

Arbeitshilfen für den Umgang mit Regenwasser – Regenrückhaltung –

Herausgeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) 76157 Karlsruhe, Postfach 21 07 52 www.lfu.baden-wuerttemberg.de
Bearbeitung	Umweltministerium Baden-Württemberg Regierungspräsidium Karlsruhe Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Landratsamt Freudenstadt Landratsamt Zollernalbkreis
Redaktion	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Referat 41 – Fließgewässer, Integrierter Gewässerschutz
Bezug	als Download im Internet der LfU www.lfu.baden-wuerttemberg.de Veröffentlichungen / Siedlungswasserwirtschaft
Stand	Juni 2006, 1. (veränderte) Auflage

Nachdruck - auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Inhaltsverzeichnis

1.	Anwendungsbereich.....	2
2.	Allgemeines zur Ableitung von Regenwasser	2
3.	Fallgestaltungen und angepasste Maßnahmen	3
3.1.	Erhaltung der natürlichen Eigendynamik bei Gewässern mit weitgehend natürlichem Abflussregime	4
3.2.	Stabilität des Gewässerbettes bei Gewässern mit verändertem Abflussregime	5
3.3.	Übergangslösungen	6
4.	Bemessung der Rückhalteanlage	6
Anhang 1: Hydraulische Berechnung		7
a)	Abfluss bei vorgegebener Sohlschubspannung.....	7
b)	Fließgeschwindigkeit bei vorgegebenem Abfluss	9
Anhang 2: Berechnungsbeispiel		10
a)	Nachweis der Stabilität des Gewässerbetts mit hydraulischer Berechnung nach Ziff. 3.2 und Anhang 1	11
b)	Ermittlung des maximalen Einleitungszuflusses und der maßgeblichen Fließstrecke von 30 Minuten anhand der bestehenden Einleitungszuflüsse	12
c)	Berechnung des Regenwasserabflusses aus dem Baugebiet	13
d)	Bemessung der Rückhalteanlage.....	13
	Anwendung des einfachen Verfahrens nach Arbeitsblatt ATV-DVWK A117	13
	Langzeitsimulation.....	14
Anhang 3: Abkürzungen		16
Anhang 4: Literaturverzeichnis		17

1. Anwendungsbereich

Die in dieser Arbeitshilfe vorgestellten Bemessungsansätze sind auf die Einleitung aller niederschlagsbedingten Abflüsse von

- Regenwasser aus Trennsystemen,
- Straßenoberflächenwasser,
- Entlastungsabflüssen aus Mischsystemen

in oberirdische Gewässer anzuwenden. Die Anwendung soll in einem ersten Schritt auf neue Einleitungen angewandt werden. Bestehende sind ggf. bei vorhandenen Problemen (z. B. Erosionserscheinungen) im Gewässer entsprechend zu behandeln. Für Gebiete, die durch modifizierte Systeme entwässert werden, gilt zusätzlich eine besondere Betrachtungsweise (vgl. Ziff. 4).

Keine Regenrückhalteanlagen sind regelmäßig erforderlich bei Flüssen mit einer mittleren Wasserspiegelbreite von mehr als 5 m sowie bei größeren Teichen und Seen, deren Oberfläche mindestens 20 % der undurchlässigen Fläche A_u beträgt. Bei kleinen Teichen (Oberfläche < 20 % von A_u) ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich. Auch in Fällen außerhalb dieser Grenzen kann es zweckmäßig sein, über die vorgestellten Bemessungsansätze die Relevanz der Niederschlagswassereinleitung zu überprüfen.

Die hier beschriebenen Rückhalteanlagen sollen die lokale hydraulische Überlastung von Fließgewässern durch Regenwassereinleitungen vermeiden. Sie sind nicht geeignet, Hochwässer von regionaler Bedeutung oder Hochwässer mit einem Wiederkehrintervall von mehr als zwei Jahren in relevanter Weise zu beeinflussen. Anlagen zum Hochwasserschutz sind mit anderen Bemessungsansätzen zu planen. Dabei sind höhere Wiederkehrzeiten (> 20 Jahre) und längere Regendauern maßgebend.

2. Allgemeines zur Ableitung von Regenwasser

Die Ableitung des Regenwassers von befestigten Flächen und die folgende Einleitung in ein oberirdisches Gewässer stellt eine potenzielle Belastung für die aufnehmenden Gewässer dar. Dabei ist zu unterscheiden zwischen

- stofflichen Belastungen (z.B. dem Eintrag von Sauerstoff zehrenden Stoffen) und
- hydraulischen Belastungen aufgrund unnatürlich hoher Abflussspitzen durch Regenwassereinleitungen. Dies ist vor allem relevant bei größeren Siedlungsbereichen am Oberlauf kleinerer Gewässer.

Beide Belastungsarten haben ein vollständig unterschiedliches Wirkungsgefüge und müssen daher auch getrennt betrachtet werden. In dieser Arbeitshilfe werden ausschließlich die hydraulischen Belastungen und deren mögliche Verminderung durch Regenrückhalteanlagen behandelt.

Die zunehmende Versiegelung von Flächen mit ehemals natürlicher Verteilung der Wasserhaushaltskomponenten Abfluss, Versickerung und Verdunstung bewirkt erhöhte Niederschlagsabflüsse von diesen Flächen. Maßnahmen der naturverträglichen Regenwasserbe-

wirtschaftung können diese nur zum Teil kompensieren. Der bei weitem überwiegende Teil muss letzten Endes jedoch immer in ein oberirdisches Gewässer abgeleitet werden. Somit ist ein gegenüber dem ursprünglichen Zustand verändertes Abflussverhalten des Gewässers unvermeidbar. Dies kann zur Folge haben, dass trotz der hier vorgestellten Maßnahmen zur Rückhaltung der niederschlagsbedingten Abflüsse auch Maßnahmen am Gewässer – wie z. B. ein Gewässerausbau - erforderlich werden können.

Das Niederschlagswasser von versiegelten Flächen erreicht das Gewässer in der Regel lange bevor der Abflussscheitel des natürlichen Einzugsgebiets die Einleitungsstelle passiert. Die befestigten Flächen leiten den Regen schnell und ungedämpft ab, während auf natürlichen Flächen eine Abflussverzögerung z. B. durch Mulden und durch Vegetation erfolgt. Eine Rückhalteinlage, die ihrerseits den Regenabfluss von der versiegelten Fläche verzögert, kann durch das Aufeinandertreffen des Scheitelabflusses mit dem Drosselabfluss einen nachteiligen Effekt bewirken. Es ist deshalb immer zu prüfen, inwieweit eine Rückhalteinlage tatsächlich erforderlich und von Vorteil ist.

Mit dieser Arbeitshilfe wurden auf die Verhältnisse in Baden-Württemberg angepasste ursachen- und wirkungsbezogene Regelungen formuliert. Ihre Anwendung stellt eine landeseinheitliche Vorgehensweise sicher. Wichtigste Änderung gegenüber dem Merkblatt ATV-DVWK M153 [1] ist, dass der zulässige Einleitungsabfluss durch das hier vorgestellte Vorgehen ersetzt wird^{*)}.

3. Fallgestaltungen und angepasste Maßnahmen

Unnatürlich hohe Abflussspitzen durch Entlastungen von versiegelten Flächen können

- hydromorphologische Veränderungen durch übermäßige Erosionserscheinungen

und

- Veränderungen der Artenzusammensetzung durch zu häufige Abdrift oder Veränderung des Lebensraumes durch Erosionserscheinungen

zur Folge haben.

Die Erfassung und Bewertung der o.g. lokalen Veränderungen der Artenzusammensetzung durch Abdrift oder Erosion ist wissenschaftlich nicht geklärt. Daher sind hier - im Gegensatz zu stofflichen Belastungen oder bei Verschlammung der Gewässersohle - begründete Maßnahmenschwelen oder Zielvorgaben nicht möglich. Ferner kann davon ausgegangen werden, dass die Vermeidung von relevanten hydromorphologischen Veränderungen auch dazu führt, dass relevante Veränderungen der Artenzusammensetzungen unwahrscheinlicher werden. Auf spezielle Anforderungen zur Vermeidung von abdrift- oder erosionsbedingten Veränderung der Artenzusammensetzung wird daher verzichtet.

Bezüglich der Vermeidung von relevanten hydromorphologischen Veränderungen durch übermäßige Erosionserscheinungen müssen zwei Fallgestaltungen unterschieden werden:

^{*)} Das Merkblatt BWK M3 ist in Baden-Württemberg nicht anzuwenden

➤ **Gewässer mit weitgehend natürlichem Abflussregime**

Bei diesen Gewässern soll die natürliche hydromorphologische Eigendynamik möglichst erhalten, also allenfalls geringfügig erhöht werden. Das Vorgehen ist unter Ziffer 3.1 beschrieben.

Nur soweit es zur Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit erforderlich ist, dürfen die Betten solcher Gewässer durch Ausbaumaßnahmen stabilisiert werden. Derartige Maßnahmen führen zu einem Vorgehen nach Ziffer 3.2.

➤ **Gewässer, die nicht mehr über ihr ursprüngliches Abflussregime verfügen**

Relevant sind hier Gewässer, deren Überflutungsaueen abgeschnitten sind, oder die siedlungsbedingt bereits jetzt größere Wassermengen als im ehemals natürlichen Zustand abzuleiten haben. Bei solchen Gewässern ist die Eigendynamik bereits erhöht oder das Gewässerbett wurde künstlich stabilisiert. Hier geht es darum, durch Ausbau- oder Retentionsmaßnahmen die Erosion soweit einzugrenzen, dass das Gewässerbett stabil bleibt. Das Vorgehen ist unter Ziffer 3.2 beschrieben.

Abflussspitzen mehrerer dicht aufeinander folgender Einleitungen können sich im Fließgewässer überlagern. Bei der Beurteilung müssen deshalb alle Einleitungen innerhalb des relevanten Gewässerabschnitts betrachtet werden. Dieser Gewässerabschnitt wird anhand der Fließstrecke ermittelt, die innerhalb von 30 min bei der Fließgeschwindigkeit des einjährigen Hochwassers (HQ_1) zurückgelegt wird. Die Berechnung ist in Anhang 2 (Berechnungsbeispiel) erläutert.

Bei den in der Mehrzahl der Anwendungsfälle vorliegenden einfachen Systemen kann zur Beurteilung ungedrosselter Einleitungen der maßgebende Abfluss der befestigten Flächen vereinfacht mit dem Fließzeitverfahren mit 15-Minuten-Blockregen ($Q_{r15, n=1}$) ermittelt werden.

3.1. Erhaltung der natürlichen Eigendynamik bei Gewässern mit weitgehend natürlichem Abflussregime

Nach herrschender Fachmeinung wird die natürliche Eigendynamik eines Fließgewässers hauptsächlich durch die Hochwasserscheitel geprägt, die mit einem Wiederkehrintervall von ca. einem Jahr (HQ_1) auftreten. Verändert sich der Hochwasserscheitel im Bereich dieses Wiederkehrintervalls durch die Einleitung von Regenwasser nicht wesentlich, kann auch davon ausgegangen werden, dass sich die natürliche Eigendynamik nicht wesentlich ändert.

Durch Niederschlag-Abfluss-Simulation von vielen Szenarien im Auftrag der LfU Baden-Württemberg [2] wurde untersucht, wie sich die Hochwasserscheitel im Bereich der Jährlichkeit von $n = 1$ Jahr und damit die natürliche Eigendynamik durch Regenwassereinleitungen verändern.

- Es hat sich gezeigt, dass auch ohne Rückhaltung wesentliche Veränderungen nicht eintreten, solange der Einleitungsabfluss bei einem 15-Minuten Regen der Jährlichkeit 1 ($r_{15, n=1}$) den einjährigen Hochwasserabfluss im Gewässer (ohne Einfluss der betrachteten Siedlungsflächen) nicht überschreitet. $Q_{r15, n=1}^{*)} < HQ_1$
- Bei Überschreitung ist zur Vermeidung von wesentlichen Veränderungen der natürlichen Eigendynamik eine Rückhalteinlage erforderlich. Diese hat einen Drosselabfluss in Höhe des einjährigen Hochwasserscheitels im Gewässer (ohne Einfluss der Siedlungsflächen). $Q_{r15, n=1}^{*)} > HQ_1$
 $Q_{dr}^{*)} = HQ_1$

Die Hochwasserscheitel können aus Pegeldata oder als zweijährliche Hochwasserabflüsse (HQ_2) aus der Hochwasser-Regionalisierung [3] ermittelt werden. Im Zusammenhang mit diesen Arbeitshilfen gilt dies auch für sehr kleine Einzugsgebiete unter 5 km^2 . Eine Umrechnung in HQ_1 ist, falls die exakte Beziehung für HQ_1/HQ_2 nicht bekannt ist, vereinfachend für alle Gewässer nach der Beziehung $HQ_1 = 0,8 \cdot HQ_2$ möglich. Auskunft kann auch die zuständige untere Wasserbehörde der Stadtkreis- bzw. Landkreisverwaltung geben.

3.2. Stabilität des Gewässerbettes bei Gewässern mit verändertem Abflussregime

Bei solchen Gewässern ist eine Einleitung nach den Kriterien der Ziffer 3.1 in der Regel unkritisch. Soll darüber hinaus Regenwasser eingeleitet werden, sind weitere Untersuchungen erforderlich. Diese bestimmen den maßgeblichen Abfluss, der noch unschädlich im Gewässer abgeführt werden kann.

Der maßgebliche Gewässerabfluss ergibt sich aus

- Mittelwasserabfluss im Gewässer plus Einleitungsabfluss $Q \geq MQ + Q_{ein}^{*)}$
- Ohne Rückhaltung:
Einleitungsabfluss bei einem 15-Minuten Regen der Jährlichkeit 1 $Q_{ein} = Q_{r15, n=1}^{*)}$
- Mit Rückhaltung:
Einleitungsabfluss = gewählter Drosselabfluss aus Rückhalteinlage $Q_{ein} = Q_{dr}^{*)}$

Der Mittelwasserabfluss (MQ) kann aus der Regionalisierung der LfU [4] ermittelt werden. Auskunft kann auch die zuständige untere Wasserbehörde der Stadtkreis- bzw. Landkreisverwaltung geben.

Der Nachweis des Abflusses, bei dem das Gewässerbett noch gegen Erosion stabil ist, erfolgt durch hydraulische Berechnung nach Anhang 1.

^{*)} Bei der Beurteilung müssen alle Einleitungen innerhalb einer Fließstrecke von 30 min bei Abfluss des einjährigen Hochwassers betrachtet werden

3.3. Übergangslösungen

Eine Gesamtkonzeption für die Regenwassereinleitungen über einen größeren Gewässerabschnitt und unter Einbeziehung verschiedener Erlaubnisträger wird i. d. R. dann erforderlich, wenn

- eine zusätzliche Einleitung geplant ist, das aufnehmende Gewässer jedoch bereits durch die bestehenden Einleitungserlaubnisse ausgelastet ist, oder
- eine Drosselung der zusätzlichen Einleitung aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht in ausreichendem Maße möglich ist.

Wenn die Erarbeitung und Umsetzung einer solchen Konzeption nicht rechtzeitig erfolgen kann, sind ausnahmsweise Interimslösungen denkbar. Im Rahmen einer solchen Interimslösung kann der Einleitungsabfluss pauschal festgelegt werden. Er sollte pro ha (A_u) nicht mehr als 2 % von HQ_1 betragen.

4. Bemessung der Rückhalteinlage

Die Bemessung des erforderlichen Regenrückhaltevolumens erfolgt in Abhängigkeit vom zulässigen Drosselabfluss, der gewählten Überschreitungshäufigkeit und der angeschlossenen abflusswirksamen Fläche. Um zu verhindern, dass durch das Überlaufen der Regenrückhalteinlage die Hochwasserscheitel unterhalb der Einleitungsstelle bei Wiederkehrintervallen > 1 Jahr sprunghaft ansteigen, ist die Überschreitungshäufigkeit bei der Volumenermittlung der Regenrückhalteinlage im Regelfall mit $n = 0,2$ festzulegen. Das heißt, der Rückhalteraum läuft im statistischen Mittel einmal in fünf Jahren über. In begründeten Ausnahmefällen kann aus Verhältnismäßigkeitsgründen auch eine höhere Überschreitungshäufigkeit bis max. $n = 0,5$ (Überlaufen des Rückhalteriums einmal in zwei Jahren) angesetzt werden. Die maßgebende Dauer des Bemessungsregens wird im Rahmen des Bemessungsgangs ermittelt.

Für den Überlastungsfall ist jede Regenrückhalteinlage mit einem Notüberlauf auszustatten, der für den maximal möglichen Zufluss aus dem Kanalsystem auszulegen ist. Das Gefährdungspotential bei Tätigkeit des Notüberlaufes und der möglichst schadlose Abflussweg sind nachzuweisen.

Die Volumenermittlung einer Regenrückhalteinlage erfolgt im Regelfall durch Langzeitsimulation. Hinweise dazu enthält das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 117 [5]. Die hierfür benötigten Niederschlagsdaten können als synthetische Regenreihen im 5-Minuten Raster und über einen repräsentativen Zeitraum von 30 Jahren kurzfristig bei der LfU angefordert werden [6]. Die Anwendung des "Einfachen Verfahrens" nach [5] sollte auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben. Im übrigen sind die Anwendungsgrenzen zu beachten.

Dezentrale Rückhaltmaßnahmen ohne komplexe vernetzte Regelsysteme haben generell einen schlechteren Wirkungsgrad als zentrale Maßnahmen. Daher können die durch modifizierte Entwässerungssysteme erzielten dezentralen Rückhaltevolumen allenfalls zu 50 % auf das zentral zu errichtende Volumen angerechnet werden.

Anhang 1: Hydraulische Berechnung

a) Abfluss bei vorgegebener Sohlschubspannung

Dieser Bemessungsansatz berücksichtigt den Widerstand des Materials der Gewässersohle gegen Erosion. Die Berechnung erfolgt unter Verwendung gängiger hydraulischer Formeln und verbreiteter empirischer Kenngrößen.

- Mit Gleichung 1 (Schubspannungs-Gleichung) lässt sich berechnen, welcher hydraulische Radius r_{hy} einer vorgegebenen Schubspannung zugeordnet ist:

$$\tau = \gamma \cdot r_{hy} \cdot I_E \quad (1)$$

- mit: τ = Schubspannung in N/m^2
 γ = Wichte des Wassers, entspricht $10.000 N/m^3$
 r_{hy} = hydraulischer Radius in m
 Für einfache Querschnitte können Werte der Tabelle 1 entnommen werden
 I_E = Gefälle der Energielinie (= Sohlprofilgefälle bei gleichförmigen Abflussbedingungen) (-)

für $\tau > \tau_{crit}$ (aus Tabelle 2) ist mit Erosion zu rechnen

Der zugehörige hydraulische Radius ergibt sich zu: $r_{hy} = \frac{\tau_{crit}}{\gamma \cdot I_E}$ (1a)

- Durch Anwenden der Gauckler-Manning-Strickler-Formel (Gleichung 2) kann die zugehörige Fließgeschwindigkeit im Gewässer ermittelt werden:

$$v = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot \sqrt{I_E} \quad (2)$$

- mit: v = Fließgeschwindigkeit in m/s
 k_{St} = Geschwindigkeitsbeiwert nach Gauckler-Manning-Strickler in $m^{1/3}/s$
 (aus Tabelle 3)

- Die dem hydraulischen Radius r_{hy} zugeordnete Wassertiefe h und der zugehörige Abflussquerschnitt A kann für einfache Gewässerquerschnitte nach Tabelle 1 berechnet werden.
- Abschließend erfolgt mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung (Gleichung 3) die Ermittlung des maßgeblichen Abflusses Q , ab dem Erosion erfolgt:

$$Q = v \cdot A \quad (3)$$

- mit: Q = Abfluss in m^3/s

Der Rechengang ist in Anhang 2, Abschnitt a) an einem Beispiel dargestellt.

Tabelle 1: Hydraulischer Radius r_{hy} , zugehörige Wassertiefe h und Abflussquerschnitt A für einfache Abflussquerschnitte

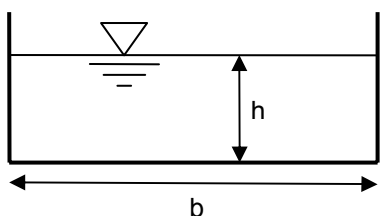
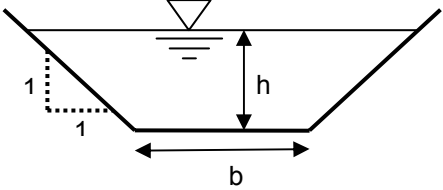



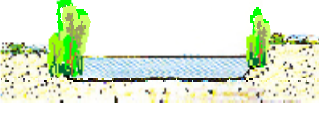
		
Hydraulischer Radius r_{hy}	$r_{hy} = \frac{b \cdot h}{b + 2 \cdot h}$	$r_{hy} = \frac{b \cdot h + h^2}{b + \sqrt{8} \cdot h}$
Zugehörige Wassertiefe h	$h = \frac{r_{hy} \cdot b}{b - 2 \cdot r_{hy}}$	$h = \frac{\sqrt{8} \cdot r_{hy} - b}{2} + \sqrt{\frac{(b - \sqrt{8} \cdot r_{hy})^2}{4} + r_{hy} \cdot b}$
Durchflossene Querschnittsfläche A	$A = b \cdot h$	$A = b \cdot h + h^2$

 Tabelle 2: Grenzscherpspannung τ_{crit} [7]

Sohlenmaterial	τ_{crit} in N/m²
Feiner Sand, $d = 0,2-0,4$ mm	1,8 bis 2
Feiner Sand, $d = 0,4-1$ mm	2,5 bis 3
Grober Sand	6 bis 10
Sandiger Lehm	10 bis 12
lehmiger Kies	15 bis 18
kolloidalen Lehm und Ton	10 bis 12,5
Kies, $d = 5-10$ mm	12,5
Kies, $d = 15$ mm	15 bis 20
Geröll, $d = 50$ mm	30 bis 40
Geröll, $d = 50-100$ mm	40 bis 60

Falls keine detaillierte Ermittlung vorgenommen wird, wird empfohlen, den unteren Wert der angegebenen Spanne zu wählen

Tabelle 3: Typische k_{st} -Werte bei Gewässern bis 5 m Wasserspiegelbreite

	Gerinnecharakteristik	k_{st}-Wert in $m^{1/3}/s$
	<i>Bruchsteinmauer als Gerinnewand</i> - Keine Verkräutung, Sohle Sand bis Kies - Sohle Geröll - Verkräutung, Sohle Sand bis Kies	50 40 30
	<i>Ufer natürlich, aber Abflussprofil gehölzfrei</i> - Keine Verkräutung, Sohle Sand bis Kies - Sohle Geröll - Verkräutung, Sohle Sand bis Kies	40 30 20
	<i>Ufer mit Steinwurf gesichert</i> - Keine Verkräutung, Sohle Sand bis Kies - Sohle Geröll - Verkräutung, Sohle Sand bis Kies	30 25 15
	<i>Ufer mit Gehölz im Abflussprofil</i> - Keine Verkräutung, Sohle Sand bis Kies - Sohle Geröll - Verkräutung, Sohle Sand bis Kies	25 20 15

b) Fließgeschwindigkeit bei vorgegebenem Abfluss

- Aus Gleichung (2), Gleichung (3) und Tabelle 1 ergibt sich:

$$Q = k_{st} \cdot \left(\frac{b \cdot h}{b + 2 \cdot h} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{l_E} \cdot b \cdot h \quad (\text{Rechteckquerschnitt})$$

$$Q = k_{st} \cdot \left(\frac{b \cdot h + h^2}{b + \sqrt{8} \cdot h} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{l_E} \cdot (b \cdot h + h^2) \quad (\text{Trapezquerschnitt mit Böschungsneigung 1:1})$$

Durch Ausprobieren wird die Wassertiefe h gefunden, bei der sich der vorgegebene Abfluss Q einstellt.

- Mit dieser Wassertiefe ergibt sich aus Tabelle 1 die durchflossene Querschnittsfläche A .
- Die Fließgeschwindigkeit wird mit Formel 3 aus der durchflossenen Querschnittsfläche A berechnet.

Anhang 2: Berechnungsbeispiel

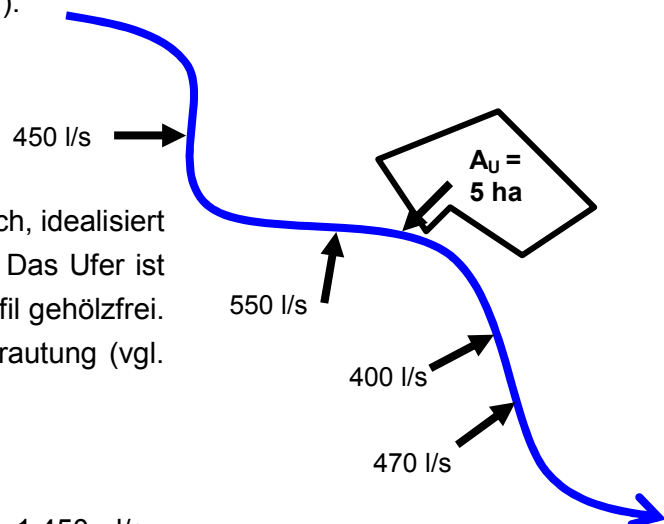
Das Regenwasser aus einem neu zu erschließendem Baugebiet soll in ein nahes Fließgewässer eingeleitet werden. Es handelt sich um ein Gewässer mit anthropogen verändertem Abflussregime. Folgende Angaben liegen vor:

- Baugebiet mit folgenden Flächenanteilen:

Tabelle 4: Flächenanteile im Baugebiet

	Straßen	Höfe und Zufahrten	Dächer	Gärten und Grünstreifen	Summe
Anteil $A_{E,k}$ [ha]	0,94	2,66	2,93	3,00	9,54
Anteil $A_{E,k}$ [%]	10%	28%	31%	31%	100%
mittlerer Abflussbeiwert ψ_m	0,90	0,62	0,75	0,10	
Anteil A_U [ha]	0,85	1,65	2,20	0,30	5,00

- Berechnungsregen: $r_{15,n=1} = 128 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$
- Bestehende Einleitungen (s. Abb. 1):



Das aufnehmende Gewässer ist ein Bach, idealisiert als Trapezprofil darstellbar (s. Abb. 2). Das Ufer ist natürlich ausgebildet und im Abflussprofil gehölzfrei. Die Sohle ist kiesig mit teilweiser Verkrautung (vgl. Tabelle 3):

- Einjähriger Hochwasserabfluss HQ_1 (aus [3]) 1.450 l/s
- Fließgeschwindigkeit v (bei HQ_1)^{*)} 0,61 m/s
- Mittelwasserabfluss MQ 300 l/s
- Sohlbreite b 1,00 m
- Trapezprofil, Böschungsneigung 1:1
- Sohlprofilgefälle I 2 ‰
- Strickler-Beiwert k_{St} 20 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$
- Grenzscherreisspannung τ_{crit} 12,5 N/m^2

Abb. 1: Gebietsskizze

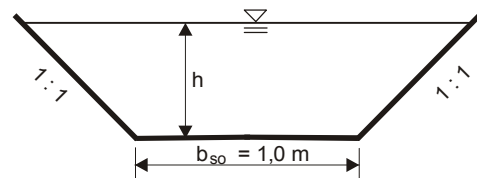


Abb. 2: Gewässerprofil

Nach Ziff. 3.2 kann auch ein höherer Abfluss als HQ_1 eingeleitet werden. Im Folgenden wird der maßgebliche Abfluss, der noch unschädlich im Gewässer abgeführt werden kann, ermittelt.

^{*)} Iterativ berechnet nach Anhang 1b). Die Berechnung ist hier nicht gesondert dargestellt.

a) Nachweis der Stabilität des Gewässerbetts mit hydraulischer Berechnung nach Ziff. 3.2 und Anhang 1

Aus Gleichung 1a ergibt sich mit τ_{crit} und $l_E (= l)$ der hydraulische Radius r_{hy} :

$$r_{\text{hy}} = \frac{\tau_{\text{crit}}}{\gamma \cdot l}$$

$$r_{\text{hy}} = \frac{12,5 \text{ N/m}^2}{10.000 \text{ N/m}^3 \cdot 0,002}$$

$$r_{\text{hy}} = 0,625 \text{ m}$$

Durch Einsetzen von k_{St} , l_E und r_{hy} in Gleichung 2 wird die Geschwindigkeit, ab der Sohlerosion einsetzt, ermittelt:

$$v = k_{\text{st}} \cdot r_{\text{hy}}^{2/3} \cdot \sqrt{l_E}$$

$$v = 20 \frac{\text{m}^{1/3}}{\text{s}} \cdot (0,625 \text{ m})^{2/3} \cdot \sqrt{0,002}$$

$$v = 0,654 \text{ m/s}$$

Die zugehörige Wassertiefe h ergibt sich nach Tabelle 1:

$$h = \frac{\sqrt{8} \cdot r_{\text{hy}} - b}{2} + \sqrt{\frac{(b - \sqrt{8} \cdot r_{\text{hy}})^2}{4} + r_{\text{hy}} \cdot b}$$

$$h = \frac{\sqrt{8} \cdot 0,625 \text{ m} - 1 \text{ m}}{2} + \sqrt{\frac{(1 \text{ m} - \sqrt{8} \cdot 0,625 \text{ m})^2}{4} + 0,625 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}}$$

$$h = \frac{0,768 \text{ m}}{2} + \sqrt{\frac{(-0,768 \text{ m})^2}{4} + 0,625 \text{ m}^2}$$

$$h = 0,384 \text{ m} + 0,879 \text{ m}$$

$$h = 1,26 \text{ m}$$

Abschließend lässt sich mit der Kontinuitätsgleichung (3) der Abfluss, bei dem Sohlerosion einsetzt, ermitteln:

$$Q = v \cdot A$$

mit: $A = b \cdot h + h^2$ (durchflossene Querschnittsfläche nach Tabelle 1)

$$A = 1,0 \text{ m} \cdot 1,26 \text{ m} + (1,26 \text{ m})^2$$

$$A = 2,86 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,654 \text{ m/s} \cdot 2,86 \text{ m}^2$$

$$Q = 1,87 \text{ m}^3/\text{s} = 1.870 \text{ l/s}$$

b) Ermittlung des maximalen Einleitungszuflusses und der maßgeblichen Fließstrecke von 30 Minuten anhand der bestehenden Einleitungszuflüsse

Die Summe der Einleitungsabflüsse innerhalb einer Fließstrecke von 30 Minuten plus dem Mittelwasserabfluss im Gewässer darf den maßgeblichen Gewässerabfluss nicht übersteigen:

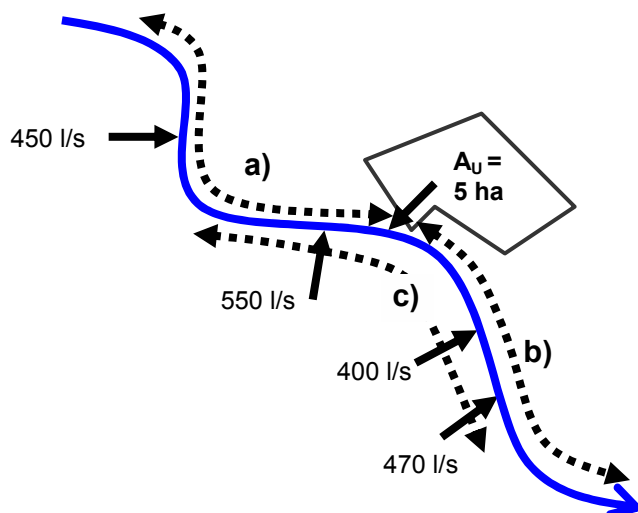
$$Q \geq MQ + \sum_{\substack{\text{Fließzeit} \\ 30\text{Minuten}}} Q_{\text{ein}}$$

Daraus ergibt sich:

$$\sum_{\substack{\text{Fließzeit} \\ 30\text{Minuten}}} Q_{\text{ein}} \leq Q - MQ$$

$$\sum_{\substack{\text{Fließzeit} \\ 30\text{Minuten}}} Q_{\text{ein}} \leq 1.870 \text{ l/s} - 300 \text{ l/s} = 1.570 \text{ l/s}$$

Der Wert aus der Erosionsbetrachtung liegt also über dem des einjährigen Hochwassers ($HQ_1 = 1.450 \text{ l/s}$). Da es sich bei diesem Gewässer nicht darum geht, die natürliche Eigendynamik zu erhalten, kann dieser höhere Wert verwendet werden.



- Anhand der bereits bestehenden Einleitungen muss der relevante 30-Minuten-Abschnitt (mit der höchsten Zuflusssumme) ermittelt werden.

Bei HQ_1 ergibt sich eine Fließgeschwindigkeit von $v = 0,61 \text{ m/s}$. Eine Fließzeit von 30 min entspricht damit einer Fließstrecke von rund 1100 m.

Abb. 3: Gewässerabschnitte mit 30 min Fließdauer

- bei Abschnitt a) mit 30 Minuten Fließzeit oberhalb der geplanten Einleitung ergibt sich in der Summe der bestehenden Einleitungen ein Zufluss von 1.000 l/s,
- bei Abschnitt b) unterhalb der geplanten Einleitung ergibt sich in der Summe ein Zufluss von 870 l/s,
- Abschnitt c) ist mit insgesamt 1.420 l/s Zufluss aus bestehenden Einleitungen der maßgebliche Gewässerabschnitt von 30 Minuten Fließlänge. Da die Summe der Zuflüsse kleiner als 1.570 l/s ist, sind die bestehenden Einleitungen für die Gewässer-morphologie noch unschädlich.

c) Berechnung des Regenwasserabflusses aus dem Baugebiet

Der Abfluss aus dem neuen Baugebiet beträgt ohne Rückhaltung:

$$Q_{\text{ein}} = Q_{r15,n=1} = r_{15,n=1} \cdot A_U$$

$$Q_{r15,n=1} = 128 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}} \cdot 5 \text{ ha}$$

$$Q_{r15,n=1} = 640 \text{ l/s}$$

Zusammen mit den bestehenden Einleitungen des Gewässerabschnitts c) ergibt sich ein Gesamtzufluss von 2.060 l/s. Dieser überschreitet die maximal zulässigen 1.570 l/s.

- Um nachteilige Auswirkungen an der Gewässermorphologie zu verhindern, muss der Zufluss aus dem Baugebiet auf maximal 150 l/s (1.570 l/s – 1.420 l/s) gedrosselt und eine Rückhalteanlage vorgesehen werden:

$$Q_{\text{ein}} = Q_{\text{dr}} \leq 150 \text{ l/s}$$

d) Bemessung der Rückhalteanlage

Anwendung des einfachen Verfahrens nach Arbeitsblatt ATV-DVWK A117 [5]

1. Bemessungsgrundlagen:

- Überschreitungshäufigkeit $n = 0,2/a$
- $A_U = 5,0 \text{ ha}$
- $Q_{\text{dr}} = 75 \text{ l/s}$

Der maximale Drosselabfluss beträgt 150 l/s. Da keine geregelte Drossel vorgesehen ist, wird als rechnerischer Drosselabfluss das arithmetische Mittel zwischen dem Abfluss bei Speicherbeginn und Vollfüllung angesetzt.

- Statistischen Regenspenden für die Überschreitungshäufigkeit $n=0,2/a$ nach KOSTRA [8]
- rechnerische Fließzeit im Kanalnetz bei Vollfüllung $t_f = 10 \text{ min}$

2. Ermittlung der Drosselabflusspende

$$q_{\text{dr,r,u}} = Q_{\text{dr}} / A_U = 75 / 5,0 = 15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$$

3. Ermittlung des Abminderungsfaktors f_A

Der Abminderungsfaktor f_A ist mit 1 anzusetzen.

4. Festlegung des Zuschlagsfaktors f_Z :

gewählt: $f_Z = 1,20$ (geringes Risikomaß)

5. Für die jeweilige Dauerstufe ergibt sich das spezifische Volumen zu:

$$V_{s,u} = (r_{D,n} - q_{\text{dr,r,u}}) \cdot D \cdot f_Z \cdot f_A \cdot 0,06 \text{ [m}^3\text{/ha]}$$

Tabelle 5: Ermittlung des spezifischen Speichervolumens

Dauerstufe D	Regenspende r für n=0,2/a	Drosselabflussspende $q_{dr,r,u}$	Differenz zw. r und $q_{dr,r,u}$	spezifisches Speichervolumen $V_{s,u}$
[min]	[l/(s×ha)]	[l/(s×ha)]	[l/(s×ha)]	[m³/ha]
5	424,88	15	409,88	148
10	273,24	15	258,24	186
15	210,78	15	195,78	211
20	175,21	15	160,21	231
30	135,44	15	120,44	260
45	104,66	15	89,66	290
60	87,10	15	72,10	311
90	63,23	15	48,23	313
120	50,32	15	35,32	305
180	36,55	15	21,55	279
240	29,10	15	14,10	244

Der Größtwert liegt bei D = 90 min: Das erforderliche spezifische Volumen ergibt sich zu

$$V_{s,u} = 313 \text{ m}^3/\text{ha}$$

6. Das erforderlichen Rückhaltevolumen bestimmt sich damit zu:

$$V = V_{s,u} \cdot A_u = 313 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 5 \text{ ha}$$

$$V = 1.565 \text{ m}^3$$

Langzeitsimulation (vgl. auch Arbeitsblatt ATV-DVWK A117 [5], Kap. 4.5)

Mit einem gängigen Simulationsprogramm wurde das Beispiel als kontinuierliche Langzeitsimulation über 30 Jahre durchgerechnet.

1. Bemessungsgrundlagen:

- Anteile der kanalisierten Einzugsgebietsfläche $A_{E,k}$ (s. Tabelle 4)
- Standardparametersätze des Simulationsprogramms für die Teilflächen
- Synthetische Regenreihe im 5-Minuten Raster über 30 Jahre [6]
- Gewähltes Beckenvolumen: 1.457 m^3 (Abmessungen: L/B/T = 50/21/2 m, Böschungsneigung = 1:2,5)
- Drosselabfluss: druckabhängig, bei Vollfüllung: 150 l/s
- Fließzeit im Kanalnetz 8 min, in Transportstrecke 2 min

2. Ergebnisse:

Das Programm weist die Einstauergebnisse in tabellarischer Form (Auszug: Tabelle 6) sowie graphisch aus.

Tabelle 6: Ausschnitt aus der Liste der Einstauereignisse (insgesamt 83 Ereignisse)

Rang	Beginn	T_{ein} [h]	max h [m]	$Q_{\text{zu,max}}$ [l/s]	$Q_{\text{ue,max}}$ [l/s]	V_{Qzu} [m ³]	V_{Qein} [m ³]	V_{Que} [m ³]	n [1/a]	T_n [a]
1	14.03.89 23:25	12,42	2,21	1.642,44	411,76	3.983,73	1.764,18	402,40	0,03	30,40
2	06.08.80 19:15	10,25	2,13	1.418,33	198,36	3.630,90	1.640,58	278,73	0,07	15,17
3	28.01.83 21:00	8,58	2,07	1.188,65	82,79	3.106,49	1.551,93	61,80	0,10	10,12
4	28.02.68 19:30	9,58	2,06	1.784,81	68,05	2.849,08	1.538,88	48,44	0,13	7,59
5	01.03.88 23:20	7,83	2,05	1.922,48	57,26	2.483,05	1.529,33	40,10	0,16	6,07
6	02.08.92 16:35	24,50	1,91	1.539,87	0,00	5.740,59	1.369,01	0,00	0,20	5,06
7	02.03.94 09:10	8,25	1,85	1.352,47	0,00	2.419,33	1.302,61	0,00	0,23	4,34
8	07.03.80 14:35	8,17	1,84	1.262,33	0,00	2.444,00	1.295,89	0,00	0,26	3,80
9	09.04.77 04:50	8,50	1,83	1.508,07	0,00	2.032,58	1.287,00	0,00	0,30	3,37
10	29.09.77 21:05	10,83	1,82	1.431,02	0,00	3.265,00	1.272,45	0,00	0,33	3,04
11	06.10.71 14:40	7,00	1,81	1.220,41	0,00	2.116,59	1.262,55	0,00	0,36	2,76

In der Tabelle sind die Ereignisse sortiert nach der Summe der Einstauvolumen (V_{Qein}) + Überlaufvolumen (V_{Que}) dargestellt. Fünf von insgesamt 83 Einstauereignissen im Simulationszeitraum von 30 Jahren führen zum Überlauf des Beckens. Alle Ereignisse, die zu einem Überlauf führen, haben eine Wiederkehrzeit T_n von über 5 Jahren

Für die gewählte Rückhalteanlage wird die vorhandene Wiederkehrzeit und für die geforderte Wiederkehrzeit das errechnete erforderliche Volumen als Ergebnis ausgegeben (Tabelle 7). Der Wert für das errechnete erforderliche Volumen hängt dabei jedoch vom zunächst gewählten Beckenvolumen ab. Deshalb ist bei größeren Unterschieden zwischen gewähltem und errechneten Volumen (> 5%) ein zweiter Rechenlauf mit angepasstem Eingangs-Beckenvolumen erforderlich.

Tabelle 7: Durch Langzeitsimulation ermittelte Wiederkehrzeit für das vorgegebene Volumen und das erforderliche Volumen für die vorgegebene Wiederkehrzeit

	Volumen [m ³]	Bemessungshäufigkeit [1/a]	Wiederkehrzeit [a]
vorhanden	1.457	0,18	5,49
erforderlich	1.426	0,20	5,00

Für die geforderte Wiederkehrzeit von 5 Jahren bzw. Bemessungshäufigkeit von 0,2 [1/a] ist ein Beckenvolumen von 1.426 m³ erforderlich. Gegenüber dem einfachen Verfahren ergibt sich in diesem Beispiel eine Volumeneinsparung von fast 140 m³.

Anhang 3: Abkürzungen

A	m^2	benetzte Fläche des Gewässerquerschnitts
$A_{E,k}$	ha	kanalisierte Einzugsgebietsfläche
A_U	ha	undurchlässige Fläche
b	m	Breite der Gewässersohle
d	mm	Durchmesser des Sohlenmaterials
D	min	Dauerstufe
f_A	-	Abminderungsfaktor nach A 117 [5]
f_Z	-	Zuschlagsfaktor nach A 117 [5]
h	m	Wassertiefe (im Gewässer oder Einstautiefe des Rückhaltebeckens)
$HQ_{1,}$ HQ_2	m^3/s	ein- (zwei-) jährlicher Hochwasserabfluss im Gewässer
l	-	Gefälle der Sohllinie
l_E	-	Gefälle der Energielinie
k_{St}	$m^{1/3}/s$	Geschwindigkeitsbeiwert nach Gaukler-Manning-Strickler
MQ	m^3/s	Mittelwasserabfluss
n	1/a	Häufigkeit (Überschreitungshäufigkeit)
Q	m^3/s	Abfluss
Q_{dr}	m^3/s	Drosselabfluss der Regenrückhalteanlage
$q_{dr,r,u}$	l/(s·ha)	Regenanteil der Drosselabflussspende, bezogen auf A_U
Q_{ein}	m^3/s	Einleitungsabfluss für einen Gewässerabschnitt
$Q_{r15,1}$	m^3/s	Regenwasserzufluss bei einem Berechnungsregen $r_{15,1}$
$Q_{ue,max}$	l/s	maximaler Beckenüberlauf
$Q_{zu,max}$	l/s	maximaler Zufluss zum Becken
r_{hy}	m	hydraulischer Radius
$r_{D,n}$, $r_{15,1}$	l/(s·ha)	Regenspende der Dauerstufe D (15 Minuten) und der Häufigkeit n (= 1) (Bemessungsregenspende)
T_{ein}	h	Einstaudauer
T_n	a	Wiederkehrzeit
v	m/s	Fließgeschwindigkeit
V	m^3	Rückhaltevolumen
V_{Qein}	m^3	Einstauvolumen
V_{Que}	m^3	Überlaufvolumen
V_{Qzu}	m^3	Volumen, das ins Becken fließt
$V_{s,u}$	m^3/ha	Spezifisches Speichervolumen, bezogen auf A_U
γ	N/m^3	Wichte des Wassers, entspricht $10.000 N/m^3$
τ , τ_{crit}	N/m^2	(Grenz-) Schleppspannung
Ψ_m	-	mittlerer Abflussbeiwert

Anhang 4: Literaturverzeichnis

- [1] Merkblatt ATV-DVWK M153 „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“, Februar 2000, GFA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Hennef
- [2] Wald + Corbe 2004: „Verifizierung einer Retentionsregelung zum Schutz kleiner Gewässer vor hydraulischer Überlastung durch Regenabfluss von befestigten Flächen“ (unveröffentlicht)
- [3] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: „Abflusskennwerte in Baden-Württemberg – Teil 1 Hochwasserabflüsse“ (CD-ROM), Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie Bd. 94, Karlsruhe 2005
- [4] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: „Abflusskennwerte in Baden-Württemberg – Teil 2 Mittlere Abflüsse und Mittlere Niedrigwasserabflüsse“ (CD-ROM), Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie Bd. 94, Karlsruhe 2005
- [5] Arbeitsblatt ATV-DVWK A 117 „Bemessung von Regenrückhalteräumen“, März 2001, GFA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Hennef
- [6] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: „Niederschlagsreihen für die Langzeitsimulation“, Siedlungswasserwirtschaft Bd. 14, Karlsruhe 2000
- [7] R. Rössert: „Hydraulik im Wasserbau“, 8. Auflage 1992, Oldenbourg Verlag München
- [8] Starkniederschlagshöhen für Deutschland, KOSTRA-Atlas (1997): Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach am Main
- [9] Ökokart: „Untersuchungsvorhaben Vorgaben für den Bau von Regenrückhaltemaßnahmen“, März 2003, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- [10] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: „Hydraulik naturnaher Fließgewässer - Teil 1 Grundlagen und empirische hydraulische Berechnungsverfahren“, Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie Bd. 74, Karlsruhe 2002,