

12.1 Tabellarische Aufstellung von Literaturangaben

Tab. 50: Reduktion von Bakterien durch konventionelle Abwasserbehandlungsanlagen

<u>Art</u>	<u>Technik</u>	<u>Reduktion</u>	<u>Quelle</u>
<i>Salmonellen</i>	mechanische Klärung	80 %	[175]
	biologische Klärung	90 bis 99,9 %	[175], [100]
	Sedimentation, mechanische Klärung	70-80 %	[230]
	Tropfkörperanlage	93 %	[230]
	2-stufige Belebtschlammanlage	93,36 %	[200]
	anaerobe Stabilisierung von Klärschlamm 37 °C	100 % in 9 Tagen	[57]
	Vorklärung	90 % bis 99 %	[189], [49]
	Tropfkörper	92 %	[49]
	Belebtschlammanlage	96 bis 99,9 %	[49], [43], [94], [230]
<i>Shigellen</i>	Belebtschlammanlage	90-99 %	[43]
<i>Campylobacter</i>	2-stufige Belebtschlammanlage	98,61 % bis 99,5 %	[200], [83]
	Vorklärung, Sedimentation	78 %	[201]
	Emscher Tanks	97,1 %	[201]
	2 stufige Belebtschlammanlage	> 95 %	[201]
<i>Yersinia species</i>	2 stufige Belebtschlammanlage	99,72 %	[177]
<i>M. tuberculosis</i>	Flockung/Sedimentation	> 99 %	[82]
	2 stufige Belebtschlammanlage	positive Nachweise im Ablauf	[82]
<i>Fäkale Streptokokken</i>	2-stufige Belebtschlammanlage	96,46 %	[200]
<i>Fäkalcoliforme</i>	2-stufige Belebtschlammanlage	95,32 %	[200]
<i>Coliforme Bakterien</i>	nur Flockung (3.Stufe)	90-95 %	[11]
	konventionelle Anlagen	90-99 %	[215]
	Stabilisierungsteiche	99 %	[215]
	konventionelle Kläranlage mit Simultan- fällung, Schönungsteich	2,4-2,8 log-Stufen	[232]
<i>E. coli</i>	Belebtschlammanlage	99-99,9 %	[203]
<i>Aeromonas pp.</i>	Belebtschlammanlage	99,975 %	[160]
	Vorklärung	20,9 %	[160]
<i>P. aeruginosa</i>	Belebtschlammanlage	98,3 %	[66]

Tab. 51: Keimelimination in Pflanzenkläranlagen (Teil 1 von 6)

<u>Keime</u>	<u>Beschreibung der Anlage</u>	<u>Verweilzeit</u>	<u>Keimzahlreduktion</u>	<u>Quelle</u>
<i>E. coli</i>	<ul style="list-style-type: none"> „subsurface flow wetlands“, beschickt mit Ablauf aus Belebtschlammanlage <i>Phragmites australis</i>, (GB) 	15 m Fließstrecke	<ul style="list-style-type: none"> < 1,6 log-Stufen bei trockenem Wetter 0,26 log-Stufen bei Regenwetter 	[69]
	<ul style="list-style-type: none"> Hydrokulturbecken, Kies <i>Scirpus lacustris</i>, beschickt mit vorgereinigtem Abwasser, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> 3-4 log-Stufen 	[2]
	<ul style="list-style-type: none"> bepflanzter Teich <i>Iris</i>, <i>Typha</i>, <i>Scirpus</i> Beschickung: vorgeklärtes Abwasser Nachklärung: Schöpfungsteich, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> 80 % 	[10]
	<ul style="list-style-type: none"> „subsurface horizontal flow“ Pflanzenkläranlage beschickt mit Deponiesickerwasser Vorklärung: 2 Teiche Nachklärung: 1 Teich, (Norwegen) 	30 Tage	<ul style="list-style-type: none"> 60 % bis 95 % für Gesamtsystem 	[125]
<i>Fäkal-Indikatoren</i>	<ul style="list-style-type: none"> bepflanzter Bodenfilter horizontaler Flow, Feinsand vorgeklärtes Abwasser (Emscherbrunnen), (Steiermark) 		<ul style="list-style-type: none"> <u>im Winter:</u> <i>E. coli</i>: 99 % Fäkalstreptokokken: 5 log-Stufen <u>im Sommer:</u> 92-99 %, sehr niedrige Zulaufwerte 	[207]
	<ul style="list-style-type: none"> bepflanzter Bodenfilter, horizontaler Flow, Sand-Kies-Gemisch mit Blähtonarealen vorgeklärtes Abwasser (Emscherbrunnen), (Steiermark) 	mehrere Tage	<ul style="list-style-type: none"> <u>im Winter:</u> 53 %-71 % <u>im Sommer:</u> bis 99 % extrem schwankende Werte, deutlicher Tagesverlauf 	[207]

Tab. 52: Keimelimination in Pflanzenkläranlagen (Teil 2 von 6)

<u>Keime</u>	<u>Beschreibung der Anlage</u>	<u>Verweilzeit</u>	<u>Keimzahlreduktion</u>	<u>Quelle</u>
<i>Coliforme</i>	<ul style="list-style-type: none"> „subsurface flow wetlands“ beschickt mit Ablauf Belebtschlammanlage, <i>Phragmites australis</i>, (GB) 	15 m Fließstrecke	<ul style="list-style-type: none"> < 1,6 log-Stufen bei trockenem Wetter 0,31 log-Stufen bei Regenwetter 	[69]
	<ul style="list-style-type: none"> 5 Pflanzenkläranlagen Schotter und Sand <i>Glyceria</i> und <i>Phragmites</i>, <i>Phalaris</i>, (Tschechien) 	1,7 bis 10,7 Tage	<ul style="list-style-type: none"> Ca. 98 % im Mittel Ausnahme: Anlage mit Retention von 1,7 Tagen (85,9 %) 	[152]
	<ul style="list-style-type: none"> Wurzelraumanlage Abwasser Schlachthof, (Mexiko) 		<ul style="list-style-type: none"> > 99 % 	[171]
<i>Salmonella</i>	<ul style="list-style-type: none"> "marsh cell" (12), Pilotanlage surface flow <i>Typha</i> und <i>Scirpus</i>, (Kalifornien) 		<ul style="list-style-type: none"> 94 bis 96 % 	[62]
<i>Parasiten / Protozoen (A. lumbricoides, Giardia)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Wurzelraumanlage Mikrokosmos, <i>Phragmites</i>, <i>Typha</i> Schotter, Boden, (Mexiko) 		<ul style="list-style-type: none"> Sehr divergierende Reduktion mit teilweise hohen Werten im Ablauf 	[172]
<i>Keimzahlen</i>	<ul style="list-style-type: none"> bewachsener Bodenfilter, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> 2-4 log-Stufen (ohne Angabe von Einzelwerten) 	[60]

Tab. 53: Keimelimination in Pflanzenkläranlagen (Teil 3 von 6)

<u>Keime</u>	<u>Beschreibung der Anlage</u>	<u>Verweilzeit</u>	<u>Keimzahlreduktion</u>	<u>Quelle</u>
<i>Fäkal-coliforme</i>	<ul style="list-style-type: none"> Wurzelraumanlage 4 Becken Phragmites Boden, Schotter, Asche, (England) 		<ul style="list-style-type: none"> Von 92,8 % (Boden ohne Bepflanzung) bis 99,6 % (Schotter mit Schilf) von 87,1 % im Winter bis 99,6 % im Sommer 	[172]
	<ul style="list-style-type: none"> Wurzelraumanlage Mikrokosmos, Phragmites, Typha Schotter, Boden, (Mexiko) 		<ul style="list-style-type: none"> von 13,6 % (Becken ohne Bepflanzung) bis 67,8 % (Schotter mit Schilf) 	[172]
	<ul style="list-style-type: none"> Vertikal-Flow-Pflanzenkläranlage mit Schotter vorgeklärtes Abwasser Makrophyten, (Australien) 	5 Tage	<ul style="list-style-type: none"> ca. 95 % 	[28]
	<ul style="list-style-type: none"> Schotter-Bett-, „wetlands“ 19 m unbepflanzt und bepflanzt (<i>Schoenoplectus</i>) 	2-7,5 Tage	<ul style="list-style-type: none"> 90-95 % bis zu 99 % bei langen Verweilzeiten 	[208]
	<ul style="list-style-type: none"> Schotter-Bett „hydroponics“ Pflanzenkläranlage 100 m <i>Phragmites australis</i>, (Ägypten und England) 	6 Stunden	<ul style="list-style-type: none"> 2-3 log-Stufen in Ägypten deutlich besser als in England 	[229]
	<ul style="list-style-type: none"> Wasserlinsensystem „surface-flow“ (Arizona) 	ca. 4 Tage	<ul style="list-style-type: none"> im Mittel < 90 % teilweise werden Einflusswerte erreicht 	[96]
	<ul style="list-style-type: none"> verschiedene Pflanzen horizontaler Flow 0,6m Tiefe, (Arizona) 	3,8 Tage	<ul style="list-style-type: none"> < 90 bis 93 % 	[96]

Tab. 54: Keimelimination in Pflanzenkläranlagen (Teil 4 von 6)

<u>Keime</u>	<u>Beschreibung der Anlage</u>	<u>Verweilzeit</u>	<u>Keimzahlreduktion</u>	<u>Quelle</u>
<i>Fäkal-coliforme</i>	<ul style="list-style-type: none"> „marsh cell“ (12), Pilotanlage surface flow Typha und Scirpus (Kalifornien) 		<ul style="list-style-type: none"> 86 %; 90 % bei geringer hydraulischer Belastung 	[63]
	<ul style="list-style-type: none"> Pflanzenkläranlage mit Schotter, 5 cm/Tag Beschickung: vorgeklärtes Abwasser (Kalifornien) 		<ul style="list-style-type: none"> Ablauf $5,77 \times 10^5$ KBE/ml; 2 log-Stufen 	[62]
	<ul style="list-style-type: none"> Schilfbeete ("slow rate System") Vorwiegend horizontal, hydraulische Belastung 14-20 m/Jahr, Winterbetrieb, (China) 		<ul style="list-style-type: none"> 2-4 log-Stufen 	[231]
	<ul style="list-style-type: none"> Oberflächen-Flow-System 10 Zellen 1 km Länge diverse Makrophyten, Schilf, Eichhornia, Hydrocotyl Beschickung: Ablauf Teich, (Florida) 	20 Tage	<ul style="list-style-type: none"> 64 % 	[132]
	<ul style="list-style-type: none"> bewachsener Bodenfilter, vertikal Kies, Mittelkies Acorus, Versuchsanlage (Regentonne) Beschickung: biologisch gereinigtes Abwasser 		<ul style="list-style-type: none"> 2- 5 log-Stufen geringe Fallzahlen geringe Betriebszeit 	[68]
	<ul style="list-style-type: none"> Oberflächenflow Pflanzenkläranlage Typha, Phragmites, Scirpus beschickt mit Molkereiabwasser, (Connecticut, USA) 	28 Tage	<ul style="list-style-type: none"> 31 % 	[147]
	<ul style="list-style-type: none"> bepflanzte / unbepflanzte Kanäle, Schotter, beschickt Tage mit Abwasser aus Milchfarm Vorklärung: 2 Teiche, (USA) 	2-7 Tage	<ul style="list-style-type: none"> 91 % bis 95 % (bepflanzte) bei 2 Tagen Verweilzeit 99,1 % bis 99,6 % (bepflanzte) bei 7 Tagen Verweilzeit 	[208]

Tab. 55: Keimelimination in Pflanzenkläranlagen (Teil 5 von 6)

<u>Keime</u>	<u>Beschreibung der Anlage</u>	<u>Verweilzeit</u>	<u>Keimzahlreduktion</u>	<u>Quelle</u>
<i>E. coli</i> / <i>Coliforme</i> / <i>Fäkalstreptokokken</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 bepflanzte Bodenfilter • horizontal flow, Mittelsand • <i>Phragmites communis</i> • Dreikammerklärgrube • Nachklärung: Teich, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> • Ablauf: <i>E. coli</i> $10^4 - 10^2$ • 4-5 log-Stufen Reduktion • Fäkalstreptokokken: $10^5 - 10^0$ 	[19] [75] [77]
	<ul style="list-style-type: none"> • 2 bepfl. Bodenfilter • horizontal, kiesiger Sand • <i>Phragmites communis</i>, Iris, Typha, Acorus, Schoenoclectus • Beschickung: unbelüfteter Absetzteich • Nachklärung: 2 Teiche, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> • <i>E. coli</i>: 4-5 log-Stufen • Fäkalstreptokokken: 4 log-Stufen 	[19] [75] [77]
	<ul style="list-style-type: none"> • mehrstufiges Filterbeet (6) • horizontal, Feinkies • <i>Phragmites communis</i>, <i>Junctus</i>, Typha, <i>Schoenoclectus</i> • Beschickung: Dreikammerklärgrube, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> • <i>E. coli</i>: 3 log-Stufen • Fäkalstreptokokken: 3 log-Stufen 	[19] [75] [77]
	<ul style="list-style-type: none"> • Dreikammer Bodenfilter • horizontal, Splitt, Iris • Beschickung: Graben / Teich, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> • <i>E. coli</i>: 0-1 log-Stufe • Fäkalstreptokokken: 0-1 log-Stufe 	[19] [75] [77]
	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Pflanzensickerbecken, vertikal, Mittelsand • Phalaris • Beschickung: Mehrkammergrube, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> • <i>E. coli</i>: 2-5 log-Stufen 	[75] [77]
	<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzenkläranlage (runde Bauform), vertikal • Kies-Feinsand • Typha • Beschickung: Mehrkammergrube, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> • <i>E. coli</i>: 6 log-Stufen, • Fäkalstreptokokken: 4 log-Stufen 	[75] [77]

Tab. 56: Keimelimination in Pflanzenkläranlagen (Teil 6 von 6)

<u>Keime</u>	<u>Beschreibung der Anlage</u>	<u>Verweilzeit</u>	<u>Keimzahlreduktion</u>	<u>Quelle</u>
<i>E. coli</i> / <i>Coliforme</i> / <i>Fäkalstreptokokken</i>	<ul style="list-style-type: none"> Wurzelraumanlage, bewachsener bindiger Bodenfilter (3 Beete) Schluff, <i>Phragmites communis</i> Beschickung: Ablauf Siebtrommel + unbelüfteter Absetzteich Nachklärung: 2 Teiche, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> <i>E. coli</i>: 0-1 log-Stufe Fäkalstreptokokken: 0-2 log-Stufen Teiche zusätzlich 1 log-Stufe Coliforme: keine Reduktion 	[75] [77]
	<ul style="list-style-type: none"> Wurzelraumanlage, bewachsener bindiger Bodenfilter, Schluff <i>Phragmites communis</i> Beschickung: Ablauf Zweikammergrube / hydrobotanischer Graben Nachklärung: mit Oxidationsgraben und Schönung, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> <i>E. coli</i>: 2 log-Stufen Fäkalstreptokokken: 1 log-Stufe 	[19] [75] [77]
	<ul style="list-style-type: none"> Wurzelraumanlage, bewachsener bindiger Bodenfilter, Schluff Scirpus, <i>Phragmites communis</i> Beschickung: Mehrkammergrube, hydrobotanischer Graben Nachklärung: Schönungsteich, (BRD) 		<ul style="list-style-type: none"> <i>E. coli</i>: 1-2 log-Stufen Fäkalstreptokokken: 1-2 log-Stufen 	[75] [77]

Tab. 57: Tenazität von Wurmeiern in verschiedenen Umweltbereichen

<u>Wurmart</u>	<u>Umweltbereich</u>	<u>Tenazität</u>	<u>Quelle</u>
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Schlamm aus Teichanlage	2,5 Jahre	[7], [8]
<i>Ascaris suum</i>	Klärschlamm	> 7 Monate	[186]
	Mist	63 Tage bei 40 °C	[205]
	Flüssigmist	365 Tage	[205]
	Schlamm-Trockenbeet	320 Tage	[159]
	getrockneter Klärschlamm	> 3 Jahre	[205]
<i>Ascaris</i>	Flusswasser	> 15 Monate	[49]
	Abwasser	30-60 Tage	[165]
	trocknender Schlamm (46 °C)	81 Tage	[79]
	Klärschlammgedüngter Boden	77 Tage für T90	[198]
	feuchte Böden	mehrere Jahre	[79]
	Boden mit Klärschlamm	mehr als 6 Monate	[13]
	Boden	> 2 Jahre bei 40°C	[58]
	Gartenboden	1-2 Jahre	[142]
	Klärschlamm 4 °C	> 25 Monate/10 Monate	[151]
	Klärschlamm	120 Tage	[74]
	Schlamm von Trockenbeeten	> 4 Jahre	[49]
	Fäzes	> 1 Jahr	[49]
	mesophil ausgefauter Schlamm (30 °C bis 35 °C)	< 4 Wochen	[53]
	<i>Taenia</i>	Abwasser	>30 Tage
<i>Taenia saginata</i>	Belebtschlamm	> 162 Tage	[148]
	Schlamm in Klärgrube	> 60 Tage	[194]
	Schlamm, aerobe Stabilisierung	mehrere Wochen	[194]
	Oberflächenwasser	168 Tage	[49]
<i>Trichuris</i>	Fäzes	18 Monate	[49]
	Boden	18 Monate	[49]
<i>Ancylostoma</i>	Fäzes	6-12 Wochen	[49]
	Boden	> 12 Wochen	[49]
<i>Schistosoma</i>	Klärschlamm	< 21 Tage	[49]
<i>Enterobius</i>	Abwasser	1-2 Tage	[150]
<i>Hymenolepis</i>	Abwasser	10-20 Tage	[165]
<i>Fasciola</i>	Klärschlamm	90 Tage	[74]
<i>Toxocara</i>	Klärschlamm	> 25 Monate bei 4 °C; 10 Monate bei 25 °C	[151]

Tab. 58: Tenazität von Wurmeiern bei verschiedenen konventionellen Klärtechniken

<u>Wurmart</u>	<u>Klärtechnik</u>	<u>Elimination</u>	<u>Literatur</u>
<i>Ancylostoma</i>	Belebtschlammanlage	100 %	[49]
	Klärgrube	> 90 %	[49]
	Sedimentation 3 h	100 %	[79]
<i>Ascaris</i>	2 h Sedimentation	96 %	[153]
	Belebtschlammanlage	> 98 %	[153]
	Sedimentation 0,5 h	100 %	[79]
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Aerobe Schlammstabilisierung (30 °C)	6 Monate lebensfähig	[79]
<i>Helminthen</i>	Klärgrube	bis > 99 %	[194]
	Mehrkammergrube	99,4 %	[49]
	Mehrkammergrube	> 90 %	[107]
	Sedimentation 2 h	bis > 90 %	[194]
	Sandfiltration	100 %	[70]
	Sandfiltration	bis 100 %	[30], [194], [116], [148]
<i>Schistosoma</i>	Vorklärung, Sedimentation	83 %	[49]
	Tropfkörper	bis 100 %	[49]
<i>Taenia</i>	Vorklärung, 2 h Sedimentation	bis 100 %	[121], [150]
<i>Taenia saginata</i>	Sedimentation 2 h	98 %	[148]
	Aerobe Schlammstabilisierung (30 °C)	6 Monate	[79]
<i>Trichuris</i>	Belebtschlammanlage	100 %	[153]
	2 h Sedimentation	90 %	[153]

Tab. 59: Auswirkung von Umwelteinflüssen auf die Tenazität von Bakterien im Boden

<u>Umwelteinfluss</u>	<u>Auswirkung</u>
Temperatur	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sie ist der wesentliche Überlebensfaktor [115], [198], [225]. ➤ Bei kühlen Wetterlagen ist die Tenazität erheblich größer als bei warmen. ➤ Deutliche Abhängigkeiten von der Temperatur für: <ul style="list-style-type: none"> • Campylobacter [156], [201] • Leptospiren, Salmonellen (Gülle, Mist, Boden) [204], [212] • Shigella (Abwasser) [222] • Magen-Darm Bakterien im Klärschlamm [47]. ➤ Ein entgegengesetztes Verhalten, d.h. ein schnelleres Absterben im Winter für coliforme Bakterien in schlammgedüngten Waldböden [39].
Bodenfeuchtigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ➤ In feuchten Böden und während Regenperioden längere Überlebenszeiten [110], [176], [198].
Bodenwasserspeicherkapazität	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bei hoher Wasserspeicherkapazität längere Überlebenszeiten als in geringerer (z. B. Sandböden) [176].
Gehalt an organischen Stoffen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ein hoher organischer Gehalt fördert das Überleben [110], [128], [198]. ➤ Fäzes im Boden vergrößern die Tenazität [9], [209].
pH-Wert	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bei niedrigem pH-Wert ist die Tenazität geringer [110], [176], [198].
Sonnenlicht (UV)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verkürzung der Tenazität auf der Oberfläche [110].
Bakterienkonkurrenz	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Konkurrenz beschleunigt das Absterben von Magen-Darm Bakterien im Klärschlamm [47], ➤ Leptospiren werden stark durch die Fäkalflora reduziert [49].
Einflüsse durch limnische Makrophyten	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Limnische Makrophyten (<i>Glyceria maxima</i>, <i>Schoenoplectus lacustris</i>, <i>Alisma plantago</i>) beschleunigen das Absterben von <i>E. coli</i> [25].