

# Bemessung von Schöpfwerken durch statistische Analysen von Kanalisations- und Hochwasserabflüssen

Esther Bank, Bernhard Vogt (Eching am Ammersee) und Alfons Lerch (Regensburg)

## Zusammenfassung

Schöpfwerke zur Entwässerung überlasteter Kanalisationssysteme sind häufig überdimensioniert, wenn die freie Vorflut verhindert ist. Der Grund hierfür ist die Unkenntnis darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit Starkniederschläge im Einzugsgebiet der Kanalisation und Hochwasserereignisse im Vorfluter gleichzeitig eintreten. Dieser Beitrag stellt am Beispiel des Schöpfwerks in Chamerau (Bayern) eine Methode vor, mit der eine zweckmäßige Bemessungsgrundlage anhand statistischer Auswertungen des gleichzeitigen Auftretens dieser beiden Ereignisse ermittelt werden kann.

**Schlagwörter:** Entwässerungssysteme, Kanalisation, Schöpfwerk, Starkniederschlag, KOSTRA, Hochwasser, Abfluss, Bemessung, Statistik, Entlastungsbauwerk, Regenüberlaufbecken

## Abstract

### Design of Pumping Stations By Relying on Statistical Analyses of Stormwater and Flood Discharges

*Pumping stations for the drainage of sewer systems, which are surcharged when flood prevents the discharge into the receiving watercourse, are often oversized. This is due to a lack of knowledge about the probability of simultaneous occurrence of heavy rainfalls in the catchment area of sewer systems and flood events in the receiving watercourse. The paper uses the example of the Chamerau pumping station in Bavaria to present a method for the practical design of such pumping stations based on statistical analyses of cases where the two events occurred simultaneously.*

**Key words:** drainage systems, sewer system, pumping station, heavy rainfall, KOSTRA, flood, discharge, design, statistics, structure with overflow, stormwater tank with overflow

## 1 Einleitung

Bei der Dimensionierung und Ausführung von Entwässerungssystemen in Siedlungsgebieten befinden sich die verantwortlichen Planer regelmäßig in einem Zielkonflikt. Die Anlagen müssen einerseits für alle vorhersehbaren Lastfälle ausgelegt werden, andererseits sollen sie kostengünstig erstellt und wirtschaftlich betrieben werden können. Die durch die moderne Computertechnik möglich gewordene Auswertung großer Datenmengen erlaubt in Verbindung mit numerischen Simulati-

onsrechnungen mittlerweile zunehmend bessere Lösungen für die Bemessung derartiger Anlagen. Im Folgenden wird dies anhand einer Methode zur Ermittlung der Bemessungsgrundlage für ein Schöpfwerk beispielhaft veranschaulicht. Die Problemstellung ist folgende:

Nach starken Regenfällen werden mehr oder weniger große Anteile des in die Kanalisation abgeleiteten Niederschlagswassers häufig in einen Vorfluter entlastet. Bei gleichzeitig auftretendem Hochwasser im Vorfluter kann das Entlastungsbauwerk aber so stark eingestaut sein, dass eine Ableitung im freien Gefälle nicht mehr möglich ist. Für diesen Fall muss ein Schöpfwerk vorgehalten werden.

Die maßgebende Norm zur Bemessung von Schöpfwerken (DIN 1184 Teil 1) [1] bemerkt hierzu: „Eine Gleichzeitigkeit [sehr großer Zuflüsse und sehr hoher Wasserstände im Vorfluter] kann ausgeschlossen werden, wenn diese Ereignisse zu unterschiedlichen Jahreszeiten vorkommen. In allen anderen Fällen ist Gleichzeitigkeit möglich.“

Um der Norm gerecht zu werden, nimmt man üblicherweise an, dass der Vorfluter bei jedem auftretenden Entlastungsereignis auch gleichzeitig eingestaut ist. Dies tritt in der Praxis aber keineswegs immer ein. Sowohl die Häufigkeit des gleichzeitigen Auftretens der Ereignisse als auch die dabei anfallende Bemessungswassermenge werden überschätzt. Das konventionell berechnete Schöpfwerk ist somit überdimensioniert.

Eine Untersuchung des gleichzeitigen Auftretens von Hochwasserereignissen im Vorfluter und Starkniederschlägen im Einzugsgebiet des Kanalnetzes erlaubt häufig eine erheblich wirtschaftlichere Schöpfwerksdimensionierung. Am Beispiel eines Schöpfwerks in der Gemeinde Chamerau im Landkreis Cham/Bayern soll ein statistisches Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Bemessungsniederschläge vorgestellt werden.

## 2 Methodik

Kernpunkt der Gleichzeitigkeitsuntersuchung ist die statistische Auswertung von Niederschlagsereignissen, die aufgetreten sind, während das Entlastungsbauwerk durch Hochwasserführung im Vorfluter eingestaut war. Die Einstauzeiträume des Entlastungsbauwerks werden auf der Grundlage von häufig vorliegenden, möglichst langjährigen Abflussmessungen im Vorfluter bestimmt. Mittels hydraulischer Wasserspiegellagenberechnungen wird zunächst die Wasserstands-Abfluss-Beziehung (Abflusskurve) für die Einmündungsstelle des Entlas-

tungsbauwerks in den Vorfluter aufgestellt. Anhand dieser Abflusskurve werden die Abflüsse in Wasserstände umgerechnet, so dass die Einstauzeiträume des Entlastungsbauwerks rekonstruiert werden können.

Aus Niederschlagsaufzeichnungen eines für das Einzugsgebiet des Kanalnetzes repräsentativen Regenschreibers werden die Niederschlagshöhen selektiert, die während der Einstauzeiträume gefallen sind. Aus diesen Daten werden überlappende Summen für ausgewählte Niederschlagsdauern (Dauerstufen) gebildet und die maximalen Summen gesucht, die innerhalb von unabhängigen Niederschlagsereignissen aufgetreten sind. Niederschlagsereignisse werden dann als unabhängig voneinander angesehen, wenn die Ereignisse durch einen niederschlagsfreien Zeitraum getrennt sind, der mindestens doppelt so lang ist wie die jeweils betrachtete Dauerstufe. Als niederschlagsfrei wird ein Zeitraum definiert, wenn in einem 5-Minuten-Intervall eine Niederschlagshöhe kleiner 0,001 mm aufgezeichnet wurde.

Als Ergebnis liegt nun für jede Dauerstufe eine Stichprobe mit den maximalen Höhen der Niederschläge vor, die während der Einstauereignisse gefallen sind. An jede der Stichproben werden statistische Verteilungsfunktionen angepasst. Die für die jeweilige Dauerstufe am besten angepasste Verteilung wird zur Bestimmung der Bemessungsniederschläge herangezogen.

Bemessungsniederschläge müssen so gewählt werden, dass sie mit einer vorzugebenden Wahrscheinlichkeit gerade noch zum Versagen des Entwässerungssystems führen. Das geschieht dann, wenn das Entlastungsbauwerk eingestaut ist und gleichzeitig ein binnenseitiges Entlastungsereignis eintritt, das vom Schöpfwerk gerade nicht mehr abgeleitet werden kann. Diese Versagenswahrscheinlichkeit kann durch die Verbundwahrscheinlichkeit  $P(K \cap G)$  dargestellt werden.  $K$  steht für das binnenseitige Entlastungsereignis und  $G$  für das Einstauereignis.

Da die Verteilungsfunktionen an Stichproben angepasst sind, die der Grundgesamtheit der Niederschläge bei Einstau entstammen, muss sich auch die Wahrscheinlichkeit, für die die Bemessungsniederschläge ermittelt werden, auf diese Grundgesamtheit beziehen. Hierzu wird die Verbundwahrscheinlichkeit  $P(K \cap G)$  mit Gleichung (1) in die bedingte Wahrscheinlichkeit  $P(K|G)$  [2] überführt:

$$P(K|G) = \frac{P(K \cap G)}{P(G)} \quad (1)$$

Die bedingte Wahrscheinlichkeit  $P(K|G)$  steht für die Wahrscheinlichkeit eines binnenseitigen Entlastungsereignisses unter der Voraussetzung, dass das Entlastungsbauwerk bereits eingestaut ist.  $P(G)$  ist die Einstauwahrscheinlichkeit des Entlastungsbauwerks. Diese kann durch Auswertung der Anzahl der Einstauereignisse während des Beobachtungszeitraums ermittelt werden.

Wegen der besseren Anschaulichkeit werden die Verteilungsfunktionen über die Wiederkehrzeit aufgetragen. Die bedingte Entlastungswahrscheinlichkeit  $P(K|G)$  ist gemäß Gleichung (2) in eine Wiederkehrzeit  $T$  umzurechnen. Zu beachten ist, dass es sich bei  $P(K|G)$  um eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit handelt.

$$T(K|G) = \frac{1}{P(K|G)} \quad (2)$$

Die Bemessungsniederschlagshöhen ergeben sich nun als Quantil zu  $P(K|G)$  von der am besten angepassten Verteilungsfunktion. Für jede Dauerstufe wird somit eine Bemessungsniederschlagshöhe bestimmt. Mit Kanalnetz- oder Niederschlag-Abfluss-Berechnungen ist zu überprüfen, welche Dauerstufe des Niederschlags die ungünstigste Belastung darstellt. Der zugehörige Bemessungsniederschlag ist für die Dimensionierung des Schöpfwerks maßgebend.

## 3 Bemessungsniederschläge für das Schöpfwerk Chamerau

### 3.1 Örtliche Gegebenheiten

Im Stadtgebiet von Chamerau wird die Misch- und Regenwasserkanalisation bei starken Niederschlagsereignissen über ein Regenüberlaufbecken (RÜB) in den Fluss „Regen“ entlastet. Das Regenüberlaufbecken befindet sich am rechten Ufer des „Regen“ bei Fkm 95,550. Die Wehroberkante des Entlastungsbauwerks hat eine Höhe von 373,08 m + NN. Etwa einmal pro Jahr stellt sich im „Regen“ ein Wasserspiegel ein, der über der Wehroberkante des Entlastungsbauwerks liegt, so dass Überflutungen im Einzugsgebiet zu befürchten sind. In einem solchen Fall wird die Kanalisation durch ein Schütz am Auslauf des Entlastungsbauwerks gegen den Vorfluter abgesperrt. Eine Entlastung ist dann nicht mehr möglich.

Um zukünftig eine Überlastung der Kanalisation während dieser Einstauzeiträume zu vermeiden, sollen die anfallenden Wassermengen über ein Schöpfwerk in den „Regen“ gefördert werden. Die Planung hierfür erfolgte im Rahmen eines Hochwasserschutzkonzepts für die Gemeinde Chamerau. Die Bemessungsniederschläge zur Bestimmung der notwendigen Förderleistung des Schöpfwerks wurden durch eine Gleichzeitigkeitsuntersuchung nach der zuvor beschriebenen Methode ermittelt.

### 3.2 Bestimmung der Einstauzeiträume

Das RÜB ist eingestaut, wenn der Wasserspiegel im „Regen“ die Höhe der Wehrkrone von 373,08 m + NN übersteigt. Anhand von langjährigen Abflussaufzeichnungen am Pegel Chamerau, der sich etwa drei Kilometer oberhalb des Regenüberlaufbeckens bei Fkm 98,6 befindet, wurde eine Wasserstandsganglinie zur Bestimmung der Einstauzeiträume generiert. Die Abflussaufzeichnungen reichen von 1961 bis 2002. Über eine Abflusskurve wurden die Abflüsse in Wasserstände

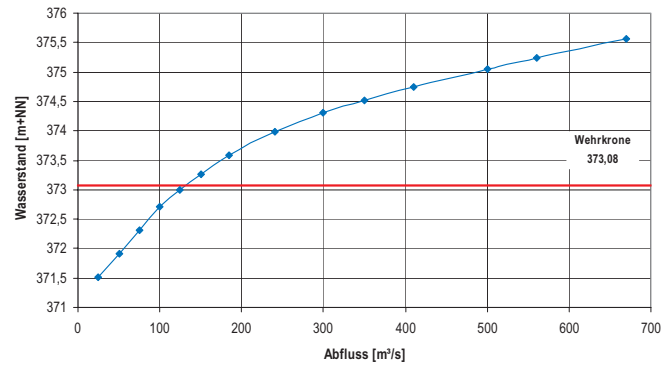


Abb. 1: Abflusskurve am Entlastungsbauwerk Chamerau

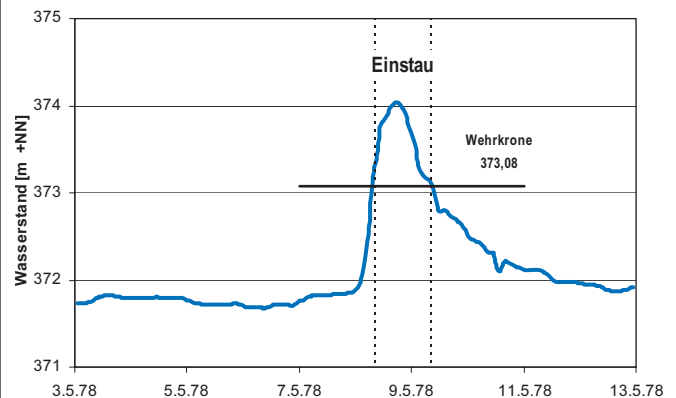


Abb. 2: Wasserstand am Regenüberlaufbecken Chamerau, Einstauereignis 5/1978

umgerechnet. Die Abflusskurve wurde durch Auswertung von 2D-hydraulischen Wasserspiegellagenberechnungen erhalten. Dafür wurde ein hydraulisches Modell vom Fluss „Regen“ von Fkm 94,6 bis Fkm 96,0 verwendet, das aus Befliegungsdaten und Querprofilaufnahmen aufgebaut wurde. Das Modell beschreibt das Gewässer im ausgebauten Zustand, nach Umsetzen der in der Planung zum Hochwasserschutz Chamerau vorgesehenen Maßnahmen (neue Hochwasserschutzmauer). Damit gibt die generierte Wasserstandsganglinie nicht die tatsächlich aufgetretenen Wasserstände wieder, sondern die Wasserstände, die aufgetreten wären, wenn sich das Gewässer

Dauerstufe [min]	N <sub>Stichprobenwerte</sub>	Überschreitungswahrscheinlichkeit der berechneten Prüfgröße $z_{krit}$ in %										
		Normal	Pearson III	Gamma	Gumbel	Exponential	Weibull	Log-Normal	Log-Pearson III	Log-Gamma	Log-Gumbel	Log-Weibull
10	107	0,0		25,1	1,4	23,6	<b>56,8</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	92	0,0		0,0	0,0	1,6	0,0	31,0	0,0	0,0	23,0	<b>35,6</b>
20	86	0,0	0,4	0,1	0,0	2,0	0,1	35,1	0,0	0,0	17,0	<b>53,1</b>
30	68	0,2	0,8	5,4	0,1	21,4	0,7	39,4	0,0		11,9	<b>48,1</b>
45	58	1,3	1,7	24,7	1,1	25,9	1,6	52,9	0,0		15,5	<b>61,2</b>
60	50	9,0	16,4	95,4	12,8	71,5	15,5	85,7			22,9	<b>95,5</b>

Tabelle 1: Überschreitungswahrscheinlichkeiten der berechneten Prüfgrößen (fett: beste Anpassung, grau-kursiv: keine Anpassung)

bereits im ausgebauten Zustand befunden hätte. Abbildung 1 zeigt die Abflusskurve für den angestrebten Planungszustand. Anhand der generierten Wasserstandsganglinie wurden nun die Einstauzeiträume am Entlastungsbauwerk Chamerau ermittelt. Abbildung 2 zeigt beispielhaft ein solches Einstauereignis.

### 3.3 Extremwertstatistische Auswertung der Niederschlagshöhen

Für die statistische Auswertung der Niederschlagshöhen, die während der Einstauzeiträume aufgetreten sind, wurden die Niederschlagsmessungen der Wetterstation Weiden verwendet. Die Station ist 70 km von Chamerau entfernt, kann aber dennoch als repräsentativ für Chamerau angesehen werden. Ein Vergleich der Starkregenauswertung KOSTRA des Deutschen Wetterdienstes (DWD) [3] zeigt, dass die beiden Gebiete gleiches Niederschlagsverhalten aufweisen.

Die Niederschlagsmessungen lagen als äquidistante Niederschlagshöhen in 5-Minuten-Intervallen vor. Der Beobachtungszeitraum umfasst die Jahre 1963 bis 1990 und 1993 bis 2002. Zwischen 1963 und 1990 existieren bei einigen Jahren nur Daten von den Sommermonaten April bis September. Um eine konsistente Datengrundlage zu erhalten, wurden über den gesamten Beobachtungszeitraum nur die Niederschlagshöhen der Sommermonate April bis September ausgewertet. Dies ist zulässig, da die maßgebenden Niederschläge für die Kanalisation in den Sommermonaten auftreten. Für Niederschlag und Abfluss lagen somit Daten für einen überlappenden Beobachtungszeitraum von 42 Jahren vor.

Von den Niederschlagsmessungen während der Einstauereignisse wurden die Summen für die Dauerstufen 10 min, 15 min, 20 min, 30 min, 45 min sowie 60 min gebildet und davon die Maxima je Niederschlagsereignis gesucht. Aufgrund der Größe und Charakteristik des Einzugsgebiets war zu erwarten, dass die Niederschlagsdauer, bei der die größte zu entlastende Wassermenge anfällt, im Bereich 15 und 45 Minuten liegt. Für jede Dauerstufe lag somit eine Stichprobe mit den Niederschlagsmaxima vor, an die insgesamt elf statistische Verteilungsfunktionen angepasst wurden (Tabelle 1).

Die Verteilungsparameter wurden nach der Momenten-Methode und im Fall der Normal-Verteilung nach der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt. Die als Nullhypothese bezeichnete Annahme, dass eine angepasste Verteilung eine Stichprobe hinreichend beschreibt, wurde anhand des Kolmogoroff-Smirnow-Tests [4] geprüft. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,05$  wurde die Nullhypothese abgelehnt, falls die berechnete Prüfgröße  $c_{\text{prüf}}$  kleiner ist als die kritische Prüfgröße  $c_{\text{krit}}$  war. Letztere kann in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang und von der Irrtumswahrscheinlichkeit aus Tabellenwerken entnommen werden.

Können mehrere Verteilungen an eine Stichprobe angepasst werden, ist die Überschreitungswahrscheinlichkeit der berechneten Prüfgröße  $z_{\text{krit}}$  ein Kriterium zum Vergleich der Anpassungsgüten der einzelnen Verteilungen. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit  $z_{\text{krit}}$  ist die höchstmögliche Irrtumswahrscheinlichkeit, für die die Nullhypothese nicht abgelehnt wird. Es gilt die Beziehung  $c_{\text{prüf}} = c_{\text{krit}}$ . Je höher die Überschreitungswahrscheinlichkeit ist, desto besser ist die Verteilung an die Stichprobe angepasst.

In Tabelle 1 sind die Überschreitungswahrscheinlichkeiten  $z_{krit}$  der Verteilungen aufgeführt. Die meisten Stichproben werden am besten durch die Log-Weibull-Verteilung abgebildet. Lediglich für die Dauerstufe von 10 min wird mit der Weibull-Verteilung die beste Anpassung erzielt. Die Normal-, Pearson-III-, Gumbel-, Log-Pearson-III- und Log-Gamma-Verteilung konnten in den meisten Fällen nicht angepasst werden.

Am Beispiel der Dauerstufe  $D = 45$  min sind in Abbildung 3 die angepassten Verteilungen der empirischen Verteilung gegenübergestellt. Die Niederschlagshöhen sind über die Wiederkehrzeit  $T$  aufgetragen. Im gezeigten Beispiel erreicht die Log-Weibull-Verteilung mit  $z_{krit} = 61,2\%$  die höchste Überschreitungswahrscheinlichkeit. Auch der optische Vergleich bestätigt die beste Übereinstimmung mit der empirischen Verteilung. Einen ähnlichen Verlauf weist die Log-Normal-Verteilung auf. Die Log-Gumbel-Verteilung überschätzt die Niederschlagshöhen im Bereich höherer Wiederkehrzeiten. Die restlichen Verteilungen unterschätzen diese. Für die Bestimmung der Bemessungsniederschläge wurde die Log-Weibull-Verteilung gewählt.

#### 4 Ermittlung der Bemessungsniederschläge

Von der gewählten Verteilung wurde der Bemessungsniederschlag zur bedingten Wiederkehrzeit  $T(K|G)$  abgelesen. Dies geschah für jede untersuchte Niederschlagsdauer. Zur Ermittlung von  $T(K|G)$ , beziehungsweise der entsprechenden Entlastungswahrscheinlichkeit  $P(K|G)$ , wurden nun Angaben zur Versagenswahrscheinlichkeit  $P(K \cap G)$  und zur Einstauwahrscheinlichkeit  $P(G)$  benötigt.

In Chamerau sollte das Schöpfwerk auf einen Lastfall mit einer Wiederkehrzeit von  $T = 100$  Jahren ausgelegt werden. Dies entspricht einer Versagenswahrscheinlichkeit von  $P(K \cap G) = 0,01$ . Die Einstauwahrscheinlichkeit  $P(G)$  lässt sich aus der Anzahl der Einstauereignisse  $N$  und der Anzahl der Beobachtungsjahre  $M$  bestimmen:

$$P(G) = \frac{N}{M} \quad (3)$$

Der Auswertungszeitraum der Abflussaufzeichnungen beträgt 42 Jahre. In diesem Zeitraum traten  $N = 33$  Einstauereignisse auf. Die Einstauwahrscheinlichkeit berechnet sich nach Gleichung (3) zu  $P(G) = 33 / 42 = 0,79$ . Dies entspricht einer Wiederkehrzeit von  $T(G) = 1,27$  Jahren. Nach Gleichung (1) beträgt damit  $P(K|G) = 0,01 / 0,79 = 0,0127$  beziehungsweise  $T(K|G) = 79$  Jahre.

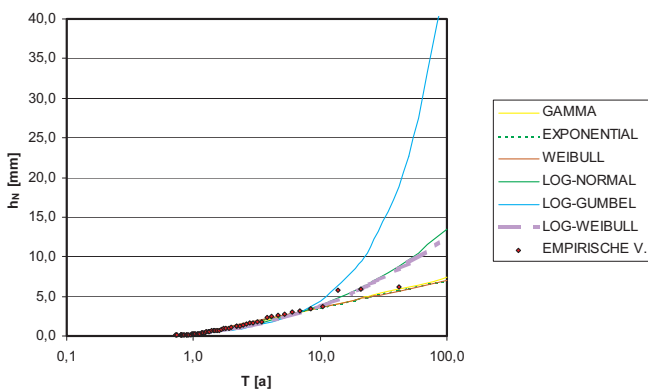


Abb. 3: Statistische Auswertung maximaler Niederschlagshöhen für das Regenüberlaufbecken Chamerau, Dauerstufe  $D = 45$  min

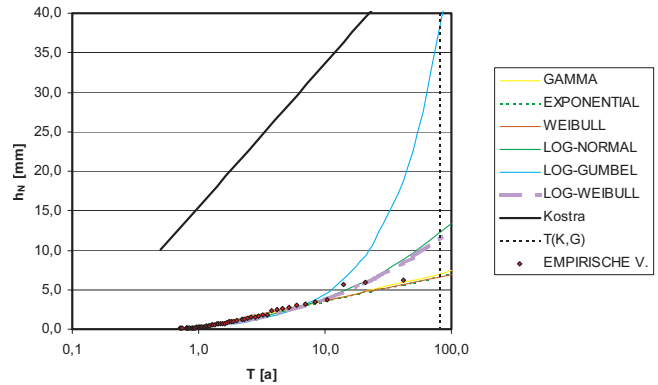


Abb. 4: Statistische Auswertung maximaler Niederschlagshöhen am Regenüberlaufbecken Chamerau, Dauerstufe  $D = 45$  min

Am Beispiel der Dauerstufe  $D = 45$  min wird nun folgend die Bestimmung des Bemessungsniederschlags veranschaulicht.

In Abbildung 4 sind die Verteilungsfunktionen, die an die Stichprobe angepasst werden konnten und nicht verworfen wurden, sowie die empirische Verteilung der Stichprobe dargestellt. Die bedingte Wiederkehrzeit  $T(K|G) = 79$  Jahre ist durch eine vertikale Linie gekennzeichnet. Die Bemessungsniederschlagshöhe ergibt sich aus dem Schnittpunkt dieser Linie und der bestangepassten Log-Weibull-Verteilung und beträgt damit 11,3 mm.

Die herkömmliche Bemessung von Schöpfwerken erfolgt in der Regel auf Grundlage der Starkniederschlagshöhen KOSTRA des DWD. Zum Einordnen der hier ermittelten Bemessungsniederschlagshöhe ist es von Interesse, welche Wiederkehrzeit nach KOSTRA die Bemessungsniederschlagshöhe aufweist. In Abbildung 4 ist zu sehen, dass der berechnete Bemessungsniederschlag einer Starkniederschlagshöhe nach KOSTRA mit einer Wiederkehrzeit von weniger als einem Jahr entspricht.

In Tabelle 2 sind die Bemessungsniederschläge für alle ausgewerteten Dauerstufen aufgeführt. Weiterhin sind die entsprechenden Wiederkehrzeiten nach KOSTRA  $T_{KOSTRA}$  und die Verteilungsfunktionen, die zur Bestimmung der Bemessungsniederschlagshöhen verwendet wurden, angegeben. Hier sei noch mal darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse für die Auslegung des Schöpfwerks auf einen 100-jährlichen Versagensfall gelten unter der Annahme, dass der Fluss „Regen“ sich im Ausbauzustand nach Realisierung der geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen befindet.

Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, ergeben sich für alle Dauerstufen Bemessungsniederschläge, die mit einer Wiederkehrzeit nach KOSTRA von weniger als einem Jahr vergleichbar sind. Mit einer Kanalnetzrechnung ist zu überprüfen, welche Dauer-

Dauerstufe [min]	$h_{N\text{ Bem}}$ [mm]	$T_{KOSTRA}$ [Jahre]	Verteilung
10	3,4	< 0,5	Weibull
15	6,2	< 0,5	Log-Weibull
20	7,4	< 0,5	Log-Weibull
30	9,4	0,5	Log-Weibull
45	11,3	0,5–1	Log-Weibull
60	11,4	0,5–1	Log-Weibull

Tabelle 2: Bemessungsniederschläge für das Schöpfwerk Chamerau

stufe des Niederschlags die ungünstigste Belastung für die Dimensionierung des Schöpfwerks darstellt.

## 5 Ergebnis

Durch die hier vorgestellte Gleichzeitigkeitsuntersuchung kann die Niederschlagshöhe für die Bemessung eines Schöpfwerks zur Binnenentwässerung auf ein notwendiges Maß beschränkt werden. Bei Auslegung auf einen Versagensfall von 100 Jahren ergaben sich am Beispiel des Schöpfwerks Chamerau Bemessungsniederschläge, die eine Wiederkehrzeit von weniger als einem Jahr aufweisen. Mit der konventionellen, sehr weit auf der sicheren Seite liegenden Vorgehensweise, hätte man sich auf einen 5-jährlichen Schutz beschränkt und hätte hierzu die 5-jährlichen Starkniederschlagshöhen nach KOSTRA angesetzt. Für die Niederschlagsdauer von 45 min beträgt die 5-jährliche Starkniederschlagshöhe im Einzugsgebiet des Schöpfwerks Chamerau 28,2 mm. Im Gegensatz dazu ergab die Gleichzeitigkeitsuntersuchung einen Wert von 11,3 mm. Für einen 100-jährlichen Schutz hätte man nach konventioneller Weise mit 51,9 mm einen mehr als vierfach höheren Niederschlag angesetzt. Das Pumpwerk wird nun auf eine Förderleistung von 1,5 m<sup>3</sup>/s ausgelegt. Die herkömmliche Methode hätte eine Förderleistung von 4,5 m<sup>3</sup>/s ergeben. Dass darin ein enormes Einsparpotential liegt, ist offensichtlich. Die Gleichzeitigkeitsuntersuchung stellt somit ein sinnvolles Vorgehen zur wirtschaftlichen Dimensionierung von Schöpfwerken dar. Das beschriebene Verfahren kann außerdem auch auf andere Problemstellungen übertragen werden, bei denen das gleichzeitige Auftreten zweier Ereignisse zu berücksichtigen ist.

## Literatur

- [1] DIN 1184 Teil 1: *Schöpfwerke/Pumpwerke – Planung, Bau und Betrieb*, Beuth, Berlin, 1992
- [2] E. Zeidler: *Teubner-Taschenbuch der Mathematik*, Teubner, Stuttgart, 1996, Kapitel 6.2.1.1
- [3] Deutscher Wetterdienst: *Starkniederschlagshöhen für die Bundesrepublik Deutsch-*

*land – KOSTRA*, Offenbach am Main, Eigenverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1990

- [4] E. Zeidler: *Teubner-Taschenbuch der Mathematik*, Teubner, Stuttgart, 1996, Kapitel 6.3.4.1

## Autoren

*Dipl.-Ing. Esther Bank<sup>\*)</sup>, Dipl.-Ing. Bernhard Vogt  
Dr. Blasy – Dr. Øverland Beratende Ingenieure  
Moosstraße 3, 82279 Eching am Ammersee  
E-Mail: info@blasy-overland.de*

<sup>\*)</sup> jetzt: Townsville, Australien

*Bauoberrat Alfons Lerch  
Wasserwirtschaftsamt Regensburg  
Landshuter Straße 59, 93053 Regensburg*

