

---

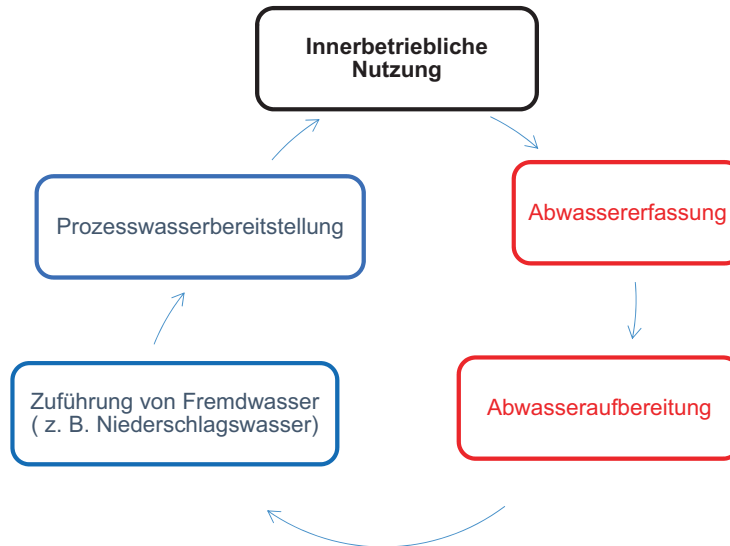
### 2.1 Aufgaben des Prozesswassermanagements

Die Aufgabe des Prozesswassermanagements bei einer Kreislaufführung besteht in der Organisation und Handhabung einer sicheren und effektiven Nutzung der innerbetrieblichen Prozesswässer (s. Abb. 2.1). Hierzu zählen primär:

- Beschaffung und Bereitstellung des Prozesswassers,
- innerbetriebliche Nutzung der Prozesswässer,
- Prozesswassereinsparung,
- Prozesswassermehrfachnutzung,
- Kontrolle der Abwasserinhaltsstoffe (Eigenanalytik),
- Sammlung der Produktionsabwässer,
- Aufbereitung der Abwässer (Abwasserrecycling),
- Ersatz der Wasserverluste (durch Verdunstung etc.), z. B. mit Niederschlagswasser.

Ein erweitertes Aufgabenspektrum ergibt sich beispielsweise aus der möglichen Rückgewinnung von Wertstoffen bzw. der Abfallentsorgung, der Abwasseraufbereitung sowie einer etwaigen Energierückgewinnung. Ein wichtiges Standbein ist die Eigenanalytik im Betrieb selbst, die im Kap. 8 näher beschrieben ist.

Ein erster Schritt in das Prozesswassermanagement führt zu den Abwasserinhaltsstoffen, deren Eigenschaften (z. B. sauer oder alkalisch) und Konzentrationen weitgehend die Abwassercharakteristik bestimmen.

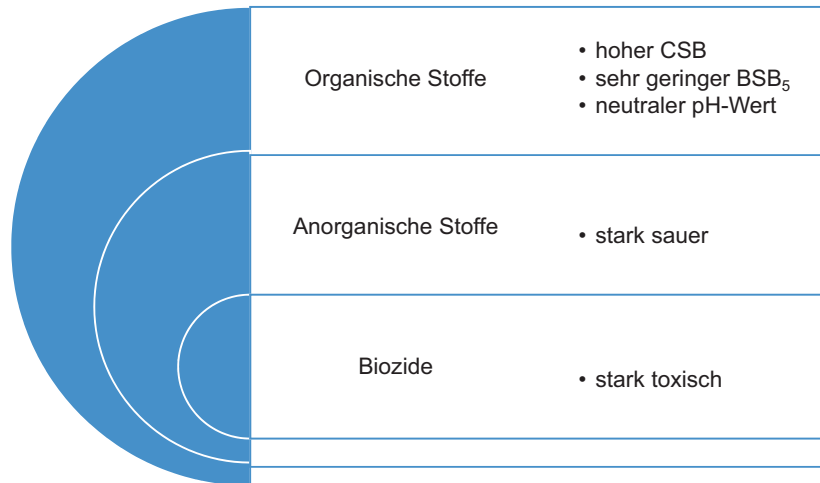


**Abb. 2.1** Teilgebiete des Prozesswassermanagements

### 2.1.1 Interaktionen von Abwasserinhaltsstoffen

Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe besitzen bestimmte Eigenschaften; gelangen diese Stoffe ins Abwasser, so werden daraus Abwasserinhaltsstoffe. Sie bestimmen in ihrer Gesamtheit den Abwassercharakter. Während der Bearbeitung in den einzelnen Produktionsprozessen können sich ihre Eigenschaften zum Teil durch chemische, biologische und physikalische Prozesse verändern, in solchen Fällen wird der Sachverhalt komplexer. Jeder Abwasserinhaltsstoff beeinflusst entsprechend seiner Konzentration (g/l oder mol/l) und seiner spezifischen Eigenschaften das Abwasser; Stoffe bzw. deren Eigenschaften (z. B. sauer oder basisch) können sich gegenseitig neutralisieren. Andere Eigenschaften – komplexe Bindungen bei Schwermetallen zum Beispiel stören die Fällung der Metalle – können besondere Maßnahmen erfordern, was in der Abwasserbehandlung berücksichtigt werden muss.

An diesem einfachen Beispiel (Abb. 2.2) aus dem Chemiebereich ist zu erkennen, dass bei einer Abschätzung der Abwassercharakteristik dieses Abwasser aufgrund der Eigenschaften seiner Abwasserinhaltsstoffe als sauer, toxisch und CSB-beladen angesprochen werden kann. Das CSB-BSB<sub>5</sub>-Verhältnis der organischen Stoffe weist auf eine schlechte biologische Abbaubarkeit hin. Es zeigt, dass mit Kenntnissen der Abwasserstoffe, einschließlich ihrer Eigenschaften und möglichen Abwasserkonzentrationen, eine Abschätzung der Abwässer bezüglich ihrer Eigenschaften (z. B. toxisch, schlecht abbaubar) möglich ist. Diese Abschätzungen sind nur eine erste Orientierung, die durch weitere Maßnahmen, z. B. *Abwasseranalysen*, ergänzt werden müssen. So wären in unserem



**Abb. 2.2** Mögliche Wirkungskette von Abwasserinhaltsstoffen

Beispiel der pH-Wert zu messen und die CSB- bzw. BSB<sub>5</sub>-Werte zu bestimmen, um eine genaue Aussage über die organischen Frachten (= Stoffmenge pro Zeit) in Verbindung mit der Abwassermenge zu erhalten. Parallel würde die akute Toxizität (z. B. Hemmung des Sauerstoffverbrauches von Belebtschlamm) quantifiziert werden, ebenso der Grad des biologischen Abbaus, wenn die Frage einer biologischen Behandlung erörtert werden sollte.

Die Analyse des obigen Abwassers erbrachte folgende Ergebnisse:

CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) in mg/l= 1500

BSB<sub>5</sub> (biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen) in mg/l=300

pH-Wert= 5,8

Toxizität (Leuchtbakterientest) G<sub>L</sub>= 32

Wir sehen, dass Abwasser ist sehr sauer, stark toxisch, schlecht biologisch abbaubar und besitzt eine hohe organische Belastung, die sich im CSB-Wert niederschlägt.

Die Abwasseranalyse ist ein Spiegelbild der Abwasserinhaltsstoffe mit ihren speziellen Eigenschaften.

Eine erste qualitative Abschätzung – sauer, organisch belastet, toxisch – erhielten wir von den Eigenschaften der Abwasserinhaltsstoffe, daher sind die Stoffe bzw. ihre Eigenschaften zu begutachten, die ihres bestimmungsgemäßen Einsatzes wegen ins Abwasser gelangen oder gelangen können.

Diese Daten helfen, Abwasserverhältnisse abzuschätzen und mögliche Maßnahmen in Bezug auf die Abwasserbehandlung in Betracht zu ziehen.

### **2.1.2 Abwasserpas für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe zur Datenerhebung des Istzustandes**

Ein Pass identifiziert eine Person und dokumentiert gewisse Merkmale dieser Person.

Übertragen auf die Abwasserchemie der Wasserinhaltsstoffe bedeutet dies: Ein Abwasserpas weist die abwasserrelevanten Eigenschaften der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe aus, z. B. pH-Wert oder biologisches Abbauverhalten bzw. akute Toxizität gegenüber Bakterien oder Belebtschlamm in einer biologischen Kläranlage. Er stellt eine Struktur zur Datenerhebung von Stoffeigenschaften im Rahmen der Vorsorge der Abwasserbehandlung dar.

Eine Vorsorge in der Abwasserbehandlung erfordert Hintergrundwissen über die Eigenschaften der Abwasserinhaltsstoffe.

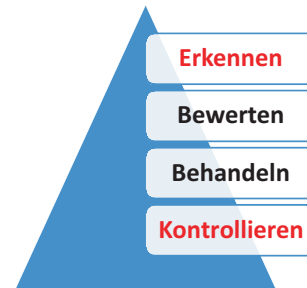
Die Vermeidung bzw. Verminderung von Stoffemissionen, speziell der gefährlichen Stoffe, bedingt die Kenntnis ihrer Stoffeigenschaften in Bezug auf das Abwasser. Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe besitzen bestimmte Eigenschaften; gelangen diese Stoffe ins Abwasser, so werden daraus Abwasserinhaltsstoffe und deren Gesamtheit bestimmt den Abwassercharakter. Während der Bearbeitung in den einzelnen Produktionsprozessen können sich die Abwasserverhältnisse ändern. Werden z. B. zwei Abwasserstränge – Abwasserstrang A mit komplexierenden organischen Stoffen und Abwasserstrang B mit Schwermetallsalzen belastet – zusammengeführt, so können Schwermetallkomplexe entstehen, die die Abwasserbehandlung (z. B. Fällung mit Kalkmilch) in ihrer Wirkungsweise stören. Es werden dann aufwendigere und meist kostenintensivere Verfahren (z. B. Fällung mit Organosulfiden) notwendig.

Die effiziente Beherrschung der Abwasserinhaltsstoffe in der Abwasserbehandlung setzt eine Reihe von Kenntnissen über sie voraus, etwa ihre Konzentrationen und vor allem ihre abwasserrelevanten physikochemischen Eigenschaften. In Abb. 2.3 werden vier wichtige Merkmale des Abwassermanagements dargestellt. Die abwassertechnische Behandlung der Abwasserinhaltsstoffe und ihre analytische Kontrolle in Form einer Betriebsanalytik werden effektiver, wenn möglichst viele Inhaltsstoffe und deren Eigenschaften bekannt sind. Für Betriebe mittlerer Größe hat sich die Partnerschaft mit externen Beratern hinsichtlich der Abwasserbehandlung und Betriebsanalytik bewährt.

Wichtige Stoffeigenschaften dienen als Screeningparameter für eine Abschätzung der Abwassercharakteristik.

Besonders relevante Eigenschaften von Stoffen, wie z. B. Giftigkeit, Persistenz, Flüchtigkeit, Korrosionsverhalten oder Komplexbildung, bedürfen einer intensiven Aufmerksamkeit, damit bei der Frage der Stoffsubstitution oder der Abwasserbehandlung diese Eigenschaften mitberücksichtigt werden können. Hier empfiehlt es sich, alle Stoffe, die innerhalb des Betriebes ins Abwasser gelangen, systematisch zu erfassen und ihre abwasserrelevanten Eigenschaften in einem Formblatt ähnlich einem Pass zu dokumentieren.

Mit dem Abwasserpas wird ermöglicht, dass viele Hintergrundinformationen über ein Produkt (Stoff) für Entscheidungen, wie z. B. die Auswahl des Abwasserbehandlungsverfahrens (biologische Abbaubarkeit, Bakterientoxizität etc.) oder die Gefährdung (z. B.

**Abb. 2.3** Management der Abwasserinhaltsstoffe

Korrosion durch hohe Sulfatkonzentrationen) des Kanalnetzes, zur Verfügung stehen. Eine wichtige Hilfe bietet er für die Substitution von Stoffen, die die Abwasserbehandlung extrem verteuern oder die Verwertung einer Abfallart aus der Abwasserbehandlung erschweren bzw. durch ihre Eigenschaften Probleme bei der Abwasserbehandlung verursachen. In Notfällen kann schnell auf die Stoffdaten zurückgegriffen werden, um etwaige schädliche Wirkungen (z. B. bakterizide Stoffe in biologischen Kläranlagen) zu begrenzen bzw. zu unterbinden. Für den Aufbau einer Stoffdatenbank bieten die EU-Sicherheitsdatenblätter eine gute Grundlage sowie weiterhin Produktinformationen, die beim Händler/Lieferant angefragt werden können. In der Tab. 2.1 sind die Kriterien des Abwasserpasses für einen Stoff aufgelistet. Diese Kriterien können den Betriebsbedingungen gemäß erweitert oder gekürzt werden.

### 2.1.2.1 Wozu dient der Abwasserpass?

Der Abwasserpass weist die abwasserrelevanten Eigenschaften eines jeden Stoffes aus, der im Betrieb verwendet wird. Er ist ein Vorsorgeinstrument für die Abwasserbehandlung. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um einen Roh-, Hilfs- oder Betriebsstoff handelt und ob er bestimmungsgemäß oder durch Störungen ins Abwasser gelangt bzw. gelangen kann.

- ▶ Die Abwasserstoffdatenbank liefert wertvolles Hintergrundwissen über das Verhalten der Stoffe im Abwasser. Risiken in der Abwasserbehandlung können dadurch erkannt und vermieden werden. Restrisiken werden mittels praktischer Vorsorgemaßnahmen reduziert. Sie ist der Partner der betrieblichen Eigenanalytik.

Es empfiehlt sich, die Datensammlung zu den Stoffen in Form einer Datenbank (Abwasserstoffdatenbank) anzulegen, damit ein schneller Zugriff erfolgen kann und die Datensätze gemäß den Stoffeinsätzen gepflegt bzw. aktualisiert werden können. Sie allein leistet wertvolle Dienste, wenn ein Problemstoff durch einen Alternativstoff ersetzt werden soll. Ebenso können Stoffe eingegrenzt werden, die ökotoxisch bedenklich oder unter bestimmten Bedingungen sehr geruchsintensiv sind. Welche Stoffeigenschaften bei einem Vorsorgemanagement im Vordergrund stehen, ist abhängig von der jeweils eingerichteten Abwassertechnik und den betrieblichen Bedingungen.

**Tab. 2.1** Abwasserpass für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe

<b>Abwasserpass</b>	
<b>1. Stoffbezeichnung (Handelsprodukt)</b>	
2. Hersteller/Lieferant:	
3. Ort:	
4. Straße/Postfach:	
5. Telefon:	Faxnr.
6. E-Mail-Adresse	
7. Ansprechpartner:	
<b>8. Verwendungszweck:</b>	
<b>9. Inhaltsstoffe</b>	
10. Hauptbestandteile:	
11. Nebenbestandteile:	
12. PBT-(prioritärer-)Stoff	
<b>13. Physikalische und chemische Daten</b>	
14. pH-Wert:	
15. Wasserlöslichkeit:	
16. Dichte:	
17. Dampfdruck:	
18. Flammpunkt:	
19. Aromatische Verbindungen:	
20. Stickstoff (N) ges.:	
21. Ammonium:	
22. Nitrat:	
23. Nitrit:	
24. Phosphor ges.:	
25. Phosphat:	
<b>26. Organische Belastung:</b>	
27. Total Organic Carbon (TOC)	
28. Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB):	
29. Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB <sub>5</sub> ):	

**Tab. 2.1** (Fortsetzung)

---

<b>Abwasserpass</b>
<b>30. Biologische Abbaubarkeit:</b>
31. CSB/BSB <sub>5</sub> -Verhältnis:
32. A Statischer Abbautest (Simulation Kläranlage):
32. B Leichte biologische Abbaubarkeit
<b>33. Akute Toxizität gegenüber Belebtschlamm aus einer kommunalen Kläranlage:</b>
34. Sauerstoffverbrauchshemmung:
35. Nitrifikationshemmtest:
<b>36. Akute Toxizität gegenüber Wasserorganismen</b>
37. Wassergefährdungsklasse (WGK):
38. Akute Fischgiftigkeit:
39. Akute Daphnientoxizität:
40. Akute Algentoxizität:
41. Akute Bakterientoxizität:
<b>42. Langfristige Ökotoxizität</b>
43. Langfristige Fischtoxizität:
44. Chronische Daphnientoxizität:
45. Metallkomplexe im Produkt:
46. Komplexierende Stoffe:
47. AOX-Bildner:
48. Waschaktive Substanzen (Tenside):
49. Stark oxidierend:
50. Stark reduzierend:
51. Geruchsintensität:
52. Recyclefähigkeit des Stoffes:
53. Weitere wichtige abwasserrelevante Eigenschaften:
54. Mögliche Abwasserbehandlungsverfahren:
55. Alternative Ersatzstoffe:

---

### 2.1.2.2 Der Szenarienmanager dient als Vorwarnsystem

Eine reine Stoffdatenbank ist nur der erste Baustein, um die Eigenschaften der verwendeten Stoffe (Chemikalien) in einem Betrieb zu dokumentieren. Sie ist ein Nachschlagewerk für die Stoffeigenschaften. Will man eine Abwasserstoffdatenbank nutzen, um etwaige Gefahren z. B. in Bezug auf eine biologische Kläranlage zu erkennen oder bei einer Abwasserfehlcharge Vermeidungsmaßnahmen ergreifen zu können, wird der Bezug der Stoffdaten zu den jeweiligen Betriebsdaten notwendig. Die Betriebsdaten, z. B. die Menge eines jeden Stoffes im Betriebsablaufsart (z. B. 170 kg Phenol im Kessel A), ermöglichen erst in Verbindung mit den Daten der betrieblichen Kläranlage (Volumen), die Konzentration eines Stoffes im Belebungsbecken zu berechnen. Die betriebsspezifischen Daten können dann zu den stoffspezifischen Daten (z. B. die akute Bakterientoxizität oder Belebtschlammtoxizität des Stoffes) in Bezug gesetzt werden, um eine Gefährdungsabschätzung vorzunehmen.

Dazu sollten die Betriebsdaten in die Abwasserstoffdatenbank integriert werden. Aus beiden Datenarten (Betriebsdaten und Abwasserpassdaten) können dann über Abfragen verschiedene Szenarien berechnet bzw. simuliert werden. Der Szenarienmanager ist nichts anderes als ein Computerprogramm, das den betrieblich Verantwortlichen hilft, Berechnungen in Bezug auf das Abwasserverhalten bestimmter Stoffe zu liefern. „Jede Branche hat ihre Experten“, so lautet die Überschrift zum umfangreichen Softwareangebot auf dem Gebiet der Abwasserbehandlung der Deutschen Vereinigung zur Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) [18].

Das Datenmaterial basiert auf den Abwasserpassdaten der einzelnen Stoffe und den relevanten Betriebsdaten. Welche Fragen bzw. Szenarien für die Verantwortlichen hilfreich sind, richtet sich nach den betrieblichen Verhältnissen (z. B. Art der Werkskläranlage, Direkt- oder Indirekteinleiter).

### 2.1.2.3 Ziele für die einzelnen Szenarien

Die Ziele bzw. die Fragestellung für die Szenarien können in viele Bereiche unterteilt werden. Als Beispiele seien der mögliche Einsatz von neuen Stoffen und die wirtschaftliche Optimierung der Abwasserkosten durch gezielte Stoffauswahl genannt.

### 2.1.2.4 Ein Screeningtest für Neustoffe

Bei Fragestellungen hinsichtlich der Gefahrenabwehr (z. B. für eine biologische Werkskläranlage) steht der Schutz des ungestörten Betriebsablaufes der Kläranlage im Vordergrund. Vor der Einführung neuer Stoffe, die dann betriebsbedingt in das Abwasser gelangen, sollte geprüft werden, ob diese für die Anlage unbedenklich sind. Sind die Mengen der neuen Stoffe sowie ihre Abwasserpassdaten bekannt, kann mit einfachen Computersimulationen eine Abschätzung im Vergleich zu den bisher verwendeten Stoffen durchgeführt werden.

In Tab. 2.2 ist ein Beispiel aufgelistet, um das mögliche Verhalten von zwei Neustoffen in Bezug auf ihre Bakterientoxizität zu evaluieren.

Das Beispiel zeigt, dass bei einer Verknüpfung zwischen spezifischen Stoffdaten (z. B. Bakterientoxizität der jeweiligen Stoffe) und den jeweiligen Betriebsdaten (Einsatzmenge der Stoffe und Abwassermenge in der Kläranlage) mögliche Probleme bei der Abwasserbehandlung rechtzeitig erkannt werden.



**Tab. 2.2** Beispiel für einen Vergleich der Abwassertoxizität von Neu- und Altstoffen

Stoffe	Einsatzmengen kg die ins Ab- wasser gelangen	Akute Bakterien- toxizität EC <sub>10</sub> (mg/l)	Kläranlage (cbm)	Stoffkonzentrationen in der Kläranlage (mg/l)
Altstoff A	56	150	500	112
Altstoff B	45	134	500	90
<b>Neustoff A</b>	<b>250</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>500</b>
Neustoff B	50	150	500	100
Neustoff C	25	100	500	66

Stoffe, die rein nach dem stoffspezifischen Kriterium (Bakterientoxizität) noch akzeptabel erscheinen, können aufgrund ihrer Einsatzmengen zu einem Risiko werden. In nachfolgenden Untersuchungen (z. B. Toxizität gegenüber dem Belebtschlamm der Betriebskläranlage) können Stoffe, die von der reinen Toxizitätsberechnung Anlass zur Besorgnis geben, immer noch unter Praxisbedingungen getestet werden. Nicht nur für die Vorsorge zur Gefahrenabwehr können Szenarienberechnungen der Abwasserinhaltsstoffe wertvolle Dienste erweisen und die Betriebsanalytik der Abwässer bzw. Prozesswässer unterstützen, sondern auch bei Kostenabschätzungen bezüglich der Abwassergebühren [11].

Die Dokumentation der abwasserrelevanten Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe wird mittels eines Betriebsaudits in Form einer Checkliste ergänzt, um die Randbedingungen des Einsatzes dieser Stoffe nach Art und Menge zu erfassen.

Mit der Dokumentation der Konzentrationen der Abwasserinhaltsstoffe sind wir zusammen mit den einzelnen Abwassermengen bei den jeweiligen Abwasserfrachten der Einzelstoffe, diese haben einen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften der einzelnen Abwasserströme innerhalb eines Betriebes. Die Kenntnisse über die Eigenschaften der einzelnen Abwasserströme (z. B. hohe CSB-Fracht oder hohe Toxizität) wiederum erlauben den Anlagenbetreibern geeignete verfahrenstechnische Maßnahmen zu ergreifen, um eine ungestörte Abwasserbehandlung zu erreichen.

## 2.2 Betriebsaudit – Prozesswasser

Die vorliegende Checkliste dient als Hilfsmittel für die betriebliche Wasserwirtschaft. Sie unterteilt sich in die drei Bereiche:

- Bestandsaufnahme der betrieblichen Wasserverhältnisse
- Schwachstellenanalyse
- Hinweise zur Optimierung der innerbetrieblichen Wasserwirtschaft

Ein gutes Wassermanagement, das sowohl die Frisch- als auch die Prozesswässer und -abwässer beinhaltet, basiert auf fundiertem Datenmaterial. Aufbauend auf diesem Datenstamm der innerbetrieblichen Wasserverhältnisse können über Vergleiche hinsichtlich Wasserverbrauch und -nutzung Schwachstellen technischer, organisatorischer oder wirtschaftlicher Art erkannt werden. Das Erkennen von Schwachstellen dient wiederum als Basis für eine Optimierung der betrieblichen Wassernutzung.

Zunächst werden alle wasserrelevanten Daten bilanziert, das heißt, sie werden ohne Bewertung als reine Fakten erhoben. Sowohl jede einzelne Betriebseinheit als auch der Gesamtbetrieb werden hinsichtlich Wasserverbrauch, Wassernutzung und Abwasseranfall systematisch erfasst.

Die reine Bestandsaufnahme sollte ergänzt werden durch Zielvorgaben, um die innerbetriebliche Wasserwirtschaft zu optimieren. Diese können in verschiedene Bereiche untergliedert werden.

Die Zielvorgaben des Betriebsaudits orientieren sich an den Leitlinien des produktionsintegrierten Umweltschutzes (PIUS)

### **Vermeidung >> Verwertung >> Entsorgung**

Für die Optimierung der Prozesswasserwirtschaft würden sich hierzu folgende Zielvorgaben anbieten:

#### **Zielvorgaben für Betriebsaudit Prozesswasser**

- Frischwasser einsparen
- Regenwassernutzung prüfen
- Prozesswasser mehrfach benutzen
- Abwasseranfall verringern
- Verwertung von Reststoffen aus dem Abwasser
- Abfall der Abwasserbehandlung verringern
- Verwertung der Abwasserenergie
- Abwasserentsorgungskosten reduzieren
- *Sichere Einhaltung gesetzlicher Auflagen*

Die Checklisten bieten in der vorliegenden Form nur Orientierungen an, sie werden jeweils an die Bedürfnisse des Betriebes bzw. der entsprechenden Branche anzupassen sein. Das heißt, Teile, die für die Branche bzw. den Betrieb nicht relevant sind, können ausgelassen werden; umgekehrt können Teile hinzugefügt werden, wenn sie für den Betrieb von besonderer Wichtigkeit sind. Dies trifft auch für die Zielvorgaben zu, so können Ziele rein betriebspezifisch oder etwa branchentypisch sein. Die Checkliste bzw. das Betriebsaudit sind auch ein Instrument, um sich auf neue gesetzliche Auflagen einzustellen. Sie dienen als Szenarienmanager, ob neue Auflagen problemlos erfüllt werden können. Bei der Informationsbeschaffung hinsichtlich neuer Anforderungen ist ein enger Kontakt zum jeweiligen Fachverband hilfreich. So wird etwa bei neuen Auflagen (z. B. Verschärfung von