

STÖRFALLMANAGEMENT

K. Stumwöhler

1. EINLEITUNG

Die Betriebssicherheit und die Ablaufqualität von Kläranlagen hängt bei definierten Abwassereigenschaften von der Verfahrenstechnik, den dafür errichteten Bauwerken und der Betriebsführung ab. Dies sind im Prinzip die selben Vorgaben, wie sie heute für jeden modernen Industriebetrieb, der ein bestimmtes Produkt herstellt, vorgegeben sind. Das Endprodukt soll gleichbleibend von hoher Qualität sein. Die Güte des Endproduktes ist von der sorgfältigen Fertigung und von der Güte des Rohstoffes abhängig. Weicht die Fertigung oder der Rohstoff zu sehr von den Normgrößen ab, kann das Endprodukt nicht mehr in ausreichender Qualität gefertigt werden. Man spricht dann von einer Betriebsstörung.

Bei der Abwasserreinigung ist vor allem der "Rohstoff" Abwasser selten von gleichbleibender Qualität und Zusammensetzung. Ausgehend von der Beschaffenheit des Zulaufes zu einer Kläranlage entsprechend der Auslegungsgröße (= 100 %) sind folgende in der Tabelle 1 wiedergegebene Schwankungen der Zulaufbeschaffenheit als durchaus normal zu bezeichnen (SCHINDLER, 1988). Schwankungen im Zulauf, die über dieses Maß hinausgehen, werden als externe Störungen bezeichnet.

Abwasserzufluß	30 - 200 %
pH-Wert	5,5 - 8,5
Leitfähigkeit	50 - 150 %
Temperatur	5 - 25 °C
BSB ₅ und CSB	30 - 200 %
org.N und NH ₄ -N	30 - 200 %

Tabelle 1: Schwankungen in der Zulaufbeschaffenheit

Der Fertigung bei einem Industriebetrieb, entsprechen auf der Kläranlage die einzelnen Reinigungsschritte. Auch hier können Probleme auftreten, z.B. durch Ausfall maschinentechnischer Einrichtungen. Diese werden als interne Störungen bezeichnet.

Den Techniker interessiert nun vor allem, wann mit solchen Störungen zu rechnen ist, welchen Einfluß sie auf das "Produkt", den Ablauf, haben und was man gegen diese Störungen bereits bei der Planung tun kann.

Im folgenden wird zuerst auf Störfälle bzw. Betriebsstörungen auf Kläranlagen eingegangen. Ein weiterer Teil des vorliegenden Referats befaßt sich mit dem Begriff des "Risikos in der Technik" und Risikoanalysen im Allgemeinen. Zum Schluß wird auch ein Wertungsverfahren für die Bestimmung des Störpotential gemäß der ATV-Arbeitsgruppe 2.12.2 "Betriebsstörungen auf Kläranlagen" (ATV, 1990) angegeben.

2. BETRIEBSSTÖRUNGEN

2.1. ALLGEMEINES

Für das Klärwerkpersonal ist eine Betriebsstörung jede Abweichung vom Normalbetrieb. Das können Ausfälle von Maschinenteilen, Verstopfungen von Rohren, Stoßbelastungen im Zulauf oder Stromausfälle sein. Auch gezielte Teilaußerbetriebnahmen zu Reparaturzwecken oder Umbaumaßnahmen auf der Anlage können als Störungen betrachtet werden.

Im Sinne des Wasserrechts ist eine Betriebsstörung durch den Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 2.12.2 "Betriebsstörungen auf Kläranlagen" definiert:

Betriebsstörungen sind zeitlich begrenzte, bestimmbare Ereignisse, die ordnungsgemäße Funktion einer Kläranlage beeinträchtigen oder beeinträchtigen können.

Betriebsstörungen auf Kläranlagen können unterschieden werden in:

→ Störungen, die sich auf den Ablauf in das benutzte Gewässer, den Vorfluter, nachteilig auswirken, indem ein oder mehrere der zugelassenen Überwachungswerte überschritten werden,

und

→ Störungen, die sich nicht auf den Ablauf der Anlage auswirken.

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit ist die Aufspaltung in externe Störungen und interne Störungen. Erstere, wie z.B. Stoßbelastungen im Zulauf und Stromausfälle, sind kaum vorherbestimmbar. Interne Störungen bei den einzelnen Verfahrensschritten und den damit verbundenen Bauwerken können durch Planung und Wartung minimiert werden.

Es gibt drei Arten der Vorgangsweise bei Betriebsstörungen:

- Sie laufen aufgrund eines vorher festgelegten Plans ab, z.B. Reparatur mit Betrieb nach Plan.
- Es muß vom Plan für den Betrieb abgewichen werden, z.B. falsche Einschätzung eines Schadens, dessen Umfang erst bei der Reparatur erkennbar wird, und die Beschaffung weitere Ersatzteile erfordert.
- Sie laufen ohne Plan ab, z.B. Katastrophen.

2.2. EXTERNE STÖRUNGEN

2.2.1. Zulaufstörungen

Unerlaubte Einleitungen gehören zu den nicht vorhersehbaren Ereignissen und können besonders bei kleineren Anlagen zu empfindlichen Störungen führen. Diese Einleitungen mit meist stark saurem pH-Wert und hohen Schadstoffgehalten könnten in einem Auffangbecken zwischengespeichert werden und in verdünnter Menge dem Klärprozeß wieder zugeleitet werden. Als Auffangbecken eignen sich z.B. Regenbecken, da die Stoßbelastungen zumeist nicht gleichzeitig mit großen Regenereignissen auftreten. Sind bei bestehenden Anlagen keine Regenbecken jedoch aber Vorklärbecken vorhanden, könnte eines dieser Becken als Zwischenspeicher vorgehalten werden.

2.2.2. Unterbrechungen der Stromversorgung

Nach einer Untersuchung des Abwasserverbandes Saar in Deutschland (DIERSCHKE et.al., 1990) sind 75 % aller Stromausfälle durch Stromabschaltungen des Energieversorgungsunternehmens begründet. Sind sie vorher angekündigt, kann das Anlagenpersonal entsprechend darauf reagieren und Vorkehrungen treffen. Es können Notstromaggregate bereitgestellt werden oder z.B. Regenbecken zur Zwischenspeicherung vorbereitet werden. Störungen durch Gewitter sind wesentlich geringer. 90 % aller Störungen sind nach 2 Stunden wieder beseitigt. Ungefähr ein Viertel aller Stromunterbrechungen führt zu Ablaufverschlechterungen.

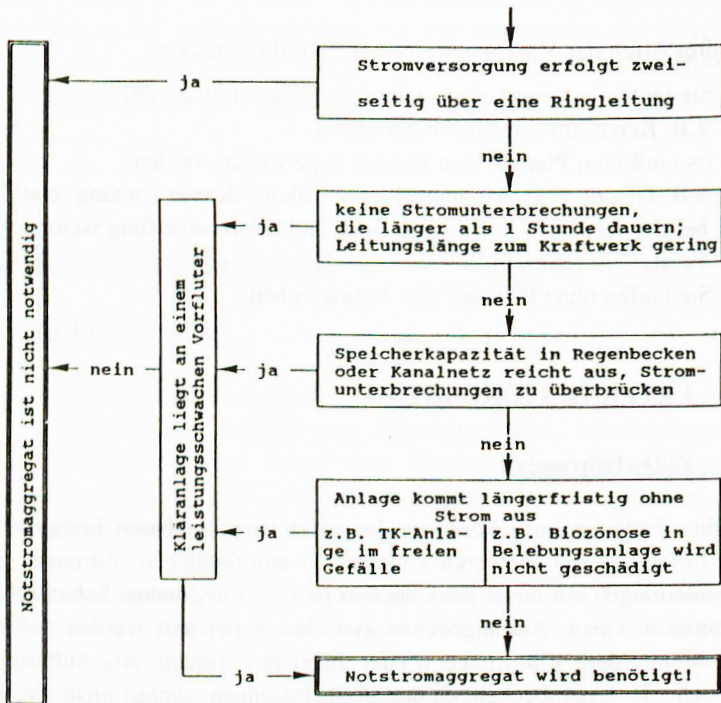


Abb.1: Abschätzungshilfe zum Einsatz eines Notstromaggregats (DIERSCHKE et.al., 1990)

Neue Kläranlagen sollten über eine zweiseitige Stromeinspeisung verfügen, wenn möglich über zwei unabhängige Netze mit automatischer Umschaltung. Zusätzlich kann bei großen Kläranlagen eine Notstromversorgung mit einem stationären Notstromaggregat vorgesehen werden. Falls vorhanden können auch Gasmotoren zur Eigenstromerzeugung herangezogen werden.

Bei kleinen Anlagen kann es oftmals zu teuer sein ein eigenes Notstromaggregat zu installieren. Hier könnte eine Risikoüberlegung analog Abbildung 1 sinnvoll sein.

2.3. INTERNE STÖRUNGEN

2.3.1. Abwasserhebeanlage

Zumeist werden Schneckenpumpen zur Abwasserhebung verwendet. Bei ordnungsgemäßen Einbau sind kaum Störungen bekannt. Die einzelnen Schnecken, es sollten zumindestens zwei vorhanden sein, sollten gegeneinander abschottbar sein. Werden Pumpen, z.B. Kreiselpumpen, verwendet sollten davor Rechen eingebaut werden, eventuell auch der Sandfang. Der Nachteil dieser Konstruktion ist, daß der Sandfang dann sehr tief (bezogen auf das umliegende Niveau) angeordnet werden muß.

2.3.2. Rechenanlagen

Die Rechenanlagen zählen zu den störanfälligen Einrichtungen einer Kläranlage. Betriebsstörungen bei Rechen führen jedoch selten sofort zu einer Störung des Ablaufs der Kläranlage wodurch ihr Einfluß im Wertungsverfahren der ATV (siehe Kap. 5) gering ist, in der statistischen Aufstellung aller Störungen einer Kläranlage haben sie jedoch einen großen Anteil.

Neben einem direkten Ausfall mechanischer Teile oder einer Verstopfung der Rechen selbst, werden auch weitere Kläranlagenteile durch nicht zurückgehaltenes Material, wie Faserstoffe, Wattestäbchen oder ähnliches beeinflußt. Die Rechenanlage, zumeist werden ein Grobrechen und danach ein Feinrechen verwendet, sollte mehrfach parallel ausgeführt werden oder zumindestens umfahren werden können. Um witterungsbedingte Störungen,

insbesondere Störungen durch Vereisungen im Winter, einzuschränken, sollten sie frostsicher in einem Gebäude installiert werden.

2.3.3. Sandfang

Störungen in der Sandfanganlage wirken sich auf den Reinigungsprozeß bzw. auf die Ablaufqualität zumeist nicht aus. Die häufigsten Störungen in nicht regelbaren Sandfängen sind entweder nicht restlos entfernter Sand oder zu hoher organischer Anteil im Sand.

2.3.4. Vorklärbecken

Vorklärbecken sind normalerweise wenig störanfällig. Der Ausfall der Vorklärung, zumeist durch Schäden am Räumsystem, dauert zumeist nur wenige Stunden im ungünstigsten Fall einige Tage. Schildräumer welche in Längsbecken eingebaut werden, können auch im eingebauten Zustand repariert werden, bei Kettenräumer muß das Becken ausgeleert werden. Verstopfungen der Schlammableitungen können nach Regen zu Problemen führen. Die Vorklärbecken sollten umgangen werden können, auch im Hinblick auf mögliche Zulaufstörungen.

2.3.5. Belebungsbecken

In der Statistik stehen Störungen in Belebungsbecken nur an 4.Stelle, sie haben jedoch den größten Einfluß auf die Ablaufqualität des zu reinigenden Abwassers. Am betriebsichersten sind Anlagen mit simultaner Schlammstabilisierung. Neben der geringeren maschinellen Ausrüstung trägt die hohe Pufferkapazität bei Schmutzstößen und unerlaubten Einleitungen zur verminderten Störanfälligkeit bei.

Werden Oberflächenbelüfter verwendet, können diese bei Defekten rasch ausgetauscht werden. Bei tiefen Temperaturen ist darauf zu achten, daß diese Belüfter nicht in ihrem Betrieb durch Eisbildung behindert oder beschädigt werden. Bei tiefen Temperaturen verringert sich eventuell auch die Nitrifikationsleistung. Oberflächenbelüfter können während des Betriebs ein- und ausgebaut werden. Für Wartungsarbeiten an feinblasigen Belüftern ist das Becken auszulassen. Planmäßig müssen sie ungefähr alle 5 Jahre ausgetauscht

werden. Der Austausch sollte in den Sommer gelegt werden, anhand eines Jahrestemperaturverlaufes kann der günstigste Zeitpunkt ermittelt werden. Membranbelüfter arbeiten zwar bei tieferen Becken besser und sind auch unempfindlicher gegen Eisbildung, können aber in Betriebspausen verstopfen (FREY, 1990).

Bei zwei- und mehrstufigen bzw. mehrstraßigen Belebungsanlagen ist die Belüftung so zu bemessen, daß bei Ausfall einer Straße die Sauerstoffversorgung immer noch ausreicht. Daneben sollten auch Stoßbelastungen abgepuffert werden können. Die Messung des Sauerstoffgehalts sollte durch mindestens zwei Betriebssonden erfolgen.

Kommt angefaultes Abwasser in das Belebungsbecken, kann es zu Blähschlamm kommen. Bei manchen Industriebetrieben kann Abwasser mit zu wenig Nährstoffen ebenfalls zu Blähschlammbildung im Belebungsbecken führen. Dieses bereits in anderen Seminaren ausführlich behandelte Problem, kann z.B. durch hochbelastete Kontaktbecken oder Kaskadenanlagen verhindert werden. Bei Nährstoffmangel muß Phosphor und Stickstoff zudosiert werden.

2.3.6. Tropfkörper

Obwohl in Neuanlagen heute nur mehr selten Tropfkörper eingebaut werden, sollen auch diese kurz erwähnt werden. Tropfkörper sind aufgrund ihrer geringeren maschinentechnischen Ausrüstung weniger störanfällig, außerdem sind sie nicht vom Funktionieren des Nachklärbeckens abhängig. Muß jedoch verschlammtes Füllmaterial aufgearbeitet oder der Drehsprenger ausgewechselt werden, kommt der biologische Reinigungsprozeß auf Anlagen mit einem Tropfkörper vollkommen zum Erliegen, da das Abwasser am Tropfkörper vorbeigeleitet werden muß. Probleme können auch durch Ausfall der Spülwirkung der Rücklaufpumpe entstehen. Bei offenen Tropfkörpern kann im Winterbetrieb durch Eisbildung am Mittelbauwerk und an der Außenwand der Drehsprengerbetrieb gestört oder sogar zum Stillstand gebracht werden. Bei sehr tiefen Temperaturen läßt die Tropfkörperreinigungsleistung nach, so daß sich die Ablaufqualität verschlechtert.

2.3.7. Nachklärbecken und Rücklaufschlammumpwerk

Die Wichtigkeit der Nachklärbecken und des Rücklaufschlammumpwerks für die Funktionsfähigkeit einer Kläranlage, insbesondere einer Anlage nach dem Belebungsverfahren, wird meist unterschätzt. Fällt die Nachklärung oder das Rücklaufschlammumpwerk aus ist die gesamte Funktionsfähigkeit der Belebungsanlage unterbrochen.

In der Statistik des Abwasserverbandes Saar in Deutschland (DIERSCHKE et.al., 1990) treten Störungen an Nachklärbecken häufiger als bei der Belebung auf. Die meisten Probleme der Nachklärbecken treten an technischen Einrichtungen, insbesondere bei den Räumern auf. Für den Notfall sollten Ersatzschilde vorgehalten werden bzw. leicht durch die Erzeugerfirma zu bekommen sein. Rundbecken mit Schildräumer können bei vollem Betrieb repariert werden. In Längsbecken haben sich Kettenräumer besser bewährt. Wenn diese jedoch ausfallen muß das Becken außer Betrieb genommen werden, der Stillstand kann bis zu 1 Woche betragen. Die Beckenränder auf denen die Räumern laufen sind im Winter eis- und schneefrei zu halten. Eine Möglichkeit ist es, die Räumernfahrbahn und die Ablaufrinnen unter der Wasseroberfläche anzuordnen.

Neben maschinentechnischen Problemen können im Nachklärbecken auch biologische Probleme auftreten. Durch nicht ausreichende Denitrifikation im Belebungsbecken, kann die Denitrifikation in die Nachklärbecken verlagert werden. Die dabei gebildeten Gasbläschen reißen Schlammflocken mit nach oben, die an der Beckenoberfläche eine Schwimmschlammdecke bildet. Als Maßnahme dagegen kann im Belebungsbecken durch Drosselung der Sauerstoffzufuhr die Denitrifikation gesteigert werden oder es muß der Schlamm Spiegel im Nachklärbecken verringert werden, z.B. durch eine Vergrößerung der Räumernkapazität oder Verringerung des Feststoffgehalts. Eine Erhöhung der Rücklaufschlammförderung bringt nur dann etwas, wenn der Räumern mehr Schlamm fördert als die Rücklaufschlammumppe.

Der Ausfall der Rücklaufschlammförderung kann den Betrieb einer Kläranlage gefährden. Ein kontinuierlicher Rücklauf des Belebtschlammes muß stets, gegebenenfalls durch Vorhalten mobiler Pumpen gewährleistet werden.

2.3.8. Schlammbehandlung und -entfernung

Fällt die Schlammbehandlung aus, wird der Kläranlagenbetreiber zumeist versuchen den Schlamm an einem anderen Ort zwischenzuspeichern z.B. durch Erhöhung der Trockensubstanz im Belebungsbecken. Dies führt bei Trockenwetter zu keinen Problemen in der Nachklärung. Bei einem Regen kommt es jedoch zu einer plötzlichen Verlagerung des Schlammes in die Nachklärbecken, für die diese in der Regel nicht bemessen sind, aber auch nicht bemessen werden können. Die Folge davon ist dann ein Abtreiben des Schlammes in den Vorfluter. Auch durch eine Erhöhung des Rücklaufschlammverhältnisses oder der Überschußschlammförderung ist dieser Vorgang nicht aufzuhalten.

Sind Vorklärbecken vorhanden, könnte auch in diesen der Schlamm zwischengespeichert werden. Dieser Schlamm führt jedoch insbesondere im Sommer sehr bald zu anaeroben Verhältnissen. Kommt dieses angefaulte Abwasser in die Belebung kann hier die Nitrifikation ausfallen oder es kommt zu Blähschlammproblemen.

Häufigste Störungen bei der Faulung sind Schwimmdeckenbildung, Schäumen und Sandablagerungen. Durch Schwimmdecken kann mitunter der Trübwasser- und Gasabzug (Explosionsgefahr) behindert werden. Der Schwimmdeckenbildung kann durch bessere Umwälzung oder andere anlagenspezifische Schwimmschlammzerstörungseinrichtungen vorgebeugt werden. Kommt es zu Sandablagerungen im Faulraum, kann man versuchen sie mit Druckwasser zu entfernen oder der Faulbehälter muß entleert werden. Eine Faulraumtlenkung kann bis zu einem Monat dauern. Auch hier erreicht man durch zwei oder mehr Faultürme eine erhebliche Erhöhung der Betriebssicherheit. Werden diese Faultürme hintereinander gefahren ist zumeist auch die Gasgewinnung besser.

Neben dem Ausfall der Faulung, können auch die Einrichtungen zur Schlammentwässerung Probleme bereiten. Ein gut entwässerter Schlamm ist besonders heute, bei ständig steigenden Deponiekosten, besonders wichtig. Die verschiedenen Arten der Klärschlammentwässerung und -entsorgung sind Thema eines anderen Vortrags (NOWAK, 1993). Wird die Anlage für eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung mit Flüssigschlamm bemessen, so ist für

den Fall des Ausfalls dieses Entsorgungsweges, z.B. durch radioaktive Verseuchung des Abwassers, eine Entwässerungsmöglichkeit einzuplanen. Diese kann mit Mobilpressen bei ausreichenden Schlammstapelmöglichkeiten vorgesehen werden. Ist der Schlamm schlecht ausgefault kann dies zu Geruchsbelästigungen auf der Kläranlage führen, was wiederum besonders für die Anrainer unangenehm ist.

3. RISIKO

In der Literatur werden verschiedene Ansätze für die mathematische Formulierung des Begriffes "Risiko" gebracht, die einfachste Darstellung ist jedoch folgende (WAGNER, 1989):

$$\int_s Q(s) \times dS \quad [A]$$

- r Risiko im Sinne von "Einzelrisiko" nicht "Globalrisiko"
- Q Wahrscheinlichkeit, daß ein Element nach einer
Zeit t funktionsuntüchtig wird
- S Schadensumfang

Mit einer mittleren Eintrittswahrscheinlichkeit und einem mittleren Schadensumfang ergibt sich daraus:

$$r = S \times Q \quad [B]$$

Risiko = Schadensumfang × Schadenseintrittswahrscheinlichkeit

Aus den Gleichungen sieht man auch den Zusammenhang zwischen Schadensumfang und Eintrittswahrscheinlichkeit. Hohe Schäden haben geringe Eintrittswahrscheinlichkeiten, kleine Schäden dagegen hohe. Der Schadensumfang 0 hat die Eintrittswahrscheinlichkeit 0.

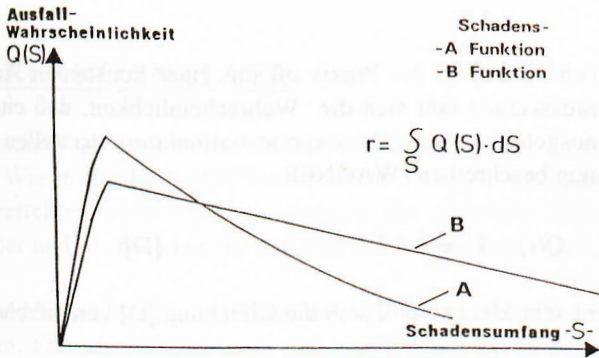


Abb 2: Ausfallwahrscheinlichkeit als Funktion des Schadensumfangs (WAGNER, 1989).

Eine andere Vorgangsweise ist es mit "Ausfallraten" zu arbeiten

$$\lambda(t) = \frac{1}{k(t)} \times \frac{dN}{dt} \quad [C]$$

$\lambda(t)$ Ausfallrate
 $k(t)$ Zahl der zum Zeitpunkt t noch intakten Elemente
 $\frac{dN}{dt}$ Zahl der Ausfälle pro Zeiteinheit

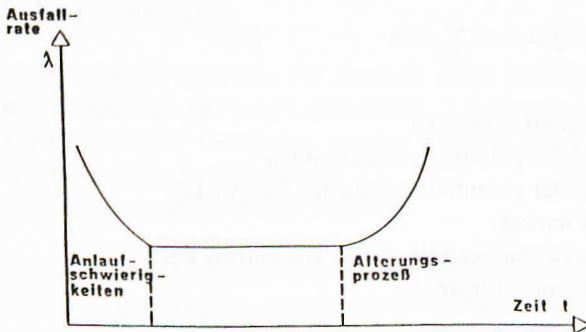


Abb 3: Ausfallrate als Funktion der Zeit (WAGNER, 1989)

Vereinfachend rechnet man in der Praxis oft mit einer konstanten Ausfallrate. Unter dieser Voraussetzung läßt sich die Wahrscheinlichkeit, daß ein Element bis zur Zeit t ausgefallen ist, als Exponentialfunktion darstellen und mit folgender Gleichung beschreiben (WAGNER, 1989):

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda \times t} \quad [D]$$

Wird der Exponent sehr klein so läßt sich die Gleichung [D] vereinfachen zu:

$$Q(t) = \lambda \times t \quad [E]$$

und das Einzelrisiko kann folgendermaßen dargestellt werden:

$$r(t) = \int_s \lambda(s) \times t \times dS \quad [F]$$

- Q Wahrscheinlichkeit, daß ein Element nach
einer Zeit t funktionsuntüchtig wird
S Schadensumfang

Gleichung [F] bezieht sich auf ein Einzelrisiko. Sie kann auf das Gesamtpotential erweitert werden, wobei jedem Elementausfall ein immer gleicher Schadensumfang zugeordnet werden wird:

$$R(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times t \times \sum_{j=1}^m u_{ij} \times S \quad [G]$$

- R(t) Gesamtrisikopotential
n Anzahl der potentiellen Störgrößen
m Anzahl der potentiellen Schäden bei Ausfall
eines Elements
 u_{ij} Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts bei
Ausfall eines Elements

Jeder Ausfall kann mehrere Schadensarten zur Folge haben. Dies wird durch das Element u_{ij} ausgedrückt.

4. RISIKOANALYSE

Die Risikoanalyse versucht Anzahl, Art und Umfang aller möglicher Risiken zu erfassen. Wie in der Einleitung beschrieben, sind die bekannten und zum Teil hier vorgestellten Verfahren im Bereich der gesamten allgemeinen Technik verwendbar und werden nur für den Fall der Abwasserreinigung spezifiziert.

Die Methoden der Risikoanalyse lassen sich im Wesentlichen in zwei Gruppen unterteilen. Empirische Methoden und analytische Methoden. Die empirischen Verfahren bauen auf realen Erfahrungswerten auf, dafür sind die Schadensfälle aber bereits eingetreten.

Analytische Verfahren haben ihren Ursprung in der amerikanischen Raumfahrtindustrie, wo die Notwendigkeit gegeben war, mögliche Schäden bei der Konstruktion der technischen Elemente bereits bei der Konstruktion zu erahnen. Erforderlich für analytische Verfahren ist das Wissen der Ausfallwahrscheinlichkeiten und Ausfallraten. Speziell in der Abwassertechnik sind aufgrund der zumeist unsicheren Datenbasen diese Werte nur schwer zu bekommen. Daher ist hier mit größeren Unsicherheiten zu rechnen.

4.1. EMPIRISCHE VERFAHREN

4.1.1. Einzelfallanalyse

Die Einzelfallanalyse bezweckt die Analyse eines Schadensereignisses, seiner Ursache und Wirkung. Ziel ist es, gewonnene Ergebnisse so zu übertragen, daß vergleichbare Störfälle vermieden werden können. Eine solche Analyse hat jedoch immer punktuellen Charakter.

Die Vorgangsweise erfolgt in drei Schritten:

- ① Genaue Erfassung des Hergangs des Schadensereignisses
- ② Analyse des Schadensereignisses in technischer und organisatorischer Hinsicht. (Eine häufige Ursache ist auch menschliches Fehlverhalten.)
- ③ Verdeutlichung der Folgen oder der Wirkung des Schadensereignis.

Aus der Analyse können sodann Verbesserungen für den Betrieb der Anlage hinsichtlich des nochmaligen Auftretens eines Störfalles. Eine Übertragung auf ähnliche Störfälle in anderen Bereichen oder auf andere Kläranlagen ist jedoch nur sehr schwer möglich.

4.1.2. Statistiken

Bei ähnlichen Schadensfällen kann eine Statistik aufgestellt werden. Voraussetzung ist jedoch, daß eine genügend große Anzahl von Beobachtungen vorliegt. Besser sind betriebsinterne Daten, aber auch außerbetriebliche Daten sind möglich. Bei diesen ist jedoch darauf zu achten, daß sie unter gleichen oder ähnlichen Randbedingungen abgelaufen sind.

Eine einfache Datenquelle für Statistiken stellen Betriebstagebücher von Kläranlagen dar. In ihnen sind zeitlich begrenzte Ereignisse definiert, die die Funktion der Kläranlage beeinträchtigen haben. Die Funktion der Kläranlage ist vor allem dann gefährdet, wenn die im Wasserrechtsbescheid festgelegten Werte nicht eingehalten werden konnten. Daneben werden zumeist auch Störungen im weiteren Sinne, wie z.B. länger andauernde Wartungsarbeiten, Reparaturen und Verstopfungen vermerkt. Weitere Quellen sind die Aufzeichnungen des jeweiligen Energieversorgungsunternehmens über Stromausfälle und Angaben der Gerätehersteller.

Ausgewertet können die Daten kann mit den aus der Statistik bekannten Parametern, wie Häufigkeitsanalysen, Mittelwert und Standardabweichung (z.B. ÖNORM A 6661). Statistiken können vor allem für kleine und mittlere Anlagen benutzt werden. Für große Anlagen > 100.000 EGW sind in der Literatur jedoch kaum vergleichbare Daten vorhanden.

4.2. ANALYTISCHE VERFAHREN

4.2.1. Fehlerbaumanalyse

Die Fehlerbaumanalyse ist in der DIN 25424 und in den ÖNORMen A 9012/A 9013 genormt. Diese Analyse ist das häufigst eingesetzte analytische Bewertungsverfahren. Es wird versucht alle Ausfallkombinationen, die zu einer Störung führen zu erfassen. Daneben werden auch Zuverlässigkeitskenngrößen ermittelt, die das System beschreiben.


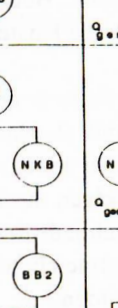

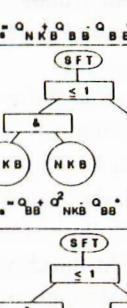
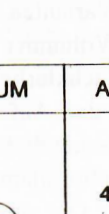
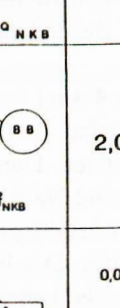
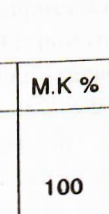
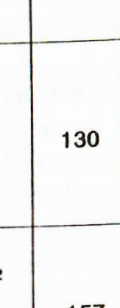
NR.	SYSTEM	FEHLERBAUM	A.T	M.K %
1		 $Q_{ges} = Q_{NKB} + Q_{BB}$	4,0	100
2		 $Q_{ges} = Q_{BB} + Q_{NKB}^2$	2,0	130
3		 $Q_{ges} = Q_{BB}^2 + Q_{NKB}^2$	0,02 einmal alle 50 Jahre	157
4		 $Q_{ges} = (Q_{BB} + Q_{NKB}) \cdot (Q_{BB} + Q_{NKB})$	0,04 einmal alle 25 Jahre	155

Abb. 4:
Fehlerbaumanalyse
(WAGNER, 1992)

- SFT - unerwünschtes Ereignis
- <= 1 - "oder" - Beziehung
- & - "und" - Beziehung
- - ausgefallene Einheit
- A.T. - Ausfalltage pro Jahr
- M.K. - Kosten in % im Vergleich zu System 1
- BB - Belegung
- NKB - Nachklärung

Nach Vorgabe des zumeist unerwünschten Ereignisses werden alle logischen Verknüpfungen dargestellt, die zum Eintritt dieses Ereignisses führen. Die Zuverlässigkeitskenngrößen werden mit Hilfe der Booleschen Algebra (wahr \leftrightarrow falsch, und \leftrightarrow oder) ermittelt. Für die Strukturierung kann ein grobes oder ein feines Raster gewählt werden, abhängig von der jeweiligen Fragestellung. In Abbildung 4 ist eine Fehlerbaumanalyse (WAGNER, 1992) für verschiedene Systeme von Belebungsbecken dargestellt.

Die aufgezeigten Varianten beziehen sich auf Anlagen mit simultaner Schlammstabilisation. Die Volumina der einzelnen Becken sind insgesamt gleich. Jedes Belebungs- und Nachklärbecken wird zweimal pro Jahr außer Betrieb genommen, die Dauer der Außerbetriebnahme beträgt dabei jeweils 24 Stunden. Durch die unterschiedliche Aufteilungs- bzw. Verteilungsmöglichkeiten für Abwasser und Belebtschlamm ist die Ausfallwahrscheinlichkeit Q der einzelnen Systeme ungleich. Die angegebenen Kostendifferenzen basieren auf einer durchgeführten Kalkulation mit Rundbecken. Bodenverhältnisse, Grundwasserstand und andere Besonderheiten können die Kosten beeinflussen.

In der Abbildung 4 sind besonders die Fälle 3 und 4 von Bedeutung. In den Fällen 3 und 4 sind 2 Belebungs- und 2 Nachklärbecken mit parallelen Teilströmen vorhanden. Durch Einbau einer kreuzweisen Verbindung zwischen Belebungsbecken und Nachklärbecken steigen die Mehrkosten nur um 2% (von 155 auf 157), die Ausfalltage halbieren sich jedoch (von einmal alle 25 Jahre auf einmal alle 50 Jahre). Das heißt durch vergleichsweise geringe Baumaßnahmen kann die Betriebssicherheit verdoppelt werden.

4.2.2. Ereignisablaufanalyse

Die Ereignisablaufanalyse ist in der DIN 25419 und in Österreich in den ÖNORMen A 9010/A 9011 genormt.

Bei dieser Analysetechnik ist das Ziel nicht ein unerwünschtes Endereignis, ein Störfall oder Schaden, sondern es werden die Folgerungen bei Ausfall einer Komponente unter verschiedenen Randbedingungen betrachtet.

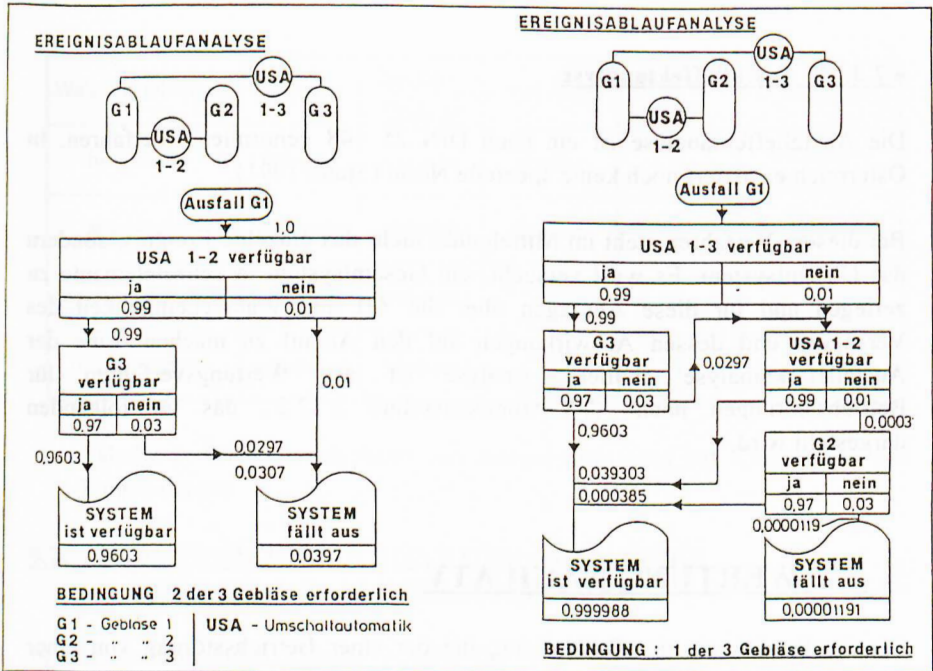


Abb.5: Ereignisablaufanalyse (WAGNER, 1989)

In der Abbildung 5 wird eine Gebläsestation mit drei Gebläsen gleicher Leistungsfähigkeit dargestellt. In dieser Station ist eine Umschaltautomatik eingebaut, die sicherstellt, daß bei Ausfall eines Gebläses die anderen dessen Funktion übernehmen. Die Ausfallwahrscheinlichkeit der einzelnen Gebläse wird mit 0,03 angenommen, die der Umschaltautomatik mit 0,01.

Möchte man die Abbildung 5 mit der Abbildung 4 vergleichen, so muß man die gewonnenen Ergebnisse auf eine Vergleichsbasis bringen, z.B. die Umrechnung in Ausfalltage. Im Fall 1 (2 der 3 Gebläse erforderlich) erhält man:

$$A.T. = 0,0397 \times 365 = 14,5 \text{ d/a}$$

Im Fall 2 (1 der 3 Gebläse erforderlich):

$$A.T. = 0,00001191 \times 365 = 0,004 \text{ d/a} = 6,5 \text{ min/a.}$$

4.2.3. Ausfalleffektanalyse

Die Ausfalleffektanalyse ist ein nach DIN 25 448 genormtes Verfahren. In Österreich existiert noch keine spezielle Norm (Stand 1991).

Bei diesem Verfahren steht im Mittelpunkt nicht das einzelne Ereignis, sondern das Gesamtsystem. Es wird versucht, ein Gesamtsystem in Einzelelemente zu zerlegen und für diese Aussagen über die Art und Wahrscheinlichkeit des Versagens und dessen Auswirkungen auf den Ablauf zu machen. Eine der Ausfalleffektanalyse ähnliche Analyse ist das Wertungsverfahren für Betriebsstörungen nach ATV-Arbeitsausschuß 2.12.2., das im folgenden dargestellt wird.

5. WERTUNG NACH ATV

Für die Beurteilung der Gefährdung, die bei einer Betriebsstörung von einer Kläranlage auf z.B. das Gewässer ausgehen kann, schlägt der ATV-Arbeitsbericht die Ermittlung des Störpotentials vor. Dieses ist abhängig von der Wahrscheinlichkeit, der Auswirkung auf den Vorfluter und der Größe der Kläranlage.

Das Störpotential wird mit der Sensibilität des Gewässers gegen Belastungen, die von Betriebsstörungen verursacht werden, verglichen. Aus diesem Vergleich können die Entscheidungen über den Umfang der Vorsorgemaßnahmen gegen Betriebsstörungen hergeleitet werden.

5.1. WAHRSCHEINLICHKEIT VON BETRIEBSSTÖRUNGEN

Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Betriebsstörung ist davon abhängig, ob und inwieweit man sich auf das Ereignis einstellen kann:

Wahrscheinlichkeit	Zeitpunkt	Art, Ort, Umfang	Vorsorge	Wertungszahl	Beispiel
bestimmbar	bekannt	bekannt	planbar	4	Reparatur, Austausch
abschätzbar	unbekannt	bekannt	möglich	3	Stromausfall
unwahrscheinlich	unbekannt	(bekannt)	in Grenzen möglich	2	Rohrbruch, Lagerbruch
unvorhersehbar	unbekannt	unbekannt	nicht möglich	1	Katastrophe

Tabelle 2: Wahrscheinlichkeit von Betriebsstörungen auf Kläranlagen und Folgen daraus

5.2. AUSWIRKUNGEN VON STÖRUNGEN EINER KLÄRANLAGE AUF DEN VORFLUTER

In der nachfolgenden Tabelle werden für unterschiedliche Baugruppen einer Kläranlage die Störanfälligkeit angegeben und mit einer Gewichtung von 0 - 1,0 versehen. Es soll jedoch keine lückenlose Zusammenstellung sein. In jedem Einzelfall sind die Störmöglichkeiten zu ermitteln und die Auswirkungen auf den Kläranlagenablauf realistisch einzuschätzen.

Bereich der Störung	Wirkung auf den Ablauf	Gewichtung
Zulauf	Unterschiedlich, hängt von Menge und Schädlichkeit des zugeleiteten Stoffes und der Größe der Anlage ab	0 - 1,00
Rechen	ohne, bei Verstopfung und Rückstau im Kanal hoch	0 - 0,75
Sandfang	ohne, bei Ausfall Belüftung gering	0 - 0,25
Vorklärbecken	gering	0 - 0,25
Belebungsbecken	mittel, bei Ausfall der Belüftung hoch	0,50 - 1,00

Bereich der Störung	Wirkung auf den Ablauf	Gewichtung
Tropfkörper	hoch	0,25 - 1,00
Nachklärung	niedrig, bei Unterbrechung des RS-Kreislaufs hoch	0,25 - 1,00
Schlammbehandlung	ohne	0

Tabelle 3: Mögliche Störungsstellen mit Bewertung

5.3. GRÖSSENKLASSE DER KLÄRANLAGE

Gemäß der 1. Abwasserverwaltungsvorschrift der BRD wird bei der Ermittlung des Störpotentials von Kläranlagen von folgenden Größenklassen ausgegangen:

Größenklasse	kg BSB5 roh/d	Einwohnerwerte
1	< 60	< 1.000
2	60 - 300	1.000 - 5.000
3	300 - 1.200	5.000 - 20.000
4	1.200 - 6.000	20.000 - 100.000
5	> 6.000	> 100.000

Tabelle 4: Größenklasse einer Kläranlage bezogen auf EGW

5.4. SENSIBILITÄT DES GEWÄSSERS

Erfordernis und Umfang der Vorsorge müssen auch im Hinblick auf die Sensibilität des Vorfluters beurteilt werden. Die nachfolgende Tabelle ermöglicht eine Bewertung der Gewässer entsprechend ihrer Sensibilität mit einer Zahl von 0 bis 6. Maßgebend ist jeweils die höchste Sensibilitätsstufe.

Sensibilität	0 - 1,5	> 1,5 - 3	> 3 - 4,5	> 4,5 - 6
Gewässer- charakteristik	schnellfließend > 0,35 m/s bei MNQ Bergland		langsamfließ. 0,1 - 0,35 m/s bei MNQ Flachland	gestaut < 0,1 m/s bei MNQ Seengebiet
Mischungsverhältnis Vorfluter/Abwasser (MNQ/Q24)	> 50		< 50 - 25	< 25
Nutzung des Gewässers	Kraftwerks- kanal, Kühlwasser, Brauchwasser	Bewässerung, Freizeit und Erholung (keine Bade- wasserqualität)	Freizeit und Erholung (Badewasser- qualität Trinkwasser (indirekt für Uferfiltrat) Speisewasser für Fischteiche	Trinkwasser (direkt) naturnahe Gewässer mit bedeutender ökologischer Funktion

Tabelle 5: Bewertung der Gewässersensibilität

5.5. WERTUNGSVERFAHREN

5.5.1. Störpotential

Die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Betriebsstörung eintritt, das Maß der Auswirkung auf den Ablauf und die Größe der Anlage gehen in die Ermittlung des Störpotentials ein.

$$\text{Störpotential} = I \times II \times III$$

- | | |
|---|---------|
| I .. Wahrscheinlichkeit einer Betriebsstörung | (1 - 4) |
| II . Auswirkung auf den Vorfluter | (0 - 1) |
| III Größenklasse der Kläranlage | (1 - 5) |

5.5.2. Umfang der Vorsorgemaßnahmen

Aus dem ermittelten Störpotential und der Sensibilität des Gewässers läßt sich mit Hilfe der Abbildung 6 der Umfang der Vorsorgemaßnahmen ermitteln.

5.5.3. Vorsorgemaßnahmen

Die Vorsorgemaßnahmen unterscheiden sich in Mindestmaßnahmen (Grundvorsorge) und Vorsorgestufen A - D abhängig vom Störpotential der Kläranlage und der Sensibilität des Gewässers.

Grundvorsorge

- Betriebs- und Dienstanweisungen
- Alarmpläne, Rufbereitschaft
- qualifiziertes Personal

Vorsorge - Stufe A

- Bereithalten einer Grundausrüstung an Hilfsmitteln zur Behebung von Störungen.
- Überörtliche Vorhaltung von Hilfsaggregaten und Ersatzteilen einfacher Art.

Vorsorge - Stufe B

- Störmelder für physikalische Parameter.
- Überörtliche, zentrale Vorhaltung eines Notstromaggregates und von Ersatzaggregaten für alle Betriebspunkte mit hoher Auswirkung auf den Ablauf.

Vorsorge - Stufe C

- Störmelder für physikalische und chemische Parameter.
- Ersatzaggregate vorhalten für alle Betriebspunkte mit mittlerer und hoher Auswirkung auf den Ablauf.

Vorsorge - Stufe D

- 24-Stunden Besetzung mit Betriebspersonal.
- Notstromversorgung für alle wesentlichen Punkte.
- Ersatzaggregate vorhalten für alle Betriebspunkte geringer, mittlerer und hoher Auswirkung auf den Ablauf.

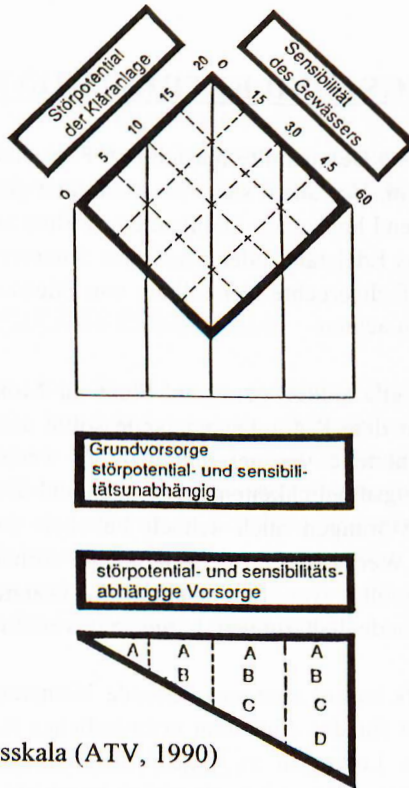


Abb. 6: Bewertungsskala (ATV, 1990)

5.6. KRITISCHE ANMERKUNGEN

Das vorgestellte Verfahren hat sehr grobe Skalierungen, auch ist die multiplikative Verknüpfung von Anlagengröße und Auswirkung der Störung nicht immer direkt nachvollziehbar. Länge und Umfang des Störfalls gehen nicht in die Bewertung ein.

Nur schwer verständlich ist, daß der Schlammbehandlung kein Einfluß auf den Ablauf zugestanden wird. Die Wichtigkeit einer funktionierenden Schlammbehandlung wurde bereits im Kapitel 2.3.8 angerissen.

Von der Betrachtungsweise, der Ermittlung aller unmittelbaren Gefahren für den Vorfluter ist das Auswerteverfahren des ATV-Arbeitsausschusses 2.12.2 jedoch eine einfache und leicht durchführbare Analysetechnik.

6. PLANUNGS- UND BETRIEBSHINWEISE

Der zum Bau verwendete Beton sollte hinsichtlich Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit geeignet sein. Vor allem seine Beständigkeit gegenüber Nitrat NO_3 - (Säure) sollte ausreichend hoch sein. Stahlbauteile sollten aus Korrosionsgründen soweit wie möglich aus Edelstahl, oder zumindest feuerverzinkt oder beschichtet sein. Auch auf die fachgerechte Herstellung von Edelstahlschweißungen und -verschraubungen ist zu achten.

Räume für Maschinenteile sollten genügend Platz für Montage, Reparatur und Demontage haben. Auf dem Kläranlagengelände sollte ausreichend Lagerungsmöglichkeiten für Ersatzteile vor gesehen werden, wenn möglich überdacht. Sind genügend Lagerungsmöglichkeiten vorgesehen und die Bauteile vorhanden, können die meisten Störungen auch schnell behoben werden. Ist eine ausreichend eingerichtete Werkstätte auf der Kläranlage vorhanden, können kleinere Reparaturen durchgeführt werden und einfache Zusatzteile, wie z.B. Probenahmeschöpfer oder Sondenhalterungen, hergestellt werden.

Besonderes Augenmerk ist auf eine ausreichende Vernetzung der Anlagenteile, sowohl hinsichtlich der für das Abwasser erforderlichen Rohre und Kanäle, als auch der elektrischen Leitungen zu legen. Jedes Beckenteil sollte einzeln umfahren werden können oder anders als üblich beschickt werden können. Als Beispiel sei hier nur die Verwendung von, in Schwachlastzeiten überzähligen, Vorklärbecken als zusätzliche Schlammstapelbecken oder als Pufferungsbecken für Stoßbelastungen zu erwähnen.

6.2. WARTUNGS- UND STÖRFALLPLÄNE

Regelmäßige Wartungen können einen Teil der Störungen verhindern. Anleitungen zur Aufstellung einer Anweisung können dem ÖWAV-Regelblatt 20 "Musterbetriebsordnung für Abwasserreinigungsanlagen" und dem ATV Arbeitsblatt A-124 "Dienst- und Betriebsanweisung für das Personal von Kläranlagen" entnommen werden.

Sind auf der Anlage Störfallpläne vorhanden, können Schäden zügig abgewehrt werden. Diese können vom Planer oder anderen erfahrenen Personen erstellt

werden. Erfahrungen aus konkreten Schadensfällen sollten in die ständige Erneuerung und Aktualisierung dieser Pläne einfließen. Wichtig dafür ist, daß alle auftretenden Schäden ausreichend dokumentiert werden. Dafür kann das Betriebstagebuch oder aber auch ein auf der Anlage vorhandener PC verwendet werden.

6.3. SICHERHEIT DES PERSONALS

Die Sicherheit des auf der Kläranlage beschäftigten Personals ist von erheblicher Bedeutung für die Störfallminimierung. Hilfestellungen zu dieser Problematik können den ÖWAV-Regelblättern 14 und 18 "Richtlinien zur Verhütung von Unfällen auf Kanalisations- und Abwasserreinigungsanlagen - Teil A und B" entnommen werden. Eine umfassende Schulung und vor allem Weiterbildung des Betriebspersonals senkt ebenfalls die Unfallgefahr. Für Störfälle sollten Alarmpläne vorhanden sein, auch im Hinblick darauf, um die physische und psychische Belastung des Personals zu reduzieren.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Betriebsstörungen auf Kläranlagen wird es immer geben. Eine völlig störungsfreier Betrieb ist eine Utopie, die in der Praxis, insbesondere auf Kläranlagen, nicht zu erreichen ist. Der planende Ingenieur kann jedoch durch richtige Wahl von Betriebsanlagenteilen die Störanfälligkeit einer Anlage minimieren. Hierzu gehören neben der maschinentechnischen Ausstattung auch die leichte Erreichbarkeit der einzelnen Anlagenteile. Durch eine den Umgebungsvariablen (zur Verfügung stehender Raum, mittlere Jahrestemperatur etc.) und dem gewählten Verfahren entsprechende Planung kann die schnellere Behebung diverser Störungen erheblich verbessert werden.

Ein nicht zu vernachlässigender Faktor, aber durch Planung kaum direkt beeinflussbar, ist menschliches Versagen. Ein falsch geöffneter Schieber oder eine Unterschätzung der betrieblichen Situation kann sehr leicht zu größeren Störungen führen.

8. LITERATUR

- ATV Diskussionsbeitrag des ATV-FA 2.12 zur Störfallproblematik, Korrespondenz Abwasser 33 (1986) S.1261
- ATV Merkblatt M 141, Vorsorgemaßnahmen für Notfälle bei öffentlichen Abwasseranlagen, St. Augustin 1987
- ATV Arbeitsblatt A 124, Dienst- und Betriebsanweisungen für das Personal von Kläranlagen, St. Augustin 1989
- ATV Betriebsstörungen auf Kläranlagen, Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 2.12.2, Korrespondenz Abwasser 37 (1990), S. 913
- BAGUV Sicherheitsregeln für Abwasserbehandlungsanlagen - Bau und Ausrüstung - (GUV 17.5), Offenbach/Main 1979
- Baumgart, H.Ch. Störungsanalyse und Vorbeugemaßnahmen zur Gewährleistung der Betriebssicherheit kommunaler Kläranlagen, GWF 128 (1987) S.569
- Böhnke, B. Hsg. Sicherheit und Risiko abwassertechnischer Anlagen, Gewässerschutz Wasser . Abwasser Aachen 1985
- Brücker, R. Beispiele für die Verbesserung der Prozeßstabilität von großen Klärwerken, Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheits- ingenieurwesen, TU-München Bd. 82 (1988), S.223
- Budlich, H.G.; Insel, W. Langfristiger Stromausfall in einem Abwasserbehandlungssystem, Koresspondenz Abwasser 31 (1984), S.760
- Dierschke, M.; Jacobitz, K.; Jung, D.; Wagner, W. Störanfälligkeit und Ausfallverhalten von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen, Abwassertechnik 6/90, S.14
- Eisele, G. Beispiele für die Verbesserung der Betriebssicherheit von Kläranlagen im Bereich des Regierungspräsidiums Tübingen, Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, TU-München Bd. 82 (1988) S.195
- Frey, W. Sauerstoffzufuhr (Messen, Regeln, Steuern), Wiener Mitteilungen Bd. 81, 2.Auflage, Wien 1990
- Kunz, Frietsch Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit biologischer Kläranlagen am Beispiel mikrobizider Stoffe, GWA Bd. 75, Aachen 1985, S.237
- Mudrack, K. Störungen im Kläranlagenbetrieb und ihre Verhütung bei physikalischen,

- chemischen und biologischen Verfahrensabläufen, GWA Bd. 15, Aachen 1974, S.223
- Nowak, O. Der Einfluß der Klärschlammbehandlung und -entsorgung auf das Verfahrenskonzept der Kläranlage, Wiener Mitteilungen Bd. 110 Wien 1993
- ÖWAV Regelblatt 14 Richtlinien zur Verhütung von Unfällen auf Kanalisations- und Abwasserreinigungsanlagen, Teil A - Bau und Einrichtungen, Wien 1983
- ÖWAV Regelblatt 18 Richtlinien zur Verhütung von Unfällen auf Kanalisations- und Abwasserreinigungsanlagen, Teil B - Betrieb, Wien 1987
- ÖWAV Regelblatt 20 Musterbetriebsordnung für Abwasserreinigungsanlagen, Wien 1988
- Seyfried, C.F. Berücksichtigung der Betriebssicherheit bei Planung und Entwurf, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, TU-München Bd. 82 (1988) S.175
- Schindler, T. Auswirkungen betrieblicher Störungen auf den Kläranlagenablauf, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, TU-München Bd. 82 (1988), S. 129
- Schindler, T. Vorsorge zur Vermeidung von Betriebsstörungen, ATV-Jahresband Bd. 39 (1988), S.221
- Teichmann H. Störungen im Kläranlagenbetrieb und ihre Verhütung bei technischen Einrichtungen, GWA Bd.15, Aachen 1974, S.227
- v.d.Emde, W. Hsg. Wechselwirkung zwischen Planung und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen - Erfahrungen und Probleme, Wiener Mitteilungen Bd. 47, Wien (1982)
- Wagner, W. Risikobetrachtungen mit dem Ziel der Vorbeugung gegen Störungen in der Abwassertechnik, ATV-Jahresband Bd. 40 (1989), S.441
- Wagner, W. Optimierung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Kläranlagen auf Basis von Risikoanalysen, Dissertation Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern Bd. 4 (1992)

Dipl.-Ing. Karl Stumwöhrer
 Institut für Wassergüte u. Abfallwirtschaft
 Technische Universität-Wien
 A - 1040 Wien, Karlsplatz 13/226