

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zum Einsatz von Pflanzenkläranlagen

Dr. Wolfgang Wagner

Bereichsleiter Grundsatz-/Fachplanung

ENTSORGUNG
VERBAND SAAR



1. Zusammenfassung

Pflanzenkläranlagen werden verstärkt in den letzten Jahren, vor allen Dingen für Ansiedlungen unter 500 EW gebaut. Sie kamen in der Vergangenheit bevorzugt für Anlagen mit Trennkanalisation zum Einsatz. Zur Bemessung solcher Anlagen hat die Abwassertechnische Vereinigung ein Arbeitsblatt erarbeitet (ATV-A 201 /18/). Für die Mischwasserkanalisation fehlen jedoch entsprechende Vorgaben oder auch nur Empfehlungen. Da im Saarland die Mischkanalisation dominiert, stellte sich für den EVS die Frage, ob er auf den Einsatz von Pflanzenkläranlagen ganz verzichtet, oder eigene Bemessungsansätze entwickelt. Er hat sich für letzteren Weg entschieden.

Im folgenden Beitrag werden, vor allem auf der Basis eigener Projekte die Investitionskosten von Pflanzenkläranlagen, wie sie der EVS baut, analysiert und abgeschätzt, ihre Kostenstruktur erörtert und die mit dieser Technik verbunden Betriebskosten aufgezeigt.

Danach werden diese Kosten auf der Basis von dynamischen Kostenvergleichsrechnungen einem Vergleich mit anderen Anlagentypen unterzogen und der wirtschaftliche Einsatz dieser Anlagen diskutiert.

Anhand einer Literaturlauswertung und Auswertung eigener Projekte werden Investitionskosten von Pflanzenkläranlagen analysiert. Dabei wird deutlich, dass viele Literaturangaben erheblich unter den Kosten liegen, die für EVS-Projekte ausgewiesen werden. Diese in der Literatur vorzufindenden Angaben sind jedoch nur sehr spärlich spezifiziert. Viele Angaben beziehen sich auf nicht vergleichbare Anlagen, da es sich um Kleinstanlagen (< 50 EW) handelt, die teilweise mit Eigenleistungen erstellt worden sind. Grundsätzlich handelt es sich um Anlagen im Trennsystem, die sich von der Auslegung erheblich von den EVS-Anlagen unterscheiden, die überwiegend einem Mischsystem nachgeschaltet sind.

In diesem Beitrag werden auch die Betriebskosten der EVS-Anlagen analysiert und einem Vergleich mit Literaturwerten unterzogen. Hier liegen die in der Literatur zu findenden Kosten im Bereich des Kostenbandes, welches für EVS-Anlagen errechnet wurde.

Die Ausarbeitung zeigt, dass Pflanzenkläranlagen infolge der gegenüber anderen Anlagentypen geringeren Betriebskosten in Verbindung mit dem geringeren Anteil an technischer Ausrüstung Vorteile haben. Selbst bei Nutzungsdauern, die geringer sind als die rechnerisch zugrunde gelegte, wäre der Einsatz dieser Anlagen gegenüber Belüfteten Teichanlagen, vor allem aber Technischen Anlagen, immer noch wirtschaftlich vertretbar.

2. Investitionskosten

2.1. Allgemeines

Für die Höhe der Investitionskosten von Pflanzenkläranlagen sind insbesondere folgende Randbedingungen von Bedeutung:

- liegt Misch- oder Trennkanalisation vor
- ist Fremdwasser vorhanden
- wird eine Vorreinigungsstufe vorgesehen
- sind Pumpen und Stromanschluss erforderlich
- ist eine Zufahrt zu schaffen
- Kann auf eine Dichtung verzichtet werden (Lehm/Tonboden $k \geq 10^{-9}$)
- stehen aufwendige Ausgleichsmaßnahmen an
- Müssen lange Ablaufgräben/-leitungen realisiert werden, etc

Da es sich in jedem Fall um kleine Einheiten handelt, haben Elemente, wie beispielsweise Zufahrt, Wasser- und Energieversorgung, Betriebsgebäude etc. einen erheblichen Einfluss an den Gesamtkosten, so dass diese Kostenfaktoren prozentual einen hohen Anteil an den Gesamtkosten nach sich ziehen und die spezifischen Kosten sprunghaft steigen lassen.

2.2. Kostenangaben aus der Literatur

Angaben zu Investitionskosten in der Literatur sind spärlich (Lohse & al. /5/, Maik /9/, Kobelt /10/, Löffler /17/, Lütznier al. /19/, Börner /20/). Die angegebenen Kosten variieren zwischen 750 und 1000 €/EW. Bei den beschriebenen Anlagen handelt es sich überwiegend um Kleinkläranlagen in Sinne der DIB 4261 bzw. DIN 4124.

Zusammenfassend lässt sich festzustellen, dass die in der Literatur zu findenden Kostenansätze für Pflanzenkläranlagen spärlich sind und sich meist auf Kleinkläranlagen nach DIN 4124 (kleiner 50 EW) beziehen. Viele solcher Anlagen wurden mit Hilfe von Eigenleistungen geschaffen, so dass diese Kostenangaben nur bedingt in einen Vergleich einbezogen werden können. Die Angaben beziehen sich auf Anlagen im Trennsystem, wobei der technische Standard und die Betriebslogistik meist nur unvollständig beschrieben sind.

Das Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MLUR) /21/ nennt Kosten für Anlagen bis 1400 EW. Diese gehen auf eine Ausarbeitung von Halbach /22/ zurück. Die spezifischen Kosten für Anlagen von 100 EW liegen dabei bei ca. 750 €/EW, bei 700 EW liegen sie bei 470 €/EW (vgl. Abbildung 1). Bei den Kostenangaben handelt es sich um Nettokosten, die als „unter Orientierungswert“ bzw. Zielwert zu verstehen sind. Die Mittelwerte der Kosten lagen¹ um ca. 20 % höher. Die angegebenen Kosten beziehen sich auf Anlagen im Trennsystem mit in der Regel ca. 2,5 m²/EW Filterfläche. Die Vorreinigung erfolgt dabei in der Regel über Gruben oder Absetzteiche mit 0,5 m³/EW spezifischem Volumen. Weiter sei zu beachten, dass Zufahrtstraßen bzw. lange Energiezuführungsleitungen nach Aussage des Verfassers der Studie in diesen Kosten nicht enthalten sind. Die Kosten würden linear mit der Beetfläche ansteigen.

¹ Nach mündlicher Übermittlung des Verfassers des Papiers

Rechnet man diese Angaben auf EVS-Anlagen hoch, so ist ein Umrechnungsfaktor von ca. 2,5 anzusetzen, was die Kosten für Anlagen mit 100 EW auf ein Niveau von ca. 1875 €/EW, für Anlagen von 700 EW von 1175 €/EW nachvollziehbar macht (vgl. Abbildung 1).

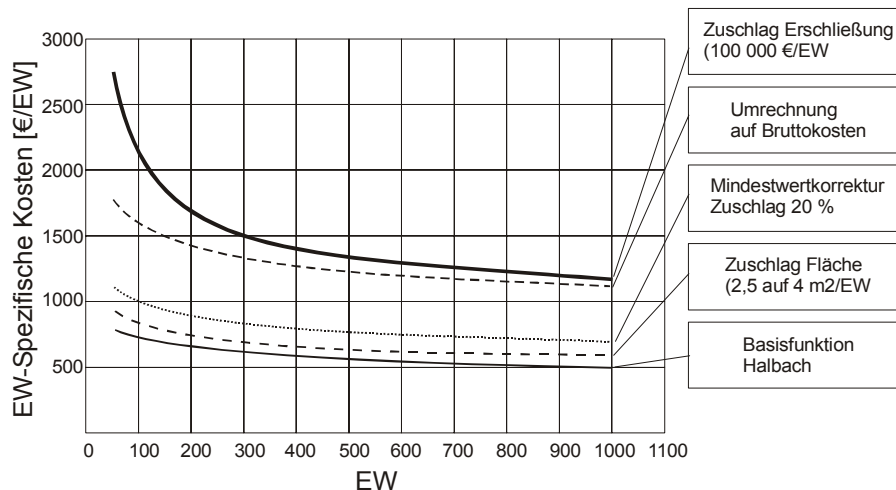


Abbildung 1: Hochrechnung der Kosten von Halbach auf EVS-Randbedingungen

Abbildung 1 stellt die Kosten, die Halbach /22/ angibt, als „Basiskosten“ dar. Es wird verdeutlicht, wie die Kosten ansteigen, wenn man sie in Bruttokosten umrechnet, den absoluten Mindestpreischarakter berücksichtigt (mit einem Zuschlag von 20% versieht), weiter auf eine Fläche von ca. 4,5 m²/EW (linear) hochrechnet und einen Zuschlag von 100 000 € für Infrastrukturmaßnahmen ansetzt (Zuwegung, Stromzufuhr, Abwasserzuführung, etc.).

2.3. Eigene Kostenanalysen

2.3.1. Gesamtkostenbetrachtungen

Der EVS hat bisher die in Tabelle 1 zusammengestellten Pflanzenkläranlagen geplant, gebaut bzw. in Betrieb genommen. Dabei wurden/werden einige gekennzeichnete Projekte von „Dritten“ abgewickelt. Der Tabelle sind Größe der Kläranlage, Projektstand, Kosten etc. zu entnehmen.

Tabelle 1: Pflanzenkläranlagen des EVS (in Planung, Bau oder Betrieb)

NR.	KA-Name	Inbetr.	Misch – (M) Trenn- (T) kanalisation	Beete Vorreinigung	m ² Beet- fläche	Retention sbodenfilte r	Energie erf.	Vor- reinigung	LP LV	Zustand	€/EW	Kosten mit Neben- k. [€]	EW	EVS/ Dritte
137	Heisterberg		M		300	72	ja	Kombibecken	LV	Planung	2300	230000	100	EVS
147	Max-Braun Zentrum	1999	T	180	240		ja	keine	LP	Betrieb	1574	188.374	120	EVS
150	Neumühle	1996	T				nein	Beete		Betrieb	1290	38.696	30	D
275	Riesweiler		M		300	100	ja	Teich		Planung	3472	347188	100	EVS
418	Perl- Oberleuken	2005	M		2000		ja	Teich	LV	Planung	1179	707.590	600	EVS
422	Perl- Büschdorf	2005	M		950	240	ja	Teich	LV	Planung	1603	497.000	310	EVS
439	Altland	2004	M		297		nein	Teich	LP	Bau	2008	301.187	150	D
447	Schmelz- Auschet	2004	T	140	176			Beete	LV	Bau	4458	312080	70	D
448	Wadern- Nuhweiler		T		300		nein	Mehr- nach DIN	LP	Planung	2157	129.400	60	D
453	Wadern- Vogelsbüsch	2004	M		400		nein	Teich	LP	Bau	1799	179.887	100	D
457	Wadern- Reidelbach	2003	M		600		nein	Teich	LP	Bau	2975	356943	120	D
417	Perl-Borg		M		1400		ja	Teich		Planung			450	EVS

In Abbildung 2 sind die spezifischen Kosten dieser Anlagen zusammengestellt. Bei fertiggestellten Anlagen gingen die abgerechneten Gesamtkosten ein, im anderen Falle die Kosten des Vergabepreises mit Zuschlägen für Planung und Baunebenkosten, bzw. bei in Planung befindlichen Anlagen die Kosten der Kostenberechnung mit entsprechenden Zuschlägen. In diese Darstellung wurde eine Funktion, basierend auf den Daten von Halbach, jedoch entsprechend der Erläuterungen zu Abbildung 1 hochgerechnet, eingefügt.

Weiter wird ein Kostenband dargestellt, welches unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen die Kostenstreuung beschreibt, die wie man erkennen kann, sehr hoch ist. Es wird deutlich, dass die Anlagen im Trennsystem von der Tendenz her im unteren Bereich des Kostenbandes liegen, was die geringere spezifische Filterfläche erklärt, jedoch andere standortspezifische Faktoren ebenfalls einen erheblichen Einfluss haben.

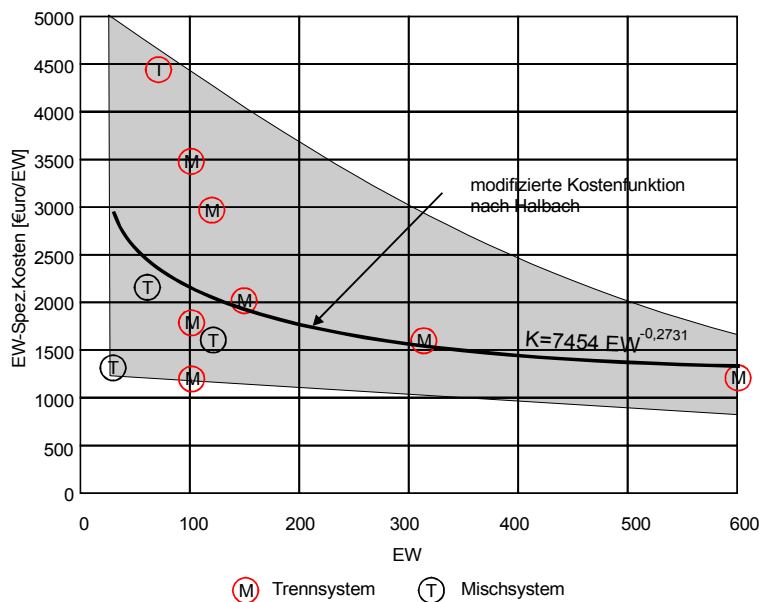


Abbildung 2: EW-spezifische Kosten der EVS-Pflanzenkläranlagen

In Abbildung 3 ist die EW-spezifische Beetfläche der Anlagen aufgetragen. Bei einigen Anlagen erfolgt die Vorreinigung über vorgeschaltete Vererdungsbeete. Diese Fläche ist bei der Ausweisung der Beetfläche ebenso wie die erforderliche Fläche für den Ausweichfilter mit berücksichtigt.

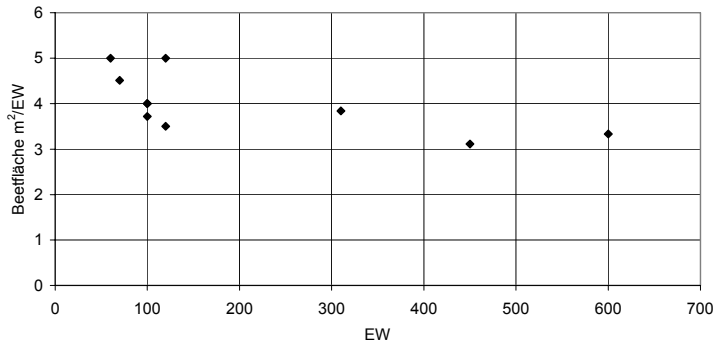


Abbildung 3: EW-spezifische Beetfläche der EVS-Anlagen

In Abbildung 4 sind die Gesamtkosten der Anlagen bezogen auf die realisierte Beetfläche dargestellt. Es wird deutlich, dass abgesehen von zwei Kleinanlagen die Kosten zwischen 750 und 300 €/m²-Beetfläche schwanken.

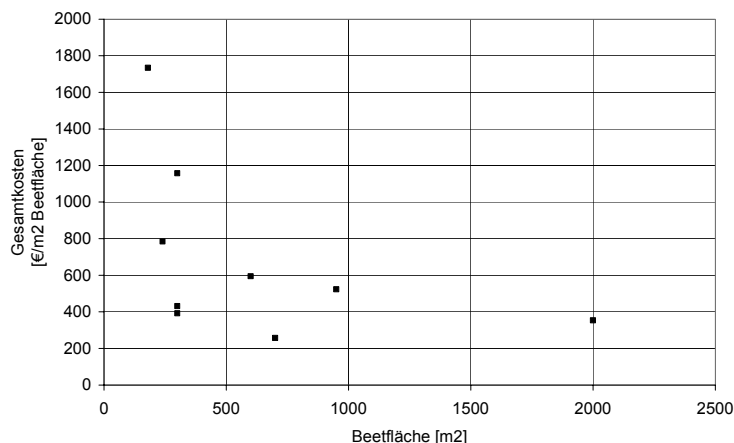


Abbildung 4: EW-Spezifische Gesamtkosten der Pflanzenkläranlagen bezogen auf die Beetfläche

2.3.2. Beschreibung der Kosten nach Kostenblöcken

2.3.2.1. Auswertung von Ausschreibungsergebnissen

Für die Anlagen des EVS wurde eine Analyse nach Kostenblöcken vorgenommen. Da nicht in allen Fällen Ausschreibungsergebnisse vorlagen, wurden je nach Projektstand auch die Ergebnisse der vorliegenden Kostenberechnungen mit berücksichtigt. Bei den mit Leistungsprogramm ausgeschrieben Anlagen waren die Kostenzusammenstellungen von ihrer Struktur her unterschiedlich, so dass eine eindeutige Zuordnung nicht immer möglich war. Auch wenn gerade bei per Leistungsprogramm vergebenen Anlagen bezüglich Kostenzuordnung auf die richtigen Angaben des Bieters vertraut werden muss, war es doch

möglich für gewisse Kostenblöcke Bandbreiten anzugeben. Das Ergebnis ist in Abbildung 5 dargestellt.

Unter den Begriff „sonstige Leistungen“ fallen Leistungen wie mit der Anlage direkt verbundene Regenentlastungen, im Einzelfall erforderliche Stützwände, Einhausungen für den Schaltschrank, etc.

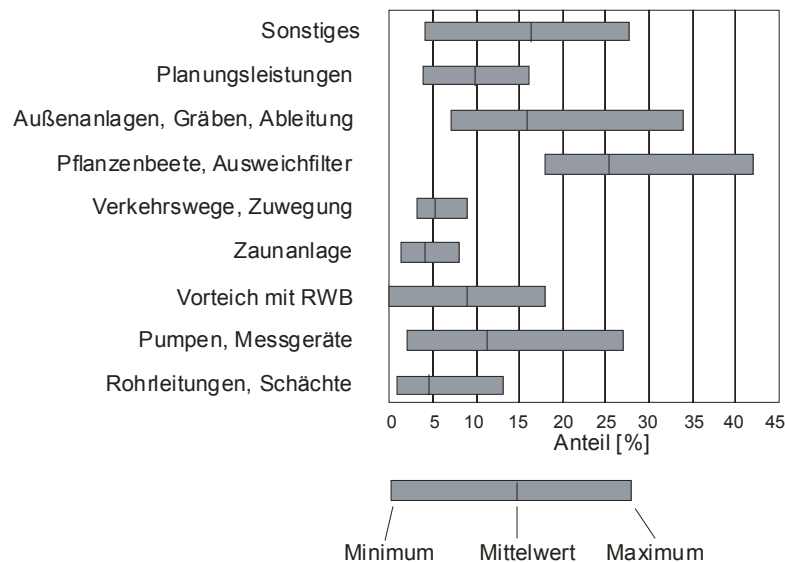


Abbildung 5: Kostenanteil der Einzelelemente von Pflanzenkläranlagen im Vergleich

Die Abbildung 5 zeigt, dass die Pflanzenbeete den größten Anteil an den Kosten mit ca. 20 bis 40 % haben, ein zweiter größerer Faktor sind die Herstellung von Außenanlagen, Gräben bzw. Ableitungsrohre/gräben wie landschaftspflegerischen Leistungen, die in dieser Position enthalten sind. Die Kosten für Pumpwerke, Messschächte und die M & E-Ausrüstungen variieren in Bandbreiten von 3 bis 25 % der Gesamtkosten, wobei diese große Bandbreite auf die unterschiedlichsten Randbedingungen bezüglich Beschichtungsmengen, Notwendigkeit von Energieeinsatz etc. zurückzuführen sind.

2.3.2.2. Analytische Vorgehensweise zur Beschreibung der einzelnen Kostenblöcke

2.3.2.2.1. Zufahrt und innere Erschließung

Grundsätzlich reichen wassergebundene Decken mit 3 m Breite als Zufahrt aus. Bei Anlagen mit Vorteichen erfordert die notwendige Räumung der Teiche die Möglichkeit des Anfahrens mit einem Fahrzeug der Klasse SLW 60, ansonsten reicht SLW 30 aus. Letztendlich ist es kostenmäßig irrelevant, ob eine Straße für Lastwagen der Klasse SLW 30 oder SLW 60 ausgebaut wird, der Unterbau, d. h., die Spannung die das Erdplanum nach Abschieben des Mutterbodens aufnehmen kann für einen möglicherweise erforderlichen und kostenintensiven Bodenaustausch maßgeblich ist. Bei einer Breite von 3 m liegen die Kosten für die Zufahrtsherstellung in Abhängigkeit der Untergrundverhältnisse folglich bei Kosten von 90 bis 110 €/m.

Für die Zuwegung innerhalb der Anlagen sind die gleichen spezifischen Kosten anzusetzen, wobei der befahrbare Bereich durch geschickte Anordnung der anzufahrenden Betriebspunkte auf ein Minimum zu reduzieren ist (10 bis 20 m / 1000 bis 2000 €).

Als Ergebnis der Auswertung verschiedener Projekte liegen die zu befestigenden Flächen innerhalb der Kläranlage, die nicht befahrbar sondern nur begehbar sein müssen, bei sehr kleinen Anlagen bei ca. $2 \text{ m}^2/\text{EW}$ und $1 \text{ m}^2/\text{EW}$ bei Anlagen über 300 EW. Diese Wege brauchen nicht befahrbar zu sein. Ihre spezifischen Kosten liegen bei ca. 10 bis 20 €/m^2 . Demzufolge variieren die EW-spezifischen Kosten hierfür zwischen 10 bis 40 €/EW .

Auf einen Wasseranschluss kann in der Regel bei einer Kleinanlage verzichtet werden.

2.3.2.2. Grundstück, Umzäunung

Der spezifische Flächenbedarf für Pflanzenkläranlagen variiert, vor allem in Abhängigkeit der Beetfläche zwischen 10 und $14 \text{ m}^2/\text{EW}$. Bei Grundstückskosten von zwischen 1,5 und $7,5 \text{ €/m}^2$ sind folglich 15 bis 105 €/EW für das Grundstück anzusetzen.

Als Kosten für die Umzäunung kann von 30 bis 70 €/m ausgegangen werden, wobei hierbei die Toranlage mit einbezogen ist.

Mit diesen Angaben errechnen sich die spezifischen Kosten für die Umzäunung, wie sie in Abbildung 6 dargestellt sind. Sie variieren in Abhängigkeit der Größe der Anlage zwischen 30 und 120 €/EW .

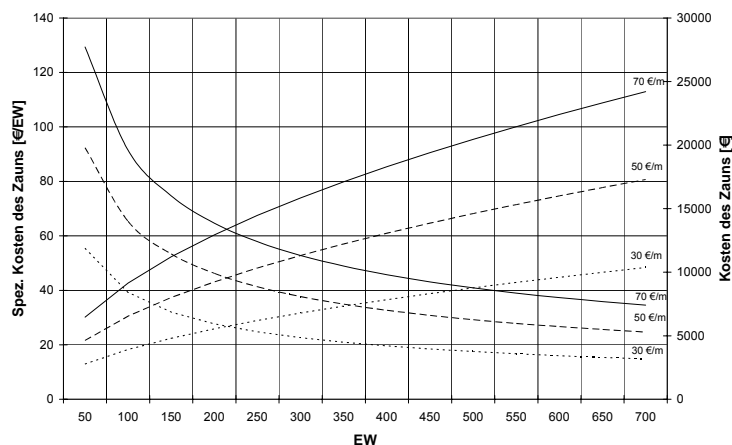


Abbildung 6: Kosten der Umzäunung

2.3.2.2.3. Pumpen, Zugabeeinrichtungen, Steuerungstechnik Energieversorgung

2.3.2.2.3.1. Allgemeines

Grundsätzlich ist zwischen Anlagen zu unterscheiden, bei denen die Anlage im freien Gefälle beschickt werden kann und solchen, bei denen das nicht der Fall ist. In letzterem Fall besteht die Frage, ob nur ein Zulaufpumpwerk ausreicht, oder zusätzlich eine weitere Pumpenanlage zur Beschickung der Beete erforderlich wird. Zwei separate Pumpwerke sollten, wenn möglich, vermieden werden.

Bei Anlagen, die im freien Gefälle beschickt werden können, versucht der EVS auf den Einsatz von Pumpen und Anlagen, die elektrische Energie benötigen, aus Kostengründen ganz zu verzichten.

Da in jedem Fall eine intervallmäßige Beschickung der Beete erforderlich ist, kommen dann Hebersysteme zum Einsatz. In diesem Falle sind die hydraulischen Randbedingungen exakt

zu erfassen, da es ansonsten zu Problemen bei der Verteilung des Abwassers auf den beiden Beeten kommen kann. Die Kosten für eine solche Heberanlage liegen bei ca. 4000 €.

Wird auf einen Energieeinsatz verzichtet, so ist eine automatische Umlenkung des Abwasserstromes auf eine andere Beeteinheit nicht möglich. Da eine solche Änderung der Betriebsweise mindestens jede Woche erfolgen muss, ist folglich ein wöchentliches Anfahren erforderlich, was ansonsten nur alle 2 Wochen notwendig ist. Kapitalisiert man diese zusätzlichen Kosten unter der Voraussetzung, dass eine solche Beschickungsanlage eine Nutzungsdauer von ca. 7 Jahren hat, so errechnet sich ein Barwert von ca. 3300 €, der bei einem Vergleich der Kosten dieser Beschickungstechnik und anderen, die eine Inspektion in Intervallen von 2 Wochen ermöglichen, zu berücksichtigen ist.

2.3.2.2.3.2. Energieversorgung

Bei Einsatz von Pumpen ist ein Schaltkasten mit Zubehör (SPS, Störmelder etc.) erforderlich. Die Kosten für diese Einrichtungen belaufen sich unabhängig von der Größe der Anlage auf ca. 25000 €.

Der Einsatz einer Energieversorgung über die Solartechnik ist dann möglich, wenn der Energiebedarf klein ist. Dies ist der Fall, wenn nur Energie zur Schiebersteuerung erforderlich ist. Bei Einsatz von Pumpen ist diese Energieversorgung in der Regel nicht wirtschaftlich. Solartechnikanlagen können, wie im folgenden Abschnitt gezeigt wird, für ca. 9.000,00 € bei Kläranlagen dieser Art realisiert werden. Dabei wird von folgendem Strombedarf der einzelnen Abnehmer ausgegangen:

Tabelle 2: Elektrischer Energiebedarf der einzelnen Verbraucher der Pflanzenkläranlage²

Gerät	Aufnahmeleistung [W]	Betriebszeit [h/d]	Gleichstromverbrauch [Wh/d]
Elektr. Stellantrieb Zulauf Filter	100	0,035	4
Mengenmessung	20	24	480
Steuerung inkl. Fernwirksystem	20	24	480
Durchschnittlicher täglicher Gleichstromverbrauch (Summe):			964
Für Batterie und Stromverluste (Zuschlag 30 %)			290
Gleichstrombedarf der Anlage [Wh/d]			1254

Damit errechnet sich für die Anlage ein jährlicher Energiebedarf von ca. 460 kWh/a. Zur Auslegung der Anlage sind weiter folgende Daten relevant:

Die Betriebskosten liegen jährlich bei etwa 2,5 – 5 % der Investitionskosten. Zur Ermittlung des Barwertes ist nochmals etwa die gleiche Größenordnung als Betriebs- und Reinvestitionskosten hinzuzurechnen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass diese Technik, wenn die Randbedingungen (Topographie) sie zulassen, eine sinnvolle Alternative zur konventionellen Stromversorgung bieten kann.

² Voraussetzung ist, dass die Verbraucher mit Gleichstrom arbeiten.

2.3.2.2.3.3. Zugabe- bzw. Verteilungssysteme

Bei der Notwendigkeit des Einsatzes von Pumpen sind verschiedene Konzepte in Abhängigkeit der gewählten Verfahrenstechnik möglich.

Die erforderliche Abwassermenge, die bei Regenwetter der Kläranlage zugeführt werden muss, lässt sich gemäß Gl.1. in Abhängigkeit der angeschlossenen Einwohner aufgetragen, unter der Voraussetzung dass eine Mischwassermenge von

$$\text{Gl.: 1} \quad \boxed{Q_{m,ges} = f_{Sp,s} \cdot Q_{s,aM} + Q_{f,aM} \quad [l/h]} \quad \text{mit } f_{Sp,s} = 6$$

über die Anlage geführt wird.

Für die Beschickung der Beete gilt jedoch ein anderer Ansatz. Es sind bei den Anlagentypen des EVS, wenn Pumpen eingesetzt werden, grundsätzlich zwei Einheiten vorzusehen, die abwechselnd jeweils ein Beet beschicken. Jedes Beet wird im Intervall jeweils eine Woche beaufschlagt, dann bekommt es eine Ruhezeit von wiederum einer Woche. Die dann erforderliche Pumpenleistung kann Abbildung 7 entnommen werden.

Da die Zuführung des Abwassers auf die Filter maximal 9 mal pro Tag erfolgen soll, ist die Pumpenleistung entsprechend zu erhöhen. Um dem Filter eine ausreichende Ruhezeit zukommen zu lassen, wird die zwischengespeicherte Abwassermenge in 5 bis maximal 20 Minuten aufgegeben, wobei aus Gründen der Leistungsreduktion der Pumpen außer bei ganz kleinen Einheiten eine Beschickungszeit von 20 Minuten gewählt wird.

Es wird deutlich, dass die erforderliche Pumpenleistung bei einer Anlage von ca. 500 EW bei 250 m³/h liegt, wenn die stoßweise Zuführung des Abwassers innerhalb von 5 min erfolgen würde; bei einer Beschickungszeit von 20 min läge die erforderliche zuzuführende Wassermenge bei ca. 62 m³/h. Die unter diesen Bedingungen erforderliche Anschlussleistung einer solchen Pumpe liegt bei ca. 2 m Förderhöhe unter 2 KW.

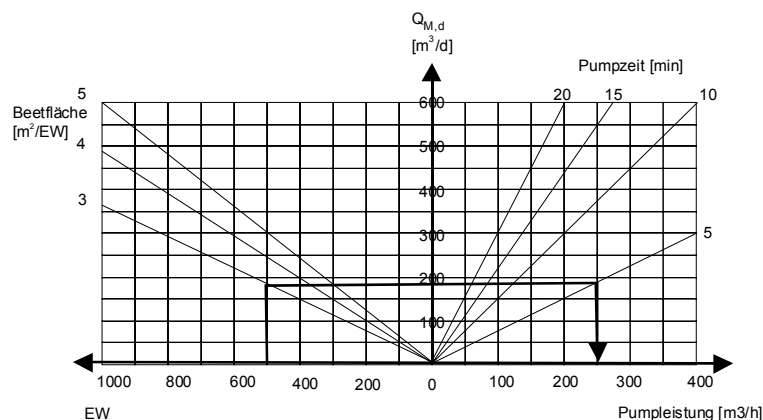


Abbildung 7: Erforderliche Pumpenleistung zur Beschickung der Beete

Sollte eine Pumpe ausfallen, so kann innerhalb einer Woche problemlos Ersatz geschaffen werden.

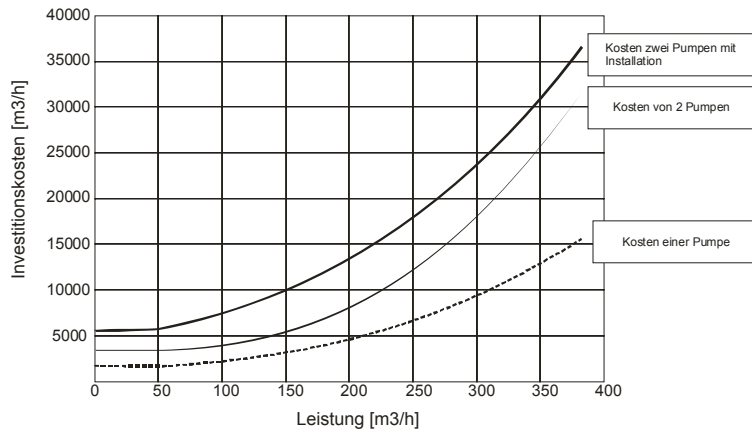


Abbildung 8: Kosten der Pumpanlage bei einer Förderhöhe von ca. 3 m

Abbildung 8 zeigt die Kosten der Pumpen in Abhängigkeit der erforderlichen Durchsatzmenge.

Die Kosten der üblicherweise zum Einsatz kommenden Pumpen liegen inkl. Installation je nach Leistung zwischen 5000 und 40 000 €.

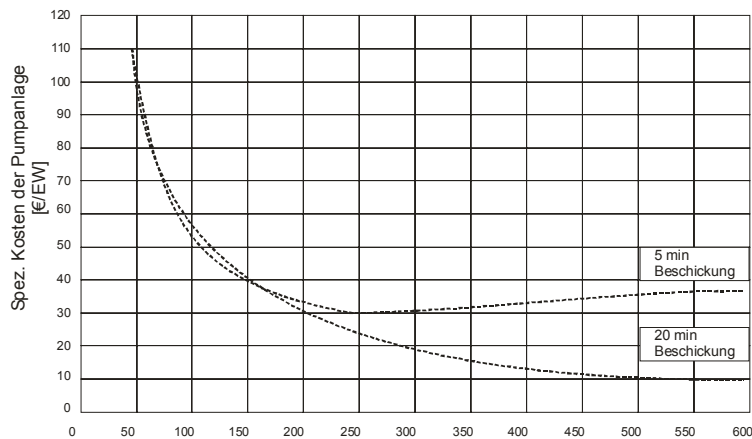


Abbildung 9: EW-spezifische Kosten der Pumpanlage

Abbildung 9 zeigt, dass die EW-spezifischen Kosten für die Pumpanlage bei kleinen Einheiten bis 110 €/kW betragen und bei größeren Einheiten bei Beschickungszeiten von 20 min auf 10 €/kW abfällt. Weiter wird deutlich, dass eine Verkürzung der Beschickungszeiten sich bei Kleinanlagen, da ohnehin der gleiche Pumpentyp zum Einsatz kommt, nicht mit Mehrkosten verbunden ist, eine solche Verkürzung der Beschickungszeit jedoch bei größeren Anlagen eine deutliche Kostenerhöhung mit sich bringt.

Bei dieser Pumpenkonstellation, also bei einer 9-maligen Beschickung pro Tag über 20 min ist ein spezifisches Pumpenvorlagevolumen von $0,04 \text{ m}^3/\text{EW}$ erforderlich. Dieses Volumen kann in den Vortreich integriert oder als separater Vorlagebehälter in der Regel als Fertigteile aus Beton ausgebildet werden. Beim Bau eines zusätzlichen Speichers sind spezifischen Kosten von ca. 1000 €/m^3 zu kalkulieren, somit ergeben sich spezifische Kosten von ca. $0,04 \cdot 1000 = 40 \text{ €/EW}$.

2.3.2.2.4. Messgeräte

Das einzige Messgerät, welches in der Regel bei diesen Anlagen zum Einsatz kommt, ist eine Wassermengenmessung. Diese ist jedoch bei der Größenklasse dieser Anlage nicht zwingend. Hier bietet sich der Einsatz eines IDM-Gerätes im Ablaufschacht an, das zu Kosten von ca. 2000 € zu haben ist. Alternativ kann bei vergleichbaren Kosten eine Messrinne mit Echolot zum Einsatz kommen.

2.3.2.2.5. Schächte

Je nach Ausbildung sind verschiedene Schächte erforderlich. In jedem Fall bedarf es eines Ablaufschachtes, der die Möglichkeit gibt, ein Messwehr einzusetzen und Proben zu ziehen. Pro Schacht ist im Mittel mit Kosten von ca. 3000 € zu rechnen.

2.3.2.2.6. Landschaftsgestaltung und Ausgleichsmaßnahmen im Sinne des Naturschutzgesetzes

Zur Festlegung der Ausgleichsmaßnahmen (Naturschutzgesetz) ist eine ökologische Bewertung von Ist- und Prognosezustand erforderlich. Im Rahmen des Ausgleichs wird sich dann eine nahezu identische Punktzahl ergeben. Insofern ist es naheliegend, dass, wenn eine Pflanzenkläranlage in einen kritischen Bereich (§ 25 SNG) anzusiedeln ist, wesentlich höhere Kosten für den Ausgleich anfallen, als wenn sie in einem Wiesengelände (oder sogar in einem Acker) untergebracht werden kann.

Die Kosten für die Ausgleichsmaßnahmen einer der untersuchten Anlagen (310 EW) belaufen sich auf hier ca. $31.000,- \text{ €}$, bzw. $100,- \text{ €/EW}$.

Nicht enthalten sind hierbei die vegetationstechnischen- und Bepflanzungsmaßnahmen (außerhalb der Beete), die nochmals mit ca. $30,- \text{ €/EW}$ zu Buche schlagen. Die Gesamtkosten für Ausgleichs- und vegetationstechnischen Maßnahmen belaufen sich somit im konkreten Fall auf $130,- \text{ €/EW}$.

Bei der Maßnahme wurde eine Fläche von ca. 8000 m^2 (Baufeld) in Anspruch genommen. Bei einer Bewertung des Bestandes mit 47.000 ÖWE mussten im Rahmen der Maßnahme 6700 ÖWE ausgeglichen werden, was spezifische Kosten pro ÖWE von ca. $4,6 \text{ €/EW}$ ausweisen lässt.

Das umzäunte Gelände bei dieser Kläranlage beläuft sich auf ca. 4.000 m^2 , was $13 \text{ m}^2/\text{EW}$ entspricht. Demzufolge belaufen sich die spezifischen Kosten für die Ausgleichsmaßnahmen auf ca. $7,8 \text{ €/m}^2$ Kläranlagenfläche. Die Bandbreite bewegt sich üblicherweise zwischen 5 und 12 €/m^2 .

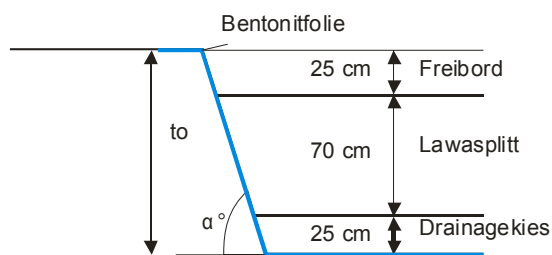
Die angegebenen Kosten sind nur dann zutreffend, wenn ein Ausgleich an Ort und Stelle möglich ist. Ist ein Ausgleich an anderer Stelle zu realisieren, steigen die Kosten. Hinzu kommen Kosten von ca. $2,5 \text{ €/m}^2$ für die vegetationstechnischen Arbeiten, zuzüglich der Kosten für die Bepflanzung der Beete, die im folgenden Absatz abgehandelt werden.

2.3.2.2.7. Pflanzenbeete

2.3.2.2.7.1. Allgemeines

Der EVS baut grundsätzlich vertikal durchströmte Filter, da deren Leistungsfähigkeit bei im Vergleich zu horizontal durchströmten Anlagen zumindest kostengleich ist. Die erforderliche spezifische Beetfläche liegt dabei zwischen $2,5 \text{ m}^2/\text{EW}$ bei Anlagen im Trennsystem bis $5 \text{ m}^2/\text{EW}$ bei Anlagen im Mischsystem, in Abhängigkeit der spezifischen Schmutzwasser- und Fremdwassermenge. Bei Anlagen im Mischsystem erhalten die eigentlichen Beete eine spezifische Fläche $\geq 3 \text{ m}^2/\text{EW}$, zusätzlich wird ein Retentionsbodenfilter zur Aufnahme von Mischwassermengen erforderlich. Diese „Ausweichfilter“ sind aufgrund der Begrenzung der täglichen Mengenbeschickung von 120 mm/d auf die eigentlichen Beete erforderlich. Sie werden mit einer zusätzlichen Beetfläche von ca. $1 \text{ m}^2/\text{EW}$ ausgebildet. Die eigentlichen Beete müssen in jedem Fall auf zwei Einheiten aufgeteilt werden, die in Intervallen von einer Woche abwechselnd beschickt werden.

Grundsätzlich wird folgender Filteraufbau vorgegeben:



t_0	[m]	erforderliche Tiefe des Beetkörpers
α	[°]	Böschungswinkel

Abbildung 10: Aufbau des Filters

Da sich die maßgebliche Filterfläche auf die Fläche über der Dränageschicht bezieht, ist der Böschungswinkel für die Aushubmenge mit entscheidend. Je steiler abgeflacht werden kann, um so wirtschaftlicher ist die Anlage.

2.3.2.2.7.2. Abdichtung

Das Landesamt für Umweltschutz fordert grundsätzlich eine Abdichtung von Pflanzenbeeten in Wasserschutzgebieten mit einer Durchlässigkeit von $K_f \geq 10^{-8} \text{ m/s}$.

Außerhalb von Wasserschutzgebieten ist man bezüglich der Abdichtung bzw. des Maßes der Durchlässigkeit flexibel, wobei hier Einzelfallentscheidungen getroffen werden. Es ist dann zu unterscheiden zwischen Anlagen, bei denen das Grundwasser direkt unter der Sohle oder sehr viel tiefer ansteht. Wenn der Wasserkörper mehr als $2,5 \text{ m}$ von der Sohle entfernt ist, können Kompromisse eingegangen werden; dann kann auf eine Abdichtung der Flanken, zumindest oberhalb der Drainage, möglicherweise verzichtet werden.

Bei günstigen Verhältnissen sollte man von einer Dichtung der Flanken absehen oder sie nur über die Drainage hoch ziehen.

Im Saarland bieten sich, von Ausnahmen abgesehen, keine Standorte mit einem so homogenen Lehm- oder Tonkörper, an, dass eine zusätzliche mineralische Dichtung entfallen kann. Bei Einsatz einer Tonabdichtung erscheint eine Abdichtung der Bodenfläche mit einer Stärke von 25 cm unproblematisch. Problematisch ist jedoch die Abdichtung der Flanken, da hier der Ton lagenweise in 30 cm Stärke einzubringen ist. Bei der Flankenabdichtung sind Böschungen zu berücksichtigen mit Neigungen von 1:1 bis 1:2. Hier ist die Toneinbringung äußerst aufwendig.

Das Einbringen von Bentonitmatten mit einem K_f -Wert von 10^{-11} m/s ist oftmals die einfachere und kostengünstigere Lösung. Problematisch ist dabei nur, dass diese bei Regenwetter nicht verlegt werden können. Die Verbindungen müssen überlappen.

Bei Einsatz von Folien kommen Folien aus HDPE mit 2 oder 1,5 mm zum Einsatz. Alternativ können PVC-Folien mit einem mm Stärke genutzt werden, die aber auch bei halber Stärke der HDPE-Folien genauso teuer und weniger gut verarbeitbar sind. Die Kosten unterscheiden sich also nur geringfügig. Von der Sicherheit her sind 2 mm Folien vorteilhafter, wobei die Notwendigkeit dieses Sicherheitsfaktors in Frage gestellt werden muss (Wir sind nicht im Deponiebau).

Die Kosten für Bentonitdichtungen oder Dichtungen aus HD-PE bzw. PVC mit Verlegen schwanken in Bandbreiten von 4 – 14 €/m² · g. Da die Preisbildung hier von Ort und Zeit der Ausschreibung sowie den spezifischen Randbedingungen abhängt, ist eine exakte Kostenberechnung problematisch. Hier bieten sich alternative Ausschreibungen an.

Ausgehend von einer quadratischen Beetfläche, Aufteilung der Beete auf 3 gleichgroße Einheiten und einer spezifischen Gesamtfläche der Beete von 4,5 m²/EW kann die erforderliche Fläche der Dichtung(-bahnen), wie in Abbildung 11 dargestellt, abgeschätzt werden.

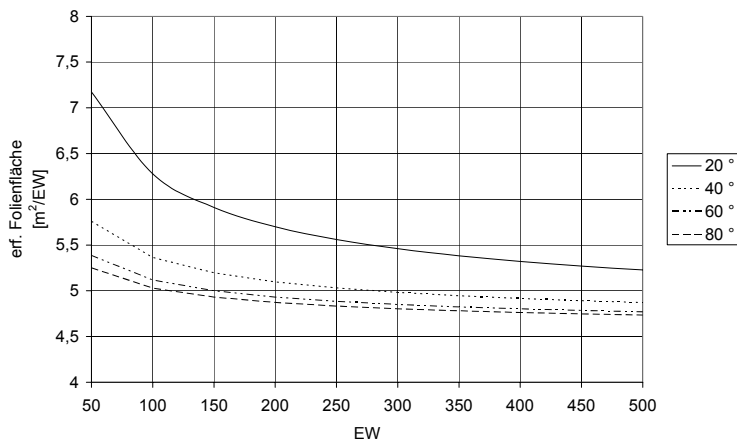


Abbildung 11: EW-spezifische Länge der erforderlichen Dichtung bei 3 gleichgroßen, näherungsweise quadratischen Becken und einer spezifischen Filterfläche von 4,5 m²/EW in Abhängigkeit des Böschungswinkels

Dabei wird vorausgesetzt, dass die Folie/Bentonitbahn im Bereich des Freibordes über der Beetoberkante gefaltet und in den Damm eingeschlagen (vernagelt) wird.

2.3.2.2.7.3. Kosten des Filters

Die Kosten für die zum Einsatz kommenden Materialien sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Kosten der zum Einsatz kommenden Materialien

Element		Kosten pro Einheit		Kosten pro Filterfläche Mittelwert
				[€m ²]
Lawasplitt	0,7 m Höhe	20	€m ³	23
Drainagekies	0,25 m Höhe	12	€m ³	12
Bentonitmatten (mit Verlegung) (alternativ Folie +Flies)		10 (12)	€m ²	12
Bepflanzung		2	€m ²	2
Drainagerohre	0,3 – 0,5 m/m ² Beetfläche	7 bis 15	€m	4
Beschickungssystem Rohre, Quelltöpfe	0,3 – 0,7 m /m ² Beetfläche	10 bis 25	€m	7,5
Kontrollschächte	1 Schacht Pro 25 m ²	25	€Stück	1
Summe:				61,5

Die Materialkosten, die sich zusammensetzen aus den Kosten für Filtermaterial, Drainage, Beschickungssystem etc., belaufen sich in der Summe auf ca. 62 €/m² Filterfläche. In Abhängigkeit von den speziellen Randbedingungen (Mengen, Angebot etc.) dürfte eine Bandbreite zwischen 55 und 70 €/m² Filterfläche angemessen sein.

In Tabelle 4 werden auch die Kosten für die Schaffung des Filterbettes berücksichtigt. Sie sind von den jeweiligen Bodenverhältnissen abhängig, Zu den Materialkosten für den Filteraufbau sind nochmals Kosten von ca. 8 bis 26 €/m² zuzuschlagen.

Tabelle 4: Gesamtkosten des Filters, bezogen auf den m² Filterfläche

Element	Kosten pro Einheit	Kosten pro Filterfläche Mittelwert
	[€m ³]	[€m ²]
Aushubarbeiten	6	8
Planum herstellen und verdichten	0,75	1
Wasserhaltung	(3)	(0 bis 3)
Zulagen für Fels oder Bodenklasse 2 (optional)	(25)	(0 bis 25)
Deponierungskosten (optional)	(10)	(0 bis 10)
Materialeinbau		
Materialien		62
Summe:		68 bis 88

Die Gesamtkosten für den m² –Filterfläche liegen gemäß dieser Abschätzung zwischen 68 und 88 €/m². Börner /20/ nennt für kleine Anlagen über 50 EW Kosten für die Beete von 35 bis 130 €/EW. Er zeigt also eine etwas größere Bandbreite auf.

2.3.2.2.8. Vorreinigung

Zur Vorreinigung kommen beim EVS vorrangig Absetzteiche zum Einsatz. Diese werden bei Anlagen mit Mischsystem in der Regel mit einem Regenwasserspeicherraum kombiniert. Das spezifische Volumen dieser Absetzteiche wird mit $1,2 \text{ m}^3/\text{EW}$ angesetzt, das zusätzlich erforderliche spezifische Volumen des Regenwasserspeichers liegt bei ca. $0,2$ bis $0,25 \text{ m}^3/\text{EW}$. Die Teiche werden im Winkel 1: 2 bis 1:3 abgeböschst und mit einer Folie, die beidseitig durch ein Vlies gesichert ist, abgedeckt.

Die spezifischen Baukosten dieser Vorteiche schwanken je nach Bodenverhältnissen und unter Berücksichtigung des Degressionseffektes zwischen 100 und 150 €/m^3 . Hinzu kommt eine Tauchwand zur Rückhaltung von Schwimmstoffen im Einlaufbereich, mit Kosten von ca. 5000 bis 15000 € , die nochmals mit im Mittel ca. 30 €/m^3 zu berücksichtigen ist.

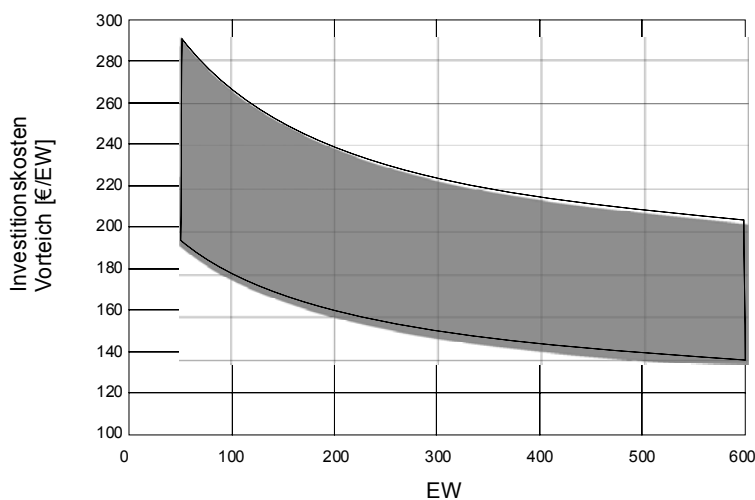


Abbildung 12: EW-spezifische Kosten des Vorteiches

Die in Abbildung 12 dargestellten Kosten ergeben sich aus der Kalkulationen im Rahmen von konkreten EVS-Projekten.

2.3.2.2.9. Abschätzung der Gesamtkosten der Anlage durch Addition der Einzelkostenansätze

Tabelle 5 ergibt sich durch eine Zusammenstellung und Addition der Kosten der bisher vorgestellten Einzelkomponenten.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Einzelpositionen der EVS-Muster KA

	Spez. Kost. [€/EW]		
	Große Anlage, günstige Verh.	Mittelgroße Anlage (ca. 300 EW)	Kleine Anlage, ungünstige Verh.
Erschließung			
Zuwegung	0	200	800
Stromversorgung	100	200	600
Grundstück	15	40	70
Umzäunung	20	30	80
Steuertechnik	40	85	500
Vorteich	150	250	300
Beete	200	210	255
Ausweichbeet	65	70	85
Pumpen	10	50	110
Vorlagebehälter	30	35	50
Landschaftspf. Leistungen	50	70	150
Wege	6	10	20
Summe	686	1250	3020
Zuschlag 10 %	69	125	302
Ingenieurkosten			
Summe:	755	1375	3322

3. Betriebskosten

Die Betriebskosten von Pflanzenkläranlagen lassen sich differenzieren nach

- Personalkosten
- Sachkosten
- Abwasserabgabe
- Schlamm Entsorgung

Diese wesentlichen Kostenansätze sind graphisch in Abbildung 13 aufgetragen.

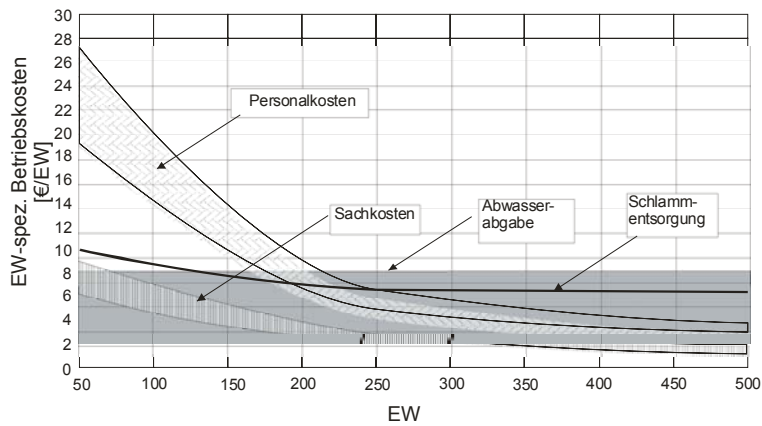


Abbildung 13: Einzelpositionen der Betriebskosten im Vergleich

In Abbildung 14 sind die Betriebskosten in ihrer Gesamtheit aufgetragen. Diese schwanken in Abhängigkeit der Ausbaugröße zwischen 100 und 20 €/EW·a. Gleichzeitig sind die Betriebskosten eingetragen, die Halbach /22/ angibt. Es wird deutlich, dass sich diese für Anlagen in der Größenordnung von 500 EW am unteren Rand des Kostenbandes bewegen, für ganz kleine Einheiten liegen sie deutlich darunter.

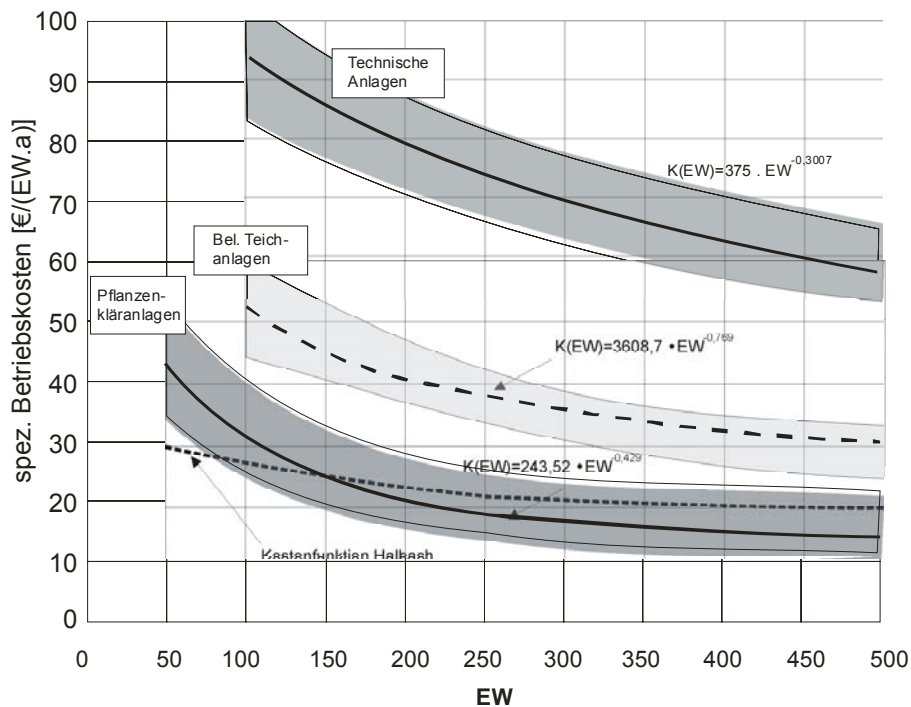


Abbildung 14: Betriebskosten von technischen und Pflanzkläranlagen sowie belüftete Teichanlagen im Vergleich

4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

4.1. Allgemeines

Mit den ausgewiesenen Betrieb- und Investitionskosten werden für technische Anlagen und Pflanzkläranlagen Barwerte ermittelt. Um das Restwertproblem zu vermeiden, erfolgt eine Unendlichkeitsbetrachtung, das heißt, es wird die Geldmenge ermittelt, die zur Finanzierung der alternativen Lösungen heute auf die Bank gelegt werden muss, um die notwendigen

Mittel zur Verfügung zu haben, um beide Lösungen unter Berücksichtigung der Investitions-, Reinvestitions- und Betriebskosten über eine unendliche Periode finanzieren zu können.

Bei den weiteren Analysen wird mit folgenden Kostenfunktionen gerechnet, die im Rahmen einer Regressionsrechnung ermittelt wurden und als gute Näherung angesehen werden können

Betriebskosten Technische Kläranlage	$KPKA(EW) = 375,78 \cdot EW^{-0,3007}$
Betriebskosten Pflanzenkläranlage	$KPKA(EW) = 243,52 \cdot EW^{-0,429}$
Betriebskosten Belüftete Teichanlage	$KPKA(EW) = 3609 \cdot EW^{-0,769}$

Die Investitionskostenkurve für kleine Technische Anlagen basiert auf einer Auswertung von Kosten von EVS-Anlagen. Bei der Kostenfunktion für die Pflanzenkläranlagen finden nur Kosten von Anlagen Eingang, die für Mischsysteme konzipiert sind. Damit ergeben sich folgende Funktionen, die im Vergleich in Abbildung 16 dargestellt sind.

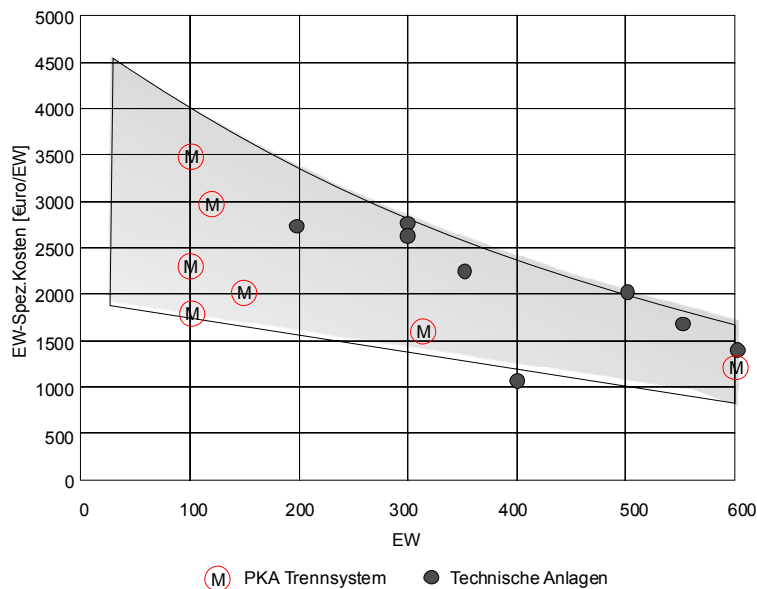


Abbildung 15: Vergleich Kosten PKA und technische Anlagen

Bei der Barwertbetrachtung gehen folgende Kostenfunktionen ein:

Investitionskosten Technische Kläranlage = $KTA(EW) = 23593 \cdot EW^{-0,4103}$
 Anteil Ausrüstung 40 %
 Anteil Bau 60%

Investitionskosten Pflanzenkläranlage = $KPKA(EW) = 18061 \cdot EW^{-0,4243}$
 Anteil Ausrüstung 10 %
 Anteil Bau 90%

Investitionskosten Belüftete Teichanlage = $KTA(EW) = 23593 \cdot EW^{-0,4103}$
 Anteil Ausrüstung 15 %
 Anteil Bau 90%

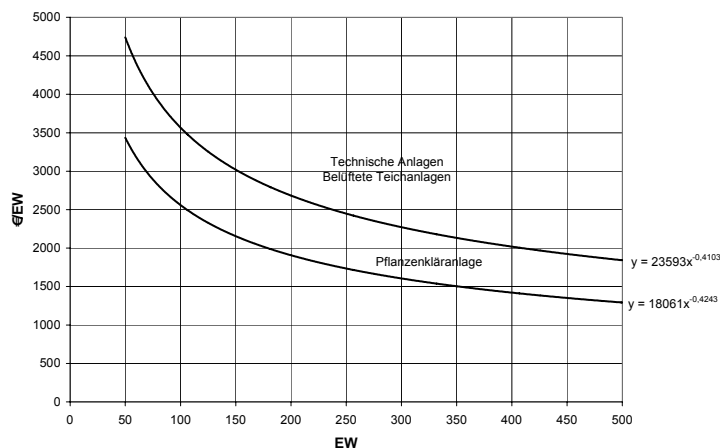


Abbildung 16: Investitionskostenfunktionen

Der EVS hat bisher keine Teichanlagen < 500 EW gebaut. Die Erfahrungen, die mit größeren Anlagen gemacht worden sind, lassen jedoch darauf schließen, dass diese Anlagen nicht günstiger gebaut werden können als technische Anlagen. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen verschiedener Vorentwurfsvarianten, die bei der Realisation von kleineren Anlagen kalkuliert worden sind. Bei der großen Bandbreite der Kosten, die hier zu erwarten ist³ wird davon ausgegangen, dass Kostengleichheit mit technischen Anlagen vorhanden ist. Weiter wird abgeschätzt, dass der Anteil der technischen Ausrüstung hier bei 15 % der Gesamtkosten liegt.

Bei den Technischen Anlagen wird von einem Anteil der technischen Ausrüstung von 40 %, bei den Pflanzenkläranlagen von 10 % und bei den belüfteten Teichanlagen von 15 % ausgegangen. Die hier vorgenommenen Kostenabschätzungen zeigen, dass ein Anteil von 10 % der technischen Ausrüstung von Pflanzenkläranlagen als obere Grenze zu betrachten ist und insbesondere für kleinere Anlagen gilt, für größere Anlagen (≥ 500 EW) liegt der Anteil eher bei ca. 5 %.

4.2. Vergleich der Barwerte

Die Berechnungen zeigen dass bei den Technischen Anlagen der Anteil für die Betriebskosten am Barwert unter 40 % liegt, bei den Pflanzenkläranlagen liegt er über 60 %. Dies ist durch die höheren Anteil an Betriebskosten begründet, aber auch durch den höheren Reinvestitionsanteil der Maschinenteknik am Barwert bei Technischen Anlagen infolge ihren hohen Anteils an den Investitionskosten (40%). Der Anteil der Reinvestitionskosten macht bei der kürzeren Nutzungsdauer (12 Jahre) nahezu 40 % des Barwertes aus. Hier wird der wirtschaftliche Vorzug der Pflanzenkläranlagen infolge nur geringer Ausrüstungsanteile deutlich.

In Abbildung 17 sind die Barwerte für die drei Anlagentypen zusammen aufgetragen. Dabei wurde ein Realzins von 3 % und ein unendlicher Betrachtungszeitraum zugrunde gelegt.

³ Da Teichanlagen einen Aushub in großer Tiefe (bis 4 m) und unterschiedliche Abdichtungsmaßnahmen erforderlich machen, ist der anstehende Boden von zentraler Bedeutung

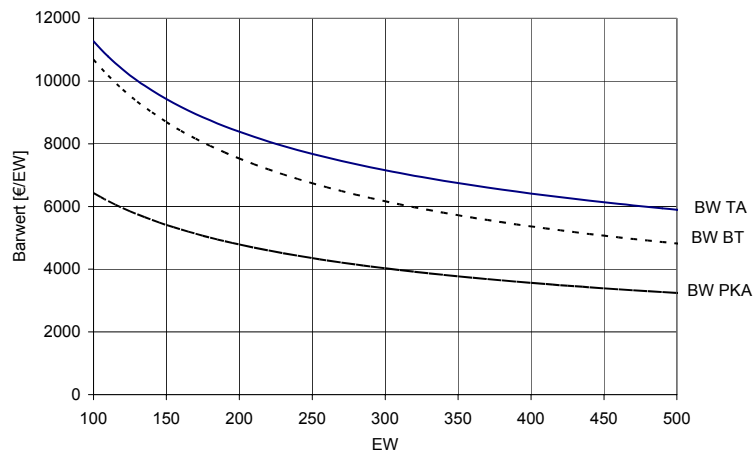


Abbildung 17: Vergleich der Barwert von Technischen Anlagen, Belüfteten Teichanlagen und Pflanzenkläranlagen bei einem Realzins von 3% und einer Unendlichkeitsbetrachtung

Gleichzeitig ist in Abbildung 18 das Verhältnis der Barwerte aufgetragen. Es liegt bei 45 bis 60 % zugunsten der Pflanzenkläranlagen bei einem Vergleich mit Technischen Anlagen und bei ca. 60 bis 70 % bei einem Vergleich mit Belüfteten Teichanlagen.

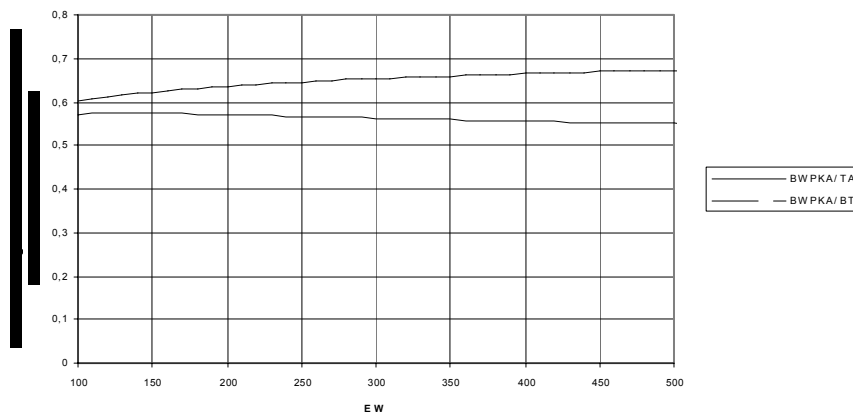


Abbildung 18: Verhältniswerte der Barwerte

In Abbildung 19 ist dargestellt, wie viel eine Pflanzenkläranlage bei den angegebenen Kostenstrukturen kosten dürfte, um letztendlich eine Kostengleichheit (gleicher Barwert) gegenüber den anderen untersuchten Lösungen herbeizuführen. Die Abbildung verdeutlicht, dass – auch bei vorhandenen Unsicherheiten bezüglich der Investitionskosten der Anlagen – diese Grenzkosten bei einem Vergleich mit Technischen Anlagen in der Praxis auch bei ungünstigen Verhältnissen wohl nicht erreicht werden. Die gleiche Rechnung für Teichanlagen liefert keine so deutliche Unterschiede. Dies liegt an der geringeren Kostendifferenz der Betriebskosten. Hier darf die Belüftete Teichanlage ca. 10 % mehr kosten als die Pflanzenkläranlage

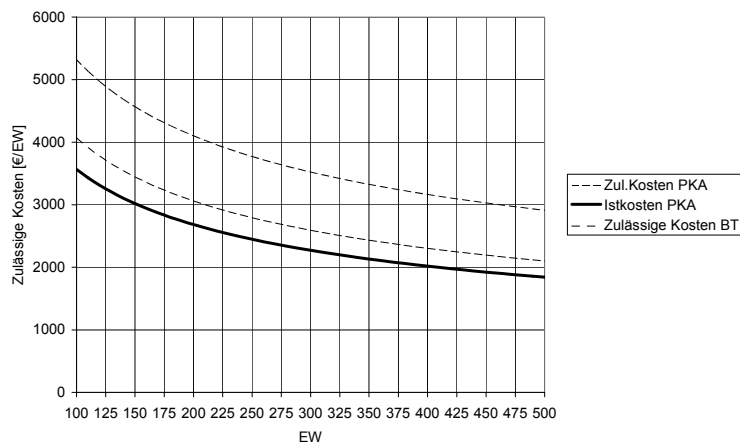


Abbildung 19: Vergleich der tatsächlichen Investitionskosten von Pflanzenkläranlagen und den im Sinne einer Kostengleichheit zu technischen Anlagen möglichen Investitionskosten von Pflanzenkläranlagen

4.3. Einfluss der Nutzungsdauer

Bei den bisherigen Barwertberechnungen wurde von einer Nutzungsdauer für die technische Ausrüstung von 12 Jahren und von einer Nutzungsdauer der baulichen Teile von 25 Jahren ausgegangen. Dabei wurde für alle Anlagentypen von gleichen Nutzungsdauern von Bauteil und Ausrüstung ausgegangen.

Es stellt sich die Frage, ob dieser Ansatz gerechtfertigt ist. Wohingegen bezüglich der Nutzungsdauer von technischen Anlagen und Teichanlagen überwiegend Konsens besteht, gilt dies nicht für Pflanzenkläranlagen. Viele Pflanzenkläranlagen – allerdings nicht solche, wie hier beschrieben und beim EVS gebaut werden, sind kolmatiert, funktionieren nicht und sind als Sanierungsfälle zu betrachten.

Der EVS hat seine Bemessungsansätze auf der Basis von Versuchsergebnissen entwickelt, aus denen sich folgern lässt, dass eine Kolmation innerhalb von 25 Jahren mit großer Wahrscheinlichkeit nicht zu befürchten ist, so dass die angesetzte Nutzungsdauer vermutlich erreicht werden kann. Eine Restunsicherheit bleibt jedoch.

Die LAWA /23/ sieht Nutzungsdauern von 10 bis 15 Jahren für diese Anlagen vor. In dieser geringen Nutzungsdauer drückt sich die Unsicherheit der Fachwelt bezüglich der sachgerechten Schätzung der tatsächlich erreichbaren Nutzungsdauern von Pflanzenkläranlagen aus. Obwohl der EVS sicher ist, dass die nach seinem Modell konzipierten Anlagen höhere Nutzungsdauern aufweisen werden, stellt sich doch die Frage, wie sich der Barwert im Vergleich zu technischen Anlagen darstellt, wenn für die Pflanzenkläranlagen kürzere Nutzungsdauern zugrunde gelegt werden.

Aus diesem Grunde wurden Modellrechnungen für verschiedene Ausbaugrößen durchgeführt. Das Ergebnis findet sich in Abbildung 20 wieder. Bei gleichem Barwert, also Kostengleichheit, ergibt sich der Faktor 1. Je günstiger die Pflanzenkläranlage im Vergleich zu technischen Kläranlage oder zur Teichanlage ist, um so geringer wird der Faktor.

Abbildung 20 verdeutlicht, dass die Pflanzenkläranlagen - unabhängig von der Anlagengröße (zumindest im der Untersuchung zugrunde liegenden Bereich) - selbst bei Nutzungsdauern von nur 10 Jahren im Vergleich zu technischen Kleinanlagen immer noch wirtschaftlich sind. Bei Teichanlagen liegt der Schnittpunkt der Kostengleichheit etwas höher, aber bei allen untersuchten Ausbaugrößen immer noch unter 13 Jahren.

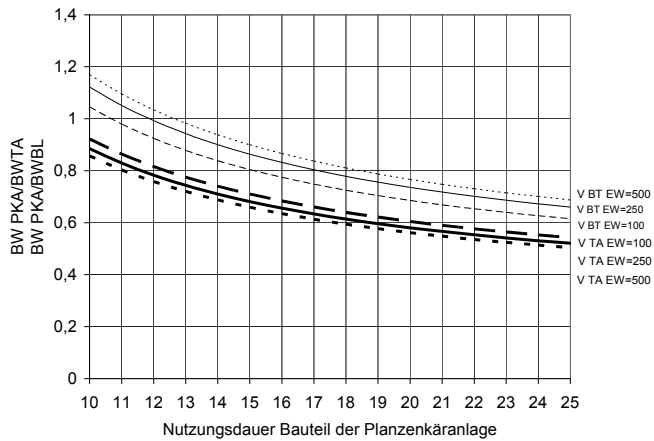


Abbildung 20: Vergleich der Barwerte für eine Anlage von 300 EW bei konstanter Nutzungsdauer der technischen Anlage und variabler Nutzungsdauer des Bauteils einer Pflanzenkläranlage

Literaturzusammenstellung:

- /1/ Engelmann, U.; Lützner, K.; Müller, V.:
Erfahrungen beim Einsatz von Pflanzenkläranlagen in Sachsen
KA –Abwasser-Abfall 2003 Nr. 3 S. 308 ff.
- /2/ Gelle, G.; Höner, G.:
Qualitätsmanagement im Ingenieurwesen am Beispiel „Bewachsene
Bodenfilter“
Wasser und Boden, 2003 Heft 3, S. 11 ff.
- /3/ Felde, K.; Burmester, M.; Robisch, H.; Vollmer, J.:
Betrieb und Überwachung von Kleinkläranlagen – was gibt es Neues in
Niedersachsen
Wasser und Boden, 2002 Heft 5, S. 16 ff.
- /4/ Hagendorf, U.:
Leistungsfähigkeit naturnaher Abwasserbehandlungsanlagen
EP, Heft 4, 1996, S. 37 ff.
- /5/ Lohse, M.; Mollenhauer, H.; Nowak, M.; Schröer, R.; Foppe, H.-G.:
Bepflanzte Bodenabwasserreinigungsstufen von Kleinkläranlagen
Korrespondenz Abwasser, Heft4, 1996, S. 559 ff.
- /6/ Kayer, K.; Kunst, S.; Fehr, G.:
Stickstoffelimination in bewachsenen Bodenfiltern
Wasser & Boden, Heft 3, 2001, S. 7. ff.
- /7/ Rustige, H.; Platzer C.:
Phosphorelimination in bewachsenen Bodenfiltern
Wasser Boden, Heft 3, 2001, S. 11 ff.
- /8/ Winter, K.J.; Goetz, D.:
Kolmation in bewachsenen Bodenfiltern
Wasser Boden, Heft 3, 2001, S. 19 ff.
- /9/ Maik, H.
Pflanzenkläranlage für die sächsische Ortschaft Gerbisdorf
WLB, Luft und Boden 5/1999, S.22 ff.
- /10/ Kobelt, G.:
Abwasserreinigung mit Pflanzenkläranlagen
EP Heft, 1999, S. 43 ff.
- /12/ Felde, K.; Kunst, S.:
N- und CSB-Abbau in vertical durchströmten Bodenfiltern
GWF, 1996, Nr. 8, S. 401 ff.
- /13/ Pflanzenkläranlagen in Niedersachsen,- Bestandsaufnahme und
Leistungsfähigkeit
Korrespondenz Abwasser, Heft 8, 1996 S. 1382 ff.

- /14/ Geller, G.:
Horizontal durchflossene Pflanzenkläranlagen im deutschsprachigen Raum –
langfristige Erfahrungen, Entwicklungstand.
Wasser Boden, Heft 1, 1998, S. 18 ff.
- /15/ Bucksteeg, K.:
Anwendungsprioritäten und Leistungsvergleich technischer und naturnaher
Abwasserreinigungsverfahren
Dresdner Berichte, 1997 Band 11, Seite 165. ff
Institut für Siedlungswasserwirtschaft /TU Dresden
- /16/ Lohse, M., Böning, T.:
Effektivkosten von Kleinkläranlagen
ATV-Schriftenreihe zu ATV-Kongress und ATV-Landesgruppentagung NRW,
1997
- /17/ Löffler, H.:
Kläranlagengröße und spezifische Investitionskosten
wwt.qwt, 3-4/2003
- /18/ ATV-A 201
Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichen für
kommunales Abwasser
Oktober 1989
- /19/ Lützner, K.; Müller, V.:
Ist eine kostengünstige Abwasserbehandlung in Pflanzenkläranlagen möglich
EP, Heft 11, 1997, S. 44 ff.
- /20/ Börner, T.:
Abwasserbeseitigung von Einzelanwesen und Streusiedlungen mit
Pflanzenkläranlagen
Vortrag anlässlich eines Lehrgangs für Bediente der Hessischen
Wasserwirtschaftsverwaltungen am 23/24 Januar 1989 in Wiesbaden-Naurod
zum Thema „ Abwasserbeseitigung von Einzelanwesen und Streusiedlungen“
- /21/ Abwasserentsorgung in Brandenburg
Orientierungswerte Jahr 2003 –
Aufwand für die Abwasserableitung und Abwasserbehandlung
Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes
Brandenburg (MLUR)
14473 Potsdam, Heinrich-Mann-Allee 103
- /22/ Halbach, U.:
Kommunale Abwasserbeseitigung
Normative Kosten und Risikoabbau
Institut für Abwasserwirtschaft Halbach, 3. überarbeitete Auflage, 2003
ISBN 3-00-011256-3
- /23/ Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen
Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 1998,
ISBN 3-88961-8484