen keine größeren Mengen Totholz innerhalb von markanten Fließwegen verbleiben und mobilisiert werden können. In Anlehnung an das aktive Einbringen von Totholz im Rahmen von Gewässerrenaturierungen zur Förderung der Gewässerentwicklung ist zur Vermeidung von Verklausungen auch die vereinzelte Fixierung von Totholz, z. B. durch Holzpflöcke denkbar.

Abbildung 18: Auf dem Waldboden verbleibendes Totholz speichert nicht nur Wasser, sondern erhöht auch die Oberflächenrauheit und kann damit zur Abbremsung und Verzögerung von Oberflächenabflüssen beitragen (Foto: fwu).

5 FACHLICHE UND RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Zentrales Ziel des Leitfadens ist es, Hinweise und Empfehlungen zu geben, wie der Wasserrückhalt innerhalb von Waldflächen durch Maßnahmen effizient verbessert werden kann. Dabei steht einerseits die Verminderung und Unterbrechung linearer Abflüsse beispielsweise entlang von Waldwegen und andererseits die Anlage von Retentionsmulden im Fokus. Oftmals handelt es sich hierbei um kleinräumige Eingriffe, die durch Veränderung der Fließ- bzw. Abflusswege erreicht werden können. Entsprechende Maßnahmen stehen daher oftmals im Zusammenhang mit der forstwirtschaftlichen Infrastruktur und können die Berücksichtigung von Rechtsgrundlagen bzw. Schutzvorschriften aus verschiedenen Bereichen erfordern. Hierzu zählen beispielsweise:

- Naturschutz
- Wasserrecht
- Bodenschutz
- Forstrecht
- Baurecht
- Denkmalschutz

Aufgrund von örtlichen Besonderheiten und Unterschieden in der Gesetzgebung auf Landesebene sind pauschale Handlungsempfehlungen kaum möglich. Es bedarf daher immer einer grundlegenden Einzelfallprüfung/-entscheidung, durch die zuständigen Ämter.

Generell ist zu bedenken, dass unter Einbeziehung der forstlichen Standortkunde und der Biotopvernetzung, Ansätze mit Synergien entwickelt werden können, die neben dem Retentionsverhalten, auch eine Verbesserung der Grundwasserneubildung, der Wasserfilterung, des Mikroklimas, des Arten- und Biotopschutzes, des Bodenschutzes, der forstlichen Produktion, des Erholungswertes und des Waldbrandschutzes herbeiführen können. Auch wenn diese Effekte nicht oder nur schwer zu quantifizieren sind, können Maßnahmen viel einfacher mit den unterschiedlichen Zielsetzungen harmonisiert werden.

Naturschutz

Im baulichen Außenbereich können Maßnahmen oftmals in Schutzgebieten (z. B. Landschaftsschutzgebieten oder Naturschutzgebieten) liegen. Unter Beachtung des jeweiligen Schutzzweckes muss daher im Einzelfall geprüft werden, ob die Maßnahmen diesem nicht entgegenstehen bzw. eine Vereinbarkeit mit diesem hergestellt werden kann. Regelungen hierzu finden sich in den jeweiligen Landschaftsplänen. Zudem ist der gesetzliche Biotop- und Artenschutz zu berücksichtigen, da Maßnahmen in diesem Zusammenhang als Eingriffe in Natur und Landschaft gelten können, die zu bewerten und gegebenenfalls auszugleichen sind. Für Ausnahmen bzw. Befreiung werden entsprechende Anträge erforderlich.

Während der Neu- und Ausbau von Fahrwegen im Wald grundsätzlich einen Eingriff in Natur und Landschaft darstellt und bei der Planung die Beteiligung der unteren Naturschutzbehörden und gegebenenfalls weiterer Fachbehörden erfordert, sind Maßnahmen zur Erhaltung von Wegen nach ForstBW (2017) in der Regel der „ordnungsgemäßen Forstwirtschaft“ zuzuordnen und daher nicht als naturschutzrechtliche Eingriffe nach § 14 Abs. 2 BNatSchG anzusehen. Hierzu zählt so-

wohl die Wegeunterhaltung mit der regelmäßigen Beseitigung von Mängeln an der Wegeentwässerung als auch die üblicherweise mit Materialeintrag einhergehende Wegeinstandsetzung einschließlich der Anpassung der Wege an aktuell übliche Standards (ForstBW, 2017). Die Anlage, Pflege und Instandsetzung von Entwässerungseinrichtungen, die ausschließlich der Entwässerung der Wegekörper dienen, stellen grundsätzlich keinen Eingriff im naturschutzrechtlichen Sinne dar (Staatsbetrieb Sachsenforst, 2022).

Gemäß dem „Leitbild für den nachhaltsgerechten forstlichen Wegebau in Nordrhein-Westfalen“ (MURL NRW, 1999) soll grundsätzlich eine flächenhafte Versickerung des Oberflächenwassers von Wegen über Wegseitenräume, Böschungen, Gräben und Mulden angestrebt werden. Sofern eine Bündelung der Abflüsse nicht verhindert werden kann oder erforderlich wird, „(…) sollte das Wasser zur Versickerung natürlichen Retentionsräumen zugeführt werden.“ (MURL NRW, 1999). Die flächenhafte Versickerung hat damit vor dem Hintergrund, die Konzentration von Abflüssen zu vermeiden, Vorrang vor der gebündelten Ableitung. In Abhängigkeit der Topografie und der Bodenverhältnisse kann dies in der Praxis jedoch nicht immer erfolgen. Die Einleitung in Retentionsräume kann in diesem Zusammenhang nicht nur den Wasserrückhalt im Wald bis zu einem gewissen Grad gewährleisten, sondern beispielsweise auch zur Reduzierung von Erosion und damit dem Schutz von unterhalb gelegenen Bereichen beitragen. Entsprechende Maßnahmen können damit auch mit Synergien für andere Pflichten einhergehen, z. B. der Vorsorgepflicht gemäß § 7 BBodSchG (Bundes-Bodenschutzgesetz) oder im Hinblick auf das Verbot der Verstärkung oder Veränderung des natürlichen Ablaufs wild abfließenden Wassers gemäß § 37 Abs. 1 WHG (Wasserhaushaltsgesetz).

Die Anlage von Mulden, insbesondere innerhalb von Schutzgebieten wie Landschaftsschutzgebieten oder Naturschutzgebieten und im Einwirkungsbereich zu Schutzobjekten wie Naturdenkmalen und geschützten Landschaftsbestandteilen sind grundsätzlich verboten und bedürfen einer naturschutzrechtlichen Ausnahme. Zugleich sind diese als Eingriffe in Natur und Landschaft im Sinne der §§ 13 ff. BNatSchG (z. B. i. V. m § 30 LNatSchG NRW) zu beurteilen. Gesetzlich geschützte Biotope nach § 30 BNatSchG (z. B. i. V. m § 42 LNatSchG NRW) gelten grundsätzlich als Tabuflächen. Bei der baulichen Umsetzung und Unterhaltung sind zudem die artenschutzrechtlichen Bestimmungen nach § 39 BNatSchG (allgemeiner Artenschutz) und § 44 BNatSchG (besonderer Artenschutz) zu beachten.

Gleichzeitig wird im Merkblatt DWA-M 550 (2015) jedoch darauf hingewiesen, dass dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung oftmals mit positiven Umweltwirkungen einhergehen und daher auch als Ausgleich für naturschutzrechtliche Eingriffe eingesetzt werden können.

Wasserrecht

Grundsätzlich sollen durch die im Leitfaden dargestellten Maßnahmen Oberflächengewässer nicht tangiert werden, da sich dem Wasserrückhalt an Fließgewässern, beispielsweise im Kontext von Renaturierungsmaßnahmen, bereits zahlreiche Handlungsempfehlungen widmen. Werden dennoch Maßnahmen ergriffen, die z. B. Gewässerrandstreifen tangieren oder in direktem Zusam-

menhang mit den Gewässern stehen, wie Gewässerquerungen mit Durchlässen oder Furten, sind die unteren Wasserbehörden an den Planungen zu beteiligen.

Im Zusammenhang mit dem Verschluss von Gräben ist zu prüfen, ob die Geländestrukturen nicht „Oberirdischen Gewässern“ zuzuordnen sind, da hierunter laut § 3 WHG auch das „(…) zeitweilig in Betten fließende oder stehende oder aus Quellen wild abfließende Wasser.“ verstanden wird. Werden entsprechende Strukturen als Gewässer eingestuft, ist zu beachten, dass Um- oder Rückbaumaßnahmen an Entwässerungsgräben, z. B. durch den abschnittsweisen Verschluss mit Lehm- oder Holzstaue oder vollständige Grabenverfüllungen als Gewässerbenutzung (§ 9 WHG) oder Gewässerausbau (§ 67 WHG) ausgelegt werden können (Deutscher Bundestag, 2022). Während die Gewässerbenutzung der wasserrechtlichen Erlaubnis oder der Bewilligung bedarf (8 § WHG), erfordert der Gewässerausbau eine Planfeststellung oder Plangenehmigung (§ 68 WHG). Zudem kann es zu Konflikten mit den Vorgaben des WHG, z. B. „§ 34 Durchgängigkeit oberirdischer Gewässer“ kommen. Entsprechende Verschlüsse sollten daher vorwiegend außerhalb von Gewässern Anwendung finden (z. B. tiefe Fahr-, Weg- und Rückwege oder andere Geländestrukturen, die lineare Abflüsse fördern). Anlagen zur Ableitung von Niederschlagswasser oder zur Straßenentwässerung genutzte Seitengräben sind üblicherweise keine Gewässer (vgl. § 2 Abs. 2 WHG i. V. m. z. B. § 2 Abs. 2 LWG NRW). Die Regelungen hierzu sind in den Ländern jedoch zum Teil sehr unterschiedlich und basieren mitunter auf verschiedenen Kriterien (vgl. Deutscher Bundestag, 2022).

Bezüglich des Denkmalschutzes wird auf die Infobox auf S. 42 verwiesen.

6 FÖRDERMÖGLICHKEITEN

Vorbemerkungen

Die Erfahrung zeigt, dass die Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge aufgrund begrenzter finanzieller Ressourcen oftmals nicht die erforderliche Aufmerksamkeit erhält. Dabei sind kleinräumige Maßnahmen, wie sie im Kontext des Leitfadens dargestellt sind, oft verhältnismäßig kostengünstig und gleichzeitig meist wirtschaftlicher als die nachträgliche Beseitigung von Überflutungsschäden. Die effiziente Planung anhand von Daten wie Fließweganalysen in Verbindung mit der Ausnutzung von vorhandenen Potenzialen wie z. B. Geländesenken kann die Kosten zudem weiter reduzieren. Auch die Kooperation der verschiedenen Agierenden kann durch das Erbringen von Eigenleistungen, beispielsweise der Forstwirtschaft und Baubetriebshöfe zur Kostenreduktion beitragen. Letzteren stehen in der Regel Mittel für die laufende Straßen-, Wege- und Gewässerunterhaltung zur Verfügung, die mitunter genutzt werden können. Dennoch sind Kommunen oftmals auf zusätzliche Fördermittel angewiesen, weshalb die bestehenden Fördermöglichkeiten bestmöglich ausgenutzt werden sollten.

Auch wenn viele Förderprogramme einen bestimmten Schwerpunkt besitzen (z. B. forstwirtschaftlich bzw. waldbaulich oder wasserwirtschaftlich), ist zu beachten, dass mit den unterschiedlichen förderfähigen Maßnahmen meist zahlreiche Synergieeffekte einhergehen. So können sich wasserwirtschaftliche Maßnahmen auch positiv auf die Vitalität von Bäumen auswirken, während forstwirtschaftliche Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserrückhalts auch zur Reduzierung von Überflutungen beitragen. Gleichzeitig decken zahlreiche Förderprogramme auch ein sehr breites Feld ab und fördern beispielsweise Maßnahmen der Klimafolgenanpassung im Allgemeinen. Häufig können hierunter auch Maßnahmen verortet werden, die direkt oder indirekt der Überflutungsvorsorge dienen. Zudem beinhalten Fördertöpfe für Klimaanpassung in den letzten Jahren vermehrt auch Mittel für investive bzw. bauliche Maßnahmen.

> ⓘ **Beispiel Waldklimafonds**
>
> Das Projekt „Fit für den Klimawandel“ (*fit-fuer-den-klimawandel.de*) wurde mit Mitteln des Waldklimafonds (*waldklimafonds.de*) gefördert, der unter anderem das Ziel verfolgt, die Anpassung der deutschen Wälder an den Klimawandel zu unterstützen. Im Rahmen des Projekts wurden dabei neben der Optimierung der Baumartzusammensetzung, der dauerhaften Sicherung von Alt- und Totholz und Erstaufforstungen zur Optimierung des Boden-Wasserhaushaltes und der Feuchtwälder zudem zahlreiche Entwässerungsgräben verschlossen (Bieker et al., 2018; Linnemann et al., 2018). Positiver Synergieeffekt im Kontext der Überflutungsvorsorge ist die Verminderung des Wasserabflusses aus den Waldflächen.

»Aus kommunaler Sicht lohnt es sich bei der Akquise von Fördermitteln daher immer einen Blick über den Tellerrand zu werfen. Bei Maßnahmen, die direkt oder indirekt die kommunale Überflutungsvorsorge betref-

fen, ist hierbei insbesondere ein enger Austausch zwischen den Kommunen und der Forstwirtschaft zielführend. So können nicht nur Synergiepotenziale optimal genutzt, sondern gleichzeitig auch potenzielle negative Auswirkungen verhindert werden.«

Zu beachten ist, dass die Förderlandschaft und damit die Förderprogramme und -möglichkeiten einem stetigen Wandel unterliegen und häufig bundeslandbezogen sind. Im Folgenden wird daher vor allem ein Überblick zu den vielfältigen Förderbereichen gegeben.

Allgemeines

Einen ersten Überblick zu Fördermöglichkeiten im Kontext der Klimaanpassung bietet das **Zentrum KlimaAnpassung (ZKA)** auf seiner Webseite in der *Förderdatenbank*[1] (Fußnoten siehe S. 54). Die Suche kann dabei durch mehrere Filter (z. B. Fördergebiet, Themenfelder) dem jeweiligen Bedarf angepasst werden. Die Datenbank enthält dabei sowohl Informationen zu Fördermöglichkeiten für die Umsetzung von Klimaanpassung auf der lokalen Ebene als auch Förderprogramme auf EU-, Bundes- und Landesebene. Zudem können unter anderem Kommunen über das Zentrum KlimaAnpassung eine *Förderberatung*[2] in Anspruch nehmen.

Neben den jeweiligen Landesumweltministerien informieren und beraten auch viele Forstbehörden und –ämter zu Fördermöglichkeiten. Oftmals wird dabei beispielsweise auch explizit zwischen Privat- und Körperschaftswäldern differenziert.

Im Folgenden werden der Übersichtlichkeit halber **waldbauliche bzw. forstwirtschaftliche** und **wasserbauliche Fördermöglichkeiten** in Anlehnung an Kapitel 4 getrennt aufgeführt. In der Praxis gehen entsprechende förderfähige Maßnahmen jedoch oftmals mit positiven Synergiepotenzialen einher und wirken sich in beiden Themenfeldern aus.

Waldbaulich/Forstwirtschaftlich

- Das Förderprogramm ***„Klimaangepasstes Waldmanagement“***[3] des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, welches jährlich fortgeschrieben wird, stellt Zuwendungen für kommunale und private Waldbesitzende in vielen Handlungsbereichen bereit.
- In mehreren Bundesländern wurden infolge der **Extremwetterereignisse** der letzten Jahre Förderrichtlinien mit Bezug zu Wäldern erlassen (z. B. *Nordrhein-Westfalen*[4], *Niedersachsen*[5], *Hessen*[6]). Förderfähig sind darin oftmals z. B. Wiederbewaldungen von Kalamitätsflächen.
- Im **Privatwald** gibt es zahlreiche Fördermöglichkeiten, z. B. für die **Entwicklung stabiler, standortangepasster Wälder** unter Berücksichtigung des Klimawandels, zur Wiederherstellung der Filter-, Puffer- und Speicherfunktion von Waldböden und die damit einhergehende Sicherung der Stabilität der Wälder oder zur Verbesserung der forstwirtschaftlichen Infrastruktur (z. B. in *Nordrhein-Westfalen*[7]). Für den Privatwald sind im Jahr 2023 in *Nordrhein-Westfalen*[8] neue Förderhöhen für die Weginstandsetzung auf Schadensflächen hinzugekommen (Erhöhung von 70 % auf 90 %).
- Die Fördermöglichkeiten im **Körperschaftswald** (z. B. in *Nordrhein-Westfalen*[7]) ähneln oftmals denen im Privatwald. Es werden die gleichen Themen hinsichtlich standortangepasster Waldbewirtschaftung oder zur Sicherung der Stabilität der Wälder gefördert.

- Förderfähig sind oftmals auch **Bodenschutzkalkungen** (z. B. in *Nordrhein-Westfalen*[9] und *Hessen*[10]).
- Auch die **bodenschonende und umweltverträgliche Holzernte** durch den Einsatz von **Rückepferden** oder durch **Seilkräne** wird zum Teil gefördert (z. B. in *Hessen*[10] und *Baden-Württemberg*[11]).
- Unter anderem in *Bayern*[12] und *Brandenburg*[13] wird der Erhalt bzw. das belassen von **Totholz** innerhalb von Waldflächen im Rahmen des Vertragsnaturschutzes explizit gefördert.
- Des Weiteren sind zum Teil Maßnahmen aus dem Bereich **Biotop-, Arten- und Naturschutz** förderfähig (z. B. in *Nordrhein-Westfalen*[9]). Insbesondere Feuchtbiotope bieten erhebliche Synergiepotenziale für die Stärkung des Wasserrückhalts innerhalb von Wäldern.

Wasserbaulich

- In *Rheinland-Pfalz*[14] wird explizit die **Verbesserung des Wasserrückhalts in der Fläche** gefördert. Hierzu zählen z. B. Mulden, Kleinstrückhalte, Gräben, Querabschläge ins Gelände sowie Maßnahmen der Geländeprofilierungen zur Erhöhung des Wasserrückhalts oder zur Verlängerung von Fließwegen und zur Verlangsamung von Abflussgeschwindigkeiten. Bedingung ist hier jedoch, dass entsprechende Maßnahmen Bestandteil von Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzepten sind.
- Die im Rahmen des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (ANK) veröffentlichte ***„Förderrichtlinie für Natürlichen Klimaschutz in kommunalen Gebieten im ländlichen Raum“***[15] fördert insbesondere investive Maßnahmen, die unter anderem Synergien zwischen dem Klimaschutz sowie dem Erhalt oder der Stärkung der biologischen Vielfalt nutzen. Hierzu zählen beispielsweise **Maßnahmen zum Wasserrückhalt** in der Landschaft, der Rück- und Umbau von Entwässerungseinrichtungen und die **Speicherung von Niederschlagswasser** mittels naturbasierter Lösungen.
- Bestandteil vieler forstwirtschaftlicher Förderungen ist auch die Verbesserung und Instandsetzung der forstwirtschaftlichen Infrastruktur. Insbesondere im Privatwald sind Förderungen oftmals auch unabhängig von Schadereignissen möglich. Zu den förderfähigen Maßnahmen zählen neben dem **Wegebau** in der Regel auch notwendige Anlagen wie z. B. Durchlässe und vorbeugende **Maßnahmen des Hochwasserschutzes**. Entsprechende Maßnahmen sind in verschiedenen Förderrichtlinien enthalten, z. B. *Nordrhein-Westfalen*[9], *Niedersachsen*[16], *Thüringen*[17] und *Bayern*[18]. Förderfähig sind dabei meist sowohl die Planung als auch die bauliche Ausführung.

Kurzlinks

[1] t1p.de/qvojo
[2] t1p.de/78jp5
[3] t1p.de/lu6dm
[4] t1p.de/q0wv4
[5] t1p.de/yfj38
[6] t1p.de/x972t
[7] t1p.de/0fufh
[8] t1p.de/mx88h
[9] t1p.de/ufqnj
[10] t1p.de/7cwtb
[11] t1p.de/q263q
[12] t1p.de/l8vp1
[13] t1p.de/47qst
[14] t1p.de/2lkrt
[15] t1p.de/7qxin
[16] t1p.de/h4wna
[17] t1p.de/j0ip2
[18] t1p.de/4iq78

7 KOMPENSATION VON ENTWALDUNGEN

Waldflächen tragen sowohl lokal vor Ort als auch auf größerer räumlicher Ebene durch ihre Wasserrückhaltefunktion aktiv zum Überflutungsschutz von Kommunen bei. Dennoch bleibt Stadtgrün in der kommunalen Praxis nach Müller & Mohaupt (2019) oft eine Verhandlungsmasse, die zugunsten anderer Prioritäten wie Wohnungsbau, Verkehrsplanung und Wirtschaftsförderung vernachlässigt wird. Die Kommunen tragen damit eine große Verantwortung, da das Handeln vor Ort über den Erhalt oder den Verlust des natürlichen Wasserrückhalts bestimmt. Durch Verwaltungsentscheidungen, beispielsweise mit Vorschriften zur Flächennutzungs- und Bebauungsplanung, können die Kommunen jedoch maßgeblich auf den Wasserrückhalt und damit auch auf die Klimaanpassung Einfluss nehmen (Müller & Mohaupt, 2019).

»Sowohl die gegenwärtigen als auch die zukünftig zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels *müssen* daher bei Abwägungsprozessen stärker in Planungen und Entscheidungen miteinbezogen werden, sodass diese möglichst zukunftssicher ausgerichtet werden können.« Dies wird beispielsweise auch im Berücksichtigungsgebot § 6 KlAnG (Klimaanpassungsgesetz Nordrhein-Westfalen) formuliert, nach dem die Klimafolgen von allen Trägern öffentlicher Aufgaben bei Planungen und Entscheidungen zu berücksichtigen sind (MULNV NRW, 2021).

Durch die Bebauung und Versiegelung von Waldflächen gehen nicht nur die wertvollen Wasserspeicherkapazitäten der Böden, sondern auch zahlreiche weitere Bodenfunktionen und Synergieeffekte der Wälder, die nicht zuletzt im Zuge des Klimawandels erhebliche Bedeutung haben, dauerhaft verloren. Die Umwandlung von Wald hat somit Auswirkungen, die auch die Allgemeinheit betreffen. Ohne entsprechende Kompensationsmaßnahmen bedeutet der Verlust von Waldflächen somit unmittelbar auch eine Erhöhung von Überflutungsgefahren und wirkt sich damit negativ auf die Überflutungsvorsorge von Kommunen aus.

ⓘ Umwandlung von Wald

Waldumwandlungen sind komplexe Themen, da sie neben dem Forstrecht in der Regel auch Naturschutzrecht und gegebenenfalls Baurecht tangieren, die zudem durch Landesrecht zum Teil unterschiedlich ausgeprägt sind. Daher widmen sich diesem umfassenden Themenfeld eigenständige Leitfäden, wie z. B. der zweiteilige „Leitfaden zur Waldumwandlung und zum Waldausgleich im Land Berlin“ (SenUVK, 2020), auf den an dieser Stelle aufgrund des hohen Informationsgehalts explizit verwiesen wird.

Kurzlink: *https://t1p.de/i1k38*

In der Regel erfolgt die Kompensation von Waldumwandlungen in Form von Ersatzaufforstungen oder Waldaufwertungen. Zwar wird in mehreren Landeswaldgesetzen gefordert, dass die Kompensation nicht nur in einem funktionellen, sondern auch in einem räumlichen Zusammenhang zu erfolgen hat, so wird dies in der Praxis aufgrund von Flächenknappheit jedoch häufig nur als Grundsatz verstanden (SenUVK, 2020). Dabei können insbesondere Ersatzaufforstungen den lokalen Verlust der Wasserrückhaltekapazität

von Waldflächen nur in den seltensten Fällen ausgleichen.

»Es wird daher empfohlen, bei Entwaldungen im Zuge von Bauprojekten den Verlust der natürlichen Wasserspeicherkapazität im Sinne eines Verschlechterungsverbots zu kompensieren, indem Retentionsvolumen als Ausgleich vor Ort geschaffen wird.« Entsprechende Überlegungen können dabei somit auch über die Vorgaben gemäß DIN EN 752, Arbeitsblatt DWA-A 118 (2006) und DIN 1986-100 hinausgehen. Die Speicherkapazität sollte der natürlichen Retentionskapazität der ursprünglichen Waldfläche entsprechen und setzt sich im Wesentlichen zusammen aus der Summe von:

- Interzeption
- Bodenversickerung/-speicherung
- Rückhalt in Senken und kleineren Bodenunebenheiten

Während die Interzeptionshöhe unterschiedlicher Bestände der Literatur entnommen werden kann (vgl. DVWK-M 238, 1996), kann das Wasserspeichervermögen näherungsweise aus Bodenkarten ermittelt werden. Das Rückhaltevolumen etwaiger größerer Senken und im Wald oftmals vorkommender kleinerer Bodenunebenheiten kann über Fließweganalysen abgeschätzt werden. Geeigneter ist die detaillierte Berechnung der Gesamtspeicherkapazität durch bodenhydrologische Modellierungen, die darüber hinaus auch Aussagen zur Speicherkapazität bei bestimmten Niederschlagsszenarien erlauben. Letztere Vorgehensweise hat den besonderen Vorteil, dass nicht nur die theoretisch möglichen Wasserspeicherkapazitäten betrachtet werden, sondern durch die Verwendung konkreter Starkregenszenarien der explizite Nutzen für die Überflutungsvorsorge quantifiziert werden kann, beispielsweise für ein 100-jährliches Starkregenereignis.

Im Anschluss bietet es sich an, die ermittelten Werte der Speicherkapazität auf Grundrissdaten wie Flurstücke zu übertragen. Hierdurch können die Wasserspeicherkapazitäten flächenscharf dargestellt werden (vgl. Abbildung 19) und somit die Grundlage für weitere Planungen bilden. Zudem können die konkreten Werte der flächenbezogenen Rückhaltekapazitäten und die visuelle Darstellung zur Sensibilisierung und zur Stärkung der Akzeptanz des Maßnahmenbedarfs beitragen.

»Es wird empfohlen, zu prüfen, inwiefern entsprechende Wasserspeicherkapazitäten bei Planungen im Zusammenhang mit Waldumwandlungen Berücksichtigung finden können. Von außerordentlicher Bedeutung ist hierbei die Bauleitplanung, da mit ihr die bauliche Entwicklung in Städten und Gemeinden durch die Kommunen gesteuert wird.« Gemäß § 1 BauGB (Baugesetzbuch) sollen Bauleitpläne unter anderem eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung gewährleisten und dabei auch den Klimaschutz und die Klimaanpassung fördern.

Grundsätzlich bietet die Bauleitplanung nach StEB Köln (2017) ein breites Spektrum an Möglichkeiten, um Maßnahmen der Überflutungsvorsorge in Bebauungsplänen textlich oder über Planzeichen festzusetzen (vgl. § 9 BauGB). So können nach § 9 Abs. 1 Nr. 16. d BauGB aus städtebaulichen Gründen in Bebauungsplänen beispielsweise Flächen festgesetzt werden, „(…), die auf einem Baugrundstück für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freigehalten werden müssen, um insbesondere Hochwasserschäden, einschließlich Schäden durch Starkregen, vorzubeugen“.

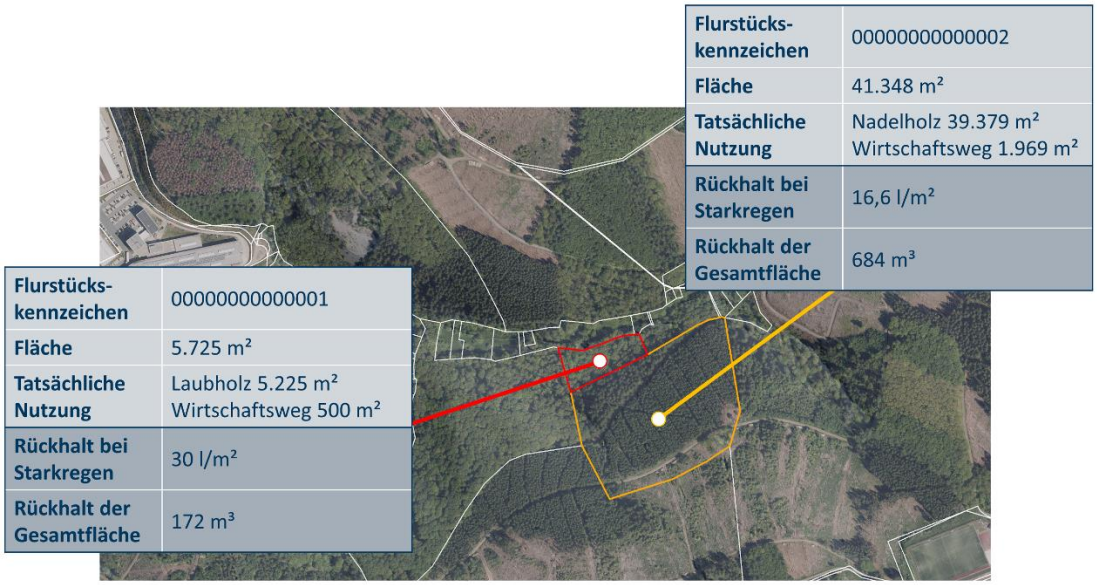


Abbildung 19: Exemplarische Darstellung der Wasserspeicherkapazität von zwei bewaldeten Flurstücken im Kreis Siegen-Wittgenstein basierend auf bodenhydrologischen Modellierungen für ein 100-jährliches Starkregenereignis (Eigene Darstellung).

»Ziel aus Sicht der Überflutungsvorsorge muss es zunächst sein, das Niederschlagswasser dort zu halten, wo es anfällt. Aus gesamtwasserwirtschaftlicher Perspektive und zum Erhalt des Mikroklimas sollte das Niederschlagswasser zudem vor Ort versickert werden, um lokal die Grundwasserneubildung und den Wasserkreislauf zu stärken.«
Ansätze, das Wasser zwischenzuspeichern und im Anschluss gedrosselt in Gewässer oder die Kanalisation abzuleiten, wie es nicht nur bei Regenrückhaltebecken, sondern auch meist bei der multifunktionalen Flächennutzung verfolgt wird, erfüllen den vorgenannten Anspruch jedoch nicht oder nur bedingt. Standörtliche Bedingungen wie eine geringe Durchlässigkeit des Untergrundes oder die begrenzte Flächenverfügbarkeit führen jedoch dazu, dass entsprechende Maßnahmen in der Praxis bevorzugt zum Einsatz kommen.

Waldumwandlungen finden heute allerdings vor allem im Zusammenhang mit der Ausweisung von Industrie- und Gewerbegebieten statt. Insbesondere diese Nutzungen bieten aufgrund meist ausgeprägter Parkplatzflächen und großflächiger Flachdächer jedoch das Potenzial, den Verlust der Wasserspeicherkapazität durch Elemente wie Retentionsdächer, als spezielle Form von Dachbegrünungen, und unterirdische Mulden-Rigolen-Systeme und Retentionsbecken zu kompensieren. Damit dies Berücksichtigung findet, sollten solche im Zuge der verbindlichen Bauleitplanung in Bebauungsplänen festgesetzt werden. Großes Potenzial haben in diesem Zusammenhang zudem ganzheitliche Regenwasserbewirtschaftungskonzepte, die den Regenrückhalt mit der Bevorratung von Löschwasser und/oder der Nutzung des Regenwassers als Brauchwasser kombinieren.

»Zum Erhalt und zur Stärkung der kommunalen Überflutungsvorsorge wird empfohlen, bei Entwaldungen neben den forst- und naturschutzrechtlichen Ausgleichsmaßnahmen stets auch eine ortsbezogene Kompensation des Verlustes der natürlichen Wasserspeicherkapazität im Rahmen der Bauleitplanung zu berücksichtigen.«

8 KOMPAKTE ZUSAMMENFASSUNG DES LEITFADENS

In den vergangenen Jahren haben Starkregenereignisse in vielen Regionen zu erheblichen Überflutungsschäden geführt. Gleichzeitig wird im Zuge des Klimawandels eine Zunahme solcher Ereignisse für viele Gegenden prognostiziert. Im Kontrast dazu stehen die zunehmenden Dürreperioden, deren Folgen nicht zuletzt in vielen Wäldern bereits sichtbar sind: abgestorbene Bäume und kahlgeschlagene Hänge aufgrund von Trockenstress und Borkenkäferbefall. Zudem ist auch der tägliche Flächenverbrauch in Deutschland nach wie vor unverändert hoch und trägt zur Erhöhung von Überflutungsgefahren bei.

Wälder tragen in erheblichem Maße zum Wasserrückhalt und damit zur Überflutungsvorsorge von Kommunen bei, da sie in intaktem und naturnahem Zustand die Auswirkungen extremer Niederschlagsereignisse verringern können. Dabei weist kaum eine andere „biologische Hochwasserschutzmaßnahme“ so viele positive Synergieeffekte wie Wald auf: Luftreinigung, CO_2-Senke, Förderung der Grundwasserneubildung, Verbesserung des Mikroklimas, Boden-/Erosionsschutz u. v. m.

Dennoch erhalten Wälder insbesondere im Kontext von Starkregenereignissen noch nicht die notwendige Aufmerksamkeit. Weiterhin werden große Flächen entwaldet und der Schutz des Waldbodens bei der Bewirtschaftung häufig vernachlässigt. Dabei sind speziell flachgründige Mittelgebirgsböden anfällig für Schadverdichtung. Gleichzeitig basiert die Ableitung des Niederschlagswassers von den forstlichen Wegen oftmals ausschließlich auf der Erfahrung der ausführenden Unternehmen. Zusätzlich werden die Auswirkungen von Starkregenereignissen in den Planungen noch nicht ausreichend einbezogen und auch die vorhandenen Potenziale nicht ausgeschöpft.

All dies kann dazu führen, dass sich die Überflutungsgefährdung von Kommunen verschärft. Gleichzeitig gehen den Wäldern dadurch auch bei häufig auftretenden Regenereignissen Wassermengen verloren, die im Kontext zunehmender Trockenheit und sinkender Grundwasserstände von hoher Bedeutung sind. **Von der Verbesserung des Wasserrückhalts in Waldflächen und dem Ziel, „Das Wasser im Wald halten“ können damit nicht nur Kommunen, sondern auch die Wälder und letztendlich die Forstwirtschaft profitieren.**

Mithilfe des vorliegenden Leitfadens sollen Waldflächen stärker in den Fokus der kommunalen Überflutungsvorsorge gerückt werden – sowohl als Potenzialflächen, aber auch als potenzielle Problembereiche. **Der Leitfaden hat dabei drei zentrale Empfehlungen:**

1. »Waldflächen müssen als elementare Bausteine der kommunalen Überflutungs- und Hochwasservorsorge verstanden und erhalten werden.«

2. »Der dezentrale Rückhalt von Oberflächenabflüssen in Waldflächen muss verbessert werden.«

3. »Bei Entwaldungen im Zuge von Bauprojekten sollte der Verlust der natürlichen Retentionskapazität im Sinne eines Verschlechterungsverbots vor Ort kompensiert werden.«

Der im Rahmen des Projekts WaldAktiv erarbeitete Leitfaden gibt Handlungsempfehlungen und beleuchtet rechtliche, planerische und forstliche Aspekte der dezentralen Überflutungsvorsorge im Wald. Aufgrund der gesellschaftlichen Bewandtnis, im Speziellen mit Blick auf die Prognosen der Klimaforschung zu Starkregengefahren, richtet er sich nicht nur an kommunale bzw. forstwirtschaftliche Agierende und Entscheidungstragende der Politik, sondern bietet eine breite Grundlage für ein gesellschaftlich relevantes Thema.

Essenziell für die zielführende Verbesserung des Wasserrückhalts in Waldflächen ist die frühzeitige Beteiligung und enge Abstimmung zwischen den Agierenden der Kommunen und der Forstwirtschaft. Dies spielt insbesondere in Regionen eine wichtige Rolle, die durch einen hohen Anteil an Privatwald gekennzeichnet sind, da variierende Besitzverhältnisse und Zuständigkeiten Planungen erschweren können. Hierdurch können auch die auf den ersten Blick unterschiedlichen und widersprüchlichen Erwartungen an die Wälder harmonisiert, Synergiepotenziale und Fördermöglichkeiten bestmöglich genutzt sowie Maßnahmen effizient geplant und umgesetzt werden. Ziel muss es sein, den Wasserrückhalt in den Waldflächen, systematisch und unter Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Daten und unter Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen zu verbessern.

Bei der Maßnahmenplanung muss der Fokus dabei vermehrt auf die Ursachen der Oberflächenabflüsse gelegt werden. Der Wasserrückhalt nah am Ort der Entstehung ist dabei für die Überflutungsvorsorge und die Waldbestände essenziell. Große, technische Maßnahmen können diesem Anspruch üblicherweise nicht gerecht werden. Da Überflutungsgefährdungen in der Regel aus vielen über die Einzugsgebiete verteilten Problembereichen resultieren, bedarf es auch der Planung und Umsetzung vieler kleiner und den Standortbedingungen angepasster Maßnahmen in diesen Ursprungsbereichen. Entsprechende Maßnahmen fügen sich zudem besser in die Landschaft ein und sind auch aus ökologischer Sicht verträglicher.

Im Fokus steht hierbei die Unterbrechung der auf Linienstrukturen wie Wegen und Gräben infolge von Regenereignissen fließenden sogenannten linearen Abflüsse, mit dem Ziel, Niederschlagswasser in den angrenzenden Waldbereichen zu versickern und so die Fließstrecken zu verlängern und Abflussspitzen zu dämpfen. **Durch die Zwischenspeicherung und Versickerung von Abflüssen in Retentionsmulden kann bzw. muss der Rückhalt im Wald zudem gestärkt werden.**

Auf dem Weg zur Anerkennung von Waldflächen als Bausteine der kommunalen Überflutungsvorsorge bieten sogenannte Fließweganalysen auf Grundlage von hochaufgelösten Geländemodellen in diesem Zusammenhang einerseits eine gute Arbeitsgrundlage und andererseits für die Politik und Entscheidungstragende gewinnbringende Einblicke. **Fließweganalysen und die darauf basierende Ermittlung linearer Abflüsse können die entscheidende Schnittstelle zwischen etablierter Wegplanung und -gestaltung im Forst sowie der komplexen hydrologischen Modellierung entstehender Oberflächenabflüsse darstellen.** Hierfür leistet der vorliegende Leitfaden einen wichtigen Beitrag.

So lässt sich das Bewusstsein für die hohe Bedeutung intakter Waldflächen für den Wasserhaushalt schaffen, damit dies auch bei

Planungsvorhaben auf kommunaler Ebene berücksichtigt und die Flächen in die Überflutungsvorsorge eingebunden werden können: Denn Wälder bieten Schutz für die oftmals dichtbesiedelten Tallagen. **Der Leitfaden gibt in diesem Zusammenhang Hinweise, wie Problembereiche und Potenzialflächen identifiziert werden können und durch welche wasser- und waldbaulichen Maßnahmen der Rückhalt verbessert werden kann.**

Der Umgang mit Starkregenereignissen und Überflutungen wird zukünftig vermehrt im Fokus der Planungen zahlreicher Kommunen stehen. Waldflächen sind im Kontext der Überflutungsvorsorge in vielen Regionen ein essenzieller Baustein und müssen umfassender geschützt werden. Hierzu sollte der politische Schwerpunkt aktiv gestärkt und die wichtige Rolle von Wäldern, insbesondere auch im Zuge des fortschreitenden Klimawandels, für die Überflutungsvorsorge stets hervorgehoben werden. Denn die Erfahrung zeigt, dass fehlende politische Schwerpunkte in vielen Kommunen dazu führen, dass Klimaanpassungsmaßnahmen nicht im nötigen Umfang ergriffen werden. Nicht zuletzt aufgrund damit einhergehender begrenzter personeller und finanzieller Ressourcen.

Der Erhalt und die Verbesserung des Wasserrückhalts in Waldflächen trägt nicht nur zur Verminderung von Überflutungen bei, sondern geht auch mit positiven Synergieeffekten für die Waldbestände und die Klimaanpassung im Allgemeinen einher. Dieser multifunktionale Nutzen sollte in Entscheidungsprozessen immer mitberücksichtigt werden, denn inzwischen leiden nicht nur Monokulturen unter dem Klimawandel, sondern auch für naturnahe Wälder stellt er eine große Herausforderung dar.

Aktuelle Entwicklungen wie die großflächigen Kahlflächen in vielen Regionen sollten in diesem Zusammenhang als Chancen gesehen werden, nicht nur um klima- und standortangepasste Mischbestände zu etablieren, sondern auch um den Wasserrückhalt im Wald zu stärken.

QUELLENVERZEICHNIS

Auerswald, K. (2017): Abflusswege und Hochwasserbildung im Simbach-Einzugsgebiet. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.), Starkregen, Bodenerosion, Sturzfluten, Beobachtungen und Analysen im Mai/Juni 2016. Schriftenreihe, S. 111–118.

Backes, C., Gallus, M., Schüler, G. & Vasel, R. (2007): Entschärfung von linearen Abflüssen durch vorsorgende Waldwegebautechnik. In: G. Schüler, I. Gellweiler & S. Seeling (Hrsg.), Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende Maßnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im Siedlungswesen, Das INTERREG IIIB NWE Projekt WaReLa - Ergebnisse aus vier Jahren Umsetzung und Forschung für einen nachhaltigen Hochwasserschutz in der Fläche. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) Rheinland-Pfalz, Nr. 64/07, S. 51–60, ISSN 1610-7705.

BauGB (2017): Baugesetzbuch (BauGB), Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 12. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 184) geändert worden ist.

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG), Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 25. Februar 2021 (BGBl. I S. 306) geändert worden ist.

Benden, J., Broesi, R., Illgen, M., Leinweber, U., Lennartz, G., Scheid, C. & Schmitt, T. G. (2017): Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL Publikation.

BfN (2020): Wälder im Klimawandel: Steigerung von Anpassungsfähigkeit und Resilienz durch mehr Vielfalt und Heterogenität. Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hrsg.). 2. korrigierte Version, Bonn - Bad Godesberg.

Bieker, D., Elmer, M., Wittjen, K. & Linnemann, B. (2018): Mehr Wasser für feuchte Wälder und Moore, AFZ-DerWald (2), S. 13–15.

Billen, N., Kempf, J., Assmann, A., Puhlmann, H. & Wilpert, K. von (2017): Klimaanpassung durch Stärkung des Wasser- und Bodenrückhalts in Außenbereichen (KliStaR). KLIMOPASS-Berichte. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (Hrsg.), Karlsruhe.

BMEL (2018): Waldböden in Deutschland, Ausgewählte Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg.), Bonn.

BNatSchG (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG), Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2240) geändert worden ist.

Burghardt, W., Demuth, N. & Meuser, A. (1998): Leitfaden Flächenhafte Niederschlagswasserversickerung, Handlungsempfehlungen für Planer, Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Mainz.

BWaldG (1975): Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz – BWaldG), Bundeswaldgesetz vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), das zuletzt durch Artikel 112 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.

Deutscher Bundestag (2022): Hochwasserschutz und Trockenheitsprävention im Wald, Sachstand, Wissenschaftliche Dienste, WD 8 - 3000 - 067/22, 13.10.2022.

DIN 14210 (2019): DIN 14210:2019-06, Künstlich angelegte Löschwasserteiche, Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN 19700 (2004): DIN 19700:2004-07, Stauanlagen, Teil 10 bis 15, Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN 1986-100 (2016): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056, Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN EN 752 (2017): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement; Deutsche Fassung EN 752:2017, Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DVL (2021): Verbesserung des natürlichen Wasserrückhaltes in der Agrarlandschaft, Nr. 29 der DVL-Schriftenreihe „Landschaft als Lebensraum“, Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) e. V., Ansbach, ISSN 2197-5876.

DVWK-M 238 (1996): Merkblatt DVWK-M 238, Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK), Bonn.

DWA-A 118 (2006): Arbeitsblatt DWA-A 118, Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. DWA-Regelwerk. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

DWA-A 138 (2005): Arbeitsblatt DWA-A 138, Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). 2., red. korrigierte Aufl., Hennef.

DWA-A 138-1 (2020): Arbeitsblatt DWA-A 138-1, Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb. DWA-Regelwerk. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Entwurf, November 2020, 1. Auflage, Hennef.

DWA-A 904-1 (2016): Arbeitsblatt DWA-A 904-1, Richtlinien für den ländlichen Wegebau (RLW), Teil 1: Richtlinien für die Anlage und Dimensionierung Ländlicher Wege. DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), 1. Auflage, korrigierte Fassung November 2018, Hennef.

DWA-M 119 (2016): Merkblatt DWA-M 119, Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. DWA-Regelwerk. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

DWA-M 522 (2015): Merkblatt DWA-M 522, Kleine Talsperren und kleine Hochwasserrückhaltebecken. DWA-Regelwerk. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

DWA-M 550 (2015): Merkblatt DWA-M 550, Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasser-

minderung. DWA-Regelwerk. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

DWD (2021): Dauerregen kontra Starkregen oder doch gemeinsame Sache?, Deutscher Wetterdienst (DWD), online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2021/7/24.html (zuletzt aufgerufen am 04.07.2023).

DWD (2022): RADKLIM-Bulletin Nr. 02 – 2022, Projekt-Rundschau, Panorama und Werkstatt. Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Hydrometeorologie, Referat Niederschlagsüberwachung.

DWD (2023): Wetterlexikon: Starkregen, Deutscher Wetterdienst (DWD), online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Starkregen.html (zuletzt aufgerufen am 04.07.2023).

Fobatec (2014): Waldstrassen und Gerinnequerungen, Tagungsunterlagen Einsiedeln, 2.10.14, Fachstelle für forstliche Bautechnik (Fobatec), online verfügbar unter: http://www.fobatec.ch/fileadmin/user_upload/customers/fobatec/09Unterlagen/Tagungsunterlagen/Tagungsunterlage_14_rev1.pdf (abgerufen am 04.07.2023).

ForstBW (2017): Hinweise zum forst- und naturschutzrechtlich konformen Vorgehen bei Erschließungsmaßnahmen im Wald, Stand: 01.02.2017, ForstBW PRAXIS, Forst Baden-Württemberg.

Fraunhofer UMSICHT (2021): TyreWearMapping, Schlussbericht, Digitales Planungs- und Entscheidungsinstrument zur Verteilung, Ausbreitung und Quantifizierung von Reifenabrieb in Deutschland, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen.

Grim, S. (2012): Abflusslose Senken – Instrumente in der Landschaftsanalyse und Indikatoren rezenter Krustenbewegungen, Dissertation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Gürke, S., Bender, J. & Jensen, J. (2018): Simulation von Starkniederschlägen im Stadtgebiet Siegen – Möglichkeiten und Grenzen topografischer Gefährdungsanalysen. In: Lehmann, B. & Schmalz, B. (Hrsg.), Tagungsband zum 20. Treffen junger WissenschaftlerInnen deutschsprachiger Wasserbauinstitute vom 29. bis 31. August 2018 in Darmstadt, Heft 156, Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt, ISSN 1430-3434.

Hänsel, S., Lengfeld, K., Walawender, E., Brendel, C., Palarz, A., Stanley, K., Junghänel, T., Rauthe, M., Winterrath, T. & Weigl, E. (2023): Starkregen in Deutschland - Kein Thema in Trockenjahren?, Korrespondenz Wasserwirtschaft, 16 (2), S. 82–89.

Hegg, C. (2006): Waldwirkung auf Hochwasser. In: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (Hrsg.), Wald - Schutz vor Hochwasser?, Beiträge zum Symposium am 27. April 2006, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. LWF Wissen, Bd. 55, S. 29–33.

Hümann, M., Schüler, G., Müller, C., Schneider, R., Johst, M. & Caspari, T. (2011): Identification of runoff processes – The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods, Journal of Hydrology, 3-4 (409), S. 637–649, doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.08.067

Jay, M., Selter, A., Schraml, U. & Wurster, M. (2015): Urbaner Wald: Urbane Lebensqualität, Die vielfältigen Ökosystemleistun-

gen urbaner Wälder sichtbar machen, Handlungsleitfaden, Professur für Forst- und Umweltpolitik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Berlin/Freiburg.

KlAnG (2021): Klimaanpassungsgesetz Nordrhein-Westfalen (KlAnG), Fassung vom 16.07.2021.

Kohl, B., Klosterhuber, R., Hotter, M. & Markart, G. (2008): Steuerung des Oberflächenabflusses durch standortoptimierte Waldbewirtschaftung, INTERPRAEVENT 2008 – Conference Proceedings, Vol. 2, S. 517–528.

Land RLP (2002): Empfehlungen Waldwegebau 2002, Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Waldwegen im Staatswald des Landes Rheinland-Pfalz.

Langmasius, D., Stäbler, S. & Beck, S. (2018): Wald und Wasser – in Maßen notwendig, in Massen ein Problem?, WasserWirtschaft (11), S. 71–74.

LANUV NRW (2021): Daten und Fakten zum Klimawandel, Sauer- und Siegerland, Stand November 2021. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW), Recklinghausen.

Linnemann, B., Elmer, M., Bieker, D., Hochhäuser, H.-P. & Wälter, T. (2018): Fit für den Klimawandel: Anpassung von Feuchtwäldern, AFZ-DerWald (2), S. 10–12.

LNatSchG NRW (2000): Gesetz zum Schutz der Natur in Nordrhein-Westfalen (Landesnaturschutzgesetz – LNatSchG NRW), Landesnaturschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Juli 2000.

LWF (2017): Hochwasserangepasste Waldbewirtschaftung, LWF-Merkblatt Nr. 36. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (Hrsg.).

LWG NRW (1995): Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (Landeswassergesetz - LWG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 1995.

Macher, C. (2008): Wenn Bäumen das Wasser bis zum Hals steht, Eine bayernweite Umfrage zur Hochwassertoleranz von Waldbäumen. LWF aktuell. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).

Markart, G.& Kohl, B. (2013): Wie viel Wasser speichert der Waldboden?, BFW-Praxisinformation (19), S. 25–26.

Markart, G., Kohl, B. & Perzl, F. (2006): Der Bergwald und seine hydrologische Wirkung - eine unterschätzte Größe? In: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (Hrsg.), Wald - Schutz vor Hochwasser?, Beiträge zum Symposium am 27. April 2006, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. LWF Wissen, Bd. 55, S. 34–43.

Markart, G., Perzl, F., Lechner, V., Kohl, B., Hauser, P., Geitner, C., Meißl, G., Pircher, G., Scheidl, C., Stepanek, L. & Teich, M. (2020): Handlungsanleitung – Optimierung der hydrologischen Wirkung von Schutzwäldern. Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren, Innsbruck, doi: 10.13140/RG.2.2.19306.06083

MELFF MV (2004): Forstlicher Wegebau im Landeswald M-V. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (MELFF MV), Schwerin.

MLR BW (2018): Merkblatt zur Förderung der forstlichen Infrastruktur, Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz über die Gewährung von Zuwendungen für Nachhaltige Waldwirtschaft (VwV NWW), Ministerium

für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR BW).

Moeschke, H. (1998): Abflussgeschehen im Bergwald. Untersuchungen in drei bewaldeten Kleineinzugsgebieten im Flysch der Tegernseer Berge, Forstliche Forschungsberichte München.

Müller, R.& Mohaupt, F. (2019): Stadtgrün ist weder Luxus noch Verhandlungsmasse, Policy Paper für kommunale Akteure, die sich für Grünflächen und Begrünung in der Stadt einsetzen. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin.

MULNV NRW (2018): Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement, Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV NRW), Düsseldorf.

MULNV NRW (2021): 15-Punkte-Offensive zur Klimaanpassung in Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV NRW).

MURL NRW (1999): Leitbild für den nachhaltsgerechten forstlichen Wegebau in Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (MURL NRW).

Nordmann, B. (2011): Einfluss der Forstwirtschaft auf den vorbeugenden Hochwasserschutz – Integrale Klassifizierung abflusssensitiver Waldflächen, Dissertation, Technische Universität München.

Puhlmann, H., von Wilpert, K. & Sucker, C. (2013): Können Wälder sicheren Hochwasserschutz bieten?, AFZ-DerWald (13), S. 9–11.

Puhlmann, H., Hartmann, P., Mahlau, L., von Wilpert, K., Huber, A., Moos, J. H., Jansone, L. & Drews, L. (2021): Regenerationsorientierte Bodenschutzkalkung in den Wäldern Baden-Württembergs, Evaluierung der Umsetzung und der Wirksamkeit des Kalkungsprogramms in den Jahren 2010 bis 2019, Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 104, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), ISSN 1436-1566.

Reinhardt-Imjela, C., Imjela, R., Bölscher, J. & Schulte, A. (2018): The impact of late medieval deforestation and 20th century forest decline on extreme flood magnitudes in the Ore Mountains (Southeastern Germany), Quaternary International (475), S. 42–53, doi: 10.1016/j.quaint.2017.12.010

Sartor, J.& Kreiter, T. (2007): Hochwasserrückhalt durch naturnahe Waldwirtschaft und Kleinrückhalte. In: G. Schüler, I. Gellweiler & S. Seeling (Hrsg.), Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende Maßnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im Siedlungswesen, Das INTERREG IIIB NWE Projekt WaReLa - Ergebnisse aus vier Jahren Umsetzung und Forschung für einen nachhaltigen Hochwasserschutz in der Fläche. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) Rheinland-Pfalz, Nr. 64/07, S. 61–72, ISSN 1610-7705.

Schüler, G. (2007): Das INTERREG IIIB NWE Projekt WaReLa – Verminderung der Hochwassergefahr durch Landnutzung. In: G. Schüler, I. Gellweiler & S. Seeling (Hrsg.), Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende Maßnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im Siedlungswesen, Das INTERREG IIIB NWE Projekt WaReLa - Ergebnisse aus vier Jahren Umsetzung und Forschung für einen nachhaltigen

Hochwasserschutz in der Fläche. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) Rheinland-Pfalz, Nr. 64/07, S. 3–6, ISSN 1610-7705.

Schüler, G., Gellweiler, I. & Seeling, S. (2007): Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende Maßnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im Siedlungswesen, Das INTERREG IIIB NWE Projekt WaReLa - Ergebnisse aus vier Jahren Umsetzung und Forschung für einen nachhaltigen Hochwasserschutz in der Fläche. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) Rheinland-Pfalz, Nr. 64/07, ISSN 1610-7705.

Schwanghart, W.& Scherler, D. (2014): TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences, Earth Surface Dynamics, 2 (1), doi: 10.5194/esurf-2-1-2014

SenUVK (2020): Leitfaden zur Waldumwandlung und zum Waldausgleich im Land Berlin, Band 1: Voraussetzungen für eine Waldumwandlung, Stand April 2020, Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenUVK) (Hrsg.), Berlin.

Staatsbetrieb Sachsenforst (2022): Merkblatt Naturschutzrechtlich konformes Vorgehen bei Erschließungsmaßnahmen im Wald, 25.03.2022.

StEB Köln (2017): Leitfaden für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung in Köln, Empfehlungen und Hinweise für eine zukunftsfähige Regenwasserbewirtschaftung und für die Überflutungsvorsorge bei extremen Niederschlagsereignissen. Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR (StEB Köln). 2. Auflage, Köln.

Steinbrich, A., Leistert, H. & Weiler, M. (2016): Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution, Environmental Earth Sciences (75) 1423, doi: 10.1007/s12665-016-6234-9

Wald und Holz NRW (2017): Regionalforstamt Siegen-Wittgenstein, Ein starker Partner.

WBW (2022): Mehr als „Gute fachliche Praxis“ – Vorschlag für eine anpassungsfähige Governance zum Erhalt resilienter Wälder und ihrer Ökosystemleistungen in Zeiten des globalen Wandels. Stellungnahme. Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (Hrsg.), Berlin.

WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG), Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 3. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 176) geändert worden ist.

Zemke, J. (2014): Messung, Simulation und Modellierung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag auf Wirtschaftswegen in bewaldeten Einzugsgebieten, Dissertation, Universität Koblenz-Landau.

ANHANG

Fließweganalysen

Datengrundlage

Grundlage von Fließweganalysen sind hochaufgelöste Digitale Geländemodelle (DGM), die in der Regel flächendeckend auf Landesebene zur Verfügung stehen und auf flugzeuggestütztem Laserscanning basieren. Je nach Bundesland liegen die Punktdaten regelmäßig verteilt (z. B. DGM1 mit einem Punktabstand von 1 m) und/oder als unregelmäßige Punktverteilung (z. B. in NRW als 3D-Messdaten mit einer mittleren Punktdichte von 4 bis 10 Punkten pro m²) vor. Da DGM für die Analysen im Rasterformat vorliegen müssen, werden diese üblicherweise mithilfe von GIS auf ein regelmäßiges quadratisches Raster interpoliert. Ein großer Vorteil der Analysen ist die geringe Anzahl erforderlicher Datensätze.

Empfehlungen und Hinweise

- Während sich in waldreichen Kommunen oftmals eine Betrachtung des Gesamtgebietes anbietet, ist in waldarmen Regionen auch eine kleinräumige Betrachtung denkbar. Die räumliche Abgrenzung der Gebiete sollte dabei jedoch immer unter Berücksichtigung der hydrologischen Einzugsgebiete erfolgen. Zudem ist zu beachten, dass die Ergebnisse von Fließweganalysen nicht nur in Wald- und Außengebieten, sondern auch in urbanen Bereichen hilfreiche Hinweise für die kommunale Überflutungsvorsorge bieten.
- Werden auch urbane Bereiche betrachtet, kann im Hinblick auf potenzielle Fließhindernisse die Implementierung von Gebäudehöhen und des Fließgewässernetzes notwendig sein.
- Um sicherzustellen, dass auch kleinräumige Geländestrukturen wie z. B. Rückegassen ausreichend genau abgebildet werden, sollte die Auflösung des DGM und des interpolierten Rasters nicht größer als 1 m sein. Im Projekt WaldAktiv hat sich für die Analysen ein 0,5 m-Raster bewährt, dass auf Basis der hochaufgelösten 3D-Messdaten erstellt wurde.

Methodik

Die Berechnung der Fließwege basiert auf der Annahme, dass die Fließrichtung ausschließlich durch die Topografie bzw. das Gefälle der Geländeoberfläche beeinflusst wird. Die Berechnung kann dabei mit verschiedenen Methoden erfolgen, wobei sich die sogenannte D8-Methode, bei der sich die Fließrichtung einer Rasterzelle in die der acht Nachbarzellen ergibt, zu der das größte Gefälle besteht, als praktikabel erwiesen hat. Da für die Analysen ein Geländemodell benötigt wird, das keine Senken aufweist, werden diese in den Berechnungen mit GIS-Werkzeugen automatisch aufgefüllt. Aus der Differenz des ursprünglichen und des aufgefüllten Rasters folgt die Lage von Geländetiefpunkten bzw. Geländesenken.

Empfehlungen und Hinweise

- Fließweganalysen können mit gängigen GIS wie z. B. der Open-Source-Software QGIS erstellt werden. Während dies in gut ausgestatteten Kommunen mitunter sogar in Eigenleistung möglich ist, werden diese nicht zuletzt bei größeren Gebieten meist von Ingenieurbüros durchgeführt. Zudem ist im Gegensatz zu hydrodynamisch-numerischen Modellierun-

gen, mit denen in der Regel Starkregengefahrenkarten berechnet werden, nur wenig Fachwissen erforderlich. Für die im Rahmen von WaldAktiv durchgeführten Fließweganalysen wurde die MATLAB®-basierte TopoToolbox 2 (Schwanghart & Scherler, 2014) genutzt.

- Die Analysen basieren allein auf der Topografie, d. h. eine Betrachtung von Niederschlagsmengen und weiteren Parametern (z. B. Bodeneigenschaften), die sich in der Realität z. B. auf das Abflussvolumen auswirken, findet nicht statt.

Ergebnisse

Mithilfe von Fließweganalysen werden im Wesentlichen zwei Geodatensätze erstellt, die wichtige Hinweise bei Planungen im Kontext der Überflutungsvorsorge liefern:

- **Fließwege** stellen den potenziellen Verlauf von Oberflächenabflüssen auf der Geländeoberfläche in Form von Linien dar und beinhalten Informationen über die Größe der korrespondierenden oberirdischen Einzugsgebiete. Prinzipiell kann dabei davon ausgegangen werden, dass mit zunehmender Einzugsgebietsgröße auch das Abflussvolumen zunimmt.
- **Geländesenken** stellen die Lage von natürlichen oder anthropogen bedingten Geländesenken dar, wobei deren Ausdehnung und Tiefe einer theoretisch maximal möglichen Füllung entspricht. Entsprechende Geländesenken weisen z. B. auf Bereiche hin, in denen sich bei Starkregenereignissen Wasser sammeln kann. Mittels GIS kann zudem das Senkenvolumen ermittelt werden.

Empfehlungen und Hinweise

- Zur Darstellung empfiehlt es sich, die Fließwege in Abhängigkeit der akkumulierten Einzugsgebietsgröße zu klassifizieren. Dabei stellt die Visualisierung ab einer Einzugsgebietsgröße von 500 m² einen guten Kompromiss zwischen Informationsgehalt und Übersichtlichkeit dar und erleichtert zudem die Abgrenzung der Flächen von (Teil-)Einzugsgebieten.
- Fließweganalysen weisen methodisch bedingte Vereinfachungen auf (vgl. Abschnitt Datengrundlage und Methodik sowie z. B. Gürke et al. (2018)), wodurch auch der Genauigkeit und Aussagekraft der Ergebnisse Grenzen gesetzt sind. Die Ergebnisse sollten daher stets kritisch betrachtet werden.

Empfehlungen und Hinweise zur Veröffentlichung der Ergebnisse

- Die Veröffentlichung der Ergebnisse in webbasierten kommunalen Geoportalen ist zu empfehlen, da so auch Agierenden ohne GIS der Zugriff auf die Daten ermöglicht wird. Hierbei sollte stets auch eine Interpretations- bzw. Lesehilfe zur Verfügung gestellt werden.
- Es empfiehlt sich zudem, weitere Datensätze bzw. Karten einzubinden (z. B. ALKIS, Geländeschummerung, Hangneigung, Orthophotos). In vielen Bundesländern stehen entsprechende Daten als Onlinedienste zur Verfügung, die in die Geoportale eingebunden werden können (z. B. als WMS – Web Map Service).
- Für Planende kann zudem die Bereitstellung der Geodaten und die Implementierung in die kommunalen GIS sinnvoll sein, da so eine weitergehende Auswertung der Daten wie z. B. die Verschneidung mit anderen Datensätzen erleichtert wird.