

# Risiko-Analyse in industriellen Abwasserreinigungsanlagen

Christian H. Möbius

*Störungen in industriellen Abwasserreinigungsanlagen, sei es durch technische Ursachen oder störende Einflüsse aus der Produktion ausgelöst, führen zu Umweltschäden und können rechtliche Folgen haben. Insbesondere verursachen sie aber auch oft hohe Kosten für das Unternehmen und führen zu Einschränkungen der Produktion. Risiken, die zu solchen Störungen führen können und die oft durch geeignete Maßnahmen vermeidbar sind, sollten deshalb rechtzeitig analysiert werden. Vermeidungsstrategien sind unter Abwägung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses zu erarbeiten. Hinweise dafür werden unter Nutzung der praktischen Erfahrungen des Autors sowie mit Auswertung der vorliegenden aktuellen Fachliteratur in diesem Beitrag gegeben.*

An dieser Stelle sollen nur die Risiken der Abwasserreinigung betrachtet werden. Die Abwasseranlagen insgesamt (mit Sammelgruben und Kanälen) sollten ebenfalls einer Risiko-Analyse unterworfen werden, jedoch erfordert dies die Betrachtung der sehr unterschiedlichen Verhältnisse vor Ort und Berücksichtigung der Anlagengenehmigung. Hierzu sollte ein Fachberater eingeschaltet werden. Ein Schwerpunkt dieser Betrachtung liegt bei Anlagen der Papierindustrie (**Bild 1**).

Risiko-Betrachtungen und Risiko-Analysen wurden in Papierfabriken in den 1990er Jahren sehr intensiv behandelt (wie wohl in anderen Branchen auch), wobei auch die Abwasserreinigungsanlagen einbezogen wurden [1]. Mein Eindruck ist, dass diese Intensität nachgelassen hat, obwohl die Probleme nicht geringer geworden sind. Deshalb soll hier der Versuch einer Systematisierung der erforderlichen Betrachtungen mit Bezug auf die aktuelle Literatur unternommen werden.



Quelle: Adobe Stock/ Moreno Soppelsa

**Bild 1:** Bei der Papierproduktion wird viel Wasser benötigt, z. B. als Dispergier- und vor allem als Transportmittel für die eingesetzten Fasern, aber auch für die Reinigung der Bespannung oder das Kühlen von Zylindern.

Wirtschaftliche Risiken [2] sollen nicht berücksichtigt werden. Behandelt werden:

- Technische Risiken,
- Betriebsstörungen in der Abwasserreinigung durch Einflüsse aus der Produktion sowie
- daraus resultierende Risiken für die Umwelt und rechtliche Risiken.

Generell abzuwägende Maßnahmen zur Vermeidung dieser Risiken unter Berücksichtigung der Cost-Benefit-Analyse [3] (CBA, Kosten-Nutzen-Analyse) sind zu behandeln. Dabei ist immer die Frage zu stellen: War der störende Umwelteinfluss vermeidbar, und, wenn das zutrifft, mit welchem Aufwand. Das wird stets auch bei der rechtlichen Würdigung unter dem Aspekt der Verhältnismäßigkeit eine Rolle spielen müssen. Auf die bereits zitierte sehr hilfreiche umfassende Analyse sei hier verwiesen [3]. Zwei aktuelle Publikationen zu diesem Thema waren unter anderem Anregung und Hilfe für diese Arbeit [4, 5].

### Technische Risiken

Eine Prognose des Risikos des Versagens einzelner Anlagenteile und Aggregate ist durchzuführen. Hierbei sind sowohl die Erfahrungen des Betreibers als auch die einschlägigen Hinweise der Planer und Lieferanten zu berücksichtigen. Vorsorgemaßnahmen, auch durch Umleitungen (Bypässe) und Redundanzen, sind zu prüfen und mit Cost-Benefit-Analysen (CBA) zu bewerten. Dabei ist

zu bedenken, dass eine rechtliche Würdigung der Ergebnisse der CBA, wenn diese erforderlich ist, oft anders ausfallen wird als die Einschätzung des Industrieunternehmens. Hierzu ist bereits bei der Analyse auf eine Einigung mit zuständigen Behörden abzustellen. Bestimmte Elemente der biologischen Verfahrensketten in der Abwasserreinigung sind besonders von Betriebsstörungen betroffen und daher unbedingt einer Risiko-Analyse zur unterwerfen. Diese sind prädestiniert für die Entwicklung von Vermeidungsstrategien. In Papierfabriken – wie auch nach meiner Erfahrung bei industriellen Anlagen allgemein – wird dies in der Regel von den Betreibern ohne die erforderliche Systematik durchgeführt. Dies betrifft vor allem die Belebtschlamm-Reaktoren unter Einbeziehung der Nachklärung sowie, soweit vorhanden, die als vorgeschaltete Hochlaststufen fungierenden Anaerob-Reaktoren.

Die vorliegende Fachliteratur kann bei der Bewertung der Risiken und der Entwicklung von Vermeidungsstrategien helfen [6–9]. Ein nützliches Element zum Erkennen und Vermeiden von Risiken kann auch die multivariate Statistik sein<sup>1</sup> [10], siehe auch [11, 12],

<sup>1</sup> Multivariate Statistik ist ein Teilbereich der Statistik, bei dem verbundene (gemeinsame) Beobachtungen mehrerer Merkmale zugrunde gelegt sind (Vektoren oder Tupel von Merkmalen). Abhängigkeiten zwischen Merkmalen sind von besonderer Bedeutung. Die Verfahren der multivariaten Statistik umfassen Strukturen entdeckende (Faktorenanalyse, Clusteranalyse, multidimensionale Skalierung (MDS)) und Strukturen prüfende (Regressionsanalyse, Varianzanalyse, Diskriminanzanalyse, Kontingenzanalyse (Kontingenz), LISREL) Verfahren [10].



**Bild 2:** *Klebsiella pneumoniae* findet sich häufig in Abwässern von Papierfabriken.

Quelle: Adobe Stock/ Kateryna\_Kon

obwohl deren Anwendung oft mit hohem Aufwand verbunden ist, weshalb sie nur in schwierigen Fällen empfohlen werden kann. Weitere wichtige Instrumente zur Vermeidung von Risiken sind Prozess-Benchmarks [13].

Bei Anaerob-Reaktoren stand zunächst das Problem der Abscheidung von  $\text{CaCO}_3$ , sowohl im Reaktor selbst als auch und insbesondere in den nachfolgenden Reaktoren (meist dem Belebungsbecken), im Vordergrund [14, 15]. Inzwischen zeigte sich, dass auch eine Reihe anderer Probleme sehr hinderlich sein können [16–18].

Auch aus dem überwiegend als weitergehende Reinigung zur Eliminierung von unerwünschten organischen Inhaltsstoffen eingesetzten Advanced Oxidation Process (AOP) können Risiken entstehen, die erkannt, beachtet und vermieden werden sollten [19–21].

### Betriebsstörungen in der Abwasserreinigung durch Einflüsse aus der Produktion

Ein besonders augenfälliges Risiko, das allerdings bei den Betrachtungen oft übersehen wird, ist die Überschreitung von durch die Dimensionierung der Aggregate technisch vorgegebenen maximalen Abwassermengen. Dies kann auch rechtliche Folgen haben, allerdings wird der seriöse Planer die maximale technisch zulässige Abwassermenge stets mit ausreichendem Abstand höher ansetzen als die rechtlich zulässige Menge. Zu beachten ist dabei vor allem auch die Differenz der für die Aggregate relevanten Zulaufmenge (ggf. nach Verfahrensschritten unterschiedlich) und der rechtlich zulässigen Ablauf- bzw. Einleitmenge.

Inhaltsstoffe des Abwassers, meist aus der Produktion stammend, sei es durch Störungen in das Abwasser gelangt oder als unverbrauchte Reste von chemischen Additiven, können zu Risiken der Überschreitung von Qualitätsanforderungen führen. Beispiele sind toxische Stoffe [22, 23], darunter auch Biozide [24, 25]. Toxische Stoffe führen, wenn sie bestimmte kritische Schwellen der Konzentration und Fracht überschreiten, zu Störungen in den Bioreaktoren (verminderte Eliminationsleistung, zu geringe Reproduktion der für den Abbau nötigen Mikroorganismen). Auch bei Verfahren, die mit Biomasseträgern arbeiten (Tropfkörper, Scheibentauchkörper, Schwebebettreaktoren, Abwasserbiofilter) kann der Mikroorganismen-Bewuchs der Träger be- oder verhindert werden.

Oberflächenaktive Stoffe (Tenside) führen zu einer geringeren Löslichkeit des Sauerstoffs im Abwasser, der bei bestimmten biologischen Verfahren (besonders beim Belebtschlammverfahren) für die Reaktion gebraucht wird.

Auch Inhaltsstoffe des Brauchwassers sowie der Roh- und Halbstoffe, die über die Produktion in das Abwasser gelangen, können zu Störungen und Überschreitung von Grenz- bzw. Überwachungswerten führen. Beispiele sind Rückstände von Pharmazeutika und Körperpflegemitteln [26].

Endokrine Substanzen (endocrine disruptors) werden zwar bisher nicht wasserrechtlich beanstandet, sind jedoch unerwünscht und insofern als Risiken einzustufen [27–29]. Diese werden zwar teilweise in der biologischen Stufe der Abwasserreinigungsanlagen eliminiert (verbleiben dann aber überwiegend im Schlamm), dennoch bleiben je nach Substanz auch erhebliche Mengen im gereinigten Abwasser, die bedenklich sein können [30].

### Daraus resultierende Risiken für die Umwelt und rechtliche Risiken

Wesentlichstes Umweltrisiko ist natürlich eine zu hohe Konzentration von Schadstoffen im behandelten Abwasser, besonders auffällig, wenn rechtlich vorgeschriebene Konzentrationen von Stoffen oder Stoffgruppen (Summenparameter) im gereinigten Abwasser überschritten werden.

Zu hohe Schadstoffkonzentrationen im aufnehmenden Gewässer können zur akuten oder chronischen Schädigung von Gewässerorganismen führen. Zu hohe Schadstofffrachten führen, wenn die Konzentration nicht oberhalb der akuten Toxizitätsgrenze liegt, gewöhnlich eher zu chronischen Schäden. Darüber hinaus kann auch die Nutzung des aufnehmenden Gewässers (z. B. als Fischereigewässer, als Badegewässer oder zur Trinkwassergewinnung) gefährdet werden.

Eine zu hohe Abwassermenge wird durch Überlastung von Aggregaten (hydraulische Überlastung, z. B. bei Klärverfahren, Frachtüberlastung bei Bioreaktoren) auch dazu führen, dass Zielwerte der Konzentration im Ablauf der Aggregate (z. B. AFS, CSB, BSB) überschritten werden, was wiederum in der Regel auch zu Überschreitungen der Konzentrations- und Fracht-Zielwerte im Gesamtablauf mit nachteiligen Folgen für die Umweltbelastung, aber auch mit rechtlichen Folgen, führen wird.

Solche Überschreitungen bei der Einleitung des gereinigten Abwassers haben nicht ausschließlich Folgen für das aufnehmende Gewässer und die darin befindlichen Organismen, sondern auch rechtliche Folgen. Die rechtlichen Folgen von Gewässerverschmutzung sind in allgemeiner Weise in der Bundesrepublik Deutschland im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [31] geregelt (zur Haftung siehe §§ 89 und 90, Bußgeldvorschriften § 103). In schwerwiegenden Fällen unbefugter Gewässernutzung greift das Strafrecht [32], hier anzuwenden § 324 StGB. Dies gilt allerdings nicht, wenn die Gewässerbenutzung durch eine Erlaubnis oder Genehmigung geregelt ist (was im Allgemeinen für die Einleitung industrieller gereinigter Abwässer anzunehmen ist).

Werden die in der Einleitgenehmigung festgelegten Anforderungen nicht eingehalten, wird die zuständige Rechtsaufsichtsbehörde in der Regel ein stufenweises Vorgehen anwenden, was über Auflagen zur Vermeidung erkannter Ursachen der Überschreitung, im Fall gehäuften Auftretens zur Sanierungsanordnung und letztlich zur Versagung der Einleiterlaubnis gehen wird.

Zu beachten ist auch die Exposition des Personals in den Produktionsanlagen und in den Abwasserreinigungsanlagen. Dieses Risiko ist in hohem Maße abhängig von den Besonderheiten des jeweiligen Industriebereiches.

Die gesundheitlichen Risiken, insbesondere die Gefahr durch pathogene Keime, wurden zwar z. B. in der Papierindustrie immer wieder gründlich untersucht, bleiben aber ein permanent zu kontrollierendes Risiko [33]. Sehr früh fand man potenziell pathogene Keime in Papierfabriks-Abwässern [34–36] (besonders häufig *klebsiella pneumoniae*, durch welche Lungenentzündungen ausgelöst werden können (**Bild 2**)), jedoch lassen sich daraus resultierende Erkrankungen des Personals nicht bestätigen [37]. Allerdings gibt es kaum zeitnahe Literatur dazu, sodass es notwendig erscheint, dieses Gebiet weiter gründlich zu beobachten, zumal die Fachliteraturquellen, in denen einschlägige Publikationen erscheinen, für uns teilweise nur schwer zugänglich und für medizinische Laien oft schwer verständlich sind.

Zu beachten ist das Legionellen-Risiko [38] nicht nur bei Kühltürmen. Da Legionellen aerobe mesophile Bakterien sind, können sie auch in typischen Bereichen der Abwasserreinigungsanlagen (z. B. Belebtschlamm-Reaktoren) entstehen, weshalb eine regelmäßige Überwachung der Anlagen unerlässlich ist (wie sie für Verdunstungskühlanlagen, Kühltürme und Nassabscheider bereits vorgeschrieben ist, vgl. die aktuelle Empfehlung der UBA [39]).

Auch Stoffe in der Atemluft am Arbeitsplatz stellen Risiken für das Personal dar. Zu beachten sind die Maximalen Arbeitsplatz-Konzentrationen (MAK-Werte [40])<sup>2</sup>, weiter auch die Biologischen Arbeitsplatztoleranzwerte (BAT) bzw. die in der Gefahrstoffverordnung [41] festgelegten Biologischen Grenzwerte (BGW).

Am Arbeitsplatz Abwasserreinigungsanlage ist generell der als Stoffwechselprodukt der Mikroorganismen gebildete Schwefelwasserstoff mit einem MAK-Wert von 5 ml/m<sup>3</sup> ein häufig auftretender gefährlicher Arbeitsstoff [42]. Als vorteilhaft erweist sich in der Praxis, dass die Geruchsschwelle weit unter der gefährlichen Konzentration in der Atemluft liegt. Allerdings ist Schwefelwasserstoff bei gefährlichen Konzentrationen in der Atemluft unter Umständen am Geruch kaum noch erkennbar.

Literatur:

[1] Möbius, C.H.; Cordes-Tolle, M. (1995): Risikoanalyse und Maßnahmen zur Vermeidung unkontrollierter Emissionen in Gewässer und Kanalisation. *Das Papier*, Jg. 49, Nr. 10A, V42–V48.

[2] Nesticò, A.; Mare, G. de; Maselli, G. (2020): An economic model of risk assessment for water projects. *Water Supply*, Jg. 20, Nr. 6, S. 2054–2068.

[3] Shortreed, J.; Hicks, J.; Craig, L. (2003): Basic Frameworks for Risk Management. Final Report. Network for Environmental Risk Assessment and Management (NERAM) for The Ontario Ministry of the Environment.

[4] Trubetskaya, A.; Horan, W.; Conheady, P.; Stockl, K.; Merritt, S.; Moore, S. (2021): A methodology for assessing and monitoring risk in the industrial wastewater sector. *Water Resources and Industry* 25 (2021) 100146, Jg. 25, S. 1–12.

[5] Trubetskaya, A.; Horan, W.; Conheady, P.; Stockl, K.; Moore, S. (2021): A Methodology for Industrial Water Footprint Assessment Using Energy-Water-Carbon Nexus. *Processes*, Jg. 9, Nr. 2, S. 393.

[6] Demel, I.; Schmid, F. (Hg.) (2002): Seminar: Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen. Optimale Konzepte und Vermeidung von Betriebsstörungen. München. PTS (Reihe PTS-Manuskript: PTS-AR 50, Teil 219).

[7] Möbius, C.H. (1984): Maßnahmen zur Beseitigung von Funktionsstörungen und Überlastungen im Bereich der Restabwasserreinigung. *Das Papier*, Jg. 38, Nr. 1, S. 18–20.

[8] Möbius, C.H. (1986): Vermeidung von Funktionsstörungen in Abwasserreinigungsanlagen von Papierfabriken. *Allgemeine Papier-Rundschau*, Jg. -, Nr. 24/25, S. 832–834.

[9] Möbius, C.H. (1987): Neue Erfahrungen bei der Vermeidung von Betriebsstörungen in Belebtschlammanlagen zur Papierfabriks-Abwasserreinigung. *Allgemeine Papier-Rundschau*, Jg. -, Nr. 40, S. 1.148–1.153.

2 Die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Wert) gibt die maximal zulässige Konzentration eines Stoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der (Atem-)Luft am Arbeitsplatz an. Die jeweils dabei festgesetzten Werte sind ein Kompromiss in der Abwägung zwischen möglichen Gesundheitsschäden (wobei auch der Schichtbetrieb zu berücksichtigen ist) sowie den Risiken und den Kosten bei der Produktion. Die MAK-Werte sind „keine Konstanten, aus denen das Eintreten oder Ausbleiben von Wirkungen bei längeren oder kürzeren Einwirkungszeiten errechnet werden kann.“ Im Zuge des technischen Fortschritts kommt es demzufolge zu Anpassungen bzw. zur Absenkung der entsprechenden Werte. [40]

[10] Kamps, U. (2021): Multivariate Statistik, in: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/multivariate-statistik-40417/version-263800>

[11] Ebrahimi, M.; Gerber, E.L.; Rockaway, T.D. (2017): Temporal performance assessment of wastewater treatment plants by using multivariate statistical analysis. *Journal of Environmental Management*, Jg. 193, S. 234–246.

[12] Kaindl, N.; Tillman, U.; Möbius, C.H. (1999): Enhancement of capacity and efficiency of a biological waste water treatment plant. *Water Science and Technology*, Jg. 40, Nr. 11–12.

[13] Macgillivry, B.H.; Pollard, S.J.T. (2008): What can water utilities do to improve risk management within their business functions? An improved tool and application of process benchmarking. *Environment International*, Jg. 34, Nr. 8, S. 1120–1131.

[14] Dietz, F.; Schmid, F. (September 2001): Vermeidungsstrategien für CaCO<sub>3</sub>-Ausfällungen zur Beseitigung von Betriebsstörungen in biologischen Abwasserreinigungsanlagen Altpapier verarbeitender Papierfabriken. PTS-AiF 12296. PTS München, München. (PTS Forschungsbericht, PTS-FB 19/01).

[15] Hamm, U.; Bobek, B.; Demel, I.; Dietz, W. (2001): Scheitert die Kreislaufschliessung in Papierfabriken an zu hohen Calciumbelastungen? *ipw Das Papier*, Jg. -, Nr. 1, S. T7–T13.

[16] Möbius, C.H.; Demel, I. (2016): Anaerobe Abwasserbehandlung in der Papier- und Zellstoffindustrie. Aktuelle Entwicklungen. *Wochenblatt für Papierfabrikation*, Jg. 144, Nr. 6, S. 362–367.

[17] Schmidt, F.; Weinberger, G. (2004): Steigerung der Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit anaerober Reinigungsprozesse in der Papierindustrie durch Verbesserung der Schlammigenschaften. München. (PTS-Forschungsbericht).

[18] Weinberger, G.; Spörl, R. (2007): Störungsfreier Betrieb der anaeroben Abwasserreinigung beim Recycling hochwertiger Altpapiersorten. AiF 14301. PTS, München. (PTS-Forschungsbericht).

[19] Miklos, D.B.; Remy, C.; Jekel, M.; Linden, K.G.; Drewes, J.E.; Hübner, U. (2018): Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – A critical review. *Water Research*, Jg. 139, S. 118–131.

[20] Hermosilla, D.; Merayo, N.; Gascó, A.; Blanco, Á. (2015): The application of advanced oxidation technologies to the treatment of effluents from the pulp and paper industry: a review. *Environmental science and pollution research international*, Jg. 22, Nr. 1, S. 168–191.

[21] Oturan, M.A.; Aaron, J.-J. (2014): Advanced Oxidation Processes in Water/Wastewater Treatment: Principles and Applications. A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Jg. 44, Nr. 23, S. 2.577–2.641.

[22] Demel, I.; Möbius, C.H. (1983): Toxische Hemmungen in Papierfabriksabwässern, Teil 1. *Wochenblatt für Papierfabrikation*, Jg. 111, Nr. 3, S. 95–102.

[23] Möbius, C.H.; Demel, I. (1987): Beseitigung von toxischen Störungen in Belebungsanlagen zur Reinigung von Papierfabriksabwässern. PTS-Forschungsbericht Nr. 02/1986. München. Papiertechnische Stiftung.

[24] Schild, T.; Möbius, C.H.; Flemming, H.-C.; Meyer, M. (2014): Ursache mikrobieller Probleme bei der Papierfabrikation. *Wochenblatt für Papierfabrikation*, Nr. 12, S. 772–776.

[25] Möbius, C.H.; Demel, I.; Garhammer, J.; Lottes, K. (1986): Anwendung von Bioziden im Produktionswasserkreislauf von Papierfabriken. *Das Papier*, Jg. 40, Nr. 6, S. 242–249.

[26] Oortiz de García, S.A.; Pinto Pinto, G.; García-Encina, P.A.; Irusta-Mata, R. (2014): Ecotoxicity and environmental risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in aquatic environments and wastewater treatment plants. *Ecotoxicology (London, England)*, Jg. 23, Nr. 8, S. 1.517–1.533.

[27] Gabet-Giraud, V.; Miège, C.; Jacquet, R.; Coquery, M. (2014): Impact of wastewater treatment plants on receiving surface waters and a tentative risk evaluation: the case of estrogens and beta blockers. *Environmental science and pollution research international*, Jg. 21, Nr. 3, S. 1.708–1.722.

- [28] Gani, K.M.; Kazmi, A.A. (2020): Ecotoxicological risk evaluation and regulatory compliance of endocrine disruptor phthalates in a sustainable wastewater treatment scheme. *Environmental Science and Pollution Research international*, Jg. 27, Nr. 8, S. 7.785–7.794.
- [29] Möbius, C.H.; Hamm, U. (2003): Endokrine Substanzen in der Umwelt: Ist die Papierindustrie betroffen? In: Demel, I.; Öller, H.-J. (Hg.): PTS Wasser- und Umwelttechnik Symposium. PTS Symposium WU 308. München, S. 17.
- [30] Fauser, P.; Vikelsoe, J.; Sorensen, P.B.; Carlsen, L. (2003): Phthalates, nonylphenols and LAS in an alternately operated wastewater treatment plant – fate modeling based on measured concentrations in wastewater and sludge. *Water Research*, Jg. 37, Nr. 6, S. 1.288–1.295.
- [31] WHG – Wasserhaushaltsgesetz, Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, Vom 31. Juli 2009, (BGBl. I Nr. 51 vom 06.08.2009 S. 2585) mit zahlreichen Änderungen (zuletzt geändert 18.08.2021 S. 3.901).
- [32] Strafgesetzbuch, In der Fassung der Bekanntmachung vom 13.11.1998 (BGBl. I S. 3322), zuletzt geändert durch Gesetz vom 22.11.2021 (BGBl. I S. 4.906).
- [33] Lu, R.; Frederiksen, M.W.; Uhrbrand, K.; Li, Y.; Østergaard, C.; Madsen, A.M. (2020): Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure. *Ecotoxicology and environmental safety*, Jg. 205, S. 111365.
- [34] Caplenas, N.R.; Kanarek, M.S.; Dufour, A.P. (1981): Source and extent of *Klebsiella pneumoniae* in the paper industry. *Applied and Environmental Microbiology*, Jg. 42, Nr. 5, S. 779–785.
- [35] Raaska, L.; Sillanpää, J.; Sjöberg, A.-M.; Suihko, M.-L. (2002): Potential microbiological hazards in the production of refined paper products for food applications. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, Jg. 28, S. 225–231.
- [36] Singh, C.; Chowdhary, P.; Singh, J.S.; Chandra, R. (2016): Pulp and paper mill wastewater and coliform as health hazards: A review. *Microbiology Research International*, Jg. 4, Nr. 3, S. 28–39.
- [37] Haug, T.; Sørstrand, P.; Langgård, S. (2002): Exposure to Culturable Microorganisms in Paper Mills and Presence of Symptoms Associated with Infections. *American Journal of Industrial Medicine*, Jg. -, Nr. 505, S. 41.
- [38] Caicedo, C.; Rosenwinkel, K.H.; Exner, M.; Verstraete, W.; Suchenwirth, R.; Hartemann, P.; Nogueira, R. (2019): Legionella occurrence in municipal and industrial wastewater treatment plants and risks of reclaimed wastewater reuse: Review. *Water Research* 149, S. 21–34.
- [39] [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/dokumente/legionellenempfehlung\\_2020\\_03\\_06\\_uba\\_format\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/dokumente/legionellenempfehlung_2020_03_06_uba_format_0.pdf)
- [40] Quelle: Wikipedia, Fassung 04.09.2021.
- [41] GefStoffV – Gefahrstoffverordnung, Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen, Vom 26. November 2010, (BGBl. I Nr. 59 vom 30.11.2010 S. 1.643; zuletzt geändert 21.07.2021 S. 3.115).
- [42] Rohlmann, D.S.; Lucchini, R.; W. Anger, K.; Bellinger, D.C.; van Thriel, C. (2008): Neurobehavioral testing in human risk assessment. *NeuroToxicology*, Jg. 29, Nr. 3, S. 556–567.

Autor:

**Christian H. Möbius**

CM Consult

86199 Augsburg

cm@cm-consult.de

www.cm-consult.de



## STANDARDWERK FÜR DIE ENTWÄSSERUNGSTECHNIK



# PRAXISWISSEN ZUR ABWASSERABLEITUNG

Dieses Fachbuch beschreibt praxisnahe Aspekte:

- Stadthygiene und Gewässerschutz
- Schutz vor Überflutungen im urbanen Raum
- Bemessungsgrundlagen, Modellierung und Simulation von Niederschlag- und Abflussprozessen

Jetzt im  
Shop bestellen  
und Wissen sichern!

[www.vulkan-shop.de](http://www.vulkan-shop.de)



Helmut Grüning, Klaus Hans Pecher

1. Auflage 2019

Artikelnummer: 73830

Auch als eBook erhältlich.

Preis: € 69,-

VULKAN VERLAG. FÜR ALLE, DIE MEHR WISSEN WOLLEN.

[www.vulkan-verlag.de](http://www.vulkan-verlag.de)

 Vulkan Verlag