



Auszüge aus dem Schlussbericht
vom 14.10.2002
über das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

**Datenauswertung und Bewertung von
Mischwasserentlastungen**

Auftraggeber: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Lazarettstr. 67, 80636 München

Auftragnehmer: UFT Umwelt- und Fluid-Technik
Dr. H. Brombach GmbH
Steinstr. 7
97980 Bad Mergentheim

Geschäftsleitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Hansjörg Brombach

Bearbeiter: Dr.-Ing. Gebhard Weiß

Inhalt

1	Plausibilitätsprüfung der Messdaten	3
2	Erarbeitung des Ranking-Diagrammes	5
3	Verifizierung des Schätzverfahrens	12
3.1	Überlaufvolumina	12
3.2	Überlaufdauern	14
3.3	Überlaufhäufigkeiten	15
4	Anwendung des Schätzverfahrens für die Entlastungskenngrößen an einigen ausgewählten Regenbecken	17
5	Vergleich der gemessenen Überlaufaktivität mit Simulationsergebnissen	19
6	Literatur	21

1 Plausibilitätsprüfung der Messdaten

Ergänzend zum Kapitel 4 „Plausibilitätsprüfung“ des LfU-Merkblattes Nr. 4.3/14 „Messdaten von Regenüberlaufbecken – Leitfaden für ihre Prüfung und Wertung“ wird hier eine weitere Auswertungsart aus dem Schlussbericht des Untersuchungsvorhabens von UFT wieder gegeben.

Eine tiefer greifende Plausibilitätskontrolle lässt sich durchführen, wenn neben den Zielgrößen noch detailliertere Daten aufgezeichnet wurden, so etwa Wasserstandsganglinien oder Wasserstandsstatistiken, also eine Zusammenstellung, wie lange welche Wasserstandsstufe erreicht war.

Für die **Häufigkeitsverteilung für den Beckenwasserstand** wird der Wasserstand in gleiche Intervalle eingeteilt. Die Intervallbreite – typischerweise einige mm – hängt von der Auflösung des Messgerätes ab. Für jedes dieser Intervalle wird die Anzahl der Zeitschritte im Messzeitraum ausgezählt, in denen der Wasserstand in der betreffenden Höhe war. Brombach und Wöhrle (1997) verwenden stattdessen die **Häufigkeitsverteilung, wie oft der Beckenwasserstand jeden Wasserstand ansteigend überschreitet**, eine optisch sehr ähnliche Verteilung. Beide Darstellungen haben eine typische Spitze knapp oberhalb der Beckenüberlaufschwelle. In Bild 1 ist als Beispiel eine Verteilung nach der letztgenannten Definition wiedergegeben.

Für die **Überschreitungsdauerlinie des Wasserstandes** muss aus der Häufigkeitsverteilung von oben beginnend jedem Intervall die Summe der Zeitschritte aller darüber liegenden Wasserstandsintervalle zugeordnet werden, also die Zeitdauer, während der der Wasserstand höher als der jeweilige Wasserstand war. Die Dauerlinie (Bild 2) ist eine monoton fallende, relativ glatte Linie mit einem charakteristischen Plateau dort, wo die Häufigkeitsverteilung die Spitze hat.

Für die Plausibilitätsprüfung ist zunächst die Form der Häufigkeits- oder Dauerlinie interessant. Diese sollte qualitativ den Bildern 1 und 2 entsprechen. Datenfehler (etwa ein Überschreiben des Speichers des Messgerätes, weil das regelmäßige Auslesen vergessen wurde) lassen sich oft an unmotivierten Sprüngen oder Knicken erkennen.

Sodann ist es möglich, die aus der Auswertung bekannte Höhe des Klär- und Beckenüberlaufes mit der Höhe des Plateaus bzw. der Spitze in der Häufigkeits- oder Dauerlinie zu vergleichen. Fehlerhafte Schwellenhöhen können so erkannt und korrigiert werden. Brombach und Wöhrle (1997) schlagen sogar vor, die Höhe der „Taille“ (unterhalb der Spitze) in der Häufigkeitsverteilung als Kriterium für den Überlaufbeginn zu verwenden. Die bekannte Schwellenhöhe muss zwischen der Taille und der Spitze liegen, sie lässt sich höhenmäßig also relativ genau einordnen. Tut sie das nicht, ist es besser, die Schwellenhöhe dort neu festzusetzen und falls möglich die Auswertung auf dieser Basis zu wiederholen, als mit einem offenkundig unplausiblen Wert weiterzuarbeiten. Mit Hilfe des „Taillenkriteriums“ lassen sich sogar Messungen auswerten, bei denen kein Schwellennivellement vorliegt. Die Überlaufdauer lässt sich sodann aus der Dauerlinie des Wasserstandes direkt ablesen. Die Überlaufhäufigkeit als Anzahl der Kalendertage lässt sich mit dieser Darstellung nicht direkt überprüfen. Wenn jedoch die Dauer korrekt registriert wird, ist auch die Häufigkeit plausibel.

Zeigt die Häufigkeits- oder Dauerlinie weitere Spitzen bzw. Plateaus, die nicht zum Klär- oder Beckenüberlauf des betrachteten RÜB passen, so kann dies auf weitere Überlaufschwelle im Netz hindeuten, bis zu denen sich das Wasser ausspiegelt. Das kann etwa die Schwelle eines Re-

genüberlaufes sein, der in einem flachen Kanalnetz unter Umständen weit oberstrom des untersuchten Regenbeckens liegt. Nicht immer wird diese Situation vorher erkannt.

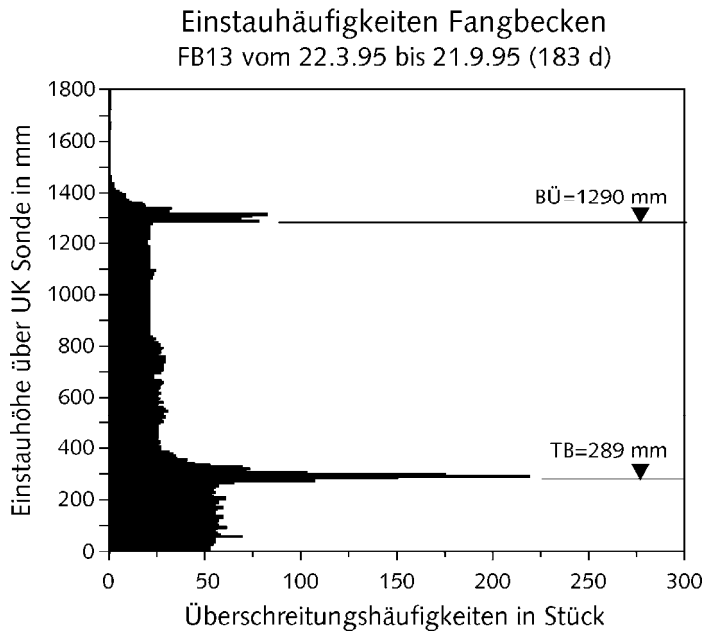


Bild 1: Häufigkeitsverteilung. Aufgetragen ist, wie oft der Wasserstand den Ordinatenwert in steigender Richtung überschreitet. Die Höhenlagen der beiden Wehrschwelle sind als markante Spitzen erkennbar (nach Brombach und Wöhrle 1997).

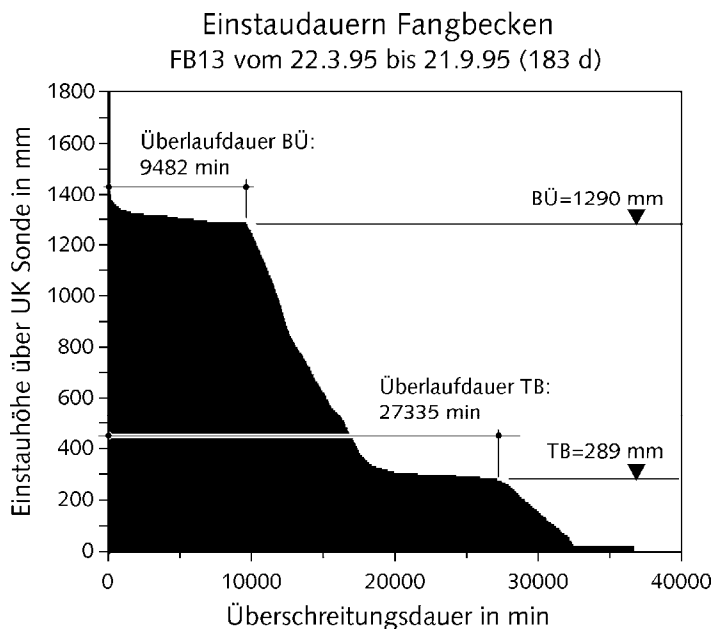


Bild 2: Überschreitungsdauerlinie des Beckenwasserstandes, hier an einem Fangbecken im Nebenschluss. Trennbauwerksschwelle (TB) und Beckenüberlaufschwelle (BÜ) machen sich durch ausgeprägte „Schultern“ bemerkbar (nach Brombach und Wöhrle 1997)

2 Erarbeitung des Ranking-Diagrammes

Die unterschiedliche Definition eines Entlastungsereignisses laut Tabelle 1 erfordert eine Anpassung der Ranking-Diagramme aus Brombach und Wöhrle (1997) und Brombach et al. (1999). Es wurde eine Neuauswertung der vorhandenen Rohdaten notwendig, wobei die neuen Ereignisdefinitionen zu Grunde gelegt wurden. Die Daten stammen jedoch aus verschiedenen Generationen von Überwachungsgeräten. Die älteren Geräte fassen in Ermangelung von Speicherplatz die Rohdaten bereits im Gerät zu Häufigkeits- und Dauerlinien des Wasserstandes zusammen; nur die neueren Überwachungsgeräte zeichnen zusätzlich Ganglinien auf. Nur die letzteren Daten ließen sich nach den neuen Überlaufkriterien hin auswerten. Hinzu kommt, dass infolge nicht rechtzeitigen Austausches der Speichermedien der Überwachungsgeräte durch den Betreiber bei einigen Bauwerken zeitweise der Ringspeicher überlief und dadurch die jeweils ältesten Gangliendaten überschrieben wurden. Dadurch weist die Zeitreihe Lücken auf; für diese Zeitlücken stehen gleichfalls nur die bereits im Gerät zusammengefassten Häufigkeits- und Dauerlinien des Wasserstandes zur Verfügung.

Tabelle 1: Unterschiedliche Definitionen der Überlaufdauer und -häufigkeit

Größe	Definition nach Brombach und Wöhrle (1997) und Brombach et al. (1999)	Definition nach BayLfw (2001) und ATV M 177 (2001) (künftig maßgebend)
Überlaufereignis	Definition nicht nötig	<u>Beginn des Überlaufens:</u> Wasserstand überschreitet Höhe der BÜ- bzw. KÜ-Wehrschwelle, vgl. Bild 3 <u>Ende des Überlaufens:</u> Wasserstand unterschreitet die Höhe von 5 cm unter der Wehrschwelle (Hysterese), Bild 3
Überlaufdauer	Zeitdauer im Messzeitraum, während der der Beckenwasserstand höher als die BÜ- bzw. KÜ-Wehrschwelle ist	Summierte Zeitdauer der Überlaufereignisse im Messzeitraum
Überlaufhäufigkeit	Häufigkeit im Messzeitraum, dass der Wasserspiegel die Höhe der BÜ- bzw. KÜ-Wehrschwelle in ansteigender Richtung durchläuft	Anzahl der Kalendertage im Messzeitraum, an denen mindestens ein Überlaufereignis stattfindet. Ereignisse, die über Mitternacht hinweg andauern, zählen für beide Tage.

Die Datenbasis des ursprünglichen Rankings umfasst nach Brombach et al. (1999) 304 Messjahre von 90 Fang- und Durchlaufbecken, hinzu kamen seit dieser Veröffentlichung einige weitere Jahre Messdaten und auch einige neue RÜB, so dass es nun 313 Messjahre an 78 Fangbecken und 78 Messjahre an 26 Durchlaufbecken sind. Nach den neuen Überlaufkriterien hin auswertbar waren davon jedoch nur etwa 49 Messjahre von 22 Fangbecken und 14 Messjahre an 7 Durchlaufbecken.

Die Ganglinien-Daten für die Auswertung nach dem neuen Kriterium wurden eingehend auf Plausibilität geprüft. Alle Messzeiträume mit unplausiblen Daten wurden verworfen. Ebenso wurden Regenbecken mit bekannt untypischer Betriebsweise aus der Untersuchung ausgeschlossen, etwa ein „Nullabflussbecken“, dessen Drossel bei beginnendem Regen abgeschiebert wird, um Entlastungen von Drosselabfluss an weiter unten liegenden Becken zu vermeiden, oder auch Becken, die durch eine offenbar willkürliche Abwirtschaftung wochenlang gefüllt waren.

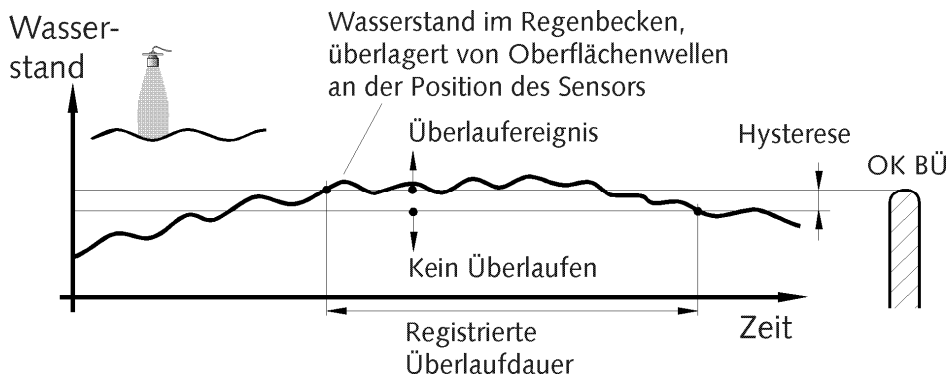


Bild 3: Zur Erkennung von Beginn und Ende eines Überlaufereignisses wird die Wasserstandsauswertung mit einer Hysterese versehen. Dadurch werden Überlaufdauer und -häufigkeit unempfindlicher gegen Störungen, z.B. durch Oberflächenwellen.

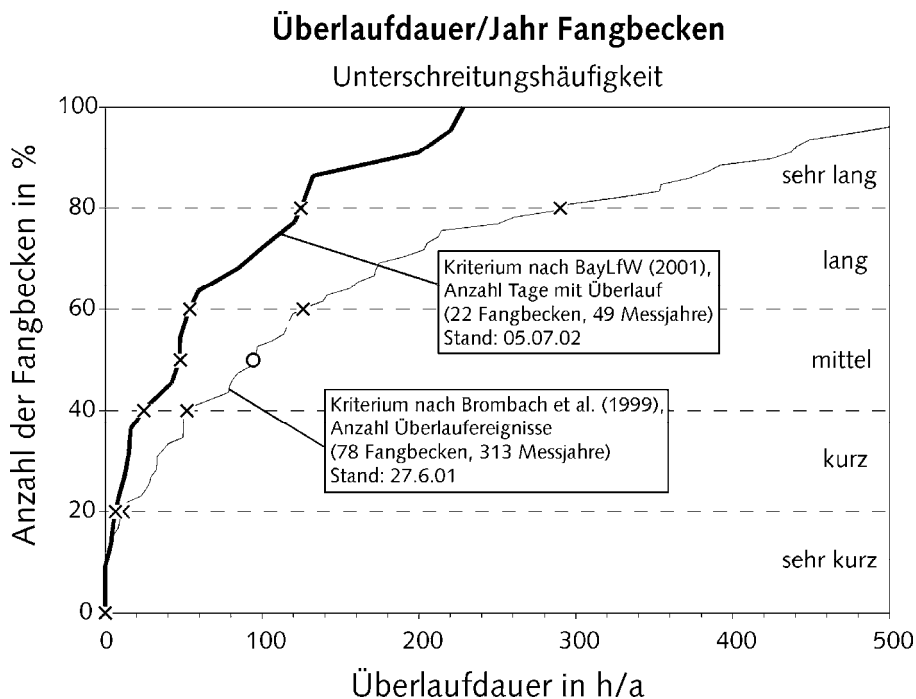


Bild 4: Ranking der Überlaufdauer unter Zugrundelegung von 22 nach den neuen Überlaufkriterien auswertbaren Fangbecken. Die Kurve nach dem „alten“ Kriterium unterscheidet sich etwas von derjenigen aus Brombach et al. (1999), weil seit dieser Veröffentlichung einige Messjahre dazugekommen sind.

Zunächst wurde an Hand der verringerten Datenbasis ein neues Ranking für die Überlaufdauer aufgestellt (Bild 4). Dieses ergab das überraschende Ergebnis, dass die Kurve in Richtung auf kürzere Überlaufdauern hin verschoben ist, obwohl das neue Kriterium zur Erkennung eines Überlaufereignisses mit einer Ausschalthysterese von 5 cm Wasserstand rechnerisch zu längeren Überlaufdauern hätte führen müssen. Die Ursache hierfür ist jedoch das unterschiedliche Kollektiv der beiden Kurven. Die 22 Fangbecken, die mit den neueren Messgeräten bestückt sind, laufen offenbar im Schnitt deutlich weniger lang über als die alte Grundgesamtheit. Auch für die Überlaufhäufigkeit wurde ein neues Ranking erstellt (Bild 5); weil die Anzahl der Tage mit Überlauf (neue Definition) jedoch zwangsläufig kleiner ist als die Zahl der Überlaufereignisse (alte Definition), tritt hier eine Linksverschiebung der Kurven trotz unterschiedlichen Kollektivs auf. Für die Durchlaufbecken ergab sich in der Tendenz ein ähnliches Bild, das hier jedoch nicht wiedergegeben wird.

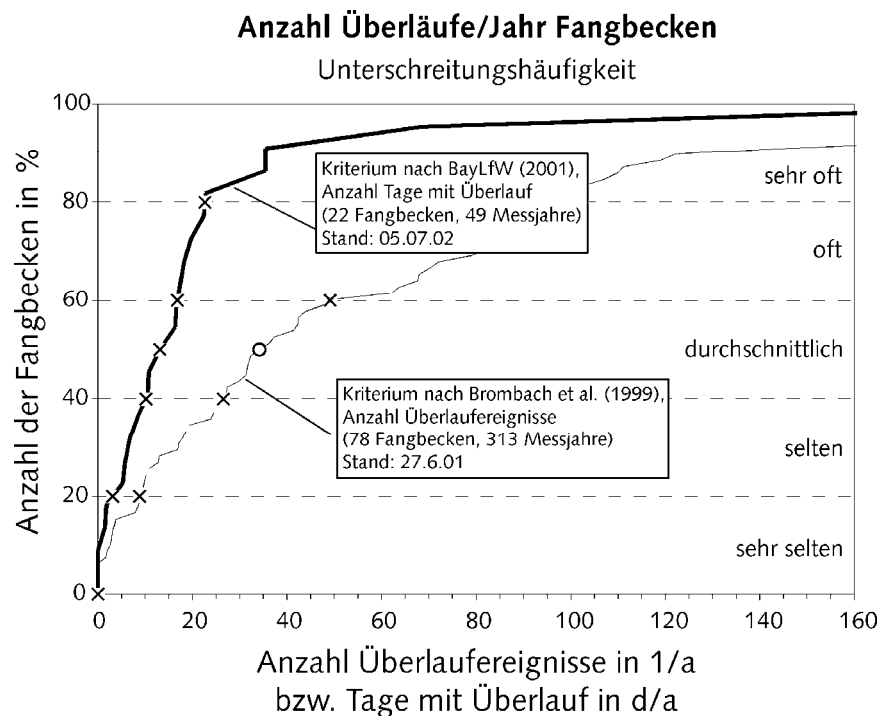
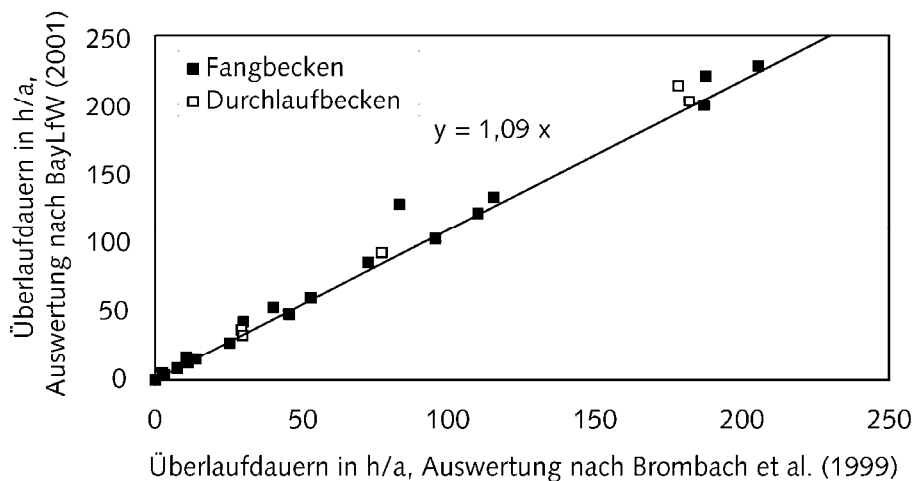
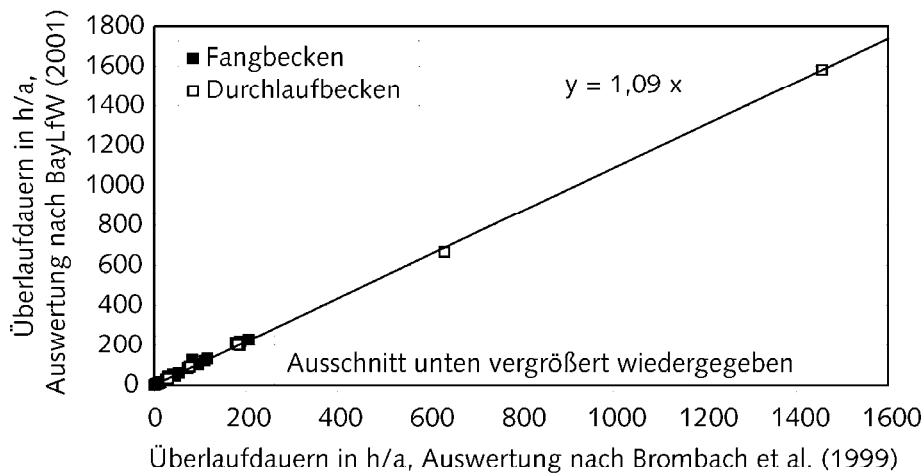


Bild 5: Ranking der Überlaufhäufigkeit bei 22 nach dem neuen Kriterium auswertbaren Fangbecken

Weil ein derartiges Ranking umso aussagekräftiger ist, je größer das zugrundeliegende Kollektiv ist, erschien es wenig sinnvoll, die auf nur 22 Becken basierenden Kurven zur künftigen Bewertung von Regenbecken heranzuziehen. Vielmehr wurde in einem nächsten Schritt versucht, anhand der 22 Becken eine gegenseitige Korrelation der Überlaufdauer und –häufigkeit nach beiden Kriterien zu erhalten. Dies ist in den Bildern 6 und Bild 7 wiedergegeben.

Fang- und Durchlaufbecken - Überlaufdauern



Bilder 6 a und b: Korrelation der nach den Kriterien nach Brombach et al. (1999) und BayLfW (2001) bestimmten Überlaufdauern von Fangbecken und Durchlaufbecken in zwei verschiedenen Achsmaßstäben. Die Korrelationsgerade passt sehr gut.

Insgesamt ergibt sich eine verhältnismäßig geringe Streuung; die Überlaufdauer nach dem Kriterium nach BayLfW (2001) mit Hysterese ist sowohl bei Fang- wie bei Durchlaufbecken etwa 9 % länger als ohne Hysterese, auch wenn die Durchlaufbecken selbst typischerweise länger entlasten als die Fangbecken. Der gleichartige Zusammenhang zwischen „altem“ und „neuem“ Kriterium ist aber zu erwarten, weil der Umrechnungsfaktor ja lediglich die Auswirkung der Hysterese widerspiegelt.

Wird bei der Auswertung mit einer größeren oder kleineren Wasserstands-Hysterese als nach BayLfW (2001) gearbeitet, kann dieser Faktor (1,09 bei 5 cm Hysterese) näherungsweise linear interpoliert werden. Ohne Hysterese ist der Faktor gleich 1,0.

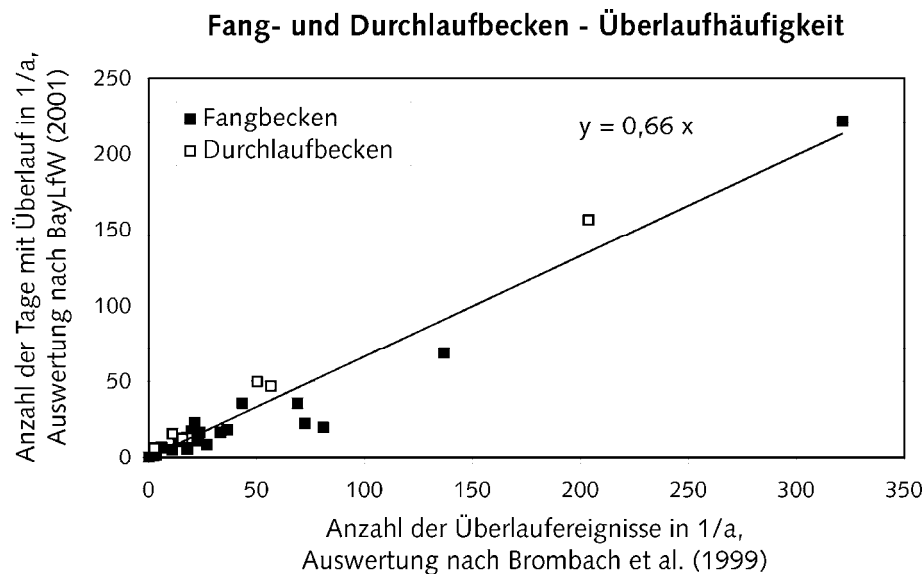


Bild 7: Korrelation der nach den Kriterien nach Brombach et al. (1999) und BayLfW (2001) bestimmten Überlaufhäufigkeit von Fang- und Durchlaufbecken

Auch für die Überlaufhäufigkeit wurde eine solche Korrelation aufgestellt. Hier ist die Streuung größer. Dennoch lässt sich ein linearer Zusammenhang postulieren; die Anzahl der Tage mit Überlauf ist etwa gleich 0,66 mal der Anzahl der Überlaufereignisse. Auch hier verhalten sich Fang- und Durchlaufbecken fast gleich. Es ist zwar eine leichte Tendenz zu erkennen, dass die Durchlaufbecken-Datenpunkte in Bild 7 etwas über denjenigen der Fangbecken liegen. Durch die geringe Anzahl der Punkte ist dies jedoch nicht signifikant und Fang- und Durchlaufbecken werden im Folgenden gleich behandelt. – Die Auswirkung der Hysterese hat auf diesem Faktor 0,66 gleichfalls einen gewissen Einfluss, jedoch dürfte dieser nur gering sein. Es wurde jedoch darauf verzichtet, diesen Einfluss separat zu untersuchen.

Als Endresultat wurden die gültigen Summenhäufigkeitskurven für die Überlaufhäufigkeit und -dauer zum Zweck der Einordnung eines beliebigen Fangbeckens bzw. Durchlaufbeckens gewonnen: Die Originalrankings nach Brombach und Wöhrle (1997) und Brombach et al. (1999) wurden, wie erwähnt, durch einige neue Messdaten bis Juni 2001 ergänzt und dann mit den genannten Faktoren 1,09 und 0,66 verzerrt (Bild 8 und 9). Die so erhaltenen Kurven für Fang- und Durchlaufbecken sind gemeinsam auch in den Bildern 3 und 4 des LfU-Merkblattes Nr. 4.3/14 „Messdaten von Regenüberlaufbecken – Leitfaden für ihre Prüfung und Wertung“ im Kapitel 5 wiedergegeben, dort allerdings aufbauend auf den Datenbestand von 2005. Weil wegen der begrenzten Datenbasis die Ranking-Kurven keine scharfe Einordnung der Entlastungsaktivität zulassen, wurden sie in den Bildern 3 und 4 des LfU-Merkblattes absichtlich breit gezeichnet, um einen Unschärfbereich anzudeuten. Als Breite der Ranking-Kurven wurde etwa ein Drittel der Breite einer Klasse (z.B. „durchschnittliche“ Überlaufhäufigkeit) gewählt. Eine genauere mathematische Untersuchung der Unschärfe mit Konfidenzintervallen etc. wurde jedoch nicht vorgenommen.

Liegen in einigen Jahren mehr gesammelte, überprüfte und plausible Messdaten zur Überlaufaktivität vieler Regenbecken vor, so sollte das Ranking unbedingt unter Einbezug der neuen Daten aktualisiert werden.

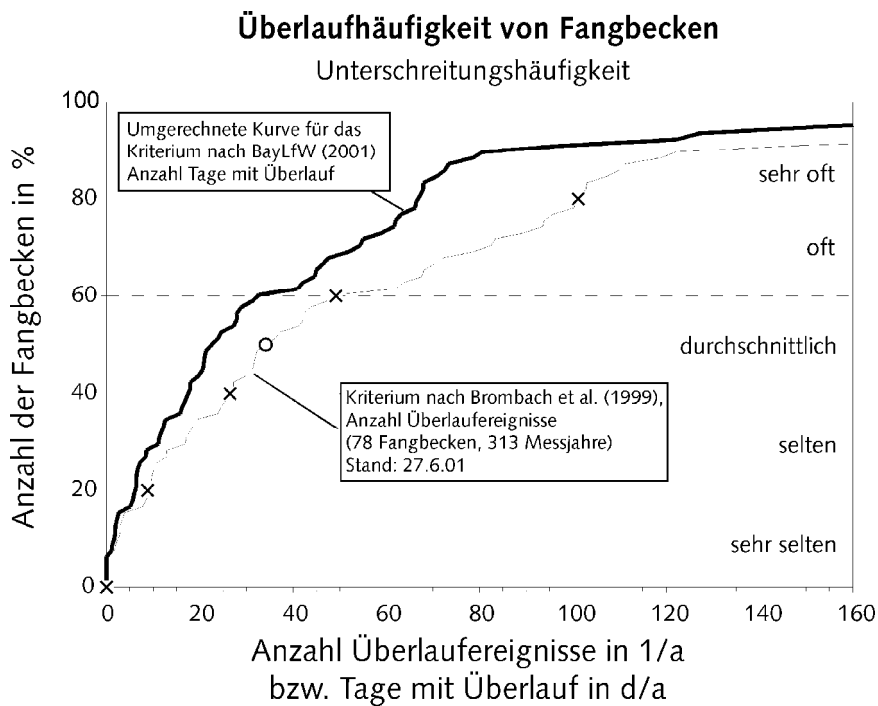


Bild 8: Umrechnung der Ranking-Kurve nach Brombach et al. (1999) zur Überlaufhäufigkeit von Fangbecken für die Anwendung des Kriteriums „Anzahl der Tage mit Überlauf“ nach BayLfW (2001). Die Kurve wurde horizontal mit dem Faktor 0,66 verzerrt.

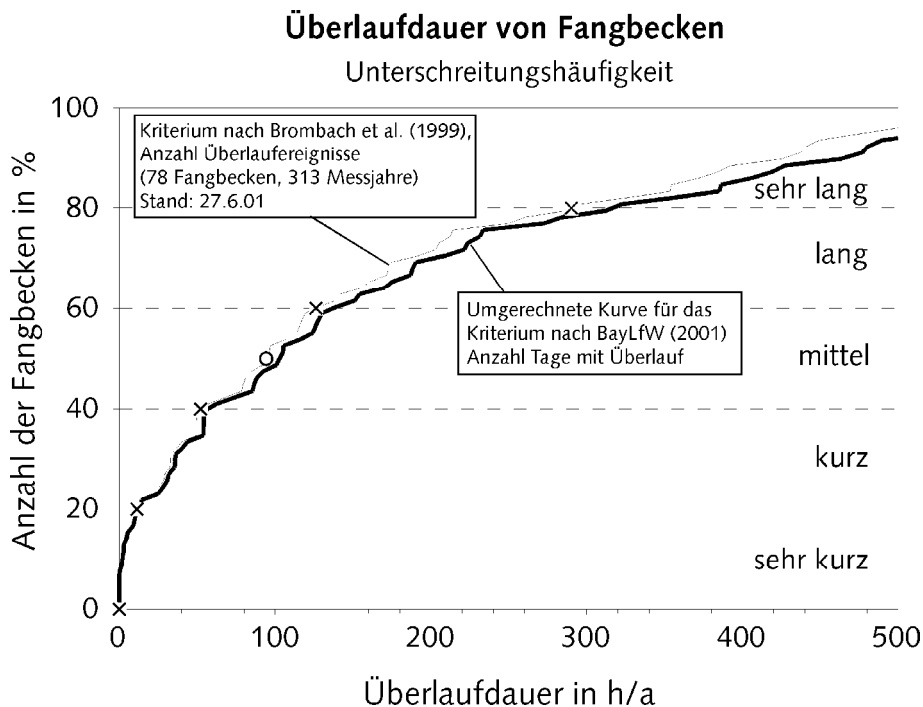


Bild 9: Das gleiche Procedere hier für die Ranking-Kurven der Überlaufdauer von Fangbecken. Der Verzerrungsfaktor beträgt hier 1,09.

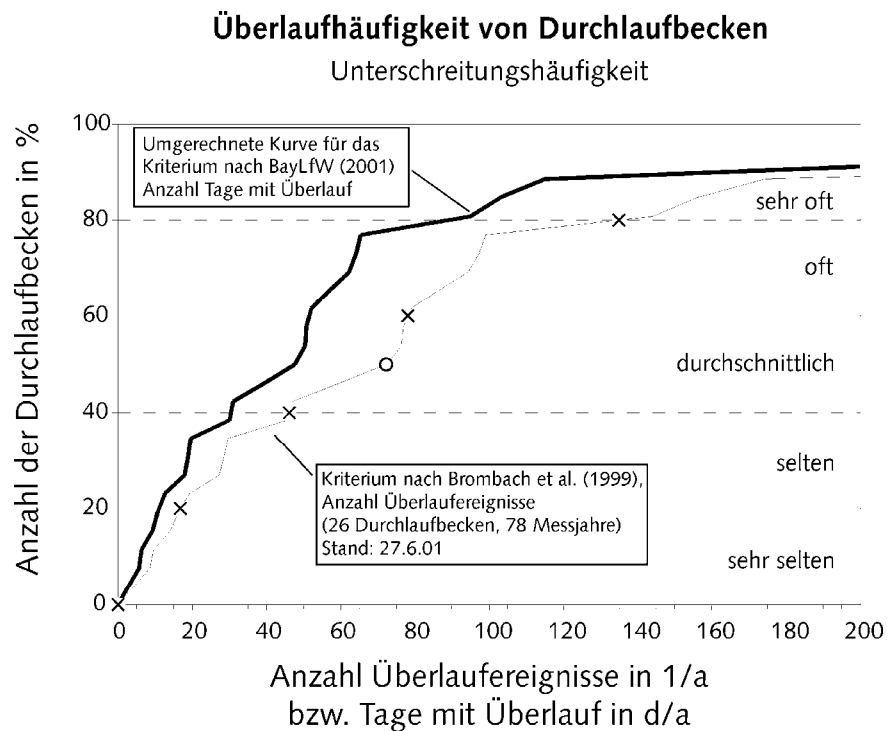


Bild 10: Wie Bild 8, jedoch für die Überlaufhäufigkeit von Durchlaufbecken. Der Verzerrungsfaktor beträgt auch hier 0,66.

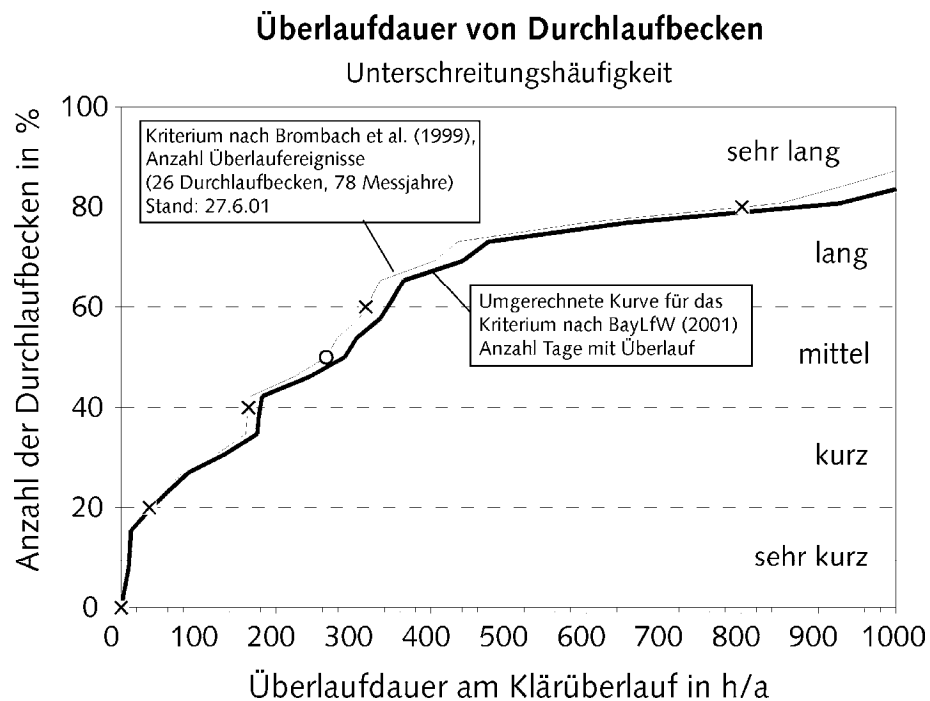


Bild 11: Wie Bild 9, jedoch für die Überlaufdauer von Durchlaufbecken. Der Verzerrungsfaktor beträgt hier wieder 1,09.

3 Verifizierung des Schätzverfahrens

Die im Folgenden genannten Gleichungsnummern beziehen sich auf die Gleichungen im Anhang 1 „Formeln für das rechnerische Schätzverfahren“ auf Seite 18 und 19 des LfU-Merkblattes 4.3/14 „Messdaten von Regenüberlaufbecken – Leitfaden für ihre Prüfung und Wertung“.

3.1 Überlaufvolumina

Im Folgenden zunächst ein Vergleich der Ergebnisse der Gleichungen (3) und (4) im Anhang 1 des LfU-Merkblattes Nr. 4.3/14 mit Simulationsergebnissen. In BayLfW (1996) werden 12 regionalisierte Regenreihen für Schmutzfrachtberechnungen in Bayern vorgestellt. Für jede dieser Niederschlagsreihen mit unterschiedlicher Jahresniederschlagshöhe h_{Na} und unterschiedlich verteilten Niederschlägen wird auch ein Diagramm der Entlastungsrate $e_0 = f(V_s, q_r)$ angegeben, das formal dem Bild 13 aus ATV A 128 (1992) entspricht, jedoch nur für $q_r > 2$ l/s gültig ist. Dieses Diagramm ist offenbar das Ergebnis von Simulationsrechnungen mit der betreffenden Regenreihe. Betrachtet man ein bestimmtes Regenbecken, etwa mit einem spezifischen Volumen von $V_s = 20$ m³/ha und einer Regenabflussspende von $q_r = 2,0$ l/(s ha), so lässt sich für jede Regenreihe e_0 ablesen und in Abhängigkeit der Jahresniederschlagshöhe h_{Na} auftragen (Bild 12). Zusätzlich eingetragen ist die aus Gl. (3) resultierende Gerade für $e_0 = f(h_{Na})$. Es zeigt sich, dass Gl. (3) größenordnungsmäßig richtige Ergebnisse liefert, dass sie aber bei großen Jahresniederschlagshöhen die Entlastungsrate überschätzt. Leider umfasst das in LfW (1996) angegebene Wertespektrum nur Regenabflussspenden von $q_r > 2$ l/(s ha) und nicht die übliche Größenordnung dieses Parameters $0,5$ l/(s ha) $< q_r < 2$ l/(s ha), so dass daraus nicht hervor geht, ob die obige Aussage allgemein gültig ist. Es ist also ein weiterer Vergleich mit Literaturwerten sinnvoll.

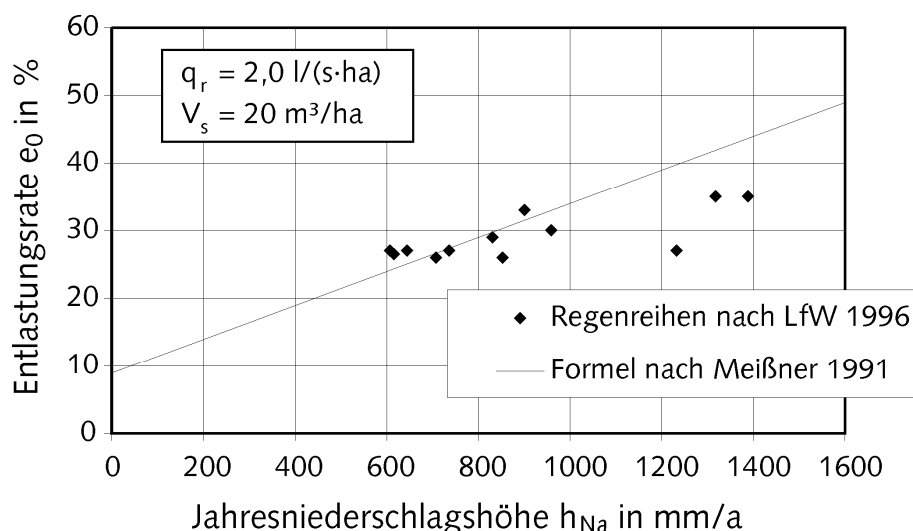


Bild 12: Vergleich der Entlastungsraten von Regenreihen nach LfW (1996) mit Formel (3) nach Meißner (1991)

Drechsel (1991) hat im Zusammenhang mit der Übertragbarkeit von Regenbelastungen umfangreiche Simulationsläufe mit Langzeitregenreihen durchgeführt. Bild 13 zeigt Simulationsergeb-

nisse für Jahresentlastungsvolumina in Abhängigkeit der Niederschlagshöhe für das betreffende Jahr. Zusätzlich eingezeichnet sind gemäß Gl. (4) im Anhang 1 des LfU-Merkblattes Nr. 4.3/14 berechnete Kurven, die hier einen leicht bogenförmigen Verlauf zeigen. Ohne den Term zur Berücksichtigung von h_{Na} in Gl. (3) ergäbe sich eine Proportionalität $VQ_e = \text{Zahl} \cdot h_{Na}$. Bild 14 zeigt denselben Vergleich für Becken mit unterschiedlichen spezifischen Volumina. Die Übereinstimmung ist in beiden Fällen relativ gut, zumal auch die Simulationsergebnisse eine relativ starke Streuung zeigen.

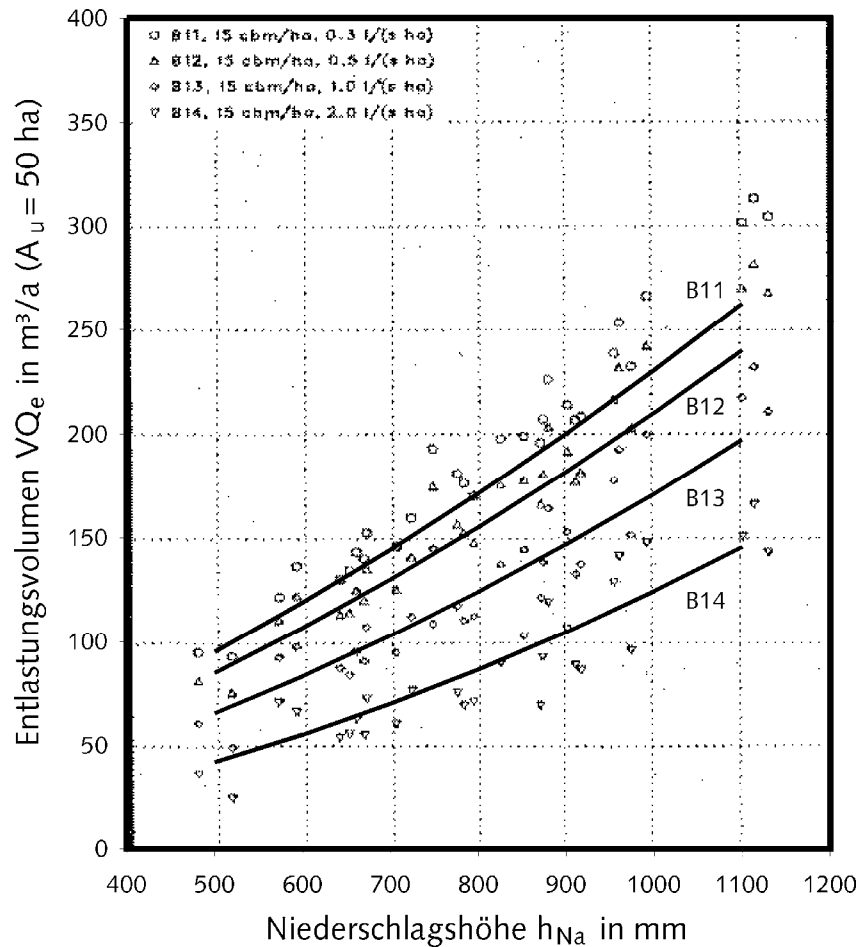


Bild 13: Simulationsergebnisse für Entlastungsvolumina nach Drechsel (1991) und eingezeichnete Kurven nach Gl. (4). Gezeigt sind 4 Regenbecken mit je $V_s = 15 \text{ m}^3/\text{ha}$ und unterschiedlichem q_r .

Weiterhin wurde für Bild 14 näherungsweise angesetzt, dass die Niederschlagshöhe und auch die Entlastungskenngrößen $\frac{3}{4}$ -jährlicher Regenreihen sich zeitproportional auf ein ganzes Jahr hoch rechnet. Diese Annahme ist nicht generell gültig, weil die von Drechsel (1991) verwendeten Sommer-Regenreihen die im Mittel niederschlagsstärkeren Monate umfassen (79 % der Jahresniederschlagshöhe). Außerdem führen die intensiveren Sommerregen je nach Entlastungskenngröße, Beckengröße und Regenabflussspende zu erhöhter oder aber auch zu verminderter Entlastungsaktivität. Die aus einer $\frac{3}{4}$ -jährlichen Reihe berechnete Entlastungsanzahl, -dauer und das Entlastungsvolumen liegt nach Drechsel (1991) zwischen 72 % und 88 % der aus einer 1-jährigen

Reihe berechneten Größe. Die hier angesetzte Zeitproportionalität würde generell 75 % bedeuten. Zum Zwecke einer Plausibilitätsprüfung erscheinen die oben angeführten Gleichungen und Ansätze ausreichend genau.

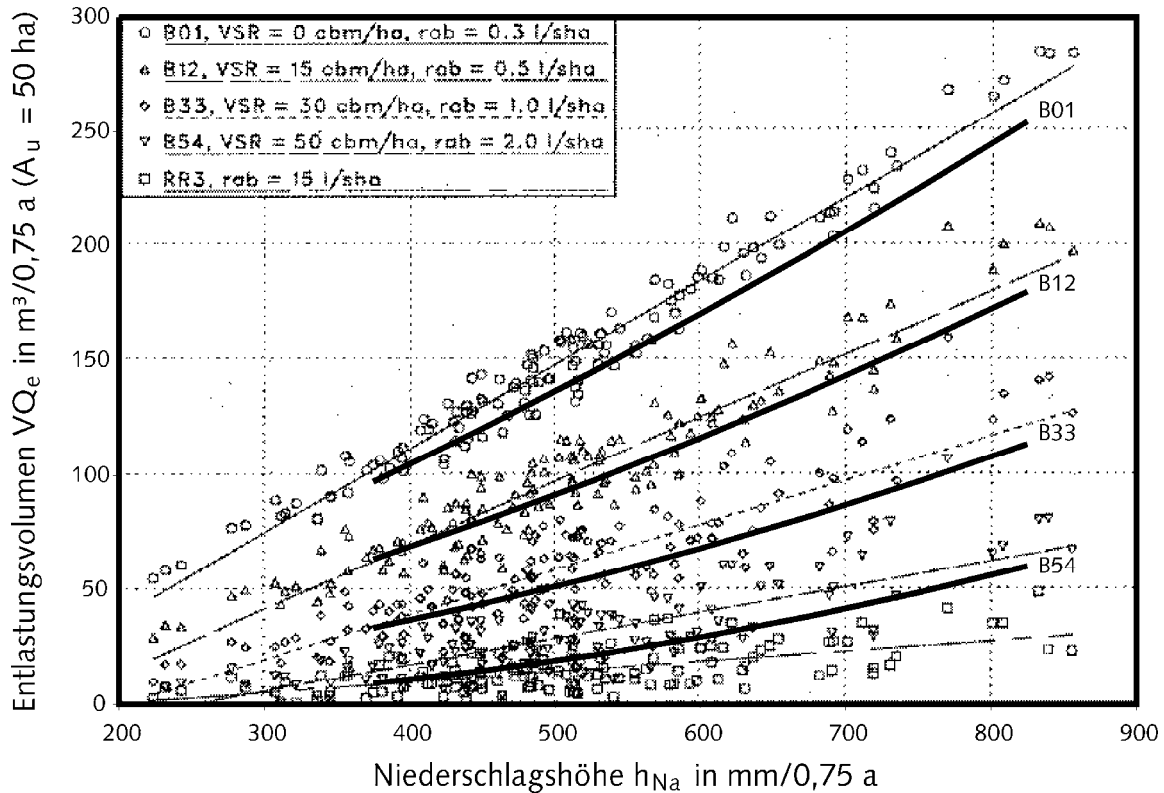


Bild 14: Gleiche Darstellung wie Bild 13, jedoch für 4 Becken unterschiedlicher Größe. Hier wurden von Drechsel (1991) für die Simulation $\frac{3}{4}$ -jährliche Niederschlagsreihen benutzt; die Achsen beziehen sich also auf Dreivierteljahre.

3.2 Überlauf dauern

Ohne Berücksichtigung einer Wasserstandshysterese lautet die Formel (8a) für die Überlauf dauern:

$$T_e = \frac{VQ_e}{3,6(Q_{re} - Q_{r24})} \quad (8a)$$

mit Q_{r24} und Q_{re} nach Gl. (5) und (7) nach Anhang 1 des LfU-Merkblattes Nr. 4.3/14.

Bild 15 zeigt für Gl. (8a) einen Vergleich mit Simulationsergebnissen aus Drechsel (1991). Hier wird deutlich, dass die Berechnung nach Gl. (8a) die per Langzeitsimulation ermittelten Entlastungsdauern tendenziell unterschätzt, wobei dies jedoch nur bei sehr kleinen und stark gedrosselten Becken signifikant ist. Bei Becken von üblicherweise anzutreffender Größenordnung für V_s und q_r ist die Abweichung gering (untere drei Kurven in Bild 15). Für die Plausibilitätsprüfung

von Messdaten ist also auch die genannte Berechnungsmöglichkeit für Überlaufauern ausreichend genau.

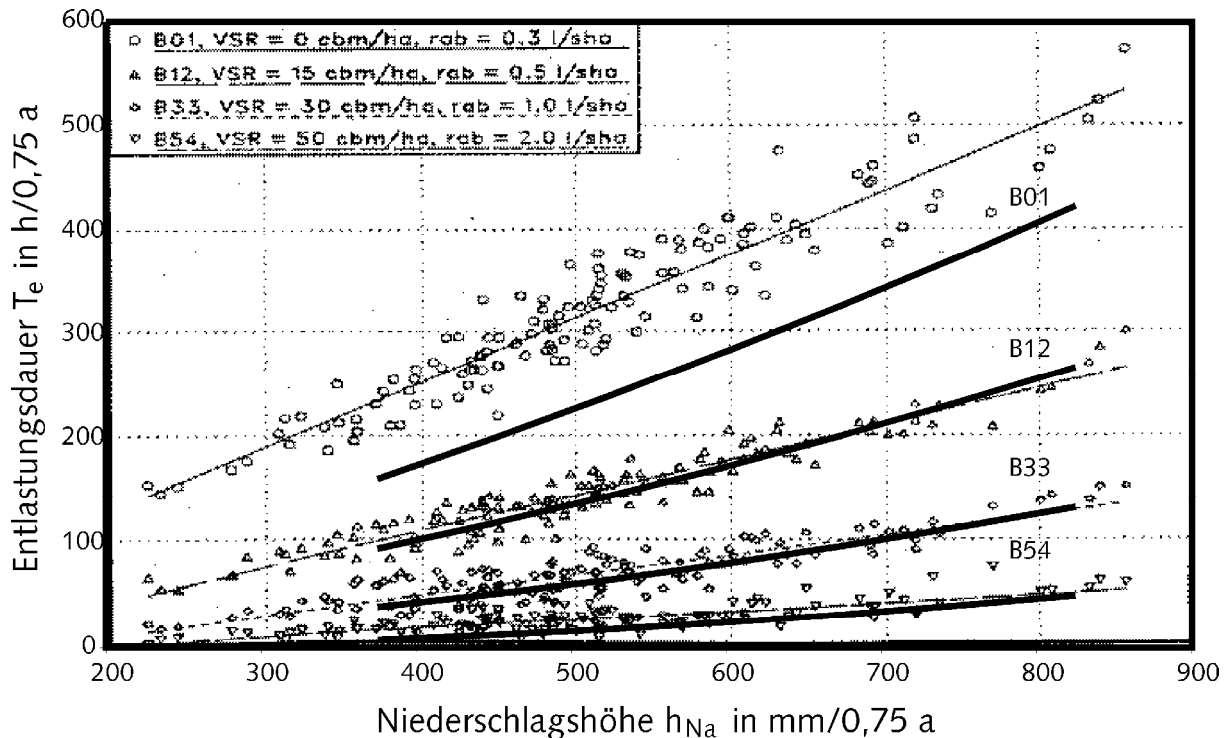


Bild 15: Vergleich der nach Gl. (8a) berechneten Entlastungsdauer mit Simulationsergebnissen nach Drechsel (1991), wiederum auf Dreivierteljahre umgerechnet

3.3 Überlaufhäufigkeiten

Ohne eine Umrechnung auf das Kriterium nach BayLfw (2001) „Häufigkeit der Tage mit Überlauf“ lautet die Formel (9) für die Häufigkeit der Überlaufereignisse:

$$n_e = 0,45 \cdot T_e \quad (9a)$$

Die Zahl 0,45 erwies sich als guter Schätzwert. n_e hat die Dimension 1/a und T_e wird in h/a angegeben. Der Faktor 0,27 bzw. 0,30 in Gl. (9) des LfU-Merkblattes Nr. 4.3/14 – mit oder ohne Hysterese im Wasserstand – berechnet sich zu $0,45 \cdot 0,66 / 1,09$ bzw. $0,45 \cdot 0,66 / 1,0$; die Faktoren 0,66 und 1,09 sind aus Kapitel 2 dieser Anlage zur Umrechnung der Kriterien nach Brombach et al. (1999) und BayLfw (2001) bekannt.

Bild 16 zeigt die mit Gl. (9a) berechneten Überlaufhäufigkeiten im Vergleich zu Simulationsergebnissen von Drechsel (1991). Im Bild sind beide Größen wieder auf Dreivierteljahre umgerechnet. Die Ergebnisse entsprechen etwa denen in Bild 15. Bei extrem kleinen und stark gedrosselten Becken unterschätzen die nach Gl. (9a) berechneten Überlaufhäufigkeiten die Simulationsergebnisse, im Bereich üblicher Beckenvolumina und –abflussspenden ergibt sich eine brauchbare Übereinstimmung.

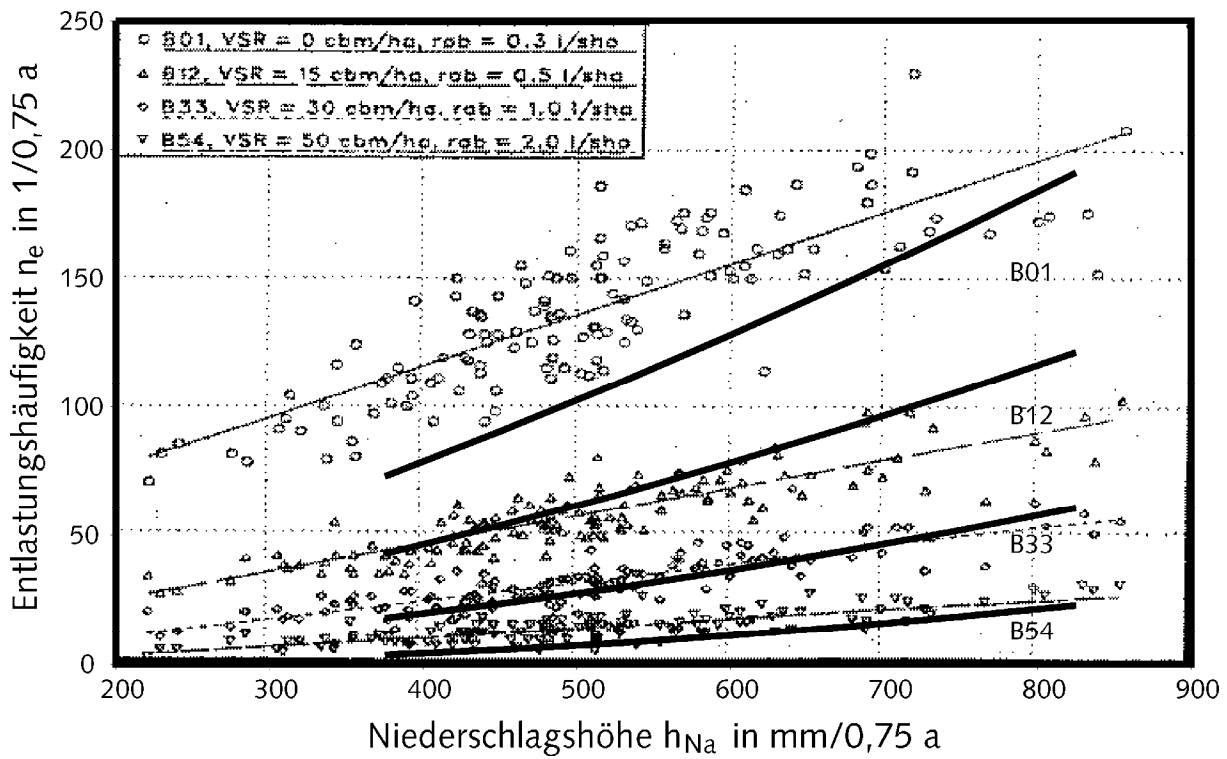
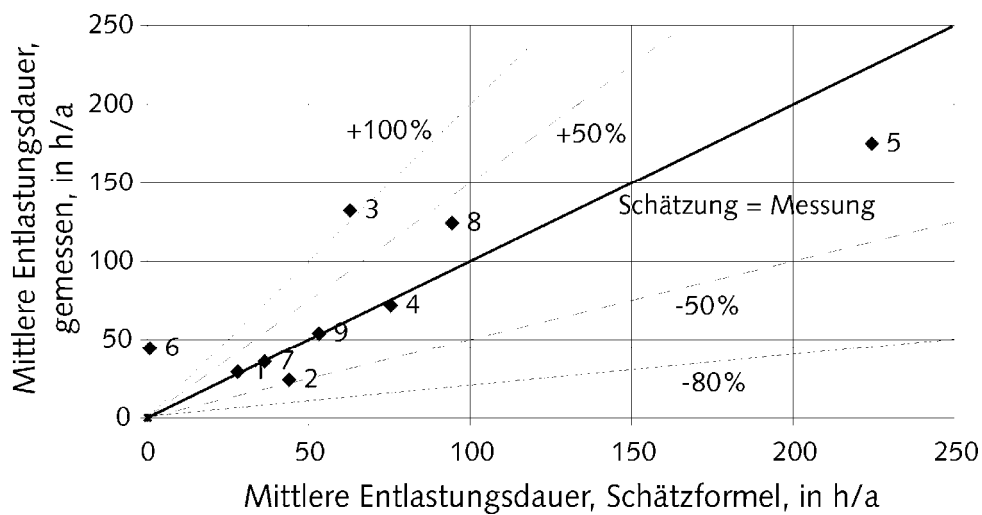
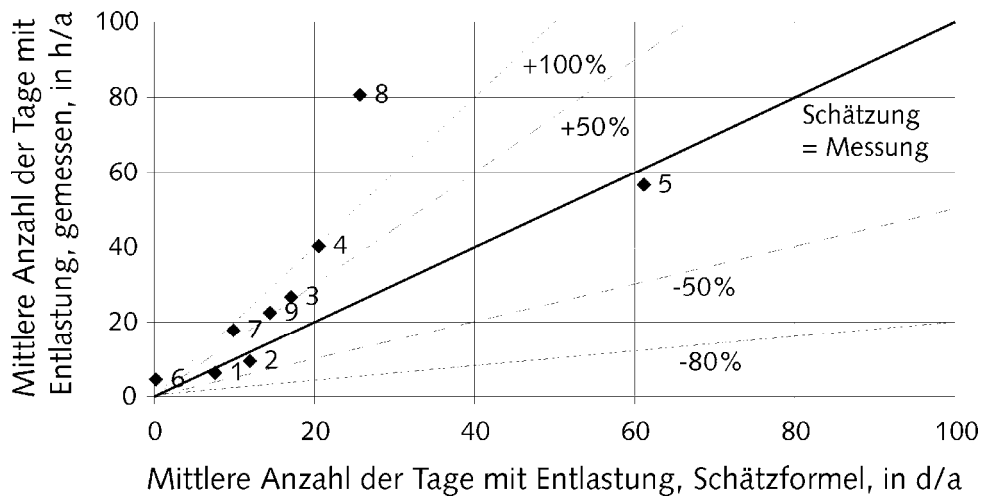


Bild 16: Vergleich der nach Gl. (9a) berechneten Entlastungshäufigkeit (Anzahl Entlastungsergebnisse pro $\frac{3}{4}$ -Jahr) mit Simulationsergebnissen nach Drechsel (1991)

4 Anwendung des Schätzverfahrens für die Entlastungskenngrößen an einigen ausgewählten Regenbecken

Vergleich der gemessenen Überlaufaktivität mit Schätzformeln										8	9
										Gelbe Felder = Eingabedaten	Farblose Felder = Berechnete Daten
Laufende Nummer		1	2	3	4	5	6	7			
Regenbecken	Symbol (A 198, A 128)	Bad Mergentheim Edelfingen	Bad Mergentheim Löffelstelzen	Ansbach RÜB 25/26 Brunnenstraße/Eyb	Weißenburg RÜB I Lehenwiesweg	Lauf-Niederhofen	Grünwettersbach Fallbrunnen	Karlsruhe Saarlandstraße	Tengen	Engen	
Art des Beckens		FB NS	FB NS	FB NS + SKU	DB + RRK	DB NS	DB HS	FB NS	WA HS	FB HS	
a) Daten des direkten Einzugsgebietes im Istzustand (Messzeitraum)											
Gesamtfläche Mischsystem	$A_{E,K}$ in ha	36,10	21,25	52,2	65,06						
Gesamtfläche Trennsystem	$A_{E,K}$ in ha	2,47	0	0	0						
Undurchläss. Fläche MS	A_U in ha	15,64	9,77	22,21	39,29	27,6	19,3	9,8	15,0	100,2	
Undurchläss. Fläche TS	A_U in ha	0,99	0	0	0	0	0	1,7	0	0	
Niederschlag im Messzeitraum, auf 1 Jahr hochgerechnet	h_{NA} in mm/a	628	642	642	800	750	750	750	750	750	
Einwohner Mischsystem	EW	1385	908	1697	3300						
Einwohner Trennsystem	EW	92	0	0	0						
Trinkwasserverbrauch	W_8 in l/(E·d)	130	130	102	216						
Fremdwasserspense bez. auf Gesamtfläche	$q_{F,E,K}$ in l/(s·ha)	0,0295	0,0295	0,012	0,1						
Fließzeit	t_f in min	10	10	15	15	15	15	15	10	20	
Schmutzwasserabfluss	$Q_{S,AM}$ in l/s	2,22	1,37	2,00	8,25	12,00	12,00	4,50	2,26	11,80	
Fremdwasserabfluss	Q_F in l/s	1,14	0,63	0,63	6,51	6,00	4,00	0,50	0,50	10,00	
Regenabfluss aus Trenngebieten (Ansatz: $Q_{RT24} = Q_{S,AM}$)	Q_{RT24} in l/s	0,14	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	
Drosselabfluss von Oberliegerbecken	$\Sigma Q_{Dr,i}$ in l/s	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
b) Beckendaten											
Volumen RÜB	V in m ³	700	345	530	730	521	832	110	36	1800	
Vol. eingestauter Zulaufkanäle	V in m ³	200	100	300	589	0	0	0	10	500	
Drosselabfluss	Q_{Dr} in l/s	26,0	14,5	28,0	80,0	30,0	171,0	40,0	35,0	233,0	
c) Abschätzung der Entlastungsaktivität											
Spezifisches Volumen	V_s in m ³ /ha	57,54	45,55	37,37	33,57	18,88	43,11	11,22	3,07	22,94	
Regenabflussspende	q_r in l/(s·ha)	1,439	1,280	1,111	1,406	0,435	8,031	3,503	2,149	2,107	
Hilfsgröße nach A 128	H_1	2028,42	2201,91	2423,78	2061,85	4068,72	489,48	1008,27	1501,20	1524,71	
Hilfsgröße nach A 128	H_2	29,00	30,38	32,16	29,27	45,65	17,02	21,01	24,84	25,03	
Entlastungsrate	e_0 in %	13,14	19,05	24,91	26,81	55,81	0,89	24,03	46,54	24,53	
Jährlich entlastetes Volumen (Schätzformel)	VQ_8 in m ³ /a	8388	7767	23088	54781	75090	838	11481	34031	119889	
Mittlerer Entlastungszufluss	Q_{re} in l/s	113,52	66,18	136,08	275,43	113,30	517,78	130,17	141,43	895,19	
Mittlere Entlastungsdauer	T_8 in h/a	25,6	40,2	57,6	69,1	205,9	0,6	33,3	86,6	48,7	
Mittlere Entlastungshäufigkeit	n_8 in h/a	11,5	18,1	25,9	31,1	92,7	0,3	15,0	39,0	21,9	
Mittlere Entlastungsdauer, neues Kriterium	T_8 in h/a	27,9	43,8	62,7	75,3	224,4	0,7	36,3	94,4	53,1	
Mittlere Entlastungshäufigkeit, neues Kriterium Tage/Jahr	n_8 in d/a	7,6	11,9	17,1	20,5	61,2	0,2	9,9	25,7	14,5	
d) Gemessene Entlastungsaktivität											
Jährlich entlastetes Volumen (gemessen)	VQ_8 in m ³ /a			12131	27996	65125	7119				
Mittlere Entlastungsdauer	T_8 in h/a			121,5	65,8	160,8	40,7	32,8	114,0	49,6	
Mittlere Entlastungshäufigkeit	n_8 in 1/a			40,5	61,1	86,0	7,0	27,0	122,3	34,1	
Mittlere Entlastungsdauer, neues Kriterium	T_8 in h/a	29,3	24,1	132,4	71,7	175,3	44,3	35,8	124,3	54,1	
Mittlere Entlastungshäufigkeit, neues Kriterium Tage/Jahr	n_8 in d/a	6,4	9,5	26,7	40,3	56,8	4,6	17,8	80,7	22,5	
Bemerkungen				Bestandsflächen teilweise geschätzt. Schwergängige Drossel. Rückstau vom Gewässer				Rückstau?	Fremdwasser wird getrennt abgeleitet	Ansatz Bestand = 80 % der Fläche und der EW im Planungszustand	



Bilder 17 a und b: Ergebnisse des Vergleichs der geschätzten und gemessenen Entlastungshäufigkeit und –dauer für 9 ausgewählte Regenüberlaufbecken, umgerechnet auf das Kriterium nach BayLfW (2001). Es ist zu beobachten, dass fast alle untersuchten Becken tatsächlich öfter überliefen als nach der Schätzformel.

5 Vergleich der gemessenen Überlaufaktivität mit Simulationsergebnissen

Vergleich der gemessenen Überlaufaktivität mit Simulationsergebnissen									
Laufende Nummer		1		2					
Regenbecken	Symbol (A 198, A 128)	Bad Mergentheim Edelfingen	Bad Mergentheim Löffelstelzen					Bad Mergentheim Edelfingen	Bad Mergentheim Löffelstelzen
Art des Beckens		FB NS	FB NS					FB NS	FB NS
		Istzustand (Messezeitraum)				Planungszustand (Simulation)			
a) Daten des direkten Einzugsgebietes									
Gesamtfläche Mischsystem	$A_{E,K}$ in ha	36,10	21,25					55,56	21,25
Gesamtfläche Trennsystem	$A_{E,K}$ in ha	2,47	0					2,47	9,87
Undurchläss. Fläche MS	A_U in ha	15,64	9,77					24,23	9,77
Undurchläss. Fläche TS	A_U in ha	0,99	0					0,99	4,54
Niederschlag im Messezeitraum, auf 1 Jahr hochgerechnet	h_{NA} in mm/a	628	642					654	654
Einwohner Mischsystem	EW	1385	908						
Einwohner Trennsystem	EW	92	0						
Trinkwasserverbrauch	w_s in l/(E-d)	130	130						
Fremdwasserspende bez. auf Gesamtfläche	$q_{F,E,K}$ in l/(s-ha)	0,0295	0,0295					(Hier werden die direkt in der Simulation angesetzten Abflüsse angegeben)	
Fließzeit	t_f in min	15	15					15	15
Schmutzwasserabfluss	$Q_{S,aM}$ in l/s	2,22	1,37					4,38	1,95
Fremdwasserabfluss	Q_F in l/s	1,14	0,63					2,37	1,25
Regenabfluss aus Trenngebieten (Ansatz: $Q_{RT24} = Q_{s,aM}$)	Q_{RT24} in l/s	0,14	0,00					0,18	0,16
Drosselabfluss von Oberliegerbecken	$\Sigma Q_{Dr,i}$ in l/s	0,00	0,00					0,00	0,00

b) Beckendaten									
Volumen RÜB	V in m ³	700	345					700	345
Vol. eingestauter Zulaufkanäle	V in m ³	200	100					200	100
Drosselabfluss	Q _{Dr} in l/s	26	14,5					26	25
c) Abschätzung der Entlastungsaktivität									
Spezifisches Volumen	V _s in m ³ /ha	57,54	45,55					37,14	45,55
Regenabflussspende	q _r in l/(s·ha)	1,439	1,280					0,787	2,215
Hilfsgröße nach A 128	H ₁	2028,42	2201,91					3004,15	1466,18
Hilfsgröße nach A 128	H ₂	29,00	30,38					36,85	24,57
Entlastungsrate	e ₀ in %	13,14	19,05					30,95	11,26
Jährlich entlastetes Volumen (Schätzformel)	VQ_e in m³/a	8388	7767					31880	4677
Mittlerer Entlastungszufluss	Q _e in l/s	111,17	64,81					124,99	92,13
Mittlere Entlastungsdauer	T _e in h/a	26,3	41,2					83,6	18,4
Mittlere Entlastungshäufigkeit	n _e in h/a	11,8	18,6					37,6	8,3
Mittlere Entlastungsdauer, Kriterium nach BayLFW (2001)	T_e in h/a	28,6	45,0					91,1	20,1
Mittlere Entlastungshäufigkeit, Kriterium Tage/Jahr	n_e in d/a	7,8	12,3					24,8	5,5
d) Simulationsergebnisse									
Planungszustand									
Jährlich entlastetes Volumen (gemessen)	VQ _e in m ³ /a							73571,9	13494,7
Mittlere Entlastungsdauer	T _e in h/a							282,6	128,1
Mittlere Entlastungshäufigkeit	n _e in h/a							38,79	22,69
Mittlere Entlastungsdauer, Kriterium nach BayLFW (2001)	T_e in h/a			Umrechnungsfaktor Neu/Alt	1,09			308,0	139,6
Mittlere Entlastungshäufigkeit, Kriterium Tage/Jahr	n_e in d/a			Umrechnungsfaktor Neu/Alt	0,66			25,6	15,0
e) Simulationsergebnisse									
Planungszustand, auf den Messzeitraum hochgerechnet									
Jährlich entlastetes Volumen (gemessen)	VQ _e in m ³ /a								
Mittlere Entlastungsdauer	T _e in h/a								
Mittlere Entlastungshäufigkeit	n _e in h/a								
Mittlere Entlastungsdauer, neues Kriterium	T_e in h/a	29,3	24,1					96,82	312,50
Mittlere Entlastungshäufigkeit, neues Kriterium Tage/Jahr	n_e in d/a	6,4	9,5					8,05	33,52

Laufende Nummer		1	2					1	2		
Regenbecken	Symbol (A 198, A 128)	Bad Mergentheim Edelfingen	Bad Mergentheim Löffelstelzen					Bad Mergentheim Edelfingen	Bad Mergentheim Löffelstelzen		
		Art des Beckens	FB NS	FB NS				FB NS	FB NS		
Istzustand (Messzeitraum)						Planungszustand (Simulation)					

f) Gemessene Entlastungsaktivität									
Jährlich entlastetes Volumen (gemessen)	VQ _e in m ³ /a								
Mittlere Entlastungsdauer	T _e in h/a								
Mittlere Entlastungshäufigkeit	n _e in h/a								
Mittlere Entlastungsdauer, neues Kriterium	T_e in h/a	29,3	24,1					96,82	312,50
Mittlere Entlastungshäufigkeit, neues Kriterium Tage/Jahr	n_e in d/a	6,4	9,5					8,05	33,52

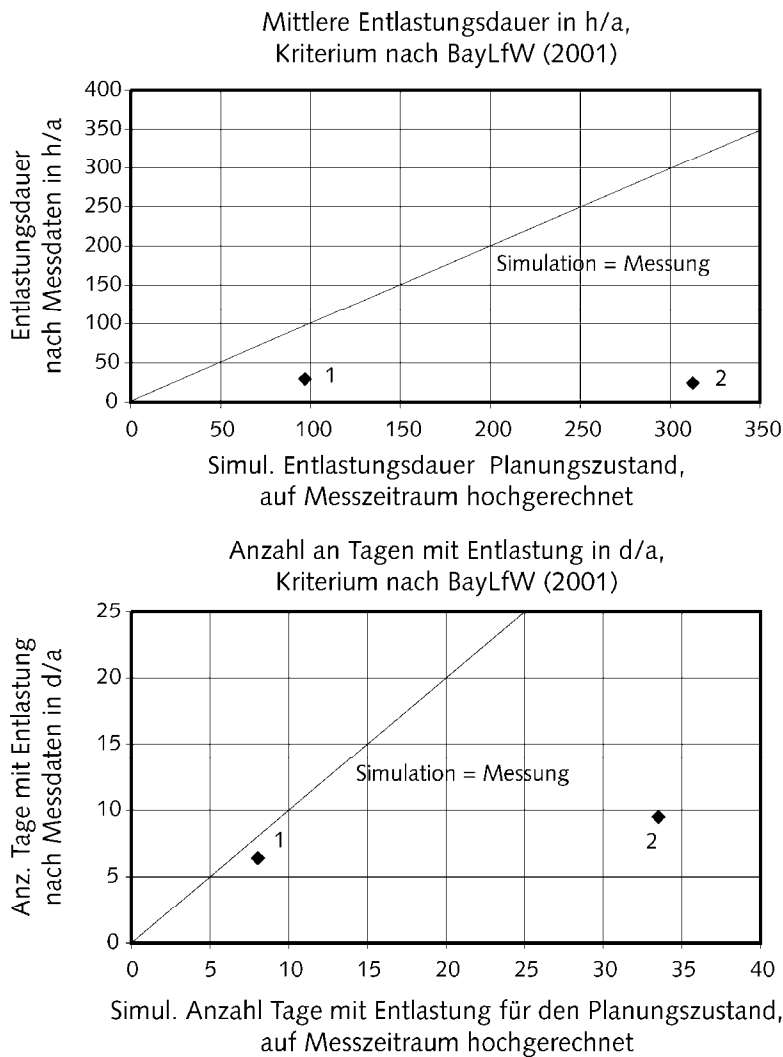


Bild 18 a und b: Vergleich von Simulationsergebnissen, die auf den Istzustand im Messzeitraum umgerechnet wurden, mit gemessenen Größen. Für diesen Vergleich waren nur für 2 Bauwerke gut dokumentierte Mess- und Simulationsdaten greifbar.

Offenbar berechnet die Schmutzfrachtsimulation in beiden Fällen deutlich zu große Entlastungswassermengen. Ein möglicher Grund sind zu geringe Verlustansätze und die Niederschlagsersatzbelastung (Regenspektrum mit Blockregen) des verwendeten Modells.

6 Literatur

ATV-A 128 (1992): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. Arbeitsblatt A 128 der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. Hennef: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V.

- ATV-DVWK-A 198 (2003): Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen. Arbeitsblatt A 198. Hennef: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V.
- ATV-DVWK-M 177 (2001): Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Erläuterungen und Beispiele. Merkblatt M 177 der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. Hennef: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V.
- EÜV (1995): Verordnung zur Eigenüberwachung von Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen (Eigenüberwachungsverordnung – EÜV) vom 20. 9. 1995. In: Kläranlagen-Nachbarschaften, Sonderdruck Eigenüberwachung von Abwasseranlagen, Stand Juni 1996. Hrsg.: ATV-Landesgruppe Bayern. München: Hirthammer
- BayLfW (2001): Planung, Bau und Betrieb von Messeinrichtungen an Regenüberlaufbecken. Praxisratgeber. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- Brombach, H., Wöhrle, Ch. (1997): Gemessene Entlastungsaktivität von Regenüberlaufbecken. Korrespondenz Abwasser, 44. Jhg., Heft 1, S. 44-66
- Meißner, E. (1991): Abschätzung der mittleren Jahresschmutzfracht aus Mischwasserentlastungen. Wasser-Abwasser-Abfall, Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft, Universität Gesamthochschule Kassel, Heft 7, S. 69-76
- Weiß, G., Brombach, H., Wöhrle, Ch. (2005): Monitoring of combined sewer overflow tanks: Results of 500 years of measurement records. 10th International Conference on Urban Drainage, Kopenhagen, 21.-26.08.2005