

## **Untersuchung zur Wirkung effektiver Mikroorganismen bei der Abwasserreinigung**

**Auftraggeber:**

EM-Hof-Pinokkio

Ingenieurbüro

Frau Barbara Matthias (Mitglied im Vorstand der gemeinnützigen Gesellschaft für  
regenerative Mikroorganismen e.V. - EM e.V.)

Gartenstraße 38

03130 Felixsee OT Bloischdorf

**Bearbeiterin:** Dr.-Ing. Andrea Straub

Cottbus, den 18.10.2010

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Veranlassung und Zielstellung .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Stand der Technik im Einsatz effektiver Mikroorganismen .....</b>	<b>4</b>
2.1 Gesetzliche und technische Grundlagen der Abwasserreinigung .....	4
2.2 Zusammensetzung und Herstellung des Produkts EMa.....	6
2.3 Bisherige Untersuchungen zum Einsatz effektiver Mikroorganismen im Abwasserbereich .....	7
<b>3 Material und Methoden zur Bewertung der Abwasserreinigung .....</b>	<b>12</b>
3.1 Versuchsaufbau .....	12
3.2 Probenahme und Analysemethoden.....	14
<b>4 Ermittlung des Einflusses der effektiven Mikroorganismen auf die     Abwasserreinigung .....</b>	<b>15</b>
4.1 Einfluss von EMa auf die Zulaufkonzentration des Abwassers .....	16
4.2 Einfluss genormter Zulaufbedingungen auf den Betrieb der KA .....	18
4.2.1 Nachweis des Einflusses der Wassertemperatur auf den Abbau .....	18
4.2.2 Abbau organischer Substanzen .....	20
4.2.3 Veränderungen des Schlammanfalls.....	23
4.2.4 Vergleich des mikrobiologischen Bildes .....	25
4.3 Einfluss einer erhöhten Zulaufkonzentration.....	26
<b>5 Zusammenfassung .....</b>	<b>29</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>35</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>36</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>37</b>

## Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung/ Symbol	Einheit	Bezeichnung
ab		Ablauf
AFS	mg/l	abfiltrierbaren Stoffe
BB		Belebungsbecken, belüftetes Becken
BSB <sub>5</sub>	mg/l	Biochemischer Sauerstoffbedarf
C	mg/l	Kohlenstoff
c <sub>EMa</sub>	mg/l	Konzentration von EMa
CSB	mg/l	Chemischer Sauerstoffbedarf
EM		Effektive Mikroorganismen
EMa		Aktivierte Effektive Mikroorganismen
EW		Einwohnerwert, bei rein häuslichem Abwasser ist 1 EW = 1 angeschlossener Einwohner
GES		gesamt
max.		maximal
N	mg/l	Stickstoff
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	Ammonium-Stickstoff
NRW		Nordrhein-Westfalen
P	mg/l	Phosphor
R <sup>2</sup>		Korrelationskoeffizient einer Regression
TS	mg/l	Trockensubstanzgehalt
zu		Zulauf

# 1 Veranlassung und Zielstellung

Effektive Mikroorganismen (EM) werden seit einigen Jahren weltweit als Bodenhilfsstoff in der Landwirtschaft eingesetzt. In vielen Berichten in der Zeitschrift „EM Journal“ sowie im Internet wird auf eine positive Wirkung effektiver Mikroorganismen auf die verschiedenen Lebensbereiche hingewiesen. Deren Wirkung ist in der Fachwelt jedoch umstritten [8].

Auch Abwasserreinigungsanlagen werden mit Abwasser betrieben, welches effektive Mikroorganismen enthalten kann. Der Einfluss der EM auf die biologische Abwasserreinigung wurde bisher noch nicht über einen längeren Zeitraum und mit reproduzierbaren Zulaufbedingungen wissenschaftlich untersucht.

Ziel der Untersuchung ist es daher, den Einfluss effektiver Mikroorganismen auf die biologische Abwasserreinigung des Kohlenstoffabbaus unter definierten Bedingungen zu prüfen und zu bewerten.

Veranlasst und finanziert wurde die Forschungsarbeit durch Frau Barbara Matthias, EM-Hof-Pinokkio. Die gemeinnützige Gesellschaft für regenerative Mikroorganismen EM e.V. unterstützte diese Arbeit durch Zuwendungen.

## 2 Stand der Technik im Einsatz effektiver Mikroorganismen

### 2.1 Gesetzliche und technische Grundlagen der Abwasserreinigung

Die Reinigung des Abwassers erfolgt in Abhängigkeit der Reinigungsanforderungen in drei oder mehr Schritten (Bild 2.1).

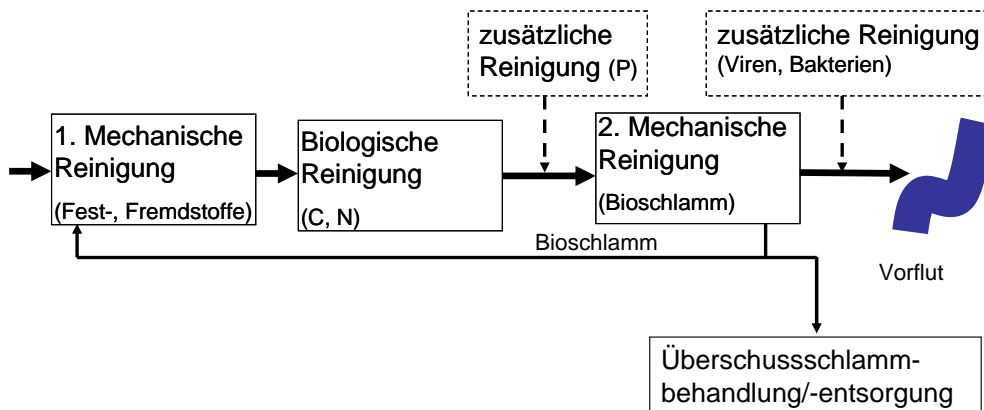


Bild 2.1 Schematische Darstellung der Abwasserreinigungsstufen

**Hauptbestandteile des Reinigungsverfahrens** sind die Vorklärung (1. mechanische Stufe), das belüftete Belebungsbecken sowie die Nachklärung (2. mechanische Stufe). Hier erfolgt das Abtrennen der Feststoffe sowie der enzymkatalysierte Abbau der gelösten organischen Wasserinhaltsstoffe durch Mikroorganismen.

Die Vorklärung dient dem Schutz nachfolgender Prozesse und Apparate. Je größer eine Anlage ist, desto größer wird auch der Aufwand bei der Vorreinigung des anfallenden Abwassers durch Sandfang, Rechen und Vorklärbecken. In diesem Bereich kommt es zu einer Vergleichmäßigung der zulaufenden Fracht.

In der biologischen Reinigungsstufe bauen sich durch eine gezielte Belüftung Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen ab. Bei Bedarf kann eine Fällung/Flockung zur Minimierung der Phosphorfracht im biologischen Teil oder in der Nachklärung integriert, aber auch der Anlage nachgeschaltet werden.

In der Nachklärung wird der sich in der Biologie bildende Belebtschlamm abgesetzt und zur Aufrechterhaltung des Systems wieder in die biologische Stufe zurückgeführt. Überschüssiger Schlamm aus den mechanischen und biologischen Stufen wird ausgesondert und nach einer Nachbehandlung entsorgt.

Eine Reduzierung der Keime ist mit einer Hygienisierungsstufe möglich. Diese wird, sofern notwendig, der gesamten Reinigungsanlage nachgeschaltet. Derzeit ist eine solch aufwendige Reinigungsstufe nur in besonderen Fällen im Einsatz.

Das gereinigte Abwasser gelangt in eine Vorflut. Die Vorflut ist ein fließendes Oberflächengewässer oder eine Versickerung in das Grundwasser. Bei Anlagen größer 50 EW wird ein Fließgewässer bevorzugt, da die Versickerung flächenintensiv wird.

Tabelle 2.1 Anforderungen an die Qualität des Abwassers für das Einleiten in ein Gewässer nach AbwV [29]

Proben nach Größenklassen der Abwasserbehandlungs- anlagen	CSB	BSB <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>GES</sub>	P <sub>GES</sub>
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
	Qualifizierte Stichprobe oder 2-Stunden-Mischprobe				
<i>Größenklasse 1</i> etwa 1.000 EW	150	40	-	-	-
<i>Größenklasse 2</i> 1.000 – 5.000 EW	110	25	-	-	-
<i>Größenklasse 3</i> 5.000 – 10.000 EW	90	20	10	-	-
<i>Größenklasse 4</i> 10.000 – 100.000 EW	90	20	10	18	2
<i>Größenklasse 5</i> > 100.000 EW	75	15	10	13	1

Die Anforderungen an die Reinigungsleistung und damit auch an den technischen Aufwand einer Anlage werden i. d. R. durch die Grenzwerte in der Abwasserverordnung [29] vorgegeben. Sie sind in Tabelle 2.1 dargestellt. Für Kleinkläranlagen bis 50 EW gelten die Grenzwerte der Größenklasse 1, welche nur Werte für die auf Kohlenstoff basierenden Parameter CSB und BSB<sub>5</sub> enthält. Mit zunehmender Anlagengröße sind noch die Nährstoffparameter Stickstoff und Phosphor zu reduzieren. Für sensible Bereiche mit zu hohem Grundwasserstand, in Trinkwasserschutzgebieten oder bei Einleitung in sensible Oberflächengewässer kann eine Auflage zur Reinigung nach einer höheren Größenklasse erfolgen. Hygieneparameter werden hier nicht festgelegt.

## 2.2 Zusammensetzung und Herstellung des Produkts EMa

Effektive Mikroorganismen sind in ihrer **Zusammensetzung** eine Mischkultur aus verschiedenen Bakterien, Hefen und Pilzen. Je nach Herstellort gibt es Unterschiede in der Zusammensetzung der Organismenarten. Die EM1-Urlösung, welche in Deutschland zum Einsatz kommt, enthält hauptsächlich [7]:

- Milchsäurebakterien,

- Fotosynthesebakterien,
- Hefen,
- Actinomyceten,
- Fermentaktive Pilze.

Sie wird von der EMIKO GmbH als deutscher Lizenznehmer der EMRO EHG Deutschland GmbH in Heimerzheim (NRW) hergestellt und vertrieben.

Eine Aufschlüsselung von 36 Organismenarten, die in der Lösung enthalten sein können, gibt Anhang 1. Sie weisen für den Menschen kein oder nur ein geringes Erkrankungsrisiko für besonders geschwächte Personen auf [24, 27, 28].

Das für diese Forschungsarbeit notwendige EMA wurde auf dem EM-Hof-Pinokkio, [www.em-hof-pinokkio.de](http://www.em-hof-pinokkio.de), aus EM 1 hergestellt.

Die **Herstellung** der EMA-Lösung erfolgt durch Fermentation aus einem Teil EM1-Urlösung, einem Teil Zuckerrohrmelasse und 31 Teilen Wasser. Die Zuckerrohrmelasse ist dazu mit sehr heißem Wasser (80 °C) aufzulösen und zu homogenisieren. Vor Zugabe der Urlösung ist die Mischung auf eine Maximaltemperatur von 40 °C abzukühlen.

Die Mischung muss eine Woche bei 32 ... 38 ... 40 °C im Dunkeln unter Luftabschluss fermentieren. Anschließend ist zu prüfen, ob der pH-Wert bei 3,5 bis max. 4 liegt. Die Lagerung erfolgt in einem kühlen Raum.

### 2.3 Bisherige Untersuchungen zum Einsatz effektiver Mikroorganismen im Abwasserbereich

Effektive Mikroorganismen finden ihren Einsatz bei der Herstellung von Lebensmitteln wie auch zur Verbesserung der Eigenschaften von Böden, zur Minimierung von Fäulnis sowie Gerüchen.

Eine Untersuchung gegen intensive Geruchsprobleme im **Kanalnetz** sowie auf einer Kläranlage wurde in Mackay (Australien) durchgeführt. Die eingesetzte Lösungsmenge effektiver Mikroorganismen belief sich auf 100 ml/h bzw. 100 ppm verteilt aufs gesamte Netz. Teilweise wurde die zudosierte Menge schrittweise auf 2,5 ppm herabgesetzt. Nach 24 Stunden verschwand der typische Fäulnisgeruch. Fettablagerungen im Kanal reduzierten sich sichtbar. Nach Herabsetzung der Dosierate auf 2 ppm EM traten wieder leichte Gerüche auf. [2] Auch andere Autoren berichten über geruchsmindernde Effekte bei unterschiedlichen Anwendungen [16, 19, 20, 21].

Neben Gerüchen kann jedoch auch die H<sub>2</sub>S-Bildung verringert werden [5]. Als abbauende Mikroorganismen werden die fototrophen Bakterien genannt [23]. Sie etablieren sich in einem Zeitraum von sechs bis zwölf Monaten [2]. Je nach Umgebungsbedingungen kann sich dieser Zeitraum auch auf bis zu 18 Monate ausdehnen [21].

Auch in der **Abwasserreinigung** ist EM anwendbar. In Ausfaulgruben, Teichen, Belebtschlammmanlagen führt EM zur Reduktion der derzeit grenzwertrelevanten Ablaufparameter BSB<sub>5</sub>, CSB und NH<sub>4</sub>-N [1, 5, 13, 15, 17].

Die Abbauraten hängen jedoch deutlich von der Abwasserzusammensetzung und der Zulaufkonzentration ab, wie Tabelle 2.3 zeigt. Die Zulaufkonzentrationen für den mit Abwasser beaufschlagten See liegen mit 205 mg/l CSB und 150 mg/l BSB<sub>5</sub> signifikant unter denen häuslichen Abwassers. Daher ist auch die Abbaurate deutlich niedriger als bei den anderen Abwässern.

Tabelle 2.2 stellt die Ergebnisse von zwei Untersuchungen mit und ohne EM-Einsatz gegenüber. Auch die Konzentrationen von N<sub>GES</sub> und P<sub>GES</sub> verringern sich unter EM-Einwirkung. Gleichzeitig wurde bei der Membranbelebungsanlage (Mikrofiltration) mit EM hinsichtlich NH<sub>4</sub>-N eine verkürzte Einfahrzeit von fünf Tagen ermittelt. Die CSB-Abbauzeiten betragen bei dieser Anlage nach der Einfahrzeit unabhängig von der Zugabe von EM durchschnittlich 90 %, beim NH<sub>4</sub>-N sogar mehr als 95 % [13].

Tabelle 2.2 Zulauf- und Ablaufcharakteristik verschiedener Abwasserreinigungsanlagen

	<b>Zulauf</b>	<b>Ablauf ohne EM</b>	<b>Ablauf mit EM</b>
<b>Membranbelebung [13]</b>			
CSB in mg/l	230 ... 580	18 ... 46	29 ... 49
NH <sub>4</sub> -N in mg/l	80 ... 130	2,1 ... 7,6	0,1 ... 1,5
<b>Belebungsanlagen [5]</b>			
CSB in mg/l	1.060	176	90
BSB <sub>5</sub> in mg/l	750	89	50
N <sub>GES</sub> in mg/l	771	100	24
P <sub>GES</sub> in mg/l	10	4,6	0,96



Tabelle 2.3 Abbauraten verschiedener Parameter in Kläranlagen mit bzw. ohne EM-Zugabe [4, 5, 6]

Parameter	Milchabwässer [4] Ablauf nach 3 Monaten		Sickerwasser Abfallbehandlung im Belebungsbecken [5] nach biol. Reinigung		mit Abwasser beaufschlagter See [5]		Zulauf aus einer Zuckerfabrik (1 ml/l EM4, belüftetes Becken) [6]		
	ohne EM	mit EM	ohne EM	mit EM	vor EM-Zugabe	nach EM-Zugabe	ohne EM	EM4 (pH = 4)	EM4 (pH = 7,4)
	AFS	11 %	75 %	94 %	98 %				
CSB			83 %	92 %	52 %	73 %	31 %	80 %	76 %
BSB <sub>5</sub>	20 %	94 %	88 %	93 %	74 %	65 %			
NH <sub>4</sub> -N	15 %	44 %							
NO <sub>3</sub> -N	37 %	43 %							
N <sub>GES</sub>									
P <sub>GES</sub>	13 %	23 %	87 %	97 %	54 %	28 %			
E. coli	29 %	71 %	54 %	90 %	55 %	7 %			
Gesamtcolliforme	22 %	63 %							

Bild 2.2 zeigt Zu- sowie Ablaufwerte für den CSB von zwei mit dem gleichen Zulaufwasser beaufschlagten Kläranlagen über 19 Wochen. Die Zulaufwerte mit 600 bis 1300 mg/l CSB weisen eine relativ hohe Schwankungsbreite auf, wobei die typische Zulaufkonzentration in Kläranlagen bei etwa 700 bis 900 mg/l CSB liegt. EM wurde einzeln zugegeben.

Beide Anlagen reinigen das Abwasser meist unter den Grenzwert von 150 mg/l CSB. Die Ablaufkonzentration des CSB der ohne EMa gefahrenen Anlage ist jedoch über den Messzeitraum signifikant höher als bei der Anlage mit EMa und überschreitet teilweise sogar den Grenzwert von 150 mg/l.

Die Zulaufwerte für  $\text{NH}_4\text{-N}$  schwankten so stark, dass eine Interpretation der Ablaufwerte nicht möglich war. [17]

Durch die Zugabe von EM erhöhten sich die Zulaufkonzentrationen [6, 7].

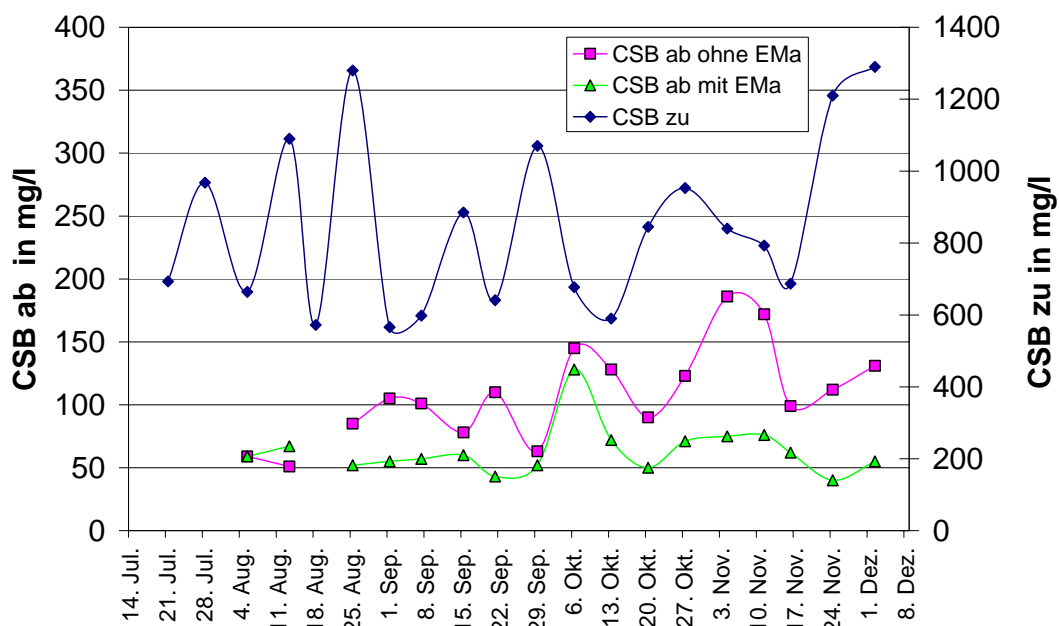


Bild 2.2 CSB-Ablaufwerte zweier Systeme mit gleichem Zulauf bei normaler Beschickung [17]

In einem schwach eutrophen Teich [11] und in einem mit Abwasser beaufschlagten See [5] wurden bei Einsatz von EM Nährstoffe - insbesondere **Phosphor** - wiederverfügbar. Die Konzentration dieser Stoffe nahm wieder zu. Dies kann im

ungünstigsten Fall in Gewässern zur Überdüngung (Eutrophierung) und damit zur Algenblüte führen.

Im Gegensatz dazu wird durch ZIMMERMANN ET AL. von einer Algen-Reduzierung unter Einsatz verschiedener EM-Produkte berichtet [12].

Eine Erniedrigung des **pH-Werts** erfolgt meist maximal um einen Punkt [4, 5, 14]. Abwasser liegt meist leicht basisch vor und weist eine ausreichende Pufferkapazität auf, so dass es im Normalfall zu keinem Einbruch der Reinigungsleistung aufgrund sinkender pH-Werte kommt. Ursache für die Verringerung des pH-Werts kann die Zugabe von EM sein [7] bzw. die in belüfteten Becken stattfindende Nitrifikation.

Die **Leitfähigkeit**, d. h. der Anteil an Salzen, wird durch die EM-Zugabe erhöht [7, 14].

Die **Schlammproduktion** fällt bei Anlagen mit EMa deutlich höher aus als bei den Referenzanlagen [6, 7, 17]. Daher erscheint eine Zugabe von EM sinnvoll, wenn mit einer geringen Anzahl an mikrobiologisch aktiver Organismen zu rechnen ist. Hinsichtlich der Schlammmorphologie, der Absetzgeschwindigkeit oder der Schlammabbaubarkeit traten zwischen den Anlagen keine Unterschiede auf [17]. SZYMANSKI ET AL. bestimmten neben verbesserten Absetzeigenschaften des Schlammes auch einen erhöhten Schlammanfall [7].

Die Qualität der Schlammabsetzeigenschaften wird auch durch die **abfiltrierbaren Stoffe** (AFS) gekennzeichnet. Bei der Reinigung von Milchabwässern (Tabelle 2.3) trat eine Verbesserung der AFS-Konzentration von über 60 % auf. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei anderen Anlagen durch den Einsatz von EM keine signifikante Reduktion [5, 7].

Im Bereich der **Schlamm entwässerung** wurden dem Überschussschlamm 0 bis 2 % EM in medizinischem Abwasser zugegeben. Bei einer gleichzeitigen Kalk- und Eisensulfat-Zudosierung war mit steigendem EM-Anteil eine Abnahme der Entwässerungsleistung zu erkennen. [10]

Einige EM-Produkte sind scheinbar auch zur **Keimminderung** einsetzbar [4, 10, 16], da Milchsäurebakterien und Actinomyceten antibiotisch wirken können [in 4 und 18]. Allerdings tritt bei Kläranlagen grundsätzlich durch das Verfahren schon eine Reduzierung der coliformen Keime (hier E. coli) auf [22]. QUANG [5] bestätigt dies mit Messungen in Vietnam. Die Keime reduzierten sich ohne EM um mehr als 91 % [5, 22].

HASSLINGER [9] fand bei seinen Untersuchungen nach der Reinigung mit EM keine deutlichen Unterschiede zur Leistung der handelsstypischen Desinfektionsmittel. Die Wiederverkeimung war jedoch geringer als mit haushaltstypischen Reinigungsmitteln.

Ein Versuch zur Minderung pathogener Keime durch EM beim teilgereinigtem Wasser, welches zur Bewässerung von Getreide eingesetzt werden sollte, ist fehlgeschlagen. Durch die Zugabe von 2 L M-EM und 4 Bokashi-Knödel (40 % Holzkohle, 40 % trockener Ton, 15 % M-EM, 5 % Bokashi) auf 1 m<sup>3</sup> kam es zu einer Erhöhung der Gesamtcoliformen Keime. Dies wird auf die Zufuhr von Nährstoffen durch Bokashi zurückgeführt, welche zu einer erhöhten Vermehrungsrate führen [12].

Auch ein Test des Hygienisierungsgrades von Abwässern in Retentionsbodenfiltern mit Hilfe von EM1 zeigte keine Veränderungen in Ablaufqualität hinsichtlich der Hygieneparameter und des CSB im Vergleich zu einem unbehandelten Reaktor [18].

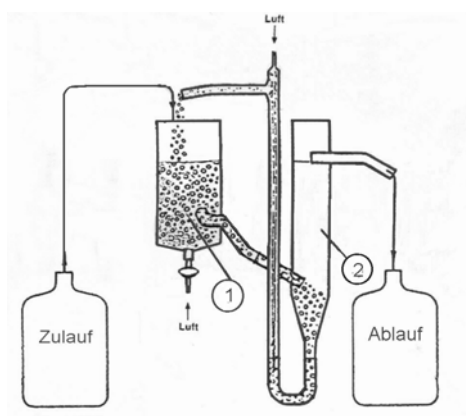
Sollte eine signifikante Desinfektionsleistung vorliegen, könnte dies im Bereich der biologischen Reinigung von Abwässern zu Problemen führen, da bei einem erhöhten Einsatz von EM die Mikrobiologie gehemmt wird bzw. abstirbt.

## **3 Material und Methoden zur Bewertung der Abwasserreinigung**

### **3.1 Versuchsaufbau**

Für die Auslegung von Belebungsanlagen sowie auch zur Überprüfung der Reinigungsleistung bei unterschiedlichen Abwasserinhaltsstoffen werden Laborkläranlagen eingesetzt. Hier können verschiedene Parameter ohne großen Aufwand ermittelt und die Aussagen auch auf eine größere Anlage übertragen werden.

In Bild 3.1 ist der Aufbau einer solchen Laborkläranlage nach DIN 38412 – L 26 [3] dargestellt.



1 ... Belebungsbecken

2 ... Nachklärbecken

Bild 3.1 Schematische Darstellung der Laborkläranlage

Auf eine Vorklärung des Abwassers kann im Falle einer Laborkläranlage verzichtet werden, wenn künstliches Abwasser nach DIN 38412 – L 26 [3] der Kläranlage zugeleitet wird. Aufgrund von Abbauvorgängen im Zulauf von bis zu 40 mg/l BSB<sub>5</sub> und bis zu 60 mg/l CSB täglich wurde das Abwasser jeden Tag frisch angesetzt.

Das Belebungsbecken besitzt ein Füllvolumen von 4,2 L. Hier findet der biologische Abbau organischer Schadstoffe statt. Im Nachklärbecken mit einem Füllvolumen von 2,2 L setzt sich der Belebtschlamm ab. Das gereinigte Abwasser wird über den Ablauf abgeführt, der abgesetzte Belebtschlamm über eine Mammutpumpe ins Belebungsbecken zurückgeführt.

Eine kontinuierliche Sauerstoffzufuhr sowie das zügige Umpumpen des abgesetzten Belebtschlammes in Belebungsbecken zurück verhindert Faulprozesse.

In regelmäßigen Abständen wird überschüssiger Schlamm der Anlage entnommen, um den TS-Gehalt von maximal 4 g/l einzuhalten.

Für eine vergleichende Untersuchungen wurden zwei baugleiche Laborkläranlagen mit künstlichem, in seiner Zusammensetzung dem häuslichen Abwasser angepassten Schmutzwasser betrieben. Eine Kläranlage wurde mit einem Abwasser-EMa-Gemisch beaufschlagt, während die Referenzanlage mit Abwasser ohne EMa-Einfluss unter sonst gleichen chemischen sowie hydraulischen Bedingungen betrieben wurde. Die Zulaufkonzentration der EMa-Lösung im künstlichen Abwasser wurde mit 5 ml/l an die am EM-Hof-Pinokkio Bloisdorf ([www.em-hof-pinokkio.de](http://www.em-hof-pinokkio.de)) maximal vorliegende Zulaufkonzentration angepasst. In der Praxis ist eher zu erwarten, dass die Konzentration an EM niedriger liegt.

Die Untersuchungen begannen jeweils zu einem Zeitpunkt, bei dem annähernd konstante Betriebsbedingungen ohne besondere Situationen, wie Schaum, Schwimm- und Blähschlamm, auftraten. Nach der Einfahrzeit beider Anlagen inklusive der Adaption der Biologie an das bereitgestellte Abwasser erfolgte über 16 Wochen eine Beaufschlagung einer Anlage mit EMa. In diesem Zeitraum wurden ff. Parameter an beiden Anlagen in regelmäßigen Abständen untersucht:

- im Zulauf: CSB, BSB<sub>5</sub>
- in der biologischen Stufe: TS<sub>BB</sub>, O<sub>2</sub> gelöst, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit
- im Ablauf: CSB, BSB<sub>5</sub>.

Die Mikroskopie des Belebtschlammes aus der biologischen Stufe kam unterstützend zum Einsatz.

Die Häufigkeit der analytischen Untersuchungen richtete sich nach der Abbausituation in der Kläranlage und wurde den Gegebenheiten angepasst. In der Regel wurden beide Anlagen mindestens einmal pro Woche untersucht.

### 3.2 Probenahme und Analysemethoden

Die **Probeentnahme** fand als qualifizierte Stichprobe statt. Eine Konservierung der Proben erfolgte nicht, da die Analyse sofort nach der Probenahme stattfand. Für die Bestimmung wurde – wenn nicht anders in den Vorschriften ausgeführt – die Probe homogenisiert.

Die gemessenen Parameter sowie die Normung der **Analysevorschriften** können der Tabelle 3.1 entnommen werden.

Tabelle 3.1 Analysevorschriften sowie Probenahmestellen der untersuchten Parameter

Parameter	Einheit	Analysevorschrift
<b>Physikalische Parameter</b>		
In Wasser gelöster Sauerstoff	mg/l	DIN EN 25814
Leitfähigkeit	$\mu\text{S}/\text{cm}$	DIN EN 27888
pH-Wert	l	DIN 38404-C5
Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	DIN 38404-C4
TS-Gehalt	mg/l	DIN EN 14702-1 bzw. DIN 38414-S2
<b>Chemische Parameter</b>		
BSB <sub>5</sub>	mg/l	DEV H 55
CSB	mg/l	DIN ISO 15705

## 4 Ermittlung des Einflusses der effektiven Mikroorganismen auf die Abwasserreinigung

Die Ermittlung des Einflusses effektiver Mikroorganismen fand unter normalen, DIN-gerechten Zulaufbedingungen statt. Für eine Bewertung wurden die Grenzwerte der Größenklasse 1 mit

- 150 mg/l für den Chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) und
- 40 mg/l für den Biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>)

herangezogen.

Weiterhin führte ein Abbautest mit erhöhten Zulaufbedingungen zu Aussagen hinsichtlich des Einflusses von Sondereinleitungen, z. B. bei längerem Besuch, auf die Ablaufqualität.

Neben den Versuchen zum Abbauverhalten war im Vorfeld zu klären, welchen Einfluss EMA-Lösungen auf die chemisch-physikalischen Parameter besitzen.

## 4.1 Einfluss von EMa auf die Zulaufkonzentration des Abwassers

Für die Untersuchung des Einflusses von EMa auf die Zulaufbedingungen der Kläranlage wurde Trinkwasser mit unterschiedlichen Volumenanteilen von 0 ml/l EMa bis 5 ml/l EMa versetzt. Die im Abwasser anzutreffenden EMa-Anteile hängen von der jeweiligen Einsatzmenge sowie Einsatzhäufigkeit der Lösung ab. Bei einer intensiven Nutzung von EMa oder bei einem signifikant geringeren Wasserverbrauch als der Bundesdurchschnitt von 124 l/(E-d) ist mit einer maximalen EMa-Menge von 5 ml/l zu rechnen.

Trinkwasser wurde genutzt, da dieses das Verdünnungswasser für das künstliche Abwasser darstellt und zudem kaum organische Inhaltsstoffe aufweist.

In Tabelle 4.1 ist die Änderung von BSB<sub>5</sub>, CSB, pH-Wert sowie Leitfähigkeit über die verschiedenen Volumenanteile EMa dargestellt.

Hinsichtlich des **pH-Werts** zeigt sich mit zunehmendem Anteil eine Änderung um maximal 0,1 Punkte. Damit ist dieser vernachlässigbar gering. Es zeigte sich keine Veränderung außerhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung [30].

Tabelle 4.1 Änderung chemisch-physikalischer Parameter von Trinkwasser in Abhängigkeit der EMa-Konzentration

<b>c<sub>EMa</sub> in ml/l</b>	<b>BSB<sub>5</sub> in mg/l</b>	<b>CSB in mg/l</b>	<b>pH in 1</b>	<b>Leitfähigkeit in µS/cm</b>
0	3	5	6,95	554
1	10	57,2	6,92	560
2	25	100	6,97	558
3	35	112	7,01	566
4	50	153	7,04	573
5	60	201	6,94	579
Grenzwerte aus TrinkwV [30]	3 *	(5) **	6,5 ... 9,5	2500
* nach BbgOwTwV [31]				
** Oxidierbarkeit (KMnO) – Messwert ist geringer als bei Analyse des CSB nach DIN ISO 15705				



Auch die Erhöhung der **Leitfähigkeit** ist minimal. Es erfolgt eine Erhöhung um max. 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  je ml EMA. Auch hier wird die obere Grenze nicht erreicht.

Die Abhängigkeit des **BSB<sub>5</sub>** und des **CSB** zeigt Bild 4.1. Die Regressionsgleichungen für beide Geraden bei Ansatz in Trinkwasser lauten:

Ansatz in Trinkwasser:

$$\text{BSB}_5 = 11,857 \cdot c_{\text{EMa}} + 0,8571 \quad R^2 = 0,9931 \quad (1)$$

$$\text{CSB} = 36,557 \cdot c_{\text{EMa}} + 13,29 \quad R^2 = 0,9794 \quad (2)$$

Beide Geraden weisen einen unterschiedlichen Anstieg auf. Der CSB wird durch rein chemische Prozesse bestimmt. Beim BSB<sub>5</sub> wird der C-Abbau durch Mikroorganismen durchgeführt. Möglicherweise mangelte es bei der BSB<sub>5</sub>-Messung in Trinkwasser an entsprechenden Mikroorganismen oder Nährstoffen, da bei einem Ansatz mit Abwasser ein relativ konstanter Anstieg bei BSB<sub>5</sub> sowie CSB von 32 mg/ml ermittelt wurde (siehe Gleichung 3 und 4).

Ansatz in künstlichem Abwasser:

$$\text{BSB}_5 = 32 \cdot c_{\text{EMa}} + 346,67 \quad R^2 = 0,9775 \quad (3)$$

$$\text{CSB} = 32,743 \cdot c_{\text{EMa}} + 503,81 \quad R^2 = 0,9505 \quad (4)$$

Aufgrund dieser Erkenntnisse kann man von einer Konzentrationszunahme um 30 bis 50 mg/l je 1 ml/l EMA zzgl. der vorliegender Grundverschmutzung des Abwassers ausgehen.

Damit kann die Aussage der Literatur, dass EM-Produkte die Konzentration hinsichtlich BSB<sub>5</sub> und CSB erhöhen, bestätigt werden.

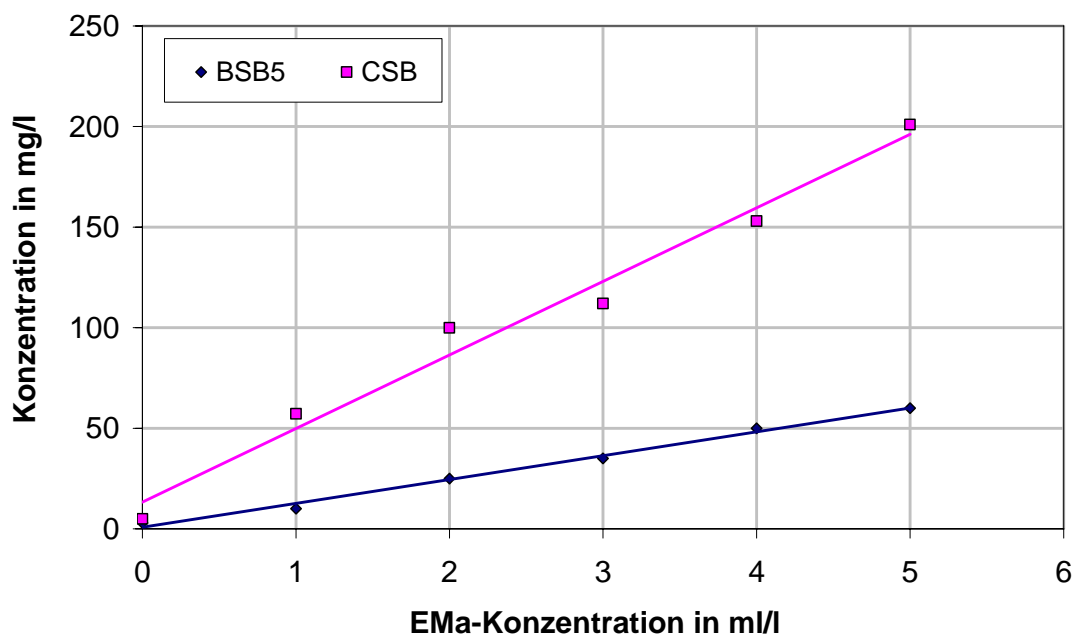


Bild 4.1 Änderung der CSB-/BSB<sub>5</sub>-Konzentration von Trinkwasser durch Zugabe von EMA

## 4.2 Einfluss genormter Zulaufbedingungen auf den Betrieb der KA

### 4.2.1 Nachweis des Einflusses der Wassertemperatur auf den Abbau

Der mikrobiologische Abbau weist eine Temperaturabhängigkeit auf. Nach der Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit um das Zweifache bei einer Temperaturerhöhung von 10 K. Der Kohlenstoffabbau weist in der Regel nur eine schwache Temperaturabhängigkeit auf, da eine Vielzahl an Bakterien beteiligt sind, die sich bis auf 4 °C an die vorherrschende Temperatur anpassen können. Eine Anpassung bei Temperaturänderungen erfolgt innerhalb weniger Tage, sofern sich die anderen Bedingungen in der Anlage, wie Schlammbelastung und Biomassekonzentration, nicht ändern.

Es tritt nur dort eine Temperaturabhängigkeit auf, wo der Abbau durch spezialisierte Bakterien wie beim NH<sub>4</sub>-N-Abbau erfolgt.

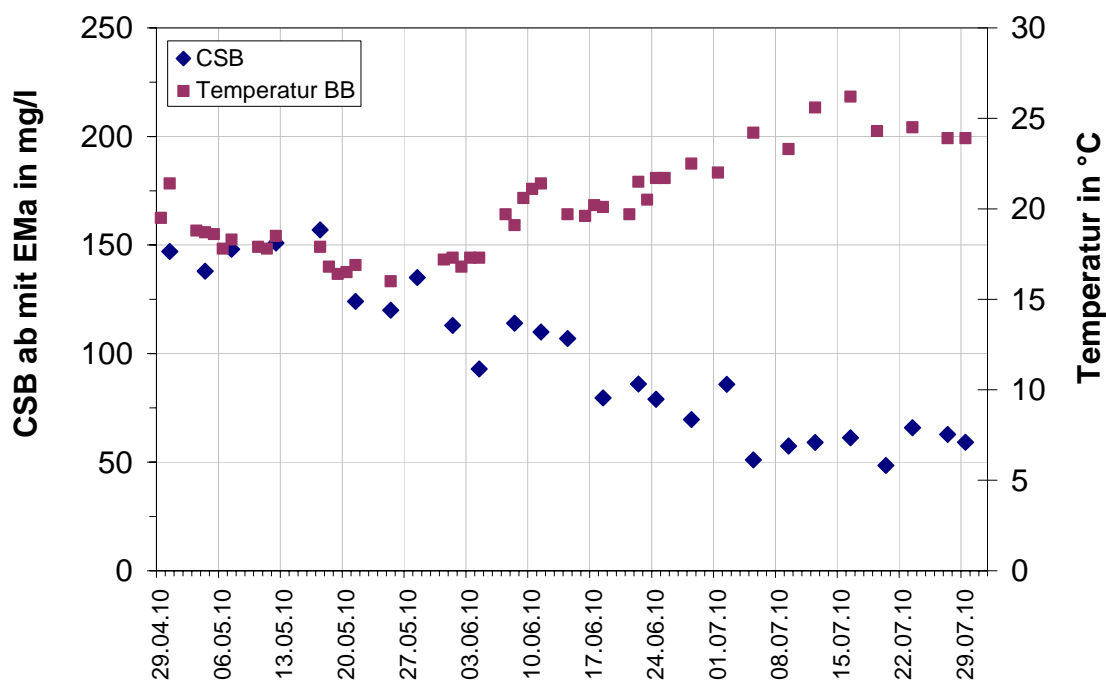


Bild 4.2 Einfluss der Wassertemperatur auf die Ablaufkonzentration

Auch wenn im Allgemeinen keine Temperaturabhängigkeit vorherrschen sollte, gibt es bei den untersuchten Anlagen einen Einfluss der Temperatur auf die Ablaufkonzentration (Bild 4.2). Ab 20 °C sinken die Ablaufwerte dauerhaft unter 100 mg/l CSB. Diese Abhängigkeit besteht unabhängig von der Zugabe des EMa. Sie beschränkt sich jedoch auf den CSB, da hier noch ein Steigerungspotenzial hinsichtlich der Abbaurrate vorhanden ist. Damit verbessert sich die Abbaurrate um 10 %.

Wie Bild 4.3 zeigt, erreicht die BSB<sub>5</sub>-Abbaurrate einen so hohen Wert, dass eine Temperaturabhängigkeit nicht mehr erkennbar ist.

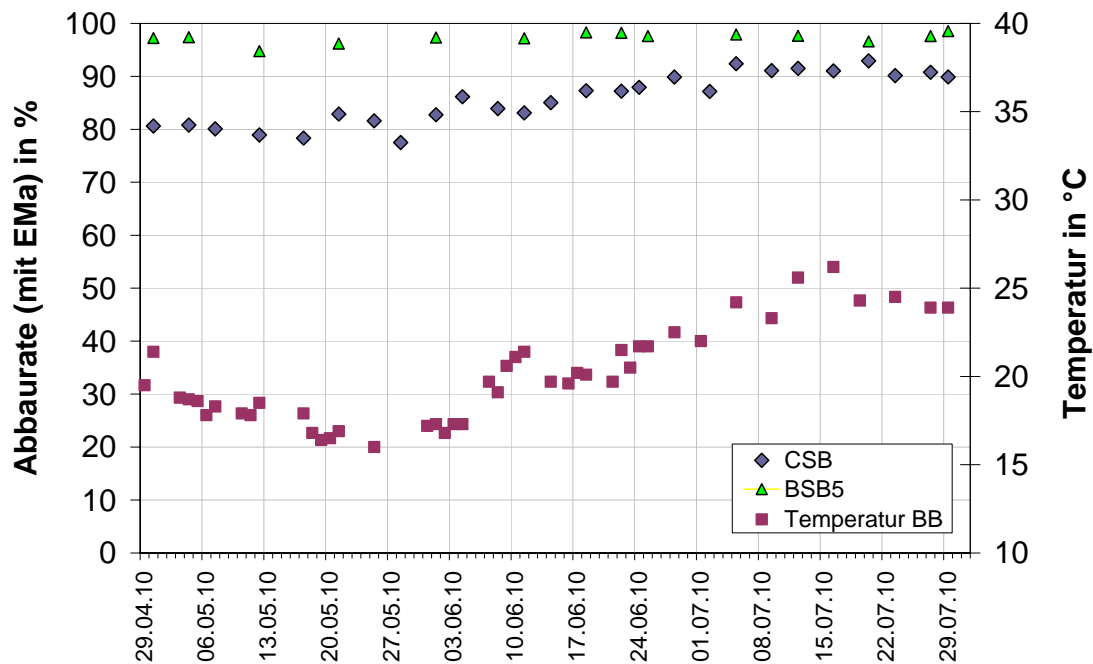


Bild 4.3 Abbauraten grenzwertrelevanter Parameter (EMa-Anlage)

#### 4.2.2 Abbau organischer Substanzen

Trotz höherer Zulaufkonzentration sind durchschnittlich die Ablaufwerte (Tabelle 4.2) denen ähnlich der ohne EMa beaufschlagten Anlage. Die Abbauraten sind bei der Anlage mit EMa leicht höher als bei der Vergleichsanlage, was bei ähnlichem Ablauf durch die unterschiedlichen Zulaufkonzentrationen bedingt ist. Aufgrund der durchschnittlich sehr hohen Abbauraten beider Anlagen ist erkennbar, dass das EMa in der untersuchten Konzentration von 5 ml/l keinen schädlichen Einfluss auf die Abbauleistung einer Abwasserreinigungsanlage hat.

Eine Zuordnung der Abbauleistung zugunsten des EMa ist nicht möglich, da bei den Untersuchungen keine Trennung zwischen dem Abbau durch EMa-Kulturen und durch die im Belebtschlamm gewöhnlich vorkommenden Mikroorganismen möglich war.

Tabelle 4.2 Durchschnittliche Zu- und Ablaufwerte beider Vergleichsanlagen

	Abwasser ohne EMa	Abwasser mit EMa
<b>CSB in mg/l</b>		
Zulauf	538	665
Ablauf	94	97
Abbaurrate	83 %	85 %
<b>BSB<sub>5</sub> in mg/l</b>		
Zulauf	342	451
Ablauf	14,7	12
Abbaurrate	96 %	97 %

Bild 4.4 zeigt den Verlauf der CSB-Zulauf- und Ablaufkonzentration beider Anlagen. Im Anhang 2 ist die Darstellung der BSB<sub>5</sub>-Werte der EMa-Anlage zu finden.

Es sind deutlich die Schwankungsbreite der Zulaufkonzentrationen und der Einfluss von EMa auf diese zu erkennen. Während bei der Vergleichsanlage ohne EMa die Konzentration zwischen 450 mg/l und 650 mg/l CSB schwankt, liegt diese bei der Anlage mit Zugabe von EMa bei 600 ... 750 mg/l CSB.

Positiv ist die Konstanz der CSB-Ablaufwerte ohne größere Abweichungen bei Zugabe der EMa-Lösung. Ausreißer, wie bei der Vergleichsanlage, sind hier nicht zu finden. Mit zunehmender Betriebszeit (ab 03.06.) sinkt die Ablaufkonzentration kontinuierlich. Die Adaption der Mikroorganismen an das Produkt verbesserte sich im Laufe der Zeit sowie die Wassertemperatur – und damit die Vermehrungsrate der Mikroorganismen - stieg an.

Die Vergleichsanlage wies schon ab 13.05. Ablaufkonzentrationen unter 100 mg/l CSB auf, allerdings schwankten diese in Abständen und führten teilweise zur Überschreitung der Grenzwerte. Eine Ursache dafür konnte nicht gefunden werden.

Die BSB<sub>5</sub>-Darstellungen weisen ähnliche Schwankungen im Zulauf auf. Die Ablaufkonzentrationen verändern sich allerdings hier nicht in der Größenordnung wie der CSB. Unabhängig von der Zugabe von EMa werden von Beginn an der Messung niedrige Ablaufwerte erreicht.

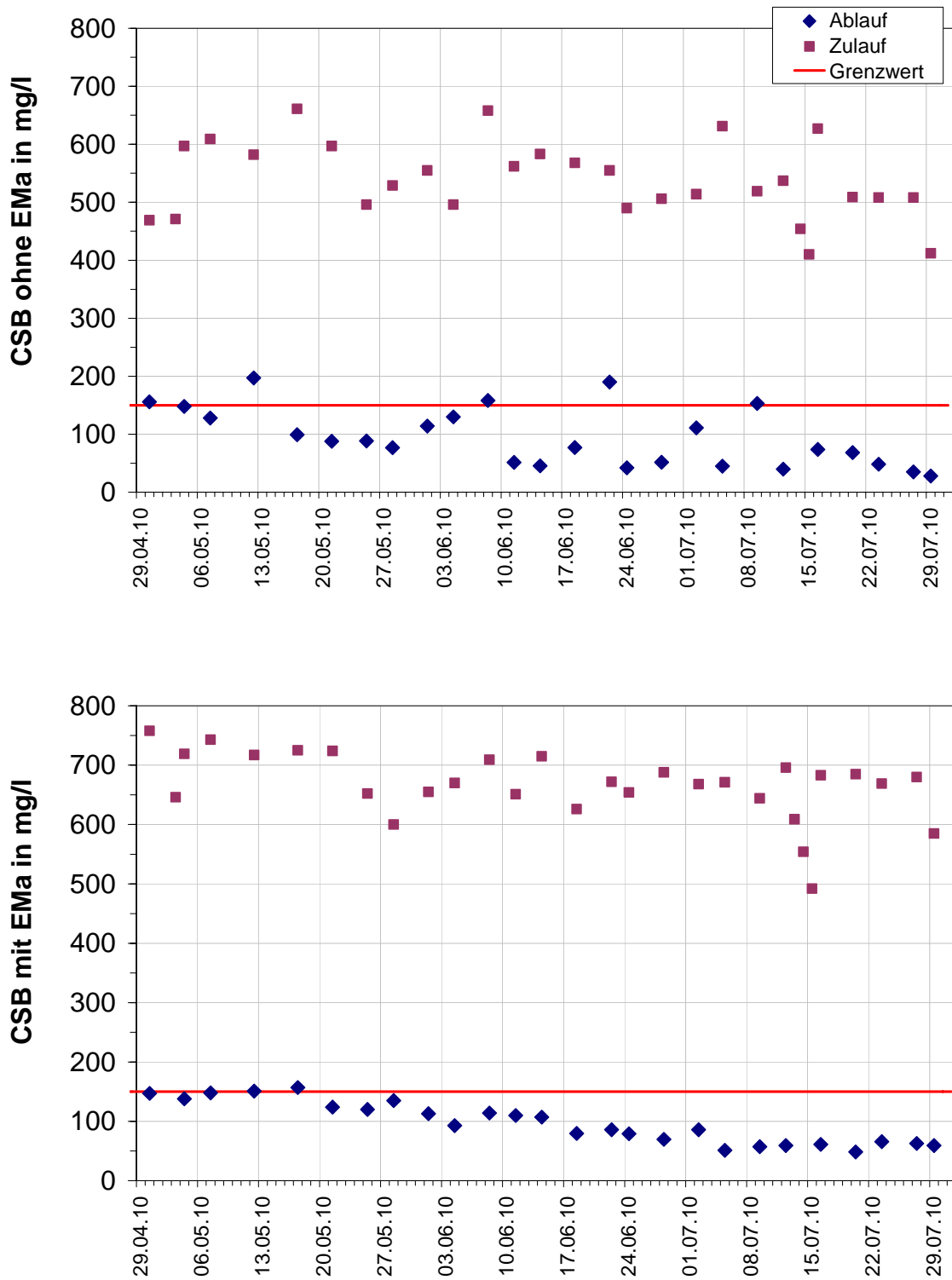


Bild 4.4 Abbau des CSB beider Vergleichsanlagen (oben: ohne EMA, unten mit 5 ml/l EMA)

Zusammenfassend zeigt Bild 4.3 die für die grenzwertrelevanten Parameter ermittelten Abbauraten innerhalb der Anlage mit EMa-Zufuhr. Erkennbar ist auch hier der leichte Anstieg der CSB-Abbaurrate in Abhängigkeit der Temperatur.

Hinsichtlich des Sauerstoffgehaltes in beiden belüfteten Becken konnten keine Unterschiede festgestellt werden.

### 4.2.3 Veränderungen des Schlammanfalls

Bei beiden Anlagen konnte in der Betriebsphase bis Anfang Juni die Bildung von Schwimmschlamm festgestellt werden. Dieser gestaltete sich vom Aussehen jedoch je nach Abwasserqualität unterschiedlich. Der Schwimmschlamm in der Anlage ohne EMa nahm ein typisch schlammförmiges, unstrukturiertes Aussehen an. In der Nachklärung der EMa-Anlage bildeten sich pelletförmige Schlammknäuel (Bild 4.5) aus, die sich nicht bei Entnahme auflösten.

Das Schwimmschlammaufkommen wurde im Laufe des Betriebs bei der EMa-Anlage geringer als bei der Vergleichsanlage.



Bild 4.5 Schwimmschlamm in der Nachklärung der EMa-Anlage in der Form größerer Pellets (rote Markierung)

Die EMa-Anlage wies eine Schaumbildung (Bild 4.6) innerhalb des gesamten Versuchszeitraums auf. Der Schaum drückte Belebtschlammpartikel regelmäßig an die Anlagenwandung oberhalb der Wasseroberfläche, so dass dieser Schlamm nicht mehr dem Reinigungsprozess zur Verfügung stand. Zudem nahm die Stärke der Schaumbelastung zu, so dass einmalig am 21.05. ein Entschäumer eingesetzt wurde, um ein kontinuierliches Übertreten des Schaumes über den Beckenrand zu verhindern.



Bild 4.6 Schaumbildung auf dem belüfteten Becken der EMa-Anlage führte zum Austrag von Belebtschlamm

Trotz des Austrags von Belebtschlamm aus der Anlage durch Entfernung des Schwimmschlammes und Schaumes trat ein Zuwachs an Trockensubstanz auf. Bild 4.7 zeigt den Belebtschlammanteil als Trockensubstanz  $TS_{BB}$  und die durchgeführten Entnahmen von Schlamm getrennt nach Anlage.

Alle sieben bis 14 Tage war mindestens 1 g/l TS aus der EMa-Anlage zu entfernen, um die gewünschten Betriebsbedingungen einzuhalten (durchgezogene Pfeile). Bei der Vergleichsanlage ohne EMa-Zufuhr waren die Abstände größer (gestrichelte Pfeile). Mit steigender Wassertemperatur verkürzten sich diese Zeiten jedoch.

Das zeigt, dass die EMa-Anlage eine biologisch deutlich höhere Aktivität hinsichtlich der Vermehrung der Mikroorganismen aufweist. Ursache können die der Anlage durch das EMa zugeführten Bakterien, Hefen und Pilze sein.

Eine Schlammreduktion in der Kläranlage durch anaeroben Abbau, wie sie in der Literatur genannt wird, konnte im Rahmen der Versuche nicht untersucht werden, da die Versuchsanlagen keinen Schlammspeicher aufwiesen.



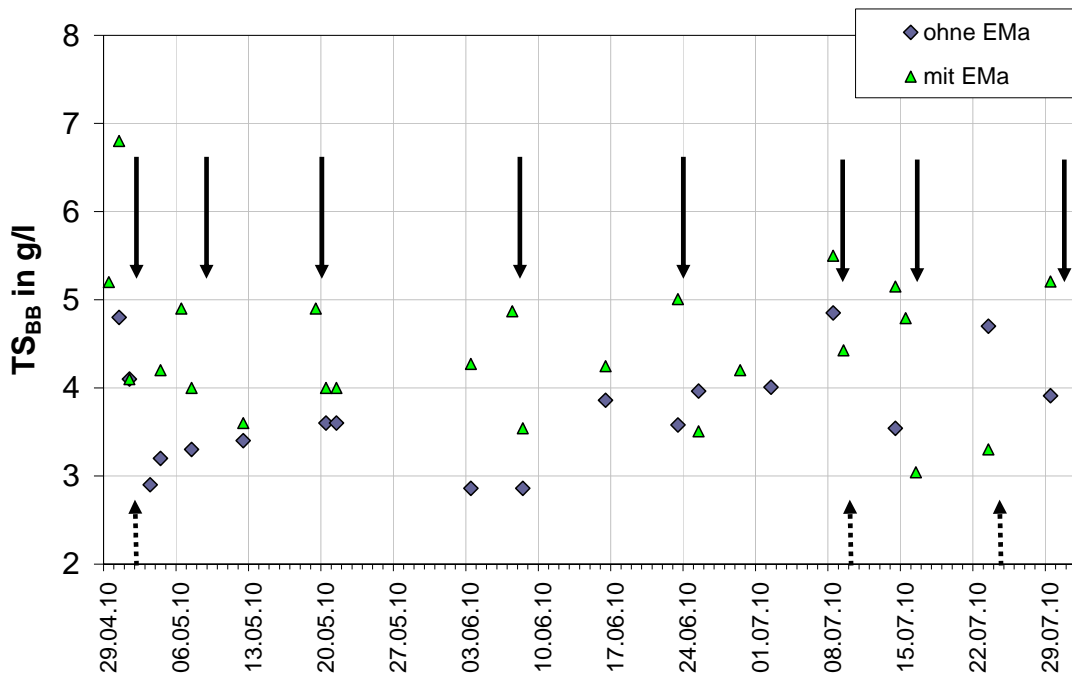


Bild 4.7 Belebtschlammmenge und Entfernungszyklen aus der Anlage (durchgezogen: Anlage mit EMA beaufschlagt, gestrichelt: Anlage ohne EMA-Zufuhr)

#### 4.2.4 Vergleich des mikrobiologischen Bildes

Die Untersuchung des mikrobiologischen Bildes sollte Differenzen zwischen den beiden Anlagen hinsichtlich der Schlammbeschaffenheit sowie den auftretenden Ein- und Mehrzellern aufzeigen. Diese Mikroorganismen lassen sich mit einfachen Mitteln schnell bestimmen. Sie besitzen eine Indikatorfunktion hinsichtlich der Belastungssituation und einiger technischer Parameter. Eine bakteriologische Bestimmung fand nicht statt.

Das mikrobiologische Bild, dessen Daten in Tabelle 4.3 wiedergegeben werden, zeigte keine signifikanten Unterschiede in der Zusammensetzung der Biologie beider Anlagen. Beide Anlagen arbeiteten als stabile, normal belastete Anlagen mit einer ausreichenden Sauerstoffversorgung. Bei der Vergleichsanlage ohne EMA konnte eine größere

Artenvielfalt bei den Einzellern ermittelt werden. Die Anlage mit EMA-Zufuhr wies eine deutlich höhere Anzahl an Mehrzellern und etwas größere Flocken auf. Die mäßige Gesamtfädigkeit spiegelte sich auch in der Schwimmschlammproblematik wieder, die bei der Anlage ohne EMA-Zufuhr länger ausgeprägt war als bei der Anlage mit EMA-Zufuhr.

Tabelle 4.3 Aufnahme des mikrobiologischen Bildes

	<b>Anlage ohne EMA</b>	<b>Anlage mit EMA</b>
<b>Flockenform</b>	abgerundet	abgerundet
<b>Dichte/Struktur</b>	fest	fest
<b>Größe</b>	klein	mittel
<b>Gesamtfädigkeit</b>	mäßig	gering
<b>Wimpertierchen <sup>*)</sup></b>		
- Litonotus spec.	bis 5	-
- Vorticella convallaria	bis 5	-
- Opercularia spec.	mehr als 10	mehr als 10
<b>Rotaria <sup>*)</sup></b>	bis 5	bis 10

<sup>\*)</sup> Anzahl der Organismen

Eine desinfizierende Wirkung der EMA-Lösung (5 ml EMA/l Abwasser) kann aufgrund der sehr guten Abwasserreinigung (angezeigt durch die Ablaufwerte) und dem mikrobiologischen Bild nicht bestätigt werden.

### 4.3 Einfluss einer erhöhten Zulaufkonzentration

Tritt eine höhere Belastung mit organischem Material auf, muss sich die Biologie an die neue Umgebungssituation anpassen. Aufgrund der notwendigen Umstellung der Mikroorganismen ist die Abwasserreinigung zu dieser Zeit stark eingeschränkt und kann im ungünstigsten Fall zum Erliegen kommen.

Um eine Änderung der Zulaufsituation zu simulieren, wurde in einem dreiwöchigen Versuch eine um 300 bis 400 mg/l CSB erhöhte Zulaufkonzentration eingestellt. Eine Adaption der Mikroorganismen erfolgte innerhalb einer Woche.

Die Erhöhung führte im Bereich der Anlage ohne EMa-Zufuhr zu deutlichen Gerucherscheinungen im Zulauf. Der Anlagenbereich mit EMa-Zufuhr blieb hingegen geruchsfrei.

Die Ablaufergebnisse stellen sich besonders beim CSB etwas ungünstiger im Vergleich zu denen bei normaler Belastung dar. Trotzdem halten beide Kläranlagen die geforderten Grenzwerte der Größenklasse 1 unabhängig von der EMa-Zufuhr ein (Tabelle 4.4). Bild 4.8 zeigt den Verlauf der Zu- und Ablaufqualität im Beprobungszeitraum. Auffällig ist hier gerade bei der EMa-Anlage die Nähe der Ablaufwerte am Grenzwert.

Tabelle 4.4 Durchschnittliche Zu- und Ablaufwerte beider Vergleichsanlagen bei erhöhter Zulaufbelastung

	Abwasser ohne EMa	Abwasser mit EMa
<b>CSB in mg/l</b>		
Zulauf	843	944
Ablauf	120	148
Abbaurrate	86 %	84 %
<b>BSB<sub>5</sub> in mg/l</b>		
Zulauf	483	557
Ablauf	16	27
Abbaurrate	97 %	95 %

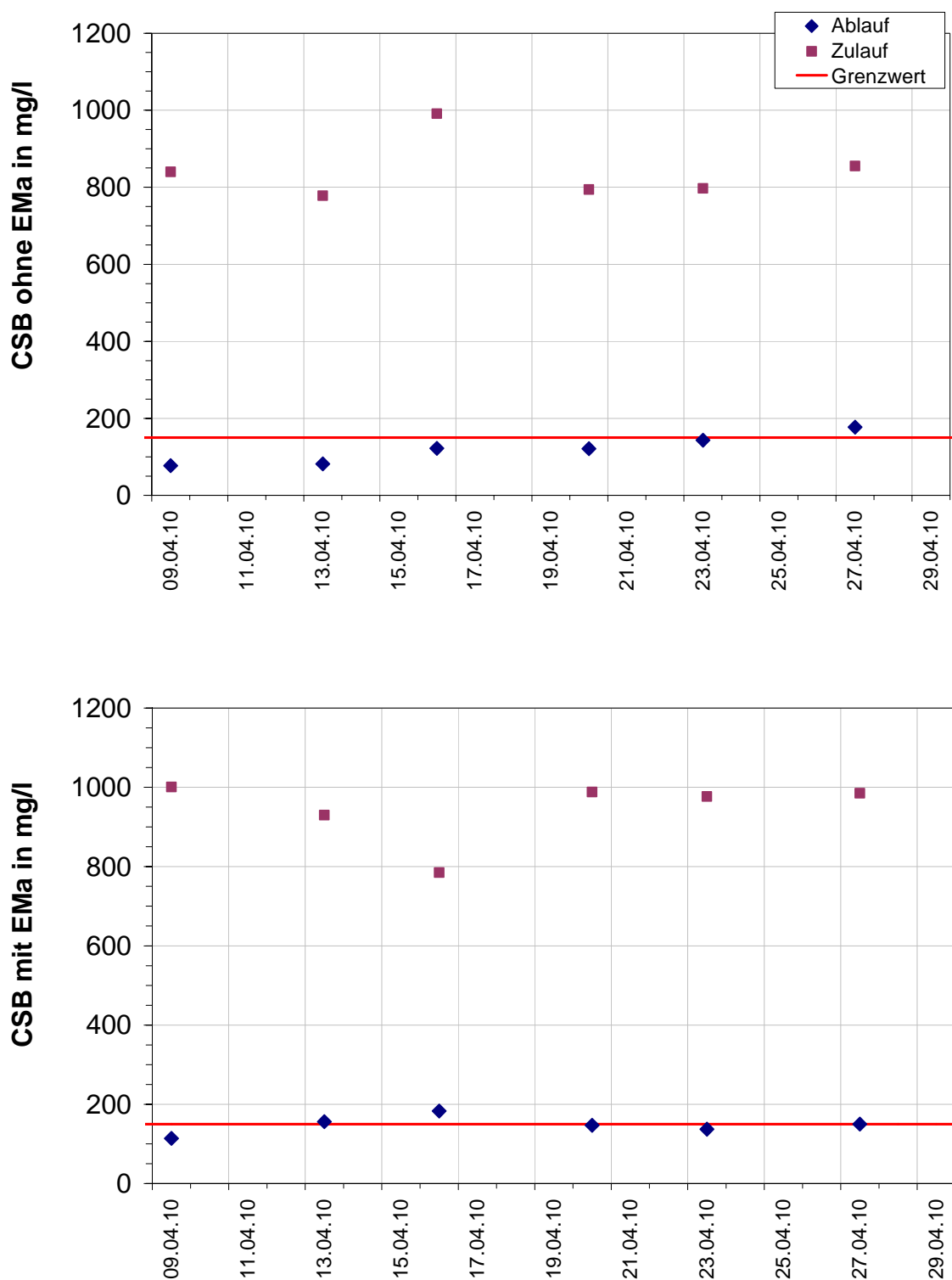


Bild 4.8 Abbau des CSB beider Vergleichsanlagen bei erhöhten Zulaufkonzentrationen (oben: ohne EMa; unten: mit EMa)

## 5 Zusammenfassung

Effektive Mikroorganismen werden bei der Herstellung von Lebensmitteln wie auch zur Verbesserung der Eigenschaften von Böden eingesetzt. Untersuchungen zu ihrem Einfluss auf die Geruchsbildung und die Abwasserreinigung werden nicht ausführlich dargestellt bzw. bewertet oder lassen nicht eindeutig erkennen, welches Produkt genutzt wurde. Allgemein wird jedoch in der Literatur über einen positiven Trend hinsichtlich des Einflusses von effektiven Mikroorganismen auf den Abwasserbereich berichtet.

Die im Rahmen der Studie durchgeführten Versuche sollten als erstes den grundlegenden Einfluss von EMA auf die physikalisch-chemischen Parameter klären. Der Anteil organischer Substanzen im EMA führte trotz einer geringen Konzentration von 5 ml/l zu einer deutlichen Erhöhung der Kohlenstoffparameter um durchschnittlich 30 bis maximal 50 mg/l CSB bzw. BSB<sub>5</sub> je 1 ml/l EMA. Damit können die Aussagen der Literatur über eine Erhöhung mit Werten belegt werden.

Einen signifikanten Einfluss auf pH-Wert, Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt im belüfteten Becken haben Konzentrationen bis 5 ml/l EMA nicht.

Weiterhin wurde der biologische Abbau organischer Substanzen bei zwei baugleichen Anlagen mit und ohne 5 ml/l EMA-Zufuhr bewertet. Das definierte künstliche Abwasser nach DIN 38412 – L 26 und die sonst ähnlichen Anlagenparameter ermöglichten vergleichbare Ergebnisse. Es wurden die Ablaufveränderungen beider Anlagen bei einer genormten und einer um 300 bis 400 mg/l CSB erhöhten Zulaufkonzentration ermittelt.

Bei Einsatz des genormten Abwassers führten die bedingt durch das EMA höheren Zulaufkonzentrationen nicht zu einer Verschlechterung der Ablaufergebnisse. Die Grenzwerte der AbwV (Größenklasse 1) wurden unter allen Bedingungen eingehalten. Beim CSB konnten über 83 % der Schmutzfracht, beim BSB<sub>5</sub> über 96 % der Schmutzfracht unabhängig von der Zugabe des EMA abgebaut werden. Dabei verbesserte sich die Abbaurate bei Temperaturen über 20 °C um etwa 10 %.

Die Anlage mit EMA-Zufuhr besaß im Gegensatz zur Referenzanlage ohne EMA keine größeren Schwankungen im Ablaufwert. Diese Konstanz weist auf eine sehr gut ausgebildete und flexible Biologie hin. Die mikrobiologische Untersuchung des Belebtschlammes zeigte bei beiden Anlagen eine stabile, normal belastete Anlage mit einer ausreichenden Sauerstoffversorgung an. Ein eindeutiger Einfluss der EMA-Zugabe auf die Abbaubarkeit oder die Abbaurate konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Hier wird das System durch die Temperatur und die relativ schnelle Adaption der Mikroorganismen an das vorhandene Substrat beeinflusst.

Auch der sich auf der Nachklärung beider Anlagen bildende Schwimmschlamm trat bei der EMa-Anlage deutlich seltener auf als bei der Vergleichsanlage. Dies war erstaunlich, da durch die Zugabe von EMa deutlich mehr Schlamm im Belebungsbecken anfällt und sich dort eine langanhaltende Schaumschicht ausbildete. Der Verlust des Belebtschlammes durch Schwimmschlamm und Schaumbildung wurde durch eine höhere Schlamm-Bildungsrate ausgeglichen. Innerhalb von sieben bis 14 Tagen wurden aus der EMa-Anlage etwa 1 g/l TS entfernt.

Die Referenzanlage wies diese Bildungsrate erst nach Erhöhung der Wassertemperatur auf über 20 °C auf.

Eine Simulation erhöhter Zulaufwerte über drei Wochen sollte Aussagen zur Abbauleistung bei Frachtänderungen ermöglichen. Die CSB-Ablaufwerte lagen grundsätzlich höher als die bei der genormten Abwasserzuleitung, jedoch immer noch unterhalb der Grenzwerte. Im Bereich der BSB<sub>5</sub>-Ablaufkonzentration gab es keinen deutlichen Unterschied zur Normallast. Bei der Referenzanlage traten aber im Zulauf unangenehme Gerüche auf, während die mit EMa beaufschlagte Anlage weitgehend geruchsfrei blieb.

## Literatur

- [1] Aßmann, J. (2005): EM-Heidelbeeren aus dem Schwarzwald. EM Journal (2005) 8, H. 13, 3-5
- [2] Boyd, J. (1999): Blanket Pre-Treatment – An innovative solution to some age-old problems. Proc. 6<sup>th</sup> International Conference on Kyusei Nature Farming, [http://www.infrc.or.jp/english/KNF\\_Data\\_Base\\_Web/6th\\_Conf\\_S\\_2\\_2.html](http://www.infrc.or.jp/english/KNF_Data_Base_Web/6th_Conf_S_2_2.html), Zugriff am 02.06.2010
- [3] DIN 38412 – L 26: Abbau- und Eliminations-Test zur Simulation kommunaler Kläranlagen. Beuth Verlag Berlin
- [4] Rashid, M. T.; West, J. (2007): Dairy Wastewater Treatment with Effective Microorganisms and Duckweed for Pollutants and Pathogen Control. Aus Zaidi, M. K. (2007): Wastewater Reuse–Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security. NATO Security through Science Series, 93-102
- [5] Quang, L. K. (2006): Utilization of EM technology for overcoming some environmental problems in Vietnam. EM Technology Database, 2006, <http://www.bionrg.it/upload/studi/AMBIENTE3.pdf> , Zugriff am 20.08.2010
- [6] Wididana, G. N. (2006): Preliminary Experiment of EM Technology on Waste Water Treatment, Indonesian Kyusei Nature Farming Society, Indonesia, EM Technology Database, 2006, <http://www.envismadrasuniv.org/pdf/Preliminary%20Experiment%20of%20EM%20Technology%20on%20Waste%20Water%20Treatment.pdf>, Zugriff am 20.08.2010
- [7] Szymanski, N.; Patterson, R. A. (2003): Effective microorganisms and wastewater systems. In: R. A. Patterson & M. J. Jones: Future Directions for On-site Systems. Best Management Practice. Proc. of On-site '03 Conference. Lanfax Laboratories, Armidale 2003, 347–354
- [8] Mayer, J.; Scheid, S.; Widmer, F.; Fließbach, A.; Oberholzer, H.-R. (2007): Wirkungen von ‚Effektiven Mikroorganismen EM‘ auf pflanzliche und bodenmikrobiologische Parameter im Feldversuch. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau der Universität Hohenheim, S. 20–23. [http://orgprints.org/9691/1/9691\\_Mayer\\_Vortrag.pdf](http://orgprints.org/9691/1/9691_Mayer_Vortrag.pdf), Zugriff 17.06.2010
- [9] Hasslinger, D. (2006): Überprüfung der Reinigungswirkung ‚EM-Effektiver® Mikroorganismen‘. Diplomarbeit an der Fachhochschule Wels, 05.09.2006

- [10] Shihab, M. S. (2010): assessment of Using Chemical Coagulants and Effective Microorganisms in Sludge Dewaterability Process Improvement. *J. Environ. Sci. Technol.* 3 (2010) 1, 35-46
- [11] Teubner, K.; Ausserbrunner, J.; Watschinger, G. (2007): Verringerung des Phosphorgehaltes und die Aufrechterhaltung des hygienischen Standards eines Schwimmteichsystems im Öko-Camp bei Eggerding (Österreich). [http://www.multikraft.com/redx/tools/mb\\_download.php/mid.x4d43496b6b6835544e69733d/oekocamp\\_deutsch\\_11.pdf](http://www.multikraft.com/redx/tools/mb_download.php/mid.x4d43496b6b6835544e69733d/oekocamp_deutsch_11.pdf), Zugriff am 20.06.2010
- [12] Zimmermann, I.; Kamukuenjandje, R. T. (2008): Overview of a variety of trials on agricultural applications of Effective Microorganisms (EM). *Z. Agricola*, 17-26
- [13] Jin, M.; Wang, X.-W.; Gong, T.-S.; Gu, C.-Q.; Zhang, B.; Shen, Z.-Q.; Li, J.-W. (2005): A novel membrane bioreactor enhanced by effective microorganisms for the treatment of domestic wastewater. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* (2005) 69, 229–235
- [14] Ahmad, S.; Aslam, M.; Zeb, J. (1999): EM Bio-Generator for Amending Sodic Groundwater. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Conf. Kyusei Nature Farming*. [http://www.infrc.or.jp/english/KNF\\_Data\\_Base\\_Web/6th\\_Conf\\_S\\_4\\_5.html](http://www.infrc.or.jp/english/KNF_Data_Base_Web/6th_Conf_S_4_5.html), Zugriff am 20.08.2010
- [15] Okuda, A.; Higa, T. (1997): Purification of wastewater with effective microorganisms and its utilization in agriculture. *Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. Kyusi Nature Farming*, [http://www.infrc.or.jp/english/KNF\\_Data\\_Base\\_Web/5th\\_Conf\\_S\\_8\\_2.html](http://www.infrc.or.jp/english/KNF_Data_Base_Web/5th_Conf_S_8_2.html), Zugriff am 20.08.2010
- [16] Hanekom, D.; Prinsloo, J.F.; Schoonbee, H.J. (1999): A comparison of the effect of anolyte and EM on the faecal bacterial loads in the water and on fish produced in pig-cum-fish integrated production units. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Conf. Kyusi Nature Farming*. [http://www.infrc.or.jp/english/KNF\\_Data\\_Base\\_Web/6th\\_Conf\\_S\\_3\\_1.html](http://www.infrc.or.jp/english/KNF_Data_Base_Web/6th_Conf_S_3_1.html), Zugriff am 2.07.2010
- [17] Theunissen, J. C. J.; Truijen, G. J. P.; van Jaarsveld, P. D.; Verhoogt, J. C. (2005): Effect of Effective Microorganisms (E.M.-A) on sludge production and biological wastewater treatment system performance. Van Hall Instituut (NL), Mai 2005, unveröff.
- [18] Waldhoff, A. (2008): Hygienisierung von Mischwasser in Retentionsbodenfiltern (RBF). *Schriftenreihe Wasser – Abwasser – Umwelt* Heft 30, Kassel
- [19] Morrison, K.; Cox, F.; McGrath, M. (2002): EM and an Innovative Composting Toilet. *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. Kyusi Nature Farming*. [http://www.infrc.or.jp/english/KNF\\_Data\\_Base\\_Web/7th\\_Conf\\_S\\_9\\_3.html](http://www.infrc.or.jp/english/KNF_Data_Base_Web/7th_Conf_S_9_3.html), Zugriff am 20.08.2010



- [20] Tadeo, B. D.; Corales, R. C.; Aldas, R. E.; Truong, H. X.; Ramos, P. S.; Ablaza, N. A.: Development of eco-profitable agricultural products by system integration of biomass and other household farm wastes in the Philippines. <http://www.brdisolutions.com/pdfs/bcota/abstracts/26/20.pdf>, Zugriff am 20.08.2010
- [21] Newton, R. K.; Bellamy, K. M. (1999): Verfahren zur Behandlung von Abwasser. Europäische Patentanmeldung Nr. 99 928 898.8
- [22] Straub, A.; Ilian, J.; Eschenhagen, M.; Bergmann, M.; Röske, I. (2009): Nutzung biologisch gereinigter Abwässer aus Kleinkläranlagen für Bewässerungszwecke. Jahrbuch Kleinkläranlagen 2009 des DWA Landesverbands Sachsen-Thüringen, 102-109
- [23] Kobayashi, M.; Kobayashi, M. (2002). Roles of Phototrophic bacteria and their utilization. Purification of Wastewater by Phototrophic bacteria. zit. in SCD Probiotics – White Papers. [http://www.scdprobiotics.com/Wastewater\\_Treatment\\_Using\\_SCD\\_Probiotics\\_Technology\\_s/347.htm](http://www.scdprobiotics.com/Wastewater_Treatment_Using_SCD_Probiotics_Technology_s/347.htm), Zugriff am 20.08.2010
- [24] Scheck, A.; Küng, V. (2008): Organismenhaltige Produkte und Anwendungen: Grundlagen für die Überwachung und Kontrolle von absichtlich in der Umwelt eingesetzten Organismen gemäß Freisetzungsverordnung. AWEL Sektion Biosicherheit (SBS) Kanton Zürich, Oktober 2008, [http://www.biosicherheit.zh.ch/internet/bd/awel/awb/bs/de/sbs\\_dokumente.html](http://www.biosicherheit.zh.ch/internet/bd/awel/awb/bs/de/sbs_dokumente.html), Zugriff am 17.06.2010
- [25] US Patent 5707856; Microbiological method for disposing of organic waste materials. Issued on January 13, 1998; Inventor(s): Teruo Higa, <http://www.patentstorm.us/patents/5707856-claims.html>  
US Patent 5698028; Composition and process for improving soil. Issued on December 16, 1997; Inventor(s): Teruo Higa, <http://www.patentstorm.us/patents/5698028.html>, beide Patente zit. in [24]
- [26] Wikipedia-Eintrag “Effektive Mikroorganismen“: [http://de.wikipedia.org/wiki/Effektive\\_Mikroorganismen](http://de.wikipedia.org/wiki/Effektive_Mikroorganismen). zit. in [24]
- [27] Zuang, H.(1987): Les cultures légumières sur substrat. Installation et conduite CTIFL Paris, 276 ff.
- [28] Mau, F. P. (2002): EM Fantastische Erfolge mit Effektiven Mikroorganismen in Haus und Garden, für Pflanzenwachstum und Gesundheit - Anwenderbuch. Wilhelm Goldmann Verlag, München
- [29] AbwV (2004): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV), vom 17.06.2004, BGBl. I/2004, S. 1108 und 2625

- 
- [30] TrinkwV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) vom 21.05.2001, BGBl. I/2004, S. 959
- [31] BbgOwTwV (1997): Verordnung über die Qualitätsanforderungen an oberirdische Gewässer für die Entnahme von Wasser zum Zwecke der Trinkwasserversorgung (Brandenburgische Oberflächenwasserqualitätsverordnung für Trinkwasserentnahmezwecke - BbgOwTwV) vom 15. April 1997, GVBl. II/1997, S. 218

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Anforderungen an die Qualität des Abwassers für das Einleiten in ein Gewässer nach AbwV [29] .....	6
Tabelle 2.2	Zulauf- und Ablaufcharakteristik verschiedener Abwasserreinigungsanlagen.....	8
Tabelle 2.3	Abbauarten verschiedener Parameter in Kläranlagen mit bzw. ohne EM-Zugabe [4, 5, 6] .....	9
Tabelle 3.1	Analysevorschriften sowie Probenahmestellen der untersuchten Parameter.....	15
Tabelle 4.1	Änderung chemisch-physikalischer Parameter von Trinkwasser in Abhängigkeit der EMa-Konzentration.....	16
Tabelle 4.2	Durchschnittliche Zu- und Ablaufwerte beider Vergleichsanlagen.....	21
Tabelle 4.3	Aufnahme des mikrobiologischen Bildes .....	26
Tabelle 4.4	Durchschnittliche Zu- und Ablaufwerte beider Vergleichsanlagen bei erhöhter Zulaufbelastung .....	27

## Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1	Schematische Darstellung der Abwasserreinigungsstufen.....	5
Bild 2.2	CSB-Ablaufwerte zweier Systeme mit gleichem Zulauf bei normaler Beschickung [17] .....	10
Bild 3.1	Schematische Darstellung der Laborkläranlage.....	13
Bild 4.1	Änderung der CSB-/BSB <sub>5</sub> -Konzentration von Trinkwasser durch Zugabe von EMa .....	18
Bild 4.2	Einfluss der Wassertemperatur auf die Ablaufkonzentration .....	19
Bild 4.3	Abbauraten grenzwertrelevanter Parameter (EMa-Anlage).....	20
Bild 4.4	Abbau des CSB beider Vergleichsanlagen (oben: ohne EMa, unten mit 5 ml/l EMa) .....	22
Bild 4.5	Schwimmschlamm in der Nachklärung der EMa-Anlage in der Form größerer Pellets (rote Markierung).....	23
Bild 4.6	Schaumbildung auf dem belüfteten Becken der EMa-Anlage führte zum Austrag von Belebtschlamm .....	24
Bild 4.7	Belebtschlammmenge und Entfernungszyklen aus der Anlage (durchgezogen: Anlage mit EMa beaufschlagt, gestrichelt: Anlage ohne EMa-Zufuhr) .....	25
Bild 4.8	Abbau des CSB beider Vergleichsanlagen bei erhöhten Zulaufkonzentrationen (oben: ohne EMa; unten: mit EMa).....	28
Bild A0.1	BSB <sub>5</sub> –Konzentrationsverlauf in der EMa-Anlage unter genormten Bedingungen .....	40

## Anhang

### Anhang 1 Auflistung der Mikroorganismen aus Mischungen von Effektiven Mikroorganismen inkl. Risikoabschätzung [24]

In der Tabelle werden Organismenarten von EM zusammengestellt, die aus verschiedenen Quellen stammen. Die entsprechenden Referenzen, welche in der Spalte „Spezies“ als Zahl gekennzeichnet sind, werden im Anschluss dieser Tabelle aufgeführt. Ebenso sind hier die Erläuterungen zu den Einträgen in den Spalten „Gruppe“ zu finden.

Spezies	Gruppe: BAFU-Bakterienliste	Gruppe: BAFU-Pilzliste	Aktuelle Nomenklatur, Kommentar
<i>Aspergillus japonicus</i> <sup>4)</sup>		x	
<i>Aspergillus oryzae</i> <sup>1) + 4)</sup>		2 v	
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>2)</sup>	1 +		
<i>Bacillus subtilis</i> var. <i>natto</i> <sup>3)</sup>	(1 +)		
<i>Bifidobacterium animalis</i> <sup>2) + 3)</sup>	1		
<i>Bifidobacterium bifidum</i> <sup>2) + 3)</sup>	1		
<i>Bifidobacterium longum</i> <sup>2) + 3)</sup>	1		
<i>Candida utilis</i> <sup>1) + 4)</sup>		2 h	
<i>Chlorobium limicola</i> <sup>4)</sup>	1		
<i>Chromatium okenii</i> <sup>4)</sup>	1		
<i>Lactobacillus acidophilus</i> <sup>2) + 3)</sup>	1 +		
<i>Lactobacillus buchneri</i> <sup>3)</sup>	1		
<i>Lactobacillus bulgaricus</i> <sup>2) + 3) + 4)</sup>	1		<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>
<i>Lactobacillus casei</i> <sup>1) + 2) + 3)</sup>	1		
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> <sup>2) + 3)</sup>	1		

<b>Spezies</b>	<b>Gruppe: BAFU-Bakterienliste</b>	<b>Gruppe: BAFU-Pilzliste</b>	<b>Aktuelle Nomenklatur, Kommentar</b>
Lactobacillus fermentum <sup>2)</sup>	1		
Lactobacillus plantarum <sup>1) + 2) + 3)</sup>	1		
Lactococcus diacetylactis <sup>2) + 3)</sup>	–		
Lactococcus lactis <sup>2) + 3)</sup>	1		
Micromonospora chalcea <sup>4)</sup>	1		
Mucor hiemalis <sup>1) + 4)</sup>		1(p) oder 2(h)	in Wikipedia falsch als M. hienalis referenziert
Nocardia asteroides <sup>4)</sup>	2		
Pediococcus halophilus <sup>4)</sup>	1		
Propionibacterium freudenreichii <sup>4)</sup>	1		
Rhodobacter sphaeroides <sup>1)</sup>	1		
Rhodococcus rhodochrous <sup>4)</sup>	1		
Rhodopseudomonas palustris <sup>1) + 2) + 3)</sup>	1		
Rhodopseudomonas sphaeroides <sup>2) + 4)</sup>	1		Rhodobacter sphaeroides
Rhodospirillum rubrum <sup>4)</sup>	1		
Saccharomyces cerevisiae <sup>1) + 2) + 3) + 4)</sup>		1(TA) oder 2(h,v)	
Saccharomyces lactis <sup>4)</sup>		–	
Streptococcus faecalis <sup>4)</sup>			Enterococcus faecalis
Streptococcus lactis <sup>1) + 4)</sup>	1		Lactococcus lactis subsp. lactis
Streptococcus thermophilus <sup>2) + 3)</sup>	1		
Streptomyces albus <sup>4)</sup>	1		
Streptoverticillium baldaccii <sup>4)</sup>			Streptomyces baldaccii

### Legende (aus der Bakterien- und Pilzliste des BAFU)

- 1 Organismen, die kein oder ein vernachlässigbar kleines Risiko aufweisen.
- 2 Organismen, die ein geringes Risiko aufweisen.
- + In Einzelfällen als Krankheitserreger nachgewiesen oder vermutet, überwiegend bei erheblich abwehrgehinderten Menschen; Identifizierung der Art oft nicht zuverlässig.
- TA Arten, von denen Stämme seit langem ohne erkennbares Risiko für technische Anwendungen zum Einsatz kommen. Entsprechend den Kriterien zur Einstufung können diese Stämme somit der Gruppe 1 zugeteilt werden.
- h In der Literatur belegte pathogene Wirkung auf den Menschen, einschließlich Personen mit Immunschwäche. Die Arten werden grundsätzlich den Gruppen 2 und 3 zugeordnet.
- v In der Literatur belegte pathogene Wirkung auf Wirbeltiere (Säugetiere ohne Mensch, Vögel, Fische, Reptilien und Amphibien). Die Arten werden grundsätzlich den Gruppen 2 und 3 zugeordnet.
- P Pflanzenpathogen. Nach heutigem Kenntnisstand kann noch nicht endgültig entschieden werden, ob der Organismus pflanzenpathogen ist.
- x Noch ohne Einstufung.

### Quellen für Zusammensetzung der EM-Stammkulturen

Auflistungen einzelner Arten für die Zusammensetzung der EM-Stammkulturen	
1)	Organismen, die nach SZYMANSKI UND PATTERSON [7] hauptsächlich in EM-Präparaten (ebenfalls in Wikipedia so aufgelistet) enthalten sind.
2)	Organismen, die nach Wikipedia [26] in der Stammkultur 1 („Haupt-EM-Mutterkultur“ eines amerikanischen Herstellers) enthalten sind.
3)	Organismen, die nach Wikipedia [26] in der Stammkultur 2 („weitere Haupt-EM-Mutterkultur“ eines amerikanischen Herstellers) enthalten sind.
4)	Organismen, die in zwei Patenten [25], in denen Higa Teruo als „Erfinder“ genannt ist, aufgelistet sind. Der Japaner Higa Teruo gilt als Begründer der „EM-Bewegung“.

## Anhang 2 BSB<sub>5</sub>-Konzentrationsverlauf in der EMa-Anlage unter genormten Bedingungen

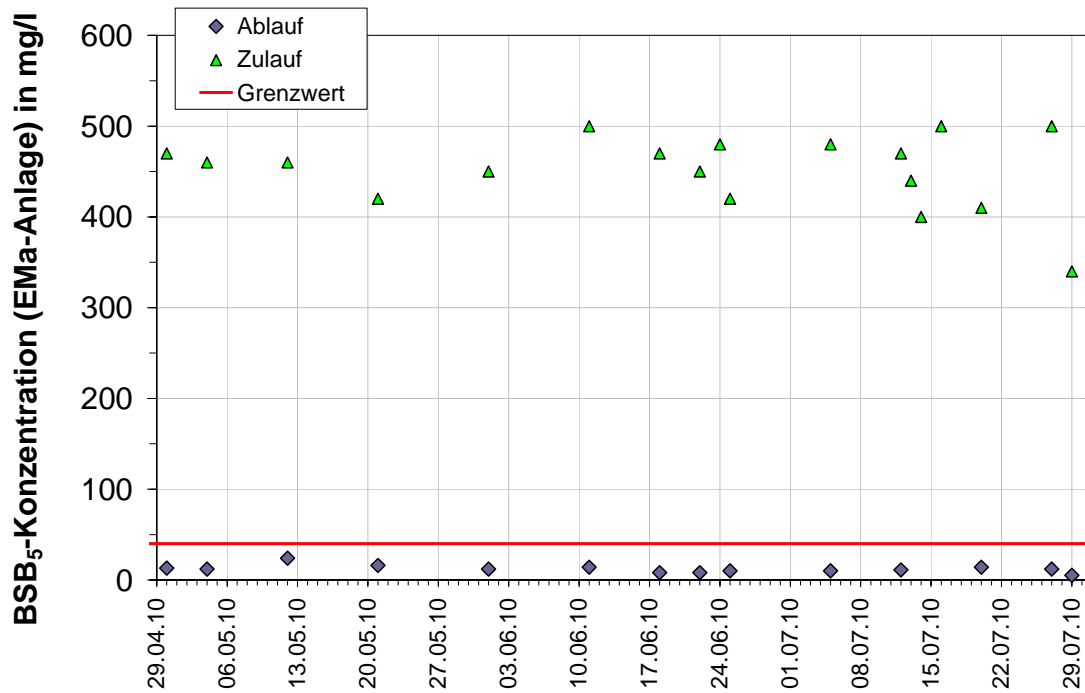


Bild A0.1 BSB<sub>5</sub>-Konzentrationsverlauf in der EMa-Anlage unter genormten Bedingungen