

# Hydrologisch-hydraulische Bemessung von Hochwasserpumpwerken

Joachim Sartor (Trier)

## Zusammenfassung

Falls einfache Rückstausicherungen nicht ausreichen, um das Eindringen von gewässerseitigem Hochwasser in die Kanalisation zu verhindern, kommen relativ aufwendige Hochwasserpumpwerke in Betracht. Für deren wirtschaftliche Bemessung empfiehlt das neue Merkblatt DWA-M 103 die Analyse langjähriger Reihen von Kanalisationszuflüssen und Gewässerständen. Die dann in der Regel erforderliche Extrapolation der im Untersuchungszeitraum aufgetretenen Ereigniskombinationen auf den Bemessungsfall erfordert danach besondere Überlegungen und Sorgfalt. Im Folgenden werden Vorschläge zu einer entsprechenden Vorgehensweise gemacht.

Schlagwörter: Entwässerungssysteme, Kanalisation, Hochwasser, Pumpwerk, Bemessung

DOI: 10.3242/kae2008.08.002

## Abstract

### Hydrological-Hydraulic Design of Flood Pumping Stations

When simple backwater gates are insufficient to prevent the entry of floodwaters from surface waters, relatively complex flood pumping stations are used. For an economical and efficient design of such stations, the new advisory leaflet DWA-M 103 recommends an analysis of long-term series of sewer inflows and water levels. After that, the combinations of events that occur during the period under review are usually extrapolated to the specific case, which requires a good deal of thought and specific care. The paper puts forward a number of suggestions regarding the design approach to be used.

Key words: drainage systems, sewer system, flood, pumping station, design

## 1 Einleitung

Etwa ein Drittel aller Schnittpunkte zwischen Kanalisation und Gewässer in Deutschland gelten nach [1] als rückstauanfällig, das heißt, es besteht die Gefahr des Eindringens von gewässerseitigem Hochwasser in die Kanalisation. Als Gegenmaßnahmen bieten sich einerseits Rückstausicherungen (Schütze, Klappen etc.) und andererseits aufwendige Hochwasserpumpwerke an. Zur Ermittlung der wirtschaftlichsten Lösung ist die Frage nach der Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von Hochwasser in Kanalisation und Gewässer entscheidend.

Grundsätzlich bietet sich dazu eine individuelle Langzeit-Untersuchung an, will man erhebliche Überbemessungen vermeiden. Dies betrifft insbesondere Hochwasserpumpwerke der Kanalisation, bei denen häufig noch beide Bemessungsereignisse vereinfachend so kombiniert werden, dass der Maximalabfluss der Kanalisation zeitgleich mit dem Hochwasserscheitel im Gewässer angesetzt wird. Dem gegenüber wurde bereits vor über 20 Jahren von Millioneneinsparungen in diesem Zusammenhang durch detaillierte Untersuchungen im Einzelfall berichtet [2].

Auf diese Problematik wird grundsätzlich im DWA-Regelwerk [3, 4] eingegangen. Darin wird zum Beispiel die Bemessung von Rückstausicherungen für Regenüberläufe (RÜ) und Regenüberlaufbecken (RÜB) unter einfachen Randbedingungen be-

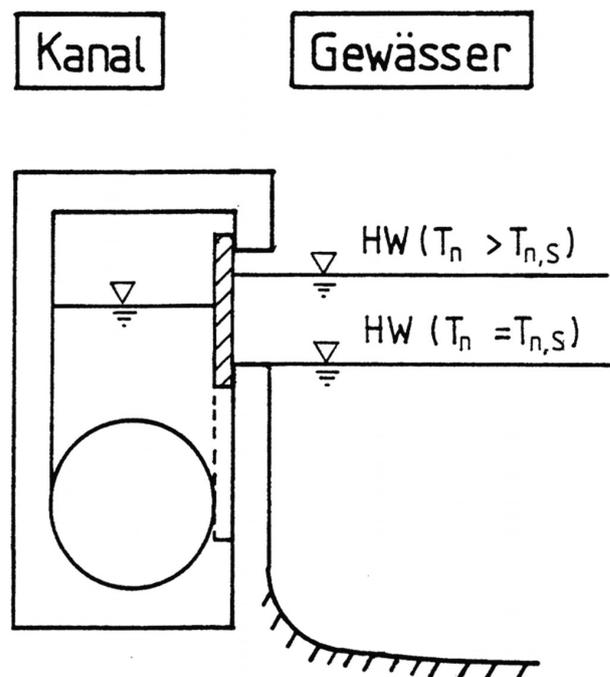


Abb. 1: Prinzipskizze zum Versagensfall eines mit Rückstauer-schluss gesicherten Entlastungsbauwerks

handelt. Ist bei einer solchen Rückstausicherung zu häufig mit beidseitigem Bauwerkseinstau gemäß Abbildung 1 zu rechnen, kommt zusätzlich ein Hochwasserpumpwerk in Betracht. Für dessen Bemessung werden in [3] lediglich Hinweise zur Vorgehensweise gegeben. Im Folgenden werden weitergehende Vorschläge zur Problemlösung gemacht.

## 2 Hydrologische Grundlagen

Die für Kanalnetz und Gewässer maßgebenden Hochwasserereignisse lassen sich vereinfacht wie folgt charakterisieren. In unseren Breiten treten die maßgebenden Abflussereignisse für Kanalnetze hauptsächlich infolge sommerlicher Starkregen mit geringer Vorwarnzeit auf (konvektiver Niederschlag), wenn die Gewässerstände meist relativ niedrig und konstant sind. Der hochintensive Niederschlag führt oft schon nach 10 bis 15 Minuten zu gegebenenfalls hohen Sachschäden aufgrund von Rück- und Überstau. Die maximale Ereignisdauer liegt im Stundenbereich.

Die wegen ihrer großen Scheitelanlaufzeit leichter vorhersagbaren Hochwasser der Flüsse ereignen sich dagegen oft im Winterhalbjahr bei länger anhaltendem (advektivem) Niederschlag und/oder Schneeschmelze. Das Bach- oder Flusswasser dringt gegebenenfalls zunächst über die Kanalisation (oder das Grundwasser), dann aber oberflächlich und breitflächig über die Ufer in die Siedlungsgebiete ein. Die maximale Ereignisdauer liegt im Bereich von Tagen (in Extremfällen sogar von Wochen).

Ein zeitliches Zusammentreffen der Ereignisse bzw. der jeweiligen Abflussscheitel ist also als Ausnahmefall einzustufen. Nach [4] treffen Bemessungsabflüsse aus Kanalnetzen im Mittel auf einen Gewässerabfluss mit einer Überschreitungshäufigkeit von ca. 50 Tagen pro Jahr, also auf einen deutlich kleineren als den einjährigen Wasserstand. Dazu wird weiter ausgeführt: „Auch die weit verbreitete Praxis der Multiplikation der Einzelhäufigkeiten beider Abflusskomponenten zur Bestimmung ihrer gemeinsamen Auftrittshäufigkeit liegt danach im Regelfall sehr weit auf der ‚sicheren Seite‘. Durch eine solche Multiplikation erhält man lediglich die Aussage, dass beispielsweise der 1-jährliche Kanalnetzabfluss und der 20-jährliche Gewässerabfluss im Mittel alle ( $1 \times 20 =$ ) 20 Jahre im gleichen Jahr, aber nicht zum gleichen Zeitpunkt auftreten. Da die maßgebenden Niederschlagsereignisse (meist Dauerregen oder Schneeschmelze für das Gewässer und sommerliche Konvektivregen für das Kanalnetz) naturgemäß zu unterschiedlichen Jahreszeiten auftreten, muss die gemeinsame Auftrittswahrscheinlichkeit dann auch deutlich geringer sein.“

Allerdings ist anzumerken, dass eine dichte Abfolge von Siedlungsflächen und natürlichen Teileinzugsgebieten (oder Außengebieten) längs eines Gewässerverlaufs aufgrund der unübersehbaren Überlagerungsmechanismen die Gefahr des zeitlichen Zusammentreffens der jeweiligen Spitzenabflüsse erhöht. Gleiches gilt für ein länger anhaltendes und mehrgipfliges Hochwasser im Gewässer, wie zum Beispiel das Moselhochwasser von 1995 [5]. Bei jeweils neu einsetzenden Starknieder-

schlägen können dann die schnellen Siedlungsabflüsse auf die nachlaufenden Scheitel der gewässerseitigen Vorwellen treffen.

### 3 Wahl des Bemessungsstandards

Der hydraulische Versagensfall eines Hochwasserpumpwerks tritt bei Kanalisationszuflüssen auf, die die Kapazität der Pumpen überschreiten, mit der noch gegen bzw. über den gleichzeitigen äußeren Wasserstand gefördert werden kann (es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass ein Auslaufstutzen oberhalb des Bemessungswasserstands hydraulisch weniger flexibel ist). Das oder die Bemessungsereignisse stellen sich also in Form ungünstiger Kombinationen aus Pumpwerkszuflüssen und Hochwasserständen im Gewässer dar. Das statistische Wiederkehrintervall  $T_n$  der maßgebenden Ereigniskombination entspricht dann der Sicherheit vor hydraulischer Überlastung des Pumpwerks.

Die Festlegung dieses Bemessungswiederkehrintervalls  $T_n$  sollte grundsätzlich anhand von Kosten-Nutzen-Betrachtungen erfolgen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Überstau des Kanalnetzes, der durch gewässerbedingten Rückstau verursacht wird, aufgrund seiner längeren Dauer meist mit einem höheren Schadenspotenzial verbunden ist, als dies bei kurzzeitigen Starkregenereignissen der Fall ist. Deshalb muss auch der entsprechende Sicherheitsstandard höher als nach [6] gewählt werden. In Anlehnung an [7] empfiehlt [3] einen zehnjährlichen Standard als Untergrenze. Für größere Flüsse mit entsprechend lange anhaltenden Hochwasserereignissen bzw. Netzeinstauzeiten sollte die Betriebssicherheit höher gewählt werden. Die sinnvolle obere Grenze der zu wählenden Betriebssicherheit entspricht dem Schutzstandard vor rein gewässerseitiger Überflutung, nach Wasserhaushaltsgesetz also mindestens  $T_n = 100$  Jahre.

Zum Vergleich führt die bereits angesprochene, einfache Kombination der beiden eigenständigen Bemessungsereignisse von Kanalnetz und Gewässer nach [8] und [9] zu deutlich höheren Wiederkehrzeiten, das heißt oft zu einem  $T_n$  von über 1000 Jahren und damit zu höheren Schutzstandards als vor gewässerseitiger Überflutung. Dies wird durch praktische Erfahrungen bestätigt, da die meisten so bemessenen Pumpwerke während ihrer Lebensdauer nicht (auch nur annähernd) ausgelastet werden, das heißt, die Mehrzahl ihrer Pumpen steht weitgehend still oder wird niemals gleichzeitig während großen gewässerseitigen Hochwassern benötigt.

### 4 Vorgehensweise bei der Bemessung

DWA-M 103 empfiehlt grundsätzlich die parallele Betrachtung langer Abflussreihen (gemessen oder simuliert) von Kanalisation und Gewässer zur Festlegung der maßgebenden Ereigniskombination.

Im Regelfall sind also simulierte Zuflussganglinien zum Pumpwerk und gemessene Abfluss- oder Wasserstandganglinien des aufnehmenden Gewässers zeitgerecht gegenüberzustellen. Nach [9] sollten die zur Simulation erforderlichen Niederschlagsdaten von einer Station stammen, die nicht mehr als 5 km vom Pumpwerksauslauf entfernt ist. Die gemeinsame Aufzeichnungsdauer von Niederschlagsstation und Gewässerpegel sollte einen möglichst langen Zeitraum umfassen, mindes-

tens jedoch 15 Jahre. Dennoch ist damit zu rechnen, dass im Untersuchungszeitraum nur weniger kritische Ereignisse (als das Bemessungsereignis) auftreten. Die dann erforderlich werdende statistische Extrapolation dieser Ereignisse auf den Bemessungsfall erfordert nach [3] „besondere Überlegungen und Sorgfalt“.

Dazu sind zunächst die im untersuchten Zeitraum aufgetretenen Ereigniskombinationen zu analysieren. Zur Vermeidung von Unplausibilitäten bei der Gegenüberstellung mit den Auftrittshäufigkeiten der Kanalnetzabflüsse sollten der statistischen Analyse der Gewässerabflüsse grundsätzlich nur die Jahresreihen zu Grunde gelegt werden, die auch in der weiteren Untersuchung verwendet werden. Als Untergrenze für die zu berücksichtigenden gewässerseitigen Abflüsse hat sich der einjährige Hochwasserabfluss  $HQ_1$  bzw. -wasserstand  $HW_1$  bewährt, da dieser gemäß Kapitel 2 meist (auf der „sicheren Seite“ liegend) mit den kanalseitigen Maximalabflüssen kombiniert werden kann. Sofern die individuellen Auswertungen zu keinen anderen Erkenntnissen führen, kann durch die Pumpwerksauslegung auf diesen ersten Betriebspunkt auch der Effekt berücksichtigt werden, dass bei rückläufigen Gewässerständen nach einem Hochwasserereignis das Kanalnetz zunehmend durch das Leerpumpen von Kellern oder Ähnlichem häufig be- bis ausgelastet wird.

Zur Festlegung der weiteren Betriebspunkte im Rahmen der Pumpwerksbemessung ist folgende Vorgehensweise empfehlenswert. Für die simulierten Pumpwerkszuflüsse  $Q_p$ , die während des Untersuchungszeitraums auf Gewässerstände ab  $HW_1$  treffen, sollten sinnvolle Klassengrenzen gewählt und eine entsprechende Zuordnung durchgeführt werden. Das Analyseergebnis stellt sich dann in Form von Ereigniskombinationen dar, die durch ihre jährliche Häufigkeit sowie durch  $HW_T$ - und  $Q_p$ -Klassen gekennzeichnet sind. Hiermit lässt sich dann die eigentliche Extrapolation auf den Bemessungsfall durchführen. Angesichts der Seltenheit solcher Ereignisse mangelt es naturgemäß noch an Erfahrungen hinsichtlich der hierfür am besten geeigneten Verteilungsfunktionen. Daher können zum Beispiel die folgenden, im DWA-Regelwerk genannten drei empirischen Ansätze (sogenannte Plotting-Position-Formeln) Verwendung finden.

I) Nach Arbeitsblatt DWA-A 117 (Regenrückhalteräume) [10]:

$$T_n = \frac{L+1}{k} \cdot \frac{M}{L} \quad [a] \quad (1)$$

II) Nach Arbeitsblatt ATV-A 121 (Starkregenauswertung) [11]:

$$T_n = \frac{L+0,2}{k-0,4} \cdot \frac{M}{L} \quad [a] \quad (2)$$

III) Nach DVWK-Merkblatt 251 (Hochwasserstatistik) [12]:

$$T_n = \frac{L+0,4}{k-0,3} \cdot \frac{M}{L} \quad [a] \quad (3)$$

mit

$L$ : Stichprobenumfang (Überlaufereignisse während  $HW \geq HW_1$  innerhalb einer  $Q_p$ -Klasse)

$M$ : Länge des Untersuchungszeitraums in Jahren

$k$ : Rang des Elementes der Stichprobe von 1 bis  $L$  (z. B.  $k = 1$ : höchstes  $HW_T$  innerhalb einer  $Q_p$ -Klasse).

## 5 Bemessungsbeispiel

### 5.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Dem hier zu betrachtenden Beispiel liegt der reale Fall des Sanierungsbedürftigen Mischwasserpumpwerks Saarlouis-Husar zugrunde [13]. Sein Regenwasserteil dient zur Förderung der Überlaufmengen aus vier Entlastungsbauwerken (RÜ und RÜB) in die Saar bis zu 200-jährlichen äußeren Hochwasserständen  $HW_{200}$ . Die Einzugsgebietsgröße der Saar beträgt am Einleitungspunkt etwa  $A_{Eo} = 4675 \text{ km}^2$ . Das kanalisierte Einzugsgebiet umfasst 326 ha (46 % befestigt) und belastet das Pumpwerk mit Zuflüssen bis zu  $\max Q_p = 7200 \text{ l/s}$ . Die nächstgelegenen Saarpegel befinden sich in St. Arnual (vormals Saarbrücken UP) mit  $A_{Eo} = 3945 \text{ km}^2$  und in Fremersdorf (vormals Mettlach) mit  $A_{Eo} = 6983 \text{ km}^2$ .

Im Rahmen der Sanierungsplanung waren kritische Kombinationen aus Kanalisationszuflüssen und Saar-Wasserständen zur Neudimensionierung der Pumpen zu erarbeiten. Für die Betriebssicherheit gegen hydraulische Überlastung des Pumpwerks wurde (entsprechend dem Wiederkehrintervall einer rein gewässerseitigen Überflutung) ein 300-jährlicher Standard festgelegt. Dieser Bemessungswert begründete sich aus dem nominellen 200-jährlichen Hochwasserschutz durch die Saar-Deiche zuzüglich eines entsprechenden Zuschlags für Reserven in Form des eingeplanteten Freibords sowie möglicher behelfsmäßiger Schutzmaßnahmen (Dammbalken, Sandsäcke etc.).

### 5.2 Langzeitbetrachtung

Zunächst wurde eine 39 Jahre umfassende, ortsbezogene Regenreihe aus verschiedenen Schreibern mit teilweise abgleich auf die Tageswerte eines lokalen Messers gebildet und mehreren Plausibilitätsprüfungen unterzogen (unter anderem Vergleich der Auswertung nach [11] mit KOSTRA). Unter Hinzuziehung einer weiteren ortsnahen Regenreihe sowie einer Reihe aus der Nähe des Pegels St. Arnual wurde für das Kanalnetz eine hydrologische Kontinuumssimulation zur Generierung der zu pumpenden Überlaufmengen  $Q_p$  durchgeführt.

Für die maßgebenden Saar-Wasserstände wurde auf die Aufzeichnungen der genannten Pegel sowie auf Ergebnisse von amtlichen Wasserspiegellageberechnungen zurückgegriffen. Um Unplausibilitäten bei der späteren zweidimensionalen Statistik (Pumpwerkszuflüsse, Saar-Wasserstände) zu vermeiden, wurden für den Untersuchungszeitraum eigenständige Hochwasserstatistiken beider Pegel unter besonderer Berücksichtigung der kleinen Wiederkehrintervalle erstellt.

Die simulierten, zu pumpenden Überlaufwassermengen  $Q_p$  wurden dann zeitgerecht den erwähnten Pegelganglinien gegenüber gestellt, wobei der einjährige Gewässerstand  $HW_1$  als Untergrenze diente (vergleiche Kapitel 4). Von relativ großem Einfluss ist auch die Dauer der Grenzpause  $GP$ , ab der zwei Entlastungsereignisse  $Q_p(t)$  als voneinander unabhängig definiert werden. Gemäß [9] wurde dieser Wert zu  $GP = 4 \text{ h}$  gewählt.

Erwartungsgemäß ergab sich in dem bis zu 45 Jahre (1959 bis 2003) umfassenden Untersuchungszeitraum kein Bemessungsfall. Dabei machte es auch keinen Unterschied, dass in verschiedenen Variationen Pegel- und simulierte Abflussreihen im

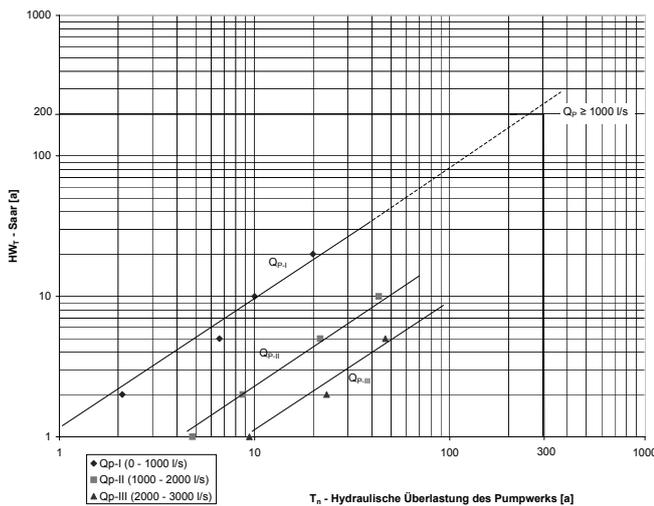


Abb. 2: Extrapolation von Ereigniskombinationen (hier Pegel St. Arnual) [13]

Gesamtumfang von über 130 Jahren gegenüber gestellt worden waren. Aufgrund von Betriebstagebuch und Betriebserfahrungen ist dieses Ergebnis plausibel. Deshalb verblieb nur eine statistische Extrapolation der ungünstigsten, im Untersuchungszeitraum aufgetretenen Ereigniskombinationen.

### 5.3 Extrapolation und Ergebnisse

Zunächst wurden dazu unter Bildung von  $Q_p$ -Klassen gemäß Abbildung 2 die jährlichen Häufigkeiten der unter 5.2 gewonnenen Ereigniskombinationen bestimmt. Nach den drei in Kapitel 4 genannten „Plotting-Position“-Formeln wurden diese in Wiederkehrintervalle  $T_n$  umgerechnet, und nur die jeweils ungünstigsten Ergebnisse wurden weiter verwendet. Es soll dabei nicht unerwähnt bleiben, dass sich die Ergebnisse aufgrund des hohen Zufallanteils bei den Einzelereignissen zum Teil wesentlich uneinheitlicher darstellten, als diejenigen aus Abbildung 2.

Unter Ansatz eines großzügigen Sicherheitszuschlags zur Berücksichtigung von Unsicherheiten hinsichtlich der Datengrundlagen (zum Beispiel örtliche Repräsentanz der Niederschlagswerte) und hinsichtlich der weitreichenden statistischen Extrapolation wurden fünf Kombinationen aus Pumpwerkszuflüssen  $Q_p$  und Saarwasserständen  $HW_T$  als Bemessungswerte festgelegt. Die Spanne reicht von der Kombination  $\max Q_p = 7200 \text{ l/s}$  mit  $HW_1$  bis  $Q_p = 2000 \text{ l/s}$  mit  $HW_{200}$ .

Bei weiterhin verbleibenden Sicherheiten betrug so der mit dem gewässerseitigen Bemessungswasserstand  $HW_{200}$  zu kombinierende maßgebende Kanalisationszufluss  $Q_p$  weniger als ein Drittel des (rein) kanalseitigen Maximalzuflusses  $\max Q_p$ .

### Literatur

- [1] H. Patt (Hrsg.): *Hochwasser-Handbuch*, Springer, Berlin, 2001, S. 306
- [2] H. Dahlem, W. Franze, F. Peil: Schutz von wasserwirtschaftlichen Anlagen vor Hochwassereinflüssen, *Wasser und Boden* 9/1986, 461–465
- [3] Merkblatt DWA-M 103: *Hochwasservorsorge für Abwasseranlagen*, Hennef, 2006
- [4] Merkblatt ATV-DVWK-M 165: *Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentswässerung*, Hennef, 2004, S. 27/28
- [5] J. Sartor: Berücksichtigung von Rückstauwirkungen der Kanalisation in hydrologischen Niederschlag-Abfluss-Modellen, *Wasserwirtschaft* 6/2006, 16–19
- [6] Arbeitsblatt DWA-A 118: *Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen*, Hennef, 2006
- [7] Arbeitsblatt ATV-A 128: *Richtlinie für die Bemessung und Gestaltung von Regenlastungen in Mischwasserkanälen*, St. Augustin, 1992, S. 8
- [8] R. Pecher: Hydraulische Bemessung von Hochwasserpumpwerken, Vorschläge zur Problemlösung, *gwf* 6/1987, 324–330
- [9] J. Sartor: Die gleichzeitige Auftretenswahrscheinlichkeit hoher Abflüsse in Kanalisationsnetzen und Fließgewässern, *Wasser und Boden* 8/1998, 24–28
- [10] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 117: *Bemessung von Regenrückhalteanlagen*, Hennef, 2006, S. 19
- [11] Abwassertechnische Vereinigung e. V. (ATV): Niederschlag – Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer. Arbeitsblatt 121, 1985, S. 6
- [12] DVWK-Merkblatt 251: *Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen*, 1999, S. 11
- [13] Ingenieurbüro für Hydrologie und Gewässerschutz: Abwasseranlage Saarlouis-Wallerfangen – Gutachten zur Betriebssicherheit des Pumpwerks Husar (unveröffentlicht), erstellt im Auftrag des Entsorgungsverbands Saar, Saarbrücken, 2006

### Autor

Prof. Dr.-Ing. Joachim Sartor  
 Fachhochschule Trier  
 Fachbereich BLV  
 Schneidershof, 54293 Trier  
 E-Mail: Sartor@FH-Trier.de

KA