

Technik der kommunalen Kläranlagen in Bayern

Verfahren der biologischen Abwasserreinigung

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der biologischen und weitergehenden Abwasserreinigung	2
2	Anforderungen an den Ablauf einer kommunalen Kläranlage	4
3	Mechanische Vorreinigung	5
4	Technische Verfahren zur biologischen Abwasserreinigung	6
4.1	Belebungsanlagen	6
4.2	Biofilmverfahren	9
4.2.1	Tropfkörper	9
4.2.2	Rotationstauchkörper	10
4.2.3	Getauchte Festbettreaktoren und Anlagen mit frei beweglichen Aufwuchskörpern	11
5	Naturnahe Verfahren zur biologischen Abwasserreinigung	12
5.1	Unbelüftete Abwasserteichanlagen	12
5.2	Belüftete Abwasserteichanlagen	13
6	Pflanzenkläranlage	14
7	Schlammbehandlung und -verwertung	15
7.1	Aerobe Schlammstabilisierung	15
7.2	Anaerobe Schlammstabilisierung	15
7.3	Entwässerung und Trocknung	16
7.4	Schlammverwertung	17
8	Ausblick	17
9	Informationen aus dem Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.	18

1 Grundlagen der biologischen und weitergehenden Abwasserreinigung

Im Abwasser sind organische Verbindungen wie Proteine, Fette und Zucker enthalten, die im Wesentlichen aus Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff aufgebaut sind, sowie anorganische Verbindungen, wie z. B. Salze. Die Konzentrationen dieser Abwasserinhaltsstoffe können in einer biologischen Kläranlage nach dem Stand der Technik soweit verringert werden, dass sie für das aufnehmende Gewässer und für dessen Lebensgemeinschaften keine signifikante Beeinträchtigung darstellen.

Bei nicht ausreichender Reinigung in der Kläranlage würden organische Abwasserinhaltsstoffe später im Gewässer von Bakterien unter Verbrauch von Sauerstoff abgebaut werden, der dem Gewässer entzogen würde. In der Folge wären Sauerstoffmangelsituationen, Fischsterben oder sogar ein "Umkippen" des Gewässers zu befürchten. Ohne ausreichende Entfernung durch die Abwasserreinigung würden stickstoff- und phosphorhaltige Nährstoffe im aufnehmenden Gewässer zu Eutrophierung führen, das heißt ein Massenwachstum von Algen auslösen.

Folgende Reaktionen sind für die biologische Abwasserreinigung von Bedeutung:

- **Abbau der Kohlenstoffverbindungen**
Die Kohlenstoffverbindungen werden durch die Begriffe BSB (biochemischer Sauerstoffbedarf) und CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) zusammengefasst. Dabei stellt der BSB das Maß für die biologisch abbaubaren Verbindungen, der CSB das Maß für alle organischen Verbindungen dar. Die Kohlenstoffverbindungen werden zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut.
BSB: Wird in der Regel angegeben als BSB₅, entsprechend der Sauerstoffmenge, die bei 20 °C in fünf Tagen durch mikrobielle Stoffwechselprozesse verbraucht wird.
CSB: Sauerstoffmenge, die benötigt wird, um alle organischen Verbindungen chemisch zu oxidieren.
- **Umsetzung von organischen Stickstoffverbindungen**
Der organische Stickstoff, der z. B. in Harnstoff enthalten ist, wird teilweise bereits im Kanal, teilweise erst auf der Kläranlage, zu Ammonium (NH₄) umgesetzt.
- **Oxidation von Ammonium zu Nitrat**
In der biologischen Stufe der Kläranlage wird Ammonium durch die Zuführung von Sauerstoff (aerobe Bedingungen) zu Nitrat (NO₃) umgesetzt. Diesen Vorgang nennt man Nitrifikation. Die Umsetzung von Ammonium ist zum Schutz der Gewässer notwendig, weil sich Ammonium, abhängig vom pH-Wert und der Temperatur, im Gewässer zu gefährlichem, fischtoxischem Ammoniak (NH₃) umwandeln könnte. Zudem wirkt Ammonium im Gewässer stark sauerstoffzehrend.
- **Reduktion von Nitrat zu gasförmigem Stickstoff**
Das durch die Nitrifikation gebildete Nitrat wird unter Ausschluss von molekularem Sauerstoff (anoxische Bedingungen) denitrifiziert. Durch den Vorgang der Denitrifikation wird Nitrat, das im Gewässer eutrophierend wirkt, verringert und elementarer, gasförmiger Stickstoff (N₂) entsteht und entweicht in die Atmosphäre.
- **Phosphorelimination**
Bei der chemischen Phosphorelimination wird das im Abwasser vorhandene Phosphat (PO₄) durch die Zugabe von Eisen- oder Aluminiumsalzen gebunden und gefällt. Der so entstandene Fällungsschlamm wird zusammen mit dem in der Kläranlage entstehenden Überschussschlamm regelmäßig aus dem System entnommen.

Neben der chemischen Phosphorelimination wird auch die biologische Phosphorelimination angewandt. Hierfür nutzt man die Tatsache, dass Bakterien unter Stressbedingungen wesentlich mehr Phosphor als im Normalzustand aufnehmen. Die Stressbedingungen werden durch einen ständigen Wechsel zwischen anaeroben (kein gebundener, kein gelöster Sauerstoff vorhanden) und aeroben Bedingungen erreicht. Der nun in den Bakterien gebundene Phosphor wird mit dem Überschussschlamm entnommen.

Die Phosphorelimination ist notwendig, um eine Eutrophierung der Gewässer zu verhindern.

Sämtliche hier beschriebenen Reaktionen (mit Ausnahme der chemischen Phosphorelimination) werden von Bakterien und weiteren einzelligen Mikroorganismen (z. B. Geißeltieren Abb. 1, Wimpertieren Abb. 2) sowie mehrzelligen Mikroorganismen (z. B. Rädertiere Abb. 3) bewirkt, die im belebten Schlamm oder in Biofilmen der biologischen Stufe anwachsen.

Durch den ordnungsgemäßen Betrieb der biologischen Stufe einer Kläranlage wird angestrebt, eine ausgeglichene Zusammensetzung der Biozönose im belebten Schlamm oder im Biofilm zu erhalten, um die Leistungsfähigkeit und Stabilität der Reinigung sicherstellen zu können.

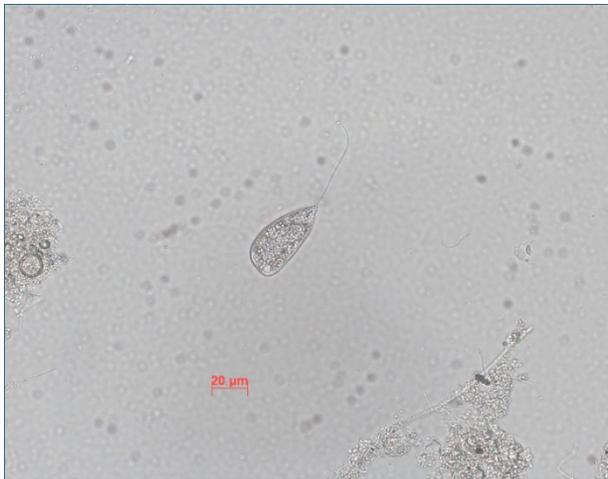


Abb. 1: Geißeltier mit sichtbarer Geißel

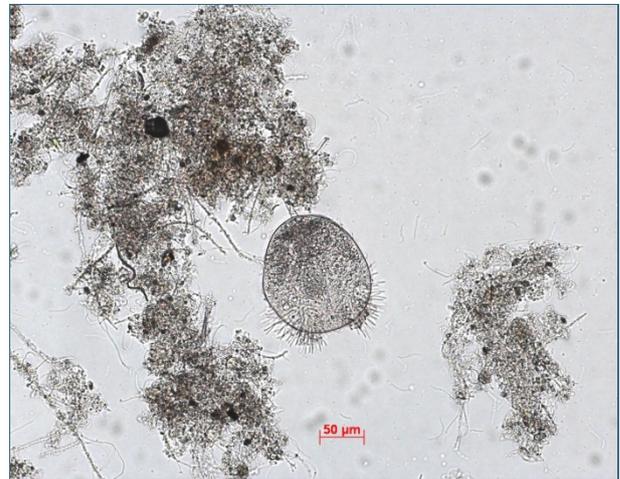


Abb. 2: Auf einer Belebtschlammflocke feststehendes Wimpertier

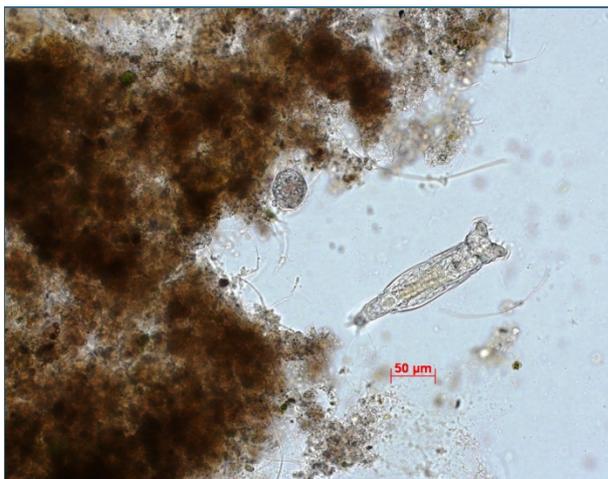


Abb. 3: Belebtschlammflocke mit schwimmendem Rädertier

2 Anforderungen an den Ablauf einer kommunalen Kläranlage

Zum Schutz der Gewässer werden an den Ablauf von Kläranlagen mindestens die gesetzlich festgeschriebenen Anforderungen gemäß Abwasserverordnung Anhang 1 "Häusliches und kommunales Abwasser" gestellt, die auf dem Emissionsprinzip beruhen und einer biologischen Reinigung nach dem Stand der Technik entsprechen.

Die Anforderungen sind entsprechend der Größenklasse der Kläranlage gestaffelt (Tab. 1), wobei die größeren Kläranlagen die höheren Ansprüche an die Reinigungsleistung erfüllen müssen. Die Einhaltung der geforderten Werte wird vom Betriebspersonal der Kläranlagen im Rahmen der Eigenüberwachung und durch die behördliche Kontrolle überprüft.

Tab. 1: Anhang 1 der Abwasserverordnung: Die Anforderungen gelten für Ammoniumstickstoff und Stickstoff, gesamt, bei einer Abwassertemperatur von 12 °C und größer im Ablauf des biologischen Reaktors der Abwasserbehandlungsanlage. An die Stelle von 12 °C kann auch die zeitliche Begrenzung vom 1. Mai bis 31. Oktober treten. In der wasserrechtlichen Zulassung kann für Stickstoff gesamt, eine höhere Konzentration bis zu 25 mg/l zugelassen werden, wenn die Verminderung der Gesamtstickstofffracht mindestens 70 vom Hundert beträgt. Die Verminderung bezieht sich auf das Verhältnis der Stickstofffracht im Zulauf zu derjenigen im Ablauf in einem repräsentativen Zeitraum, der 24 Stunden nicht überschreiten soll. Für die Fracht im Zulauf ist die Summe aus organischem und anorganischem Stickstoff zugrunde zu legen

Proben nach Größenklassen (GK) der Abwasserbehandlungsanlagen	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) mg/l	Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen (BSB ₅) mg/l	Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N) mg/l	Stickstoff, gesamt als Summe von Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff (N _{ges}) mg/l	Phosphor, gesamt (P _{ges}) mg/l
Qualifizierte Stichprobe oder 2-Std.-Mischprobe					
GK 1: < 60 kg/d BSB ₅ (roh)	150	40	-	-	-
GK 2: 60 bis 300 kg/d BSB ₅ (roh)	110	25	-	-	-
GK 3: > 300 - 600 kg/d BSB ₅ (roh)	90	20	10	-	-
GK 4: > 600 - 6000 kg/d BSB ₅ (roh)	90	20	10	18	2
GK 5 :> 6000 kg/d BSB ₅ (roh)	75	15	10	13	1

3 Mechanische Vorreinigung

Die mechanische Vorreinigung des der Kläranlage zufließenden Abwassers ist eine wesentliche Voraussetzung für den ordnungsgemäßen Betrieb der nachfolgenden biologischen Behandlungsstufen. Sie bildet den ersten Teil einer biologischen Kläranlage.

Bei der Mehrzahl aller großen Anlagen besteht sie aus drei Bauteilen: dem Rechen, dem Sand- und Fettfang (Abb. 4) sowie dem Vorklärbecken (Abb. 5). Je nach Reinigungssystem oder Verfahrensweise können Teile der mechanischen Vorreinigung jedoch auch entfallen.



Abb. 4: Fett- und Sandfang



Abb. 5: Vorklärbecken

Der Rechenanlage kommt die Aufgabe zu, störende Grobstoffe unterschiedlicher Art und Größe aus dem Abwasser herauszunehmen, die dann als Rechengut der Abfallverwertung zugeführt werden können.

Im Sand- und Fettfang werden Sand und Fette durch Sedimentation beziehungsweise Flotation vom Abwasser abgetrennt. Beide Abwasserinhaltsstoffe würden den Betrieb der nachfolgenden biologischen Stufen sonst erheblich beeinträchtigen.

Im Vorklärbecken werden Feststoffe, die noch im Abwasser enthalten sind, beim langsamen Durchfließen abgesetzt. Das Absetzgut – der Vorklär- oder Primärschlamm – wird durch Schlammräumer unter Wasser in tiefe Trichter geschoben und von dort zur Schlammbehandlung gepumpt.

4 Technische Verfahren zur biologischen Abwasserreinigung

Zu den technischen Verfahren der biologischen Abwasserreinigung gehören die Belebungsanlagen sowie die Biofilmverfahren, wie Tropf- und Rotationstauchkörper.

Grundsätze zu Konstruktion und Bemessung der nun folgenden Verfahren sind im Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, früher unter der Abkürzung ATV-DVWK, heute unter DWA bekannt.

4.1 Belebungsanlagen

Das Belebungsverfahren ist weltweit das am meisten eingesetzte System zur biologischen Abwasserreinigung von kommunalem und industriellem Abwasser und wird sowohl für kleine Kläranlagen mit wenigen angeschlossenen Einwohnern als auch für die größten Kläranlagen mit Ausbaugrößen von mehreren Millionen Einwohnern eingesetzt. Belebungsanlagen können als ein- oder mehrstufige Anlagen und in zahlreichen Varianten konzipiert werden.



Abb. 6:
Belebungsbecken: die von den Belüftern eingeblasene Luft verursacht das leichte Schäumen an der Wasseroberfläche.

Eine Belebungsanlage besteht nach der Vorreinigung im Wesentlichen aus dem Belebungsbecken (Abb. 6), in welchem die im belebten Schlamm suspendierten Mikroorganismen ("Belebtschlammflocken") unter Sauerstoffzufuhr die biologische Reinigung des Abwassers bewirken. Mittels Eintrag von Luftsauerstoff wird der aerobe Abbau der verschiedenen Abwasserinhaltsstoffe durch die Mikroorganismen im belebten Schlamm unterstützt. Durch deren Aktivität entsteht neue Biomasse, die als sogenannter Überschussschlamm laufend aus dem System entfernt und weiter behandelt wird.

Darauf folgt eine Nachklärstufe zur Abtrennung des belebten Schlammes vom gereinigten Abwasser (Abb. 7). Durch Rückführung des belebten Schlammes aus dem Nachklär- in das Belebungsbecken wird eine ausreichende Menge an Biomasse im System stets sichergestellt (Abb. 8).



Abb. 7: Leeres Nachklärbecken: während das Wasser aus der Mitte des Beckens zum äußeren Rand fließt, setzt sich der Schlamm ab und wird von den Räumern in die innenliegende Vertiefung geschoben.

Bei entsprechender Auslegung und richtigem Betrieb sind mit dem Belebungsverfahren alle heutigen Anforderungen an die Abwasserreinigung erfüllbar. Die biologische Abwasserreinigung erfolgt in einem relativ großen Reaktorvolumen mit erheblicher Pufferwirkung und Stabilität. Durch Steuerung und Regelung kann an verschiedenen Stellen des Reinigungsprozesses eingegriffen werden.

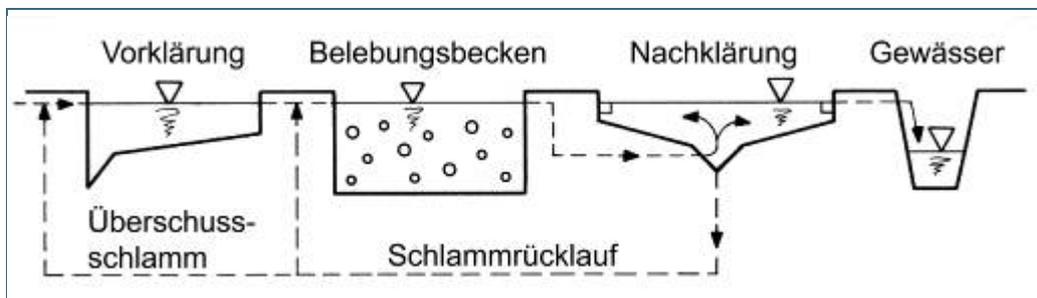


Abb. 8: Schema einer Belebungsanlage

Die Bemessung von Belebungsanlagen richtet sich entsprechend den Reinigungsanforderungen (das heißt mit/ohne Nitrifikation/Denitrifikation) nach dem aeroben Schlammalter. Darunter wird vereinfacht die Aufenthaltszeit der Biomasse im belüfteten Belebungsbecken einer Kläranlage verstanden. Bakterien können sich unter idealen Bedingungen rasch durch Zellteilung vermehren. Die für die Nitrifikation

verantwortlichen Nitrifikanten benötigen dafür jedoch etwas länger (einige Tage) als die anderen Bakterien im Belebungsbecken, da sie eine längere Generationszeit haben.

Deswegen muss das Schlammalter in biologischen Kläranlagen, die eine stabile Nitrifikationsleistung erbringen sollen, höher eingestellt werden. Der belebte Schlamm muss also länger im Belebungsbecken verweilen als beim reinen Kohlenstoffabbau, um eine ausreichende Menge an nitrifizierenden Bakterien im Schlamm halten zu können. Grundlagen zur Bemessung sind im ATV-DVWK Arbeitsblatt A 131 [1] nachzulesen.

Eine spezielle Variante des Belebungsverfahrens ist die SBR-Anlage (Abb. 9). Die Abkürzung SBR steht für Sequencing-Batch-Reactor und bedeutet, dass diese Belebungsanlage im Aufstaubetrieb gefahren wird. Dabei finden die einzelnen Verfahrensschritte, also auch die Nachklärung zeitlich versetzt in einem einzigen Becken statt.

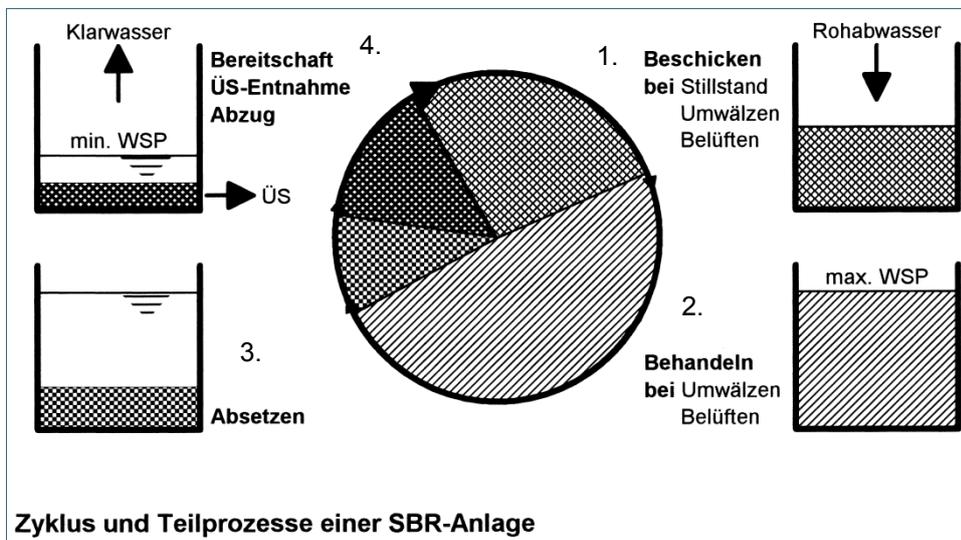


Abb. 9: In einer SBR-Anlage finden alle Verfahrensschritte in einem Becken zeitlich versetzt statt.

4.2 Biofilmverfahren

Bei Biofilmverfahren erfolgt die biologische Abwasserreinigung durch Mikroorganismen, die in Biofilmen auf festen Oberflächen aufwachsen. Je nach Verfahrensvariante wird der Biofilm mehrere Millimeter dick und ist vergleichbar mit dem „glitschigen“ Aufwuchs auf Steinen im Gewässer.

4.2.1 Tropfkörper

Sie gehören zu den ältesten Verfahren der biologischen Abwasserreinigung. Die zylindrischen, meist in Betonbauweise errichteten Reaktoren, enthalten Lavabrocken (Abb. 10) oder Kunststoffelemente als Aufwuchsmaterial für Biofilme.

Das vorgeklärte Abwasser wird mittels Pumpen auf den Tropfkörper (Abb. 11) befördert und dort möglichst gleichmäßig durch einen Drehsprenger über der Oberfläche des Füllmaterials verteilt. Der auf der Füllung aufwachsende Biofilm reinigt das herunter rieselnde Abwasser. Durch den Kamineffekt wird der Tropfkörper im Gegenstrom ständig mit Luft durchströmt, es liegen also aerobe Verhältnisse vor.



Abb. 10: Tropfkörper: der Drehsprenger verteilt das Abwasser gleichmäßig über der Schicht aus Lavabrocken.



Abb. 11: Außenansicht eines Tropfkörpers

Tropfkörper werden in der kommunalen Abwasserreinigung zum einen als einstufige Anlagen zur Elimination organischer Verschmutzungen ohne und mit Nitrifikation betrieben (Abb. 12). Zum anderen kommen sie in mehrstufigen Anlagen häufig als zweite Reinigungsstufe zur Nitrifikation zum Einsatz.

Entsprechend dem Stand der Technik werden Tropfkörper nach dem ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 281 [2] gebaut und betrieben.

Der maßgebliche Parameter zur Bemessung einer Tropfkörperanlage mit dem Ziel des Abbaus der Kohlenstoffverbindungen stellt die BSB_5 -Raumbelastung bezogen auf das Volumen des Füllmaterials dar. Bei Tropfkörpern mit dem Ziel der Nitrifikation ist die TKN-Raumbelastung (TKN = Total Kjehldahl Nitrogen, organischer Stickstoff + Ammoniumstickstoff) die entscheidende Größe. Einstufige Tropfkörperanlagen mit dem Ziel des Kohlenstoffabbaus und der Nitrifikation werden sowohl nach der BSB_5 - als auch nach der Stickstoff-Raumbelastung bemessen.

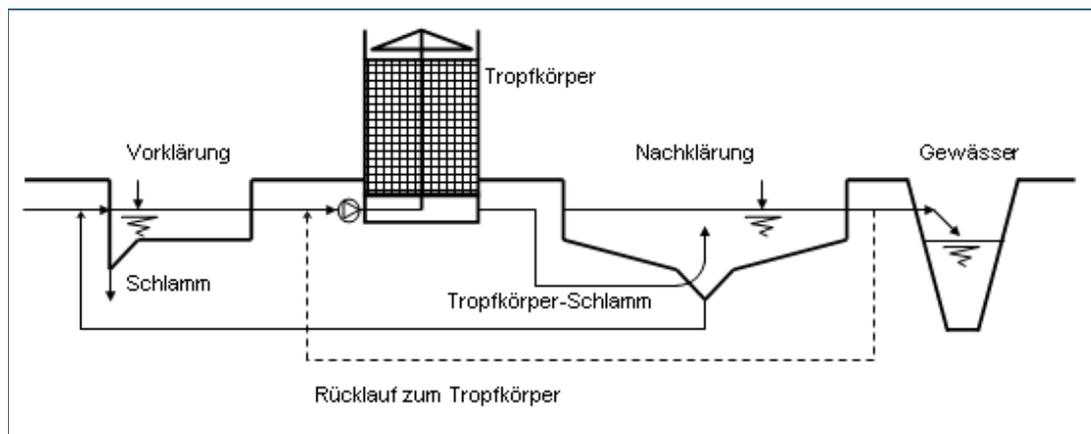


Abb. 12: Fließschema einer einstufigen Tropfkörperanlage

4.2.2 Rotationstauchkörper

Rotationstauchkörperanlagen bestehen aus mehreren, meist hintereinander angeordneten walzenförmigen Körpern z. B. aus PP-Scheiben ("Scheibentauchkörper", Abb. 13) oder PE-Gittermaterialien ("Walzentauchkörper", Abb. 14), welche auf freitragenden, angetriebenen Achsen angebracht sind. Die einzelnen Tauchkörper sind bis etwa zur Hälfte in Wannen eingetaucht, die von mechanisch vorgereinigtem Abwasser durchflossen werden. Sie drehen sich langsam und beständig, so dass der auf dem Kunststoffmaterial anwachsende Biofilm abwechselnd mit Luft und Abwasser in Berührung kommt. Der beim Auftauchen aufgenommene Sauerstoffvorrat muss zur Deckung der Zehrungsvorgänge während der Eintauchphase ausreichen. Durch die Drehung sollen Schlammablagerungen auf dem Rotationstauchkörper verhindert werden, bei ungünstigen geometrischen Strukturen funktionierte dies in der Vergangenheit jedoch nicht immer in ausreichendem Maße. Die durch die Bewegung erzeugte Turbulenz sorgt dafür, dass sich der überschüssige Schlamm, der sich kontinuierlich vom Aufwuchsmaterial löst, nicht an der Sohle der Wanne ablagert. Der anfallende Überschussschlamm wird in einem Nachklärbecken durch Sedimentation vom gereinigten Abwasser abgetrennt.



Abb. 13:
Scheibentauchkörper
bestehen aus vielen
hintereinander aufge-
reiheten Scheiben.

Sie werden vorwiegend in kleinen Kläranlagen eingesetzt. Belastungsspitzen werden jedoch auf Grund der geringen Aufenthaltszeit des Abwassers wenig ausgeglichen. Die Anlagen werden frost- und emissionsicher eingehaust und können gut in das Landschaftsbild ländlicher Regionen eingepasst werden.

In Abhängigkeit vom angestrebten Reinigungsziel werden Tauchkörper nach der BSB₅- und TKN-Flächenbelastung bemessen. Wichtig ist dabei auch die Ermittlung der biologisch aktiven Oberfläche des Walzenmaterials. Je nach Material sind hierzu besondere Ansätze und konstruktive Einzelheiten zu beachten. Nähere Einzelheiten können dem ATV-DVWK Arbeitsblatt A 281 [2] entnommen werden.



Abb. 14:
Walzentauchkörper
enthalten PE-
Gittermaterialien, auf
denen der Biofilm auf-
wachsen kann.

4.2.3 Getauchte Festbettreaktoren und Anlagen mit frei beweglichen Aufwuchskörpern

Bei **getauchten und belüfteten Festbettreaktoren** werden in das Reaktorbecken fest fixierte Trägermaterialien eingebracht. Meist sind dies Blöcke aus durchbrochenen Kunststoffröhren. Hierauf kann Biofilm aufwachsen, der die für die Abwasserreinigung erforderliche Biomasse darstellt. Der auf den Trägermaterialien aufgewachsene Biofilm verbleibt im Reaktionsbecken. Deshalb ist bei diesem Anlagentyp eine Schlammrückführung nicht erforderlich. Getauchte, belüftete Festbetten finden hauptsächlich bei kleineren kommunalen Anlagen Anwendung. Die Bemessung erfolgt auf Basis der BSB₅- beziehungsweise Stickstoffflächenbelastung, das heißt, dass bei ausreichender Aufwuchsfläche auch eine Nitrifikation stattfindet (Abb. 15).

Damit die Mikroorganismen ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden, sind unter dem Festbett Belüfter angeordnet. Die nach oben strömende Luft sorgt zudem dafür, dass die Röhren freigespült werden und nicht durch zu dick wachsenden Biofilm verblocken. Der sich ablösende Schlamm wird kontinuierlich ausgetragen und in einem Nachklärbecken abgetrennt. Für Kläranlagen bis 1.000 Einwohnerwerte sind für diesen Anlagentyp Bemessungsvorgaben und weitere konstruktive Hinweise im DWA-Arbeitsblatt A 222 [3] gegeben. Weitere wertvolle Erkenntnisse zum Betrieb dieses Anlagentyps sind im DWA-Arbeitsbericht „Leitfaden zur Erkennung und Behebung von Betriebsproblemen bei Tropfkörpern, Rotationstauchkörpern und getauchten Festbetten“ [4] enthalten.

Das Prinzip der **Anlagen mit frei beweglichen Aufwuchskörpern** entspricht grundsätzlich dem des

oben beschriebenen Anlagentyps. Wobei hier die meistens nur wenige Zentimeter großen Aufwuchskörper nicht fixiert sind, sondern sich frei im Becken bewegen (Abb. 16). Die Belüftung sorgt neben der Sauerstoffversorgung auch für eine ausreichende Durchmischung. Sorgfältig geachtet werden muss auf den Rückhalt der Aufwuchskörper im Becken, hierfür müssen entsprechende Vorrichtungen wie z. B. Lochbleche installiert werden. Hilfreich können frei bewegliche Aufwuchskörper auch bei der Leistungssteigerung von Belebungsanlagen sein. Für dieses Verfahren gibt es derzeit noch keine gesicherten Bemessungswerte, im DWA-A-222 [3] werden lediglich Bemessungshinweise gegeben.



Abb. 15: Biologische Stufe mit getauchtem und belüfteten Festbett, entleert



Abb. 16: Biologische Stufe mit freibeweglichen Aufwuchskörpern

5 Naturnahe Verfahren zur biologischen Abwasserreinigung

Zu den naturnahen Verfahren der biologischen Abwasserreinigung werden die Abwasserteichanlagen und die Pflanzenkläranlagen gezählt. Beide Verfahren benötigen große Wasserflächen beziehungsweise weiträumige Aufwuchsflächen und sind durch lange Aufenthaltszeiten des zu reinigenden Abwassers in der Anlage charakterisiert.

5.1 Unbelüftete Abwasserteichanlagen

Die biologische Reinigung von kommunalem Abwasser erfolgt in natürlich belüfteten, großflächigen Abwasserteichen. Die Teiche sind in Erdbauweise einfach zu errichten. Sie arbeiten weitgehend ohne Energieeinsatz, weil sie keine oder nur wenig Maschinen-, Regelungs- und Steuerungstechnik benötigen. Zu den Vorteilen der Abwasserteichverfahren gehören die Möglichkeit der Mitbehandlung von Mischwasser¹ und die Abpufferung von erhöhten Zulauffrachten.

Unbelüftete Abwasserteichanlagen bestehen in Bayern aus einem vorgeschalteten Absetzteich und mindestens zwei Teichen mit einer Tiefe von etwa 1 m (Abb. 17). Sie werden bei Ausbaugrößen bis etwa 1.000 Einwohnerwerten im ländlichen Raum bei unproblematischen wasserwirtschaftlichen Verhältnissen eingesetzt.

Abwasserteiche werden so gering mit kommunalem Abwasser belastet, dass die Sauerstoffzufuhr über die Teichoberfläche gegenüber der Sauerstoffzehrung überwiegt. Der Wasserkörper ist deshalb aerob, während sich im Bodenschlamm meist anaerobe Milieubedingungen und Denitrifikationsprozesse

¹ Regenwasser, das über Regenrinnen und Straßeneinläufe im Kanal gesammelt und mit dem Schmutzwasser vermischt wird.



Abb. 17:
unbelüfteter
Abwasserteich

einstellen. Die wesentlichen metabolischen Vorgänge finden im Übergangsbereich zwischen Wasserkörper und Sediment statt. Die großen Volumina und Flächen sind jedoch ein Grund, weshalb Abwasserteiche nur bedingt einsetzbar sind.

Bei über 20 Tagen Aufenthaltszeit ist ein weitgehender Abbau der organischen Belastung mit BSB_5 -Ablaufwerten von unter 30 mg/l möglich, eine Nitrifikation findet auch im Sommer und bei angepasster Bemessung nur teilweise statt. Wird als Reinigungsziel die Nitrifikation gefordert, haben sich bei Kläranlagen im unteren Größenbereich Abwasserteiche mit zwischengeschalteten Tauch- oder Tropfkörpern bewährt.

Weitere Informationen können im DWA-Arbeitsblatt A 201 [5] nachgelesen werden.

5.2 Belüftete Abwasserteichanlagen

Belüftete Abwasserteichanlagen bestehen aus mindestens zwei hintereinander durchflossenen Teichen, die zirka 1,5 bis 3,5 m tief sind. Sie benötigen zwar keine separate Vorklärung, aber einen Nachklärteich zur Sedimentation der Schlammpartikel, die in den belüfteten Teichen entstehen. Zur Belüftung stehen verschiedene Systeme zur Verfügung, wie unter anderem Linien-, Wendel- oder Kreisellüfter.

Bei den belüfteten Abwasserteichen, die eine Zwischenstellung zwischen naturnahen und technischen Verfahren einnehmen, werden durch technische Belüftung und Umwälzung vor allem Sauerstoffeintrag und der Kontakt zwischen Biofilm auf den natürlichen Aufwuchsflächen und dem Wasserkörper optimiert.

Sie werden bis zu einer Ausbaugröße von 5.000 EW vorwiegend im ländlichen Raum eingesetzt.

Belüftete Abwasserteiche werden nach der BSB_5 -Raumbelastung bemessen, die maximal $25 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ betragen darf. Aufgrund der relativ geringen Aufenthaltszeit des Abwassers in den Teichen, ist eine stabile Nitrifikationsleistung nicht erreichbar. Nähere Einzelheiten ist dem DWA-Arbeitsblatt A 201 [5] zu entnehmen.

6 Pflanzenkläranlage

Pflanzenkläranlagen werden vornehmlich im ländlichen Raum als private Kleinkläranlagen oder kleine kommunale Kläranlagen mit einer Ausbaugröße bis zu 1.000 Einwohnerwerten zur Reinigung kommunalen Abwassers eingesetzt.



Abb. 18:
horizontal durchströmter
bepflanzter Bodenfilter

Sie bestehen aus der Vorbehandlungsstufe und dem Pflanzenbeetbereich, in dem die biologische Reinigung erfolgt. Dieser kann aus einem oder mehreren Pflanzenbeeten aufgebaut sein, die horizontal oder vertikal, hintereinander oder parallel durchflossen werden. Als Bodenmaterial kann sandiges bis sandig-kiesiges Material (Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-3} m/s) empfohlen werden, für die Bepflanzung des Beetes alle Arten von Röhrichtpflanzen, wie z. B. Schilf (*Phragmites australis*) oder Rohrkolben (*Typha angustifolia*).

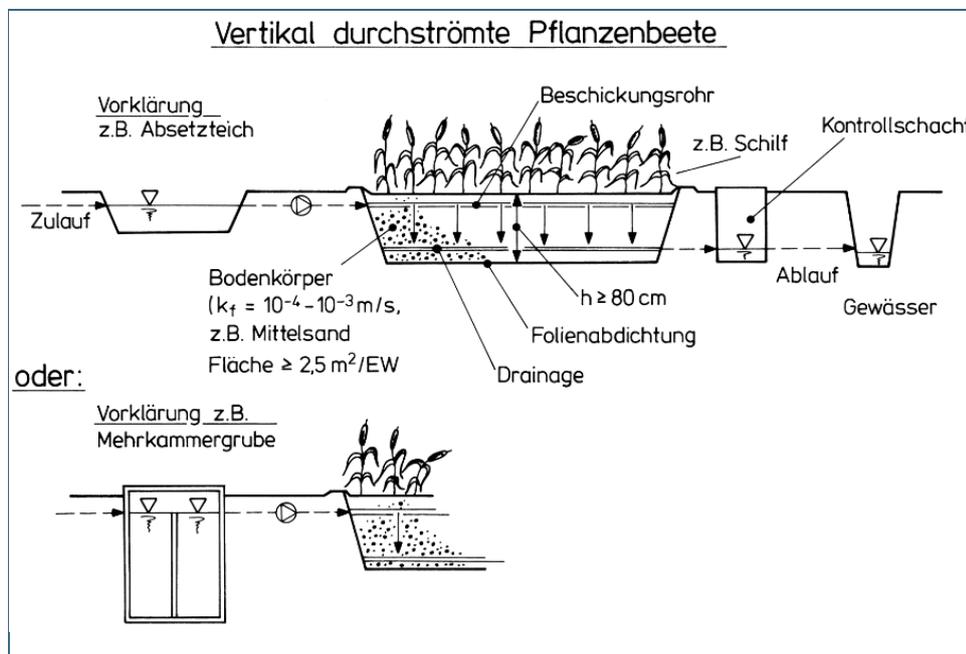


Abb. 19:
Schemazeichnung
eines vertikal durch-
strömten Pflanzen-
beets

Bei vertikal durchströmten Pflanzenbeeten (Abb. 19) wird das Abwasser oberflächennah, meist mit Pumpen, auf den Bodenkörper aufgebracht. Das Bodenmaterial wird kurzzeitig überstaut, und während der Durchsickerung des Beetes mit Abwasser wird Luftsauerstoff in die Poren des Bodens nachgesogen. Dadurch gelingt in Vertikalbeeten eine – wenn auch nicht geregelte – Nitrifikation. Horizontal

durchflossene Beete eignen sich insbesondere zum Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe und – als nachgeschaltete Beete – teilweise auch zur Denitrifikation. Eine Kombination aus vertikal und horizontal durchströmten Pflanzenbeeten, sogenannte Hybridanlagen, kann für die Sicherung weitergehender Anforderungen sinnvoll sein.

Die spezifische Fläche, das heißt die Fläche des Pflanzenbeetes, die zur Reinigung des Abwassers von einem Einwohner notwendig ist, spielt für den dauerhaft stabilen und guten Reinigungserfolg der Anlage eine entscheidende Rolle.

Wichtige weitere Grundlagen können im DWA-Arbeitsblatt A 262 „Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers“ [6] nachgelesen werden.

7 Schlammbehandlung und -verwertung

Während Mikroorganismen Abwasserinhaltsstoffe abbauen, vermehren sie sich zugleich. Dadurch entsteht zusätzlich Biomasse, der sogenannte Sekundär- oder Überschussschlamm, welcher regelmäßig aus dem biologischen Teil einer Kläranlage entfernt werden muss. Meist wird er gemeinsam mit dem Primärschlamm in einem separaten Verfahrensschritt, der Stabilisierung, behandelt. Unter Stabilisierung wird in der Abwassertechnik das Überführen des Klärschlamms von einem fäulnisfähigen in einen biologisch "stabilen" Zustand verstanden. Dieser wird erreicht, indem die biologisch abbaubare Substanz des Klärschlamms durch mikrobielle Stoffwechselprozesse soweit reduziert wird, dass Geruchsemissionen und andere Beeinträchtigungen der Umwelt weitgehend ausgeschlossen sind.

Bei den naturnahen Verfahren sammelt sich dieser Schlamm im Laufe des Betriebes als Bodenschlamm (Abwasserteich) oder im Bodenmaterial (Pflanzenbeete) an und wird dort zugleich gespeichert und umgesetzt. Bei den unbelüfteten Abwasserteichen muss der Schlamm regelmäßig geräumt werden, um den ordnungsgemäßen Betrieb sicher zu stellen. Bei Pflanzenbeeten kann nach mehreren Betriebsjahren ein teilweiser Austausch des Bodenmaterials, insbesondere im Zulaufbereich der Anlage, notwendig werden.

7.1 Aerobe Schlammstabilisierung

Zahlreiche kleine bis mittelgroße Kläranlagen werden mit der simultanen aeroben Schlammstabilisierung betrieben. Dabei wird durch eine Verlängerung der Aufenthalts- und Belüftungszeit eine geringere organische Belastung des Schlamms erreicht. Bei BSB_5 -Schlammbelastungen kleiner als $0,05 \text{ kg } BSB_5 / (\text{kg} \cdot \text{TS} \cdot \text{d})$ wird gleichzeitig, das heißt simultan, auch Biomasse abgebaut. Auf diese Weise kann der Anfall an Überschussschlamm deutlich verringert werden.

7.2 Anaerobe Schlammstabilisierung

Auf nahezu allen Kläranlagen mit Ausbaugrößen ab circa 20.000 EW wird der anfallende Schlamm anaerob in großen, beheizten Faulbehältern stabilisiert. Nachdem dem Überschussschlamm aus der Belebung durch Eindickung Wasser entzogen wurde, wird er zusammen mit Schlamm aus der Vorklärung diesen Faulbehältern zugeleitet. Dabei werden unter Luftabschluss und Temperaturen von circa 33 bis 37 °C bei ungefähr 20 Tagen Aufenthaltszeit organische Schlammbestandteile von Bakterien abgebaut. Bei diesem Umwandlungsprozess wird Faulgas gewonnen, das auf der Kläranlage zur Energieerzeugung verwertet wird.



Abb. 20:
beheizter, anaerober
Faulbehälter

7.3 Entwässerung und Trocknung

Mit verschiedenen Entwässerungsaggregaten, z. B. Filterpressen (Abb. 21) oder Zentrifugen wird dem wasserreichen Faulschlamm weiter Wasser entzogen, so dass die Schlammmenge am Ende der Behandlung nur noch etwa ein Zehntel der Ausgangsmenge beträgt. Abhängig vom nachfolgenden Entsorgungsweg kann der Schlamm in solaren (Abb. 22) oder thermischen Trocknungsanlagen weiter getrocknet werden.



Abb. 21: Kammerfilterpresse



Abb. 22: solare Trocknungsanlage

7.4 Schlammverwertung

Da Klärschlamm entsprechend dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) als Abfall definiert ist, muss er vorrangig verwertet werden, wobei sowohl die stoffliche Verwertung, z. B. als Dünger in der Landwirtschaft oder bei Rekultivierungsmaßnahmen im Landschaftsbau, als auch die energetische Verwertung (Verbrennung) möglich sind. Aus Gründen des vorsorgenden Umwelt- und Verbraucherschutzes verfolgt Bayern jedoch das Ziel die landwirtschaftliche, gärtnerische und landschaftsbauliche Klärschlammverwertung zu beenden.

Folgende Möglichkeiten einer thermischen Behandlung stehen zur Verfügung:

- **Mitverbrennung im Kohlekraftwerk:**
Entwässerter Klärschlamm wird mit Kohle zu feinem Staub gemahlen, getrocknet und anschließend verbrannt.
- **Mitverbrennung im Zementwerk:**
In der Regel wird nur vollgetrockneter Klärschlamm angenommen. Neben der Nutzung des Energiegehaltes des getrockneten Klärschlammes werden anorganische Bestandteile des Klärschlammes im Zement eingebunden und damit verwertet.
- **Mitverbrennung im Müllheizkraftwerk:**
Entwässerter Klärschlamm wird zusammen mit Hausmüll verbrannt.
- **Monoverbrennung:**
Da die bayerischen Monoverbrennungsanlagen eigene Trocknungsanlagen besitzen, kann auch entwässerter Klärschlamm angeliefert werden.

8 Ausblick

Zu den Hauptaufgaben der Wasserwirtschaftsverwaltung gehört es, Strategien zu entwickeln und Maßnahmen zum nachhaltigen Schutz der Gewässer und insbesondere des Grundwassers einzuleiten. Vom Bayerischen Landesamt für Umwelt werden innovative Entwicklungen auf dem Sektor der Abwasser- und Klärschlammbehandlung laufend, z. B. auch im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, geprüft und bewertet. Um den Stand der Technik bei allen zur Anwendung kommenden Verfahren wirklichkeitsnah sichern und fortschreiben zu können, besteht ein ständiger Austausch mit Fachleuten aus allen Gebieten der Abwassertechnik – von der Hochschule über das planende Ingenieurbüro bis hin zum praktischen Betrieb vor Ort.

Eine aktuelle Aufgabe ist die energetische Optimierung der Abwasseranlagen; sowohl beim Energieverbrauch als auch bei der energetischen Nutzung des anfallenden Faulgases und der im Abwasser enthaltenen Wärmeenergie bestehen noch erhebliche Verbesserungskapazitäten.

Diskutiert werden derzeit unter anderem die Notwendigkeit, kommunale Kläranlagen mit zusätzlichen Reinigungsstufen zur Elimination von anthropogenen Spurenstoffen nachzurüsten sowie die Rückgewinnung des im Klärschlamm gebundenen Phosphors als Ersatz für die schwindenden natürlichen Rohstoffressourcen dieses Pflanzennährstoffs. Hier besteht noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

9 Informationen aus dem Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA, ehemals ATV-DVWK)

- [1] "ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen," *DWA-Regelwerk*, 2000.
- [2] "ATV-DVWK-A 281 Bemessung von Tropfkörpern und Rotationstauchkörpern," *DWA-Regelwerk*, 2001.
- [3] "DWA-A 222 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe bis 1.000 Einwohnerwerte " *DWA-Regelwerk*, 2011.
- [4] "DWA Arbeitsbericht Leitfaden zur Erkennung und Behebung von Betriebsproblemen bei Tropfkörpern, Rotationstauchkörpern und getauchten Festbetten," *DWA-Regelwerk*, 2007.
- [5] "DWA-A 201 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichanlagen," *DWA-Regelwerk*, 2005.
- [6] "DWA-A 262 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers," *DWA-Regelwerk*, 2006.

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Bearbeitung:

LfU, Referat. 67

Bildnachweis:

alle Abbildungen: LfU

Juli 2013

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.