

# **Gutachterlichen Untersuchung / Recherche zu den technischen Möglichkeiten einer PCB-Elimination von Grubenwässern ("PCB-Gutachten")**

**Öffentliche Ausschreibung des Ministeriums für Klimaschutz,  
Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des  
Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)**

**Vergabe-Nr. 16/034.1 vom 21.04.2016**

**Dezember 2016**

## **Arbeitsgemeinschaft:**

- **IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser  
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH, Mülheim an der Ruhr**
- **Spiekermann GmbH Consulting Engineers, Düsseldorf**



## **Bearbeitung:                   Arbeitsgemeinschaft IWW / Spiekermann**

**IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser  
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH**  
Moritzstraße 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
[www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)

Dr.-Ing. Wolf Merkel (Projektleiter)  
Telefon: 0208 40303-100  
[w.merkel@iww-online.de](mailto:w.merkel@iww-online.de)

Wissenschaftlicher Direktor:

Dipl.-Ing. Oliver Dördelmann  
Telefon: 0208 40303-243  
[o.doerdelmann@iww-online.de](mailto:o.doerdelmann@iww-online.de)

Prof. Dr.-Ing. Stefan Panglisch

**Spiekermann GmbH Consulting Engineers**  
Fritz Vomfelde Straße 12  
40547 Düsseldorf  
[www.spiekermann.de](http://www.spiekermann.de)

Dr.-Ing. Christian Mauer (stellv. Projektleiter)  
Telefon: 0211 5236-164  
[c.mauer@spiekermann.de](mailto:c.mauer@spiekermann.de)

Dipl.-Geol. Uwe Rieth  
Telefon: 0211 5236-129  
[u.rieth@spiekermann.de](mailto:u.rieth@spiekermann.de)

## **Auftraggeber**

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Schwannstr. 3  
40476 Düsseldorf  
[www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de)

**Bearbeitungszeitraum:** Juni bis Dezember 2016

Zur besseren Lesbarkeit wird nicht zwischen weiblichen und männlichen Berufsbezeichnungen unterschieden; es sind immer beide Geschlechter gleichberechtigt angesprochen.

## Zusammenfassung

Die Arbeitsgemeinschaft IWW / Spiekermann wurde vom MKULNV beauftragt, mögliche Verfahren zur PCB-Elimination aus Grubenwässern darzustellen, Investitions- und Betriebskosten grob zu ermitteln und die sich ergebenden Varianten zu bewerten.

## Datengrundlagen

Zunächst wurden die vom MKULNV zur Verfügung gestellten Analysendaten ausgewertet. Hierbei wurde deutlich, dass die Schwankungsbreite der Messergebnisse sehr groß war - sowohl bzgl. der Wassermatrix als auch bzgl. der PCB-Konzentrationen der Grubenwässer. Für einzelne Parameter und Standorte liegen zudem nur wenige Analysendaten vor, so dass die Datengrundlage bzgl. der Wasserqualität der Grubenwässer insgesamt als unsicher zu bezeichnen ist.

In Absprache mit dem MKULNV wurden die drei Standorte Haus Aden, Robert Müser und Ibbenbüren Ost als Referenzstandorte festgelegt, für die eine Verfahrensauswahl und Kostenermittlung durchgeführt werden soll. An diesen drei Standorten werden nach jetzigen Planungen – neben vier weiteren – auch zukünftig Grubenwässer gefördert und in Oberflächengewässer eingeleitet. Zudem wurden in den Grubenwässern dieser drei Standorte PCB-Konzentrationen festgestellt, die über bzw. im Falle von Robert Müser knapp unter der Umweltqualitätsnorm (UQN) der Oberflächengewässerverordnung liegen.

Bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Grubenwasserzusammensetzung liegen derzeit nur wenige Informationen vor. Lediglich für den Standort Haus Aden existiert eine Prognose (DMT 2015) bzgl. der zukünftigen Entwicklung der Wassermatrix, nicht jedoch zu den erwarteten PCB-Konzentrationen. Für die anderen Standorte liegen bisher keine Prognosen vor, ob bzw. wie sich deren Wasserbeschaffenheit zukünftig ggf. verändern wird.

Als Aufbereitungsziel bzgl. der Wasserqualität wurde seitens des MKULNV eine "weitestgehende" Verringerung der PCB-Konzentration der Grubenwässer formuliert, konkrete Zielwerte wurden nicht festgelegt.

## **Vorgehensweise**

Ausgehend von den zuvor skizzierten Randbedingungen wurde zunächst ein Screening inkl. einer Grob-Bewertung von potenziell geeigneten Aufbereitungsverfahren zur PCB-Entfernung durchgeführt. Dabei wurde deutlich, dass neben der eigentlichen PCB-Entfernung auch noch weitere Aufbereitungsziele wie z.B. die Enteisung der Grubenwässer verfolgt werden müssen. Andernfalls würden Eisen und andere Grubenwasser-Inhaltstoffe die Wirksamkeit der Verfahren zur PCB-Entfernung erheblich beeinträchtigen.

Für die drei Referenzstandorte wurden Aufbereitungskonzepte entwickelt, Verfahrensschemata erstellt und die zu erwartende Beschaffenheit der gereinigten Grubenwässer abgeschätzt. Zudem wurden viele weitere betriebliche Aspekte dargestellt (z.B. erforderliche Chemikalien, Energieverbrauch, Reststoffe inkl. Entsorgung).

An den drei Referenzstandorten wurden jeweils eine A- und eine B-Variante betrachtet. Bei den A-Varianten werden nur die partikulär gebundenen PCB entfernt, bei den B-Varianten werden sowohl die partikulär gebundenen als auch die in der Wasserphase gelösten PCB entfernt.

Auf Basis der zuvor ermittelten Daten wurden die Investitionskosten (und daraus abgeleitet jährliche Kapitalkosten) sowie die jährlichen Betriebskosten der verschiedenen Varianten abgeschätzt.

## **Ergebnisse**

Für die beiden Standorte Haus Aden und Robert Müser wird als erste Stufe eine Enteisungsfiltration vorgeschlagen (Variante A), mit der neben Eisen, Mangan und Ammonium gleichzeitig die partikulär gebundenen PCB entfernt werden. In den B-Varianten wird im Anschluss an die Enteisungsfiltration eine Aktivkohlefiltration zur Entfernung der in der Wasserphase gelösten PCB vorgeschlagen.

Für den Standort Ibbenbüren Ost wird zur Entfernung der partikulär gebundenen PCB ein Kombinationsverfahren Flockung-Fällung-Sedimentation-Filtration vorgeschlagen (Variante A). In der B-Variante wird zur Entfernung der in der Wasserphase gelösten PCB der Einsatz von Pulveraktivkohle (vor der Flockung) vorgeschlagen.

## **Investitions- und Betriebskosten**

Für den Standort Haus Aden wurden für die A- und B-Variante Gesamt-Investitionskosten von 7,2 bzw. 11,3 Mio. EUR geschätzt. Die jährlichen Betriebskosten werden hier auf ca. 400.000 bzw. 790.000 EUR/a geschätzt. Die spezifischen Aufbereitungskosten (inkl. Kapitaldienst) werden für den Standort Haus Aden auf 7 bzw. 12 ct/m<sup>3</sup> geschätzt.

Für den Standort Robert Müser wurden für die A- und B-Variante Gesamt-Investitionskosten von 6,7 bzw. 10,0 Mio. EUR geschätzt. Die jährlichen Betriebskosten werden hier auf ca. 490.000 bzw. 800.000 EUR/a geschätzt. Die spezifischen Aufbereitungskosten (inkl. Kapitaldienst) werden für den Standort Robert Müser auf 8 bzw. 14 ct/m<sup>3</sup> geschätzt.

Am Standort Ibbenbüren Ost wird erwartet, dass sich mit dem Grubenwasseranstieg mittelfristig die Beschaffenheit des Grubenwassers deutlich verändern wird. Daher wurden für diesen Standort sowohl Berechnungen für den derzeitigen Zustand als auch für die zukünftige Wasserbeschaffenheit vorgenommen.

Mit der derzeitigen Wasserzusammensetzung wurden für den Standort Ibbenbüren Ost für die A- und B-Variante Gesamt-Investitionskosten von 6,9 bzw. 7,3 Mio. EUR geschätzt. Die jährlichen Betriebskosten werden hier auf ca. 510.000 bzw. 600.000 EUR/a geschätzt. Die spezifischen Aufbereitungskosten (inkl. Kapitaldienst) werden für die derzeitige Wasserbeschaffenheit auf 24 bzw. 26 ct/m<sup>3</sup> geschätzt.

Mit der zukünftigen Wasserzusammensetzung werden sich am Standort Ibbenbüren Ost insbesondere die Betriebskosten erhöhen, diese werden für die A- und B-Variante zukünftig auf ca. 1,2 bzw. 1,3 Mio. EUR/a geschätzt. Die spezifischen Aufbereitungskosten (inkl. Kapitaldienst) werden mit der zukünftigen Wasserbeschaffenheit auf 43 bzw. 46 ct/m<sup>3</sup> geschätzt.

**Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den hier genannten Kosten um erste Schätzungen handelt, die – wie zuvor erläutert - auf speziellen Randbedingungen und einigen noch ungesicherten Annahmen beruhen.**

**Dennoch ist mit dieser gutachterlichen Stellungnahme eine erste Grundlage für weitere Entscheidungen geschaffen worden.**

## **Bewertung der Varianten**

Die Bewertung der Verfahrensvarianten wurde in Form einer Nutzwertanalyse durchgeführt. Hierfür wurden insgesamt vier Kriterien mit unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren definiert. Die beiden Kriterien Wirkungsgrad (bzw. PCB-Ablaufkonzentration) und Aufbereitungskosten wurden hierbei am höchsten gewichtet. Die Nutzwertanalyse ergab für die Standorte Haus Aden und Robert Müser jeweils für die B-Variante (mit Aktivkohle) eine etwas positivere Bewertung als für die A-Variante (ohne Aktivkohle).

Aufgrund der zuvor erwähnten, unsicheren Datenlage bzgl. gelöster PCB in der Wasserphase ist jedoch noch offen, ob die Aktivkohle überhaupt zur PCB-Elimination benötigt wird. Insofern werden zunächst jeweils die A-Varianten (ohne Aktivkohle) als geeignete Verfahren zur PCB-Elimination vorgeschlagen.

Sollten die weiteren Analysen bestätigen, dass in der Wasserphase der Grubenwässer gelöste PCB in relevanten Konzentrationen vorliegen, dann sollte man die B-Varianten (mit Aktivkohle) in Betracht ziehen und diese in Form von Pilotversuchen testen.

## **Empfehlungen**

Aufgrund der unsicheren Datenlage wird empfohlen, weitere Analysen der Grubenwässer vorzunehmen. Zusätzlich zu den partikulär gebundenen PCB sollten aus Sicht der Gutachter auch die in der Wasserphase gelösten PCB analysiert werden.

Falls zukünftig eine PCB-Entfernung aus Grubenwässern an einzelnen Standorten in Betracht kommt, wird empfohlen, zunächst an diesen Standorten mögliche Aufbereitungsverfahren in Form von Labor- und halbtechnischen Pilotversuchen zu testen. Solche Untersuchungen sind hilfreich, um einerseits die (theoretischen) Ergebnisse dieser Studie (beispielsweise zur PCB-Elimination einzelner Verfahren) in der Praxis abzusichern. Andererseits kann man dadurch wichtige Informationen im Hinblick auf die Prozessgestaltung und Dimensionierung von technischen Aufbereitungsanlagen erhalten. Im Falle von Pilotversuchen sollten neben den hier empfohlenen Varianten auch Alternativverfahren, beispielsweise kontinuierlich arbeitende Filtrationsverfahren, untersucht werden, weil diese im späteren Betrieb möglicherweise zu großen Einsparungen führen können.

Im Anschluss an die Praxis-Untersuchungen könnten dann konkrete Vorplanungen inkl. einer detaillierten Kostenermittlung durchgeführt werden.

Es wurde ein möglicher Arbeitsplan für die empfohlenen Pilotversuche und ein erweitertes PCB-Monitoring vorgeschlagen. Danach könnten belastbare Ergebnisse vorliegen, die eine solide Grundlage für weitere Entscheidungen darstellen.

Die Berichtsversion als pdf ist nicht unterschrieben. Bitte vergleichen Sie im Zweifelsfall das unterschriebene Original.

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser  
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

Spiekermann GmbH  
Consulting Engineers

Mülheim an der Ruhr, den 13.12.2016

Düsseldorf, den 13.12.2016

Dr.-Ing. Wolf Merkel

Dr.-Ing. Christian Mauer

i.A. Dipl.-Ing. Oliver Dördelmann

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Hintergrund .....	1
2	Zielsetzung (Auszug aus der MKULNV-Ausschreibung).....	1
3	Ausgangssituation und Randbedingungen zu diesem Gutachten .....	2
3.1	Relevante Standorte.....	2
3.2	Zu hebende Grubenwassermengen .....	2
3.3	Beschaffenheit der Grubenwässer (bisher und zukünftig).....	3
3.3.1	PCB-Konzentrationen.....	3
3.3.2	Wassermatrix .....	5
3.4	Aufbereitungsziele.....	6
3.4.1	PCB-Zielwerte .....	7
4	Aufbereitungsverfahren allgemein .....	8
4.1	Partikelentfernung (inkl. partikulär gebundener PCB) .....	8
4.2	PCB-Entfernung aus der Wasserphase (Feinreinigung) .....	10
4.3	Enteisung und Entmanganung .....	13
4.4	Ammoniumentfernung .....	15
5	Aufbereitungsverfahren für drei Standorte .....	17
5.1	Verfahrenskonzepte .....	17
5.1.1	Standort Haus Aden (Lippe) .....	17
5.1.2	Standort Robert Müser (Ruhr) .....	19
5.1.3	Standort Ibbenbüren Ost .....	20
5.1.4	Eventuell mögliche Alternativ-Verfahren .....	22
5.2	Wesentliche Komponenten (Verfahrenstechnik) .....	23
5.3	Beschaffenheit der behandelten Grubenwässer .....	23
5.4	Betriebsmittel.....	25
5.5	Personal / Arbeitssicherheit .....	26



5.6	Umweltschutz / Rückstände .....	26
6	Arbeitspaket II: Investitions- und Betriebskosten .....	28
6.1	Eingangsdaten und Auslegung.....	28
6.1.1	Standort Haus Aden .....	29
6.1.2	Standort Robert Müser .....	32
6.1.3	Standort Ibbenbüren Ost .....	34
6.2	Abschätzung der Investitionskosten .....	37
6.2.1	Investitions- und Kapitalkosten für die drei Standorte .....	37
6.3	Abschätzung der Kosten für den Betriebsmitteleinsatz .....	39
6.3.1	Granulierte Aktivkohle (GAK).....	39
6.3.2	Pulver-Aktivkohle.....	41
6.3.3	Technischer Sauerstoff und Druckluft.....	41
6.3.4	Flockungshilfsmittel .....	42
6.3.5	Kalkhydrat .....	43
6.3.6	Polymerverbrauch .....	43
6.4	Berechnung des Energiebedarfs .....	44
6.5	Reststoffentsorgung .....	47
6.6	Berechnung des Personalbedarfs.....	50
6.6.1	Instandhaltungskosten.....	50
6.7	Ermittlung der Gesamtkosten .....	50
6.8	Unsicherheiten in der Kostenermittlung .....	56
7	Arbeitspaket III: Vergleichende Gegenüberstellung der Varianten .....	59
7.1	Vorgehensweise.....	59
7.2	Bewertung der Varianten.....	60
7.2.1	Haus Aden .....	60
7.2.2	Robert Müser.....	61
7.2.3	Ibbenbüren-Ost (derzeitige Wasserbeschaffenheit).....	62

7.2.4	Ibbenbüren-Ost (zukünftige Wasserbeschaffenheit) .....	64
7.3	Empfohlene Varianten .....	65
7.4	Weiteres Vorgehen.....	65
8	Literatur .....	67
9	Anhang.....	71

## 1 Einleitung und Hintergrund

"Im Rahmen der öffentlichen Diskussionen befürchten Umweltexperten, dass die bevorstehende Flutung der Bergwerke, nach Auslaufen des Bergbaus Ende 2018, zu einer Remobilisierung des PCB unter Tage führen und damit vermehrt PCB mit dem Grubenwasser in die Gewässer ausgetragen würde." (Auszug aus der MKULNV-Ausschreibung zu diesem Gutachten).

Vor diesem Hintergrund wurde die Arbeitsgemeinschaft IWW / Spiekermann beauftragt, mögliche Verfahren zur PCB-Elimination aus Grubenwässern darzustellen, zu bewerten und Kosten zu ermitteln.

## 2 Zielsetzung (Auszug aus der MKULNV-Ausschreibung)

Die Aufgabenstellung wurde in der Ausschreibung des MKULNV wie folgt formuliert (Zitat):

“Die PCB-Konzentrationen im Grubenwasser sollen weitestgehend reduziert werden. Hierzu ist ein technischer Vorschlag zu unterbreiten, der eine Kostenkalkulation für Bau und Betrieb beinhaltet. Im Einzelnen sind folgende Leistungen zu erbringen:

- I. Kurze zusammenfassende Darstellung aller in Frage kommenden PCB-Eliminationsverfahren.
- II. Ermittlung des materiellen Investitionsbedarfs für die ermittelten und vorgeschlagenen Verfahren; vergleichende Abschätzung der für die Realisierung der Maßnahmen und den Betrieb der Anlagen anfallenden Jahreskosten.
- III. Auswertung und Bewertung der sich ergebenden Alternativen in einer vergleichenden Gegenüberstellung.“

### 3 Ausgangssituation und Randbedingungen zu diesem Gutachten

#### 3.1 Relevante Standorte

Gemäß Absprache mit dem MKULNV sind für diese Studie nur solche Standorte relevant, an denen in Zukunft - nach jetzigem Stand der Dinge - weiter Grubenwässer gefördert werden. Dies sind folgende 7 Standorte

- Lippe (1 Standort): Haus Aden
- Ruhr (3 Standorte): Robert Müser, Friedlicher Nachbar, Heinrich
- Rhein (2 Standorte): Walsum, Lohberg
- Ibbenbüren (West- und Ostfeld – diese werden als ein Standort betrachtet)

#### 3.2 Zu hebende Grubenwassermengen

In Absprache mit dem MKULNV sind für die Studie die in Tabelle 1 aufgeführten Grubenwassermengen zu berücksichtigen:

**Tabelle 1: Bisherige und zukünftig geplante Grubenwassermengen**

Fluss	Name	Ort	2015	ab 2022	ab ca. 2035	Bemerkung
			Mio. m <sup>3</sup> /a	Mio. m <sup>3</sup> /a	Mio. m <sup>3</sup> /a	
Ibbenbürener Aa	<b>IB Westfeld</b>	Ibbenbüren	4,4	4,2	4,2	bleibt langfristig bestehen
Ibbenbürener Aa	<b>IB Ostfeld</b>	Ibbenbüren	11,3	-	2 bis 6	bleibt langfristig bestehen; in 2022 noch Anstiegszeitraum und daher kein Wasser, langfristig Reduktion Wassermenge bis 90%
Lippe	<b>Haus Aden (AD)</b>	Bergkamen	11,1	ca. 13	ca. 13	bleibt langfristig bestehen, Menge bleibt abzuwarten
Lippe	<b>Auguste Victoria (AV)</b>	Marl	2,3	0	0	Ende Abbau 2015
Emscher	<b>Carolinenglück (CA)</b>	Bochum	6,5	0	0	geplante Stilllegung 2019
Emscher	<b>Zollverein (ZO)</b>	Essen	7,0	0	0	geplante Stilllegung 2019
Emscher	<b>Amalie (AM)</b>	Essen	5,8	0	0	geplante Stilllegung 2019
Emscher	<b>Prosper Haniel (FH)</b>	Bottrop	3,5	0	0	geplante Stilllegung 2020
Emscher	<b>Concordia (CO)</b>	Oberhausen	2,2	0	0	geplante Stilllegung 2020
Ruhr	<b>Robert Müser (RM)</b>	Bochum	7,2	11	11	bleibt langfristig bestehen
Ruhr	<b>Friedlicher Nachbar (FN)</b>	Bochum	7,0	8	8	bleibt langfristig bestehen
Ruhr	<b>Heinrich (HE)</b>	Essen	14,3	20	20	bleibt langfristig bestehen
Rhein	<b>Lohberg (LO)</b>	Dinslaken	-	-	35	in Planung, Pumpbeginn nach 2030
Rhein	<b>Walsum (WA)</b>	Duisburg	0,0	8	8	seit Juni 2016 Regelbetrieb, jedoch ohne Wasser aus West
<b>NRW Summe</b>			<b>82,7</b>	<b>64,2</b>	<b>ca. 105</b>	

Bezüglich einer möglichen Dynamik der Volumenströme wurden von RAG für die Wasserhaltung am Standort Walsum folgende Informationen gegeben:

Am Standort Walsum sind 3 gleichgroße Förderpumpen vorhanden, von denen eine jedoch redundant ist. Je nach Bedarf fördern entweder eine oder zwei Pumpen das Grubenwasser, im Mittel sei von 1,5 Pumpen auszugehen, die in Betrieb sind. Dies würde bedeuten, dass am Standort Walsum ein Spitzenfaktor von 1,33 (2 : 1,5) zu berücksichtigen ist.

### **3.3 Beschaffenheit der Grubenwässer (bisher und zukünftig)**

Vom MKULNV wurden diverse Dokumente mit Analysendaten in elektronischer Form zur Verfügung gestellt.

Die Auswertung dieser Daten zeigte - sowohl bzgl. der Wassermatrix als auch bzgl. der PCB-Konzentrationen der Grubenwässer – eine große Schwankungsbreite der Messergebnisse. Für einzelne Parameter und Standorte liegen zudem nur wenige Analysendaten vor, so dass die Datengrundlage als unsicher zu bezeichnen ist.

#### **3.3.1 PCB-Konzentrationen**

Gemäß LANUV-Sondermessprogramm (LANUV, 2015) wurden in den verschiedenen Grubenwässern PCB-Konzentrationen zwischen <1 und 110 µg/kg Schwebstoff-Trockenmasse festgestellt. Die Angaben beziehen sich auf die PCB-Einzel-Kongenere in der Schwebstoff-Trockenmasse, da die PCB überwiegend an Schwebstoff-Partikel gebunden sind. Im Frühjahr 2016 wurde zudem eine Probe am Standort Walsum genommen. PCB-Konzentrationen oberhalb der Umweltqualitätsnorm (UQN) von 20 µg/kg wurden bei den LANUV-Messungen 2015 + 2016 an folgenden Standorten festgestellt:

- Haus Aden (maximal 110 µg/kg für PCB 52)
- Ibbenbüren Ostfeld (maximal 72 µg/kg für PCB 28)
- Walsum (maximal 62 µg/kg für PCB 28)
- Prosper Haniel (maximal 48 µg/kg für PCB 28)
- Zollverein (maximal 34 µg/kg für PCB 28)

Die höchsten Konzentrationen wurden für die PCB-Kongenere PCB 28 und PCB 52 festgestellt. Diese beiden PCB-Kongenere enthalten 3 bzw. 4 Chloratome und haben Molekulargewichte von 258 bzw. 292 g/mol.

An den Standorten Prosper Haniel und Zollverein wird mittelfristig die Grubenwasserförderung eingestellt. Insofern kommen folgende fünf Standorte für eine mögliche PCB-Elimination in Betracht:

- Haus Aden
- Ibbenbüren Ost
- Lohberg
- Robert Müser
- Walsum

Im Rahmen des ahu-Untersuchungsprogramms wurde im Februar 2016 am Standort Haus Aden eine Grubenwasserprobe des Victoriadamms auf die in der Wasserphase gelösten PCB hin untersucht. Die Konzentrationen der sechs analysierten PCB-Kongenere lagen zwischen 0,15 und 0,20 ng/l. Weitere Analysenergebnisse zu gelösten PCB in der Wasserphase sind IWW/Spiekermann nicht bekannt. Gemäß Absprache mit dem MKULNV vom 01.07.2016 werden – in Ermangelung anderer Daten - die am Standort Haus Aden in der Wasserphase ermittelten PCB-Konzentrationen als repräsentativ auch für die anderen Standorte betrachtet.

Da für den zukünftigen Standort Lohberg keine PCB-Analysendaten vorliegen und sich die Wasserbeschaffenheit am Standort Walsum noch ändern wird, wurden zunächst die beiden Standorte Haus Aden und Ibbenbüren Ost als Beispielstandorte für diese Studie vorgeschlagen. Der Standort Robert Müser wurde trotz der geringeren PCB-Konzentration von 19 µg/kg als dritter Beispielstandort hinzugenommen, weil hier das Grubenwasser in die Ruhr eingeleitet wird, die als Ressource zur Trinkwasserversorgung genutzt wird.

### **Prognosen für die Zukunft**

In einem DMT-Gutachten für die Bergwerke an der Saar wird prognostiziert, dass dort nach einem Grubenwasseranstieg mittel- bis langfristig - aufgrund sinkender Trübstoff-Konzentrationen - die Frachten der partikel-gebundenen PCB in den Grubenwässern sinken werden (DMT, 2016a). Allerdings sei nach Wiederbeginn der Grubenwasserförderung an der Saar zunächst für einen kurzen Zeitraum mit erhöhten PCB-Frachten zu rechnen.

Ein Gutachten mit einer PCB-Prognose für die NRW-Standorte existiert nach Auskunft von DMT bisher nicht. Nach Aussage von DMT ist im Zusammenhang den geplanten

Grubenwasseranstiegen an den NRW-Standorten mittel- bis langfristig ebenfalls mit tendenziell sinkenden Schwebstoff- und PCB-Frachten zu rechnen. (DMT, 2016b)

Die zukünftige Entwicklung der PCB Konzentration in der Wasserphase ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens, sondern des parallel durchgeführten sogenannten "Bergversatz-Gutachtens", dessen Ergebnisse bei Erstellung des Berichtes noch nicht vorlagen.

### 3.3.2 Wassermatrix

Von den relevanten Standorten wurden die vorhandenen Analysendaten im Hinblick auf einige Matrix-Parameter ausgewertet. Die vorhandenen Informationen sind teilweise sehr lückenhaft und – auch für einen einzelnen Standort – sehr unterschiedlich. In Tabelle 2 sind die Konzentrationsbereiche für die Parameter DOC, Abfiltrierbare Stoffe (AFS), Eisen, Ammonium, Schwefelwasserstoff und Chlorid zusammengefasst, differenziert nach Standorten mit PCB-Konzentrationen im Grubenwasser oberhalb bzw. unterhalb der UQN.

**Tabelle 2: Matrix der Grubenwässer an den einzelnen Standorten**

zukünftige Standorte mit Grubenwasser-Einleitungen *	DOC	AFS	Fe	NH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	Chlorid	Prognosen bzgl. der zukünftigen Wasserqualität
<b>PCB-Konzentrationen &gt; UQN</b>	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
<b>Haus Aden</b> (Lippe)	1,5 - 2	1 - 10	1	2	"es riecht nach H <sub>2</sub> S"	5.000	DMT: Fe max. 3 mg/l NH <sub>4</sub> max 3 mg/l Cl max 8.000 mg/l
<b>Ibbenbüren Ostfeld</b> (Ibbenbürener Aa)	<2 - 5	5 - 90	4 - 10	5 - 10	**	20.000	zukünftige Wasserqualität des Ostfelds ähnlich wie Westfeld
<b>Walsum</b> (Rhein)	2	24 - 83	43	3,7	**	20.000	**
<b>PCB-Konzentrationen &lt; UQN</b>							
<b>Friedlicher Nachbar</b> (Ruhr)	0,9 - 5	4 - 40	1 - 4	0,7 - 2,7	**	300	**
<b>Heinrich</b> (Ruhr)	0,5 - 2,4	7 - 305	1 - 100	0,4	**	400	**
<b>Robert Müser</b> (Ruhr)	1,4 - 2	1 - 60	1 - 8	1,2	"es riecht nach H <sub>2</sub> S"	1.800	**
<b>Ibbenbüren Westfeld</b> (Ibbenbürener Aa)	1,0 - 5	1 - 90	120 - 200	0,6	**	170	**
<b>keine PCB-Daten</b>							
<b>Lohberg</b> (Rhein)	**	**	**	**	**	**	**

\* an den anderen bisherigen Standorten (z. B. an der Emscher) wird bis 2020 die Grubenwasserförderung eingestellt.

\*\* keine Messwerte / Informationen vorhanden

Die Grubenwässer der drei Standorte, an denen die Umweltqualitätsnorm für PCB überschritten wurde, sind alle recht stark salzhaltig. Generell fällt auf, dass die Konzentrationen bei den Parametern AFS und Eisen auch sehr stark variieren. Für den Parameter Schwefelwasserstoff liegen keine Analysendaten vor. Teilweise wurden aber (vermutlich von den Probenehmern) Hinweise notiert, dass die Wässer nach Schwefelwasserstoff riechen.

Nur für zwei Standorte (Haus Aden, Ibbenbüren Ost) gibt es Hinweise bzw. Prognosen, wie sich die Wasserqualität zukünftig, das heißt nach dem Anstieg der Grubenwässer, verändern wird. Für den zukünftigen Grubenwasserstandort Lohberg liegen keine Daten / Prognosen vor.

Eventuell in den Grubenwässern enthaltenes Methan wurde in Absprache mit dem MKULNV in diesem Gutachten nicht weiter betrachtet.

### 3.4 Aufbereitungsziele

Um die überwiegend partikulär gebundenen PCB weitestgehend (vergl. Abschnitt 3.4.1) zu entfernen, ist zunächst eine effektive Partikel-Elimination erforderlich. In einem zweiten Schritt sollen auch die PCB-Spuren, die gelöst in der Wasserphase vorliegen, ebenfalls weitestgehend entfernt werden.

Da die Grubenwässer eisen- und manganhaltig sind, und diese Stoffe bei den meisten PCB-Aufbereitungsmöglichkeiten zu Beeinträchtigungen führen würden, ist eine Enteisung/Entmanganung erforderlich. Zudem sind beim Grubenwasser des Standortes Ibbenbüren Ost zukünftig sehr hohe Eisenkonzentrationen zu erwarten, die eine Direkteinleitung ins Gewässer ausschließen und eine Aufbereitung ebenfalls erforderlich machen.

Eventuell in den Grubenwässern enthaltener Schwefelwasserstoff wird bei einer Enteisung /Entmanganung üblicherweise vollständig entfernt. Daher muss eine Schwefelwasserstoff-Entfernung nicht als eigenes Aufbereitungsziel benannt werden.

Eine Ammoniumentfernung (Nitrifikation) ist nach Vorgabe des MKULNV nur dann erforderlich, wenn in den betreffenden Gewässern die Orientierungswerte überschritten würden.

Somit ergeben sich folgende qualitativen Aufbereitungsziele:

- Weitestgehende Partikel-Elimination (inkl. partikulär gebundener PCB, sowie ggf. weiterer schwebstoffgebundener Schadstoffe, z.B. PAK)
- Weitestgehende Entfernung von gelösten PCB aus der Wasserphase ("Feinreinigung")



- Enteisung/Entmanganung
- Ggf. Nitrifikation

Es deutet sich bereits hier an, dass die Aufbereitung der Grubenwässer vermutlich in mehreren Schritten erfolgen muss.

### 3.4.1 PCB-Zielwerte

Für Grubenwässer existieren generell keine Grenzwerte und somit auch keine speziellen PCB-Grenzwerte. Wenn Grubenwässer jedoch in ein (Oberflächen-) Gewässer eingeleitet werden, dann müssen - wie bei jeder anderen Einleitung auch - die Anforderungen der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) erfüllt werden. Die Umweltqualitätsnormen für PCB-Einzel-Kongenere in Oberflächengewässern lauten:

- 20 µg/kg im Schwebstoff (ungelöst)
- 500 ng/m<sup>3</sup> bzw. 0,5 ng/l in der Gesamtprobe (gelöst + ungelöst):

Gemäß Vorgabe des MKULNV sollen die PCB-Konzentrationen **weitestgehend** minimiert werden.

## 4 Aufbereitungsverfahren allgemein

### 4.1 Partikelentfernung (inkl. partikulär gebundener PCB)

Folgende Verfahren bzw. Mechanismen kommen für eine Partikelentfernung aus Wasser grundsätzlich in Betracht:

- Sedimentation (allein)
- Flockung + Sedimentation
- Flockung + Sedimentation + Filtration
- Tiefenfiltration (ggf. bei der Enteisenung oder mit Inline-Flockung)
- Flotation (allein)
- Zentrifugale Trennung (Dekanter, Separatoren, Hydrozyklon)
- Mikro- bzw. Ultrafiltration

Eine alleinige **Sedimentation** wird als nicht ausreichend effektiv eingeschätzt, um die Partikel und somit die partikulär gebundenen PCB weitestgehend zu entfernen.

Auch eine Kombination von **Flockung und Sedimentation** wird vermutlich nicht ausreichen, um eine effektive Partikel- und PCB-Elimination aus den Grubenwässern zu bewirken.

Hingegen wird die Kombination von **Flockung /Sedimentation und Filtration** als geeignet angesehen, um eine effektive Partikelelimination insbesondere aus den Grubenwässern mit hohen Eisenkonzentrationen ( $> 10 \text{ mg/l}$ ) zu erreichen. Für Grubenwässer mit geringeren Eisenkonzentration ( $< 10 \text{ mg/l}$ ) kann bevorzugt eine Tiefenfiltration, ggf. in Kombination mit einer vorherigen Inline-Flockung eingesetzt werden.

Ob eine alleinige **Flotation** effektiv zur Partikelentfernung bei der Grubenwasseraufbereitung eingesetzt werden kann, ist aufgrund mangelnder Informationen derzeit ungewiss. Um über die Effektivität einer Flotation – ggf. auch in Kombination mit anderen Verfahren - aussagekräftige Informationen zu erlangen, könnten Labor- oder Pilotversuche hilfreich sein.

Verfahren zur **zentrifugalen Trennung** werden häufig zur Abtrennung von Partikeln im Mikrometerbereich aus hoch Trübstoff-belasteten (Ab-) Wässern verwendet. Ob diese Methode auch für die eher gering Trübstoff-belasteten Grubenwässer (Partikelgrößen nicht bekannt) effektiv eingesetzt werden kann, ist derzeit ungewiss, könnte aber ggf. in Praxisversuchen überprüft werden. Angesichts der großen Volumenströme, die zu behandeln sind, liegen die Investitionskosten dieser Verfahren jedoch um ein Vielfaches höher als die Kosten von verfahrenstechnisch einfacheren Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen wie z. B. Flockung/Sedimentation oder Tiefenfiltration.

**Mikro- und Ultrafiltration (MF/UF)** sind grundsätzlich sehr effektive Verfahren zur Partikelentfernung. Ob sie jedoch auch effizient zur Aufbereitung von stark eisenhaltigen Grubenwässern eingesetzt werden können, könnte ggf. im Praxisversuch überprüft werden. Die Investitionskosten von MF/UF-Verfahren liegen deutlich über denen von Flockung oder Tiefenfiltration, was angesichts der großen Volumenströme von besonderer Bedeutung ist. Daher wird die Mikro- und Ultrafiltration im Rahmen dieses Gutachtens zunächst nicht weiter betrachtet, sollte aber bei zukünftigen Pilotversuchen ggf. mit untersucht werden.

In Tabelle 3 werden die zuvor genannten Verfahren zur Partikel- und PCB-Elimination im Hinblick auf einen Einsatz bei der Grubenwasseraufbereitung qualitativ bewertet.

**Tabelle 3: Qualitative Bewertung der Verfahren zur Partikel- und PCB-Elimination bei der Grubenwasseraufbereitung** (Farbskala: grün – positiv bzw. gut geeignet, gelb/orange – bedingt geeignet, rot – negativ bzw. nicht geeignet)

Partikelentfernung bei der Grubenwasseraufbereitung	Sedimentation (allein)	Flockung + Sedimentation	Flockung + Sedimentation + Filtration	Tiefenfiltration (ggf mit Inline-Flockung)	Flotation (allein)	Zentrifugale Trennung	Mikro- bzw. Ultrafiltration
Effektivität (mögliche Partikel-Elimination)	< 95 %	95 - 98 %	> 98 %	> 98 %	?	?	> 99,9 %
Robustheit + Flexibilität der Verfahren *	empfindlich	mäßig robust	robust + flexibel	robust + flexibel	?	?	robust + flexibel
Umgang mit Chemikalien	nein	FM/ FHM ** + ggf. Säuren/Laugen	FM/ FHM ** + ggf. Säuren/Laugen	(evtl. FM/ FHM **)	nein	nein	Säuren/Laugen zur Reinigung ggf. FHM **
Energieverbrauch	gering	gering	moderat	gering	moderat	hoch	moderat bis hoch
Platz-/Raumbedarf der Aufbereitungsanlage	moderat	moderat bis hoch	hoch	gering bis moderat	gering bis moderat	moderat	gering
Investitionskosten qualitativ	gering	moderat	moderat bis hoch	moderat	moderat	hoch	hoch
Betriebskosten qualitativ	gering	gering	moderat	gering bis moderat	moderat	hoch	moderat bis hoch
Bemerkung			Für Eisenkonzentrationen > 10 mg/l	Für Eisenkonzentrationen < 10 mg/l			***

\* z. B. bei Durchsatz- oder Konzentrationsschwankungen

\*\* FM = Flockungsmittel FHM = Flockungshilfsmittel

\*\*\* unsicher, ob bzw. wie gut der Prozess bei sehr hohen Eisenkonzentrationen funktioniert (Pilotversuche empfohlen)

**Nach Einschätzung der Gutachter kommen für die Partikelentfernung aus Grubenwässern bei großen Volumenströmen insbesondere die Verfahren a) Flockung - Sedimentation - Filtration und b) Tiefenfiltration in Betracht.**

## 4.2 PCB-Entfernung aus der Wasserphase (Feinreinigung)

Folgende Verfahren bzw. Mechanismen kommen für eine Entfernung von gelösten PCB aus Wasser grundsätzlich in Betracht:

- Adsorption an granulierter Aktivkohle (GAK)
- Adsorption an Pulver-Aktivkohle (PAK)
- weitere Sorbentien (z.B. Adsorberharze)
- Oxidation / AOP (Ozon /  $\text{H}_2\text{O}_2$  /  $\text{TiO}_2$  / UV) + Nachbehandlung
- Dichte Membranen (RO / NF)
- Elektrochemische Verfahren
- Biologische Verfahren (inkl. MBR)

In Tabelle 4 werden die verschiedenen Verfahren zur PCB-Entfernung aus der Wasserphase im Hinblick auf einen Einsatz bei der Grubenwasseraufbereitung qualitativ bewertet.

**Tabelle 4: Qualitative Bewertung der Verfahren zur PCB-Entfernung aus der Wasserphase bei der Grubenwasseraufbereitung** (Farbskala: grün – positiv bzw. gut geeignet, gelb/orange – bedingt geeignet, rot – negativ bzw. nicht geeignet)

PCB-Entfernung aus der Wasserphase bei der Grubenwasseraufbereitung	Granulierte Aktivkohle (GAK)	Pulver-Aktivkohle (PAK)	weitere Sorbentien (Adsorberharze)	Oxidation inkl. Ozon / AOP ** + Biofilter	Dichte Membranen (RO / NF)	Elektrochemische Verfahren	Biologische Verfahren (inkl. MBR)
Effektivität (PCB-Elimination)	> 90 %	80 % ****	?	?	> 90 %	?	?
Robustheit + Flexibilität der Verfahren *	robust + flexibel (nach erfolgreicher Vor-Aufbereitung)	robust + flexibel	?	?	robust + flexibel (nach erfolgreicher Vor-Aufbereitung)	?	?
Umgang mit Chemikalien	nein	nein	nein	Ozon + evtl. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Antiscalants Reinigungschemikalien (Säure, Lauge)	?	?
Möglicher Eintrag von Nebenprodukten in das Reinwasser	nein	nein	?	evtl. Bildung von Metaboliten	nein	?	?
Energieverbrauch	gering	moderat	moderat	moderat bis hoch	hoch	?	?
Reststoffe / Entsorgung	thermische Reaktivierung der GAK	PAK-haltiger Schlamm (Verbrennung)	Filtermaterial (Verbrennung)	Rest-Ozon	PCB- und salzhaltiges Konzentrat ***	?	?
Investitionskosten qualitativ	moderat	gering (ohne Kosten für Abtrennung)	moderat	moderat bis hoch	hoch	?	?
Betriebskosten qualitativ	gering	moderat	moderat bis hoch	moderat	moderat bis hoch	?	?
Bemerkung	vorherige Enteisung + Partikel-Entfernung erforderlich	anschließend PAK-Abtrennung erforderlich	vorherige Enteisung + Partikel-Entfernung erforderlich		vorherige Enteisung + Partikel-Entfernung erforderlich		

\* z. B. bei Durchsatz- oder Konzentrationsschwankungen

\*\* AOP = Advanced Oxidation Process

\*\*\* ca. 20 % des behandelten Wassers

\*\*\*\* Annahme bei einer Dosierung von 10 mg PAK je Liter und 30 Minuten Kontaktzeit

Die von IWW durchgeführte Literaturrecherche ergab, dass eine **Adsorption an Aktivkohle sehr gut geeignet** ist, um gelöste PCB aus der Wasserphase zu entfernen (Amstaetter 2012, Beless 2014, Jonker 2002, McDonough 2008, Perrad 2016). PCB adsorbieren an Aktivkohle extrem gut, durch eine geeignete Vorauswahl der Aktivkohle kann die Eliminationsrate optimiert werden.

Zur Wasseraufbereitung wird Aktivkohle in granulierter Form (als Festbett) oder in Pulverform eingesetzt (Mutschmann/Stimmelmayer 2011).

Beim Einsatz von granulierter Aktivkohle wird im Anschluss an die Beladungsphase die Aktivkohle aus den Filtern ausgebaut und (meistens extern) reaktiviert. Ein kritischer Punkt in diesem Fall ist, dass die Reaktivierung von PCB-belasteten Aktivkohlen von den meisten Anbietern ausdrücklich ausgeschlossen wird. Wenn die beladene Aktivkohle die von den

Anbietern festgelegten PCB-Grenzwerte überschreitet, bliebe als Entsorgungsmöglichkeit vermutlich nur eine Hochtemperatur-Verbrennung, was zu höheren Betriebskosten führt, als die üblicherweise durchgeführte Reaktivierung.

Pulveraktivkohle wird üblicherweise nach ihrem Einsatz nicht reaktiviert sondern – ggf. gemeinsam mit anderen Wasserwerksrückständen – entsorgt (Mutschmann/Stimmelmayr 2011). Um die an der Pulveraktivkohle gebundenen PCB tatsächlich zu eliminieren, wäre eine verhältnismäßig teure Hochtemperatur-Verbrennung erforderlich. Der Vorteil von Pulveraktivkohle gegenüber granulierter Aktivkohle sind die meist geringeren Investitionskosten (Grombach 2000). Der Nachteil ist jedoch, dass die Beladung von Pulveraktivkohle – bei gleicher Zielkonzentration - meist niedriger ist als die Beladung von granulierter Aktivkohle. Dies führt beim Einsatz von Pulveraktivkohle in der Regel zu höheren Betriebskosten.

Es gibt **weitere Sorbentien**, beispielsweise “Adsorberharze“, die ebenfalls eine hohe Adsorptionskapazität bzgl. PCB haben (Purolite 2016). Sie werden u. a. zur Probenanreicherung im Bereich der Analytik eingesetzt (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014). Bei der Recherche wurden jedoch keine aussagekräftigen Informationen zum Einsatz bei der Wasseraufbereitung gefunden. Die spezifischen Kosten je Kilogramm bzw. je Liter Adsorberharz sind vermutlich deutlich höher als die von Aktivkohle (Purolite 2016).

Die Literaturrecherche zur **Oxidation** von PCB mittels Ozon bzw. AOP ergab, dass mit diesen Methoden grundsätzlich eine PCB-Elimination möglich ist (LFULG 2012, Ribeiro 2015, Yu 2011). Allerdings wurden die Untersuchungen überwiegend bei deutlich höheren Ausgangskonzentrationen durchgeführt. Ob die angestrebten sehr niedrigen PCB-Konzentrationen bei einem Ozon/AOP-Verfahren erreicht werden können, ist ungewiss. Angesichts einer möglichen Bildung von umwelt- oder gesundheitsgefährdenden Metaboliten wird die oxidative Entfernung von PCB als eine ungeeignete Methode zur Aufbereitung von Grubenwässern angesehen.

**Umkehrosmose-** und dichte Nanofiltrationsmembranen sind in der Lage PCB effektiv aus Wasser zu entfernen (Rodriguez 2008). Zurück bleibt jedoch ein Konzentrat, welches die PCB üblicherweise in drei- bis fünffacher Konzentration enthält. Eine im Sinne einer vollständigen PCB-Elimination geeignete Entsorgung des Konzentrats wäre extrem aufwändig und teuer, so dass die Umkehrosmose/Nanofiltration im Rahmen dieser Studie nicht weiter betrachtet wird.

In der Literatur gibt es verschiedene Hinweise, dass PCB **mit elektrochemischen, photokatalytischen und biologischen Verfahren** aus Wasser entfernt werden können (Bolzonella 2010, HDR 2013, Shaban 2016, Siebielska 2015). Es ist aus IWW-Sicht jedoch

sehr unsicher, ob diese Verfahren unter den Randbedingungen der Grubenwässer (hohe Volumenströme, niedrige Ausgangskonzentrationen) erfolgreich zur PCB-Elimination eingesetzt werden können.

**Nach Einschätzung der Gutachter kommt für die PCB-Entfernung aus der Wasserphase der Grubenwässer insbesondere die Adsorption an Aktivkohle in Betracht.**

### 4.3 Enteisenung und Entmanganung

Für die Enteisenung und Entmanganung kommen u.a. folgende Methoden in Frage (DVGW 2005):

- Eisen(II) / Mangan(II)-Filtration (ggf. nach Belüftung bzw. Sauerstoff-Dosierung)
- Eisen(III)-Filtration
- Trockenfiltration
- Fällung/Flockung inkl. Oxidation

Für reduzierte Grundwässer mit Eisenkonzentrationen bis etwa 10 mg/l ist die **Eisen(II) / Mangan(II)-Filtration** meist die Methode der Wahl. Hierbei werden Eisen und Mangan innerhalb des Filterbettes oxidiert und dann direkt an der Filtermaterialoberfläche adsorbiert. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einer Kontaktfiltration.

Wenn das Eisen überwiegend in oxidierter Form als Eisen(III) vorliegt, dann findet eine sogenannte **Eisen(III) / Mangan(IV)-Filtration** statt, die man auch als eine besondere Form der Flockenfiltration bezeichnen kann. Zur Verbesserung der Filtratqualität kann die Dosierung eines Flockungshilfsmittels sinnvoll sein. Dennoch ist diese Art der Enteisenung empfindlicher gegenüber Durchsatzschwankungen. Die Eisenkonzentration und die Ablauf-Trübung sind hierbei zumeist etwas höher als bei einer Eisen(II) / Mangan(II)-Filtration.

Für etwas höhere Eisenkonzentrationen bis maximal 15 – 20 mg/l kann eine sogenannte **Trockenfiltration** zum Einsatz kommen, bei der das Filterbett nicht mit Wasser überstaut ist. Hierbei ist die Filtratqualität (Trübung, Eisen) jedoch deutlich schlechter als bei den beiden zuvor genannten Verfahren.

Bei sehr hohen Eisenkonzentrationen (z.B. Grubenwässern) kommt üblicherweise ein kombiniertes **Fällungs-/ Flockungs-/ Sedimentations- und Filtrationsverfahren** zum Einsatz. In vielen Fällen wird hierbei eine Lauge (z.B. Kalkmilch) dosiert, um a) den

Enteisungsprozess zu beschleunigen und b) der dabei stattfindenden pH-Wert-Absenkung entgegenzuwirken. Die Luftzugabe erfolgt dabei häufig kontinuierlich in belüfteten Becken (Wolkersdorfer 2013). Diese Verfahrenskombination wird bereits seit vielen Jahren am Standort Ibbenbüren West zur Reinigung der dort anfallenden Grubenwasser praktiziert (Kläranlage Gravenhorst).

In Tabelle 5 werden die verschiedenen Verfahren zur Enteisung / Entmanganung im Hinblick auf einen Einsatz bei der Grubenwasseraufbereitung qualitativ bewertet.

**Tabelle 5: Qualitative Bewertung der Verfahren zur Enteisung / Entmanganung bei der Grubenwasseraufbereitung** (Farbskala: grün – positiv bzw. gut geeignet, gelb/orange – bedingt geeignet, rot – negativ bzw. nicht geeignet)

Enteisung / Entmanganung bei der Grubenwasseraufbereitung	Eisen(II) / Mangan(II)-Filtration *	Eisen(III) / Mangan(IV)-Filtration	Trockenfiltration	Fällung / Flockung / Sedimentation / Filtration inkl. Oxidation
Effektivität (Eisen-Elimination)	> 99%	> 98%	> 90 %	> 99%
Robustheit + Flexibilität der Verfahren *	robust + flexibel	mäßig robust	mäßig robust	robust + flexibel
Umgang mit Chemikalien	nein (nur Luft bzw. technischer Sauerstoff)	FHM ***	nein	Kalkmilch + FHM ***
Energieverbrauch	gering	gering	gering	moderat
Reststoffe / Entsorgung	Spülabwässer bzw. Schlamm (nach Sedimentation)	Spülabwässer bzw. Schlamm (nach Sedimentation)	Spülabwässer bzw. Schlamm (nach Sedimentation)	Schlamm
Investitionskosten qualitativ	moderat	moderat	moderat	moderat bis hoch
Betriebskosten qualitativ	gering	gering	gering	moderat
Bemerkung	Für reduzierte Rohwässer mit Eisenkonzentrationen < 10 mg/l	Für oxidierte Rohwässer mit Eisenkonzentrationen < 10 mg/l	Für reduzierte Rohwässer mit Eisenkonzentrationen bis maximal 15 - 20 mg/l	Für Eisenkonzentrationen > 10 mg/l

\* z. B. bei Durchsatz- oder Konzentrationsschwankungen

\*\* nach Belüftung bzw. Sauerstoff-Dosierung

\*\*\* FM = Flockungsmittel FHM = Flockungshilfsmittel

**Nach Einschätzung der Gutachter kommen für die Enteisung der Grubenwässer – in Abhängigkeit von der Eisenkonzentration und -Speziation – insbesondere die Eisen(II) / Mangan(II)-Filtration, die Eisen(III) / Mangan(IV)-Filtration sowie ein kombiniertes Fällungs-/ Flockungs-/ Sedimentations- und Filtrationsverfahren in Betracht.**



## 4.4 Ammoniumentfernung

Für die Ammoniumentfernung kommen u.a. folgende Methoden in Betracht (Mutschmann/Stimmelmayer 2011):

- Nitrifikation
  - bei der Enteisenungsfiltration (nach Belüftung bzw. Sauerstoffzugabe)
  - bei der Trockenfiltration
  - Biofilter (belüftet) mit Trägermaterial
- Ammoniumoxidation mit Chlor

Aufgrund des hohen Sauerstoffbedarfs für die Nitrifikation ( $3,6 \text{ mg O}_2 \text{ je mg NH}_4$ ) und der begrenzten Sauerstoff-Löslichkeit kann während einer konventionellen **Eisen(II)-Filtration** - nach vorheriger Belüftung - die Ammoniumkonzentration nur um etwa  $2,5 \text{ mg/l}$  verringert werden.

Durch eine **Dosierung von reinem Sauerstoff** oder eine sogenannte **Trockenfiltration** können auch Wässer mit etwas höheren Ammoniumkonzentrationen aufbereitet werden.

Bei sehr hohen Ammoniumkonzentrationen, können sogenannte **Biofilter** zum Einsatz kommen. Diese werden zur Nitrifikation dauerhaft belüftet und sind mit einem Trägermaterial befüllt, welches als Aufwuchsfläche für die Bakterien (Nitrifikanten) dient.

Bei der **Ammonium-Oxidation mit Chlor, der sogenannten Knickpunktchlorung**, entsteht u.a. Chloramin. Zudem können weitere Wasserinhaltsstoffe mit Chlor reagieren und sich somit ggf. weitere unerwünschte Nebenprodukte (z.B. Trihalogenmethane THM) bilden. Aus diesem Grund wird die Ammonium-Oxidation mit Chlor nicht weiter betrachtet.

In Tabelle 6 werden die verschiedenen Verfahren zur Ammoniumentfernung im Hinblick auf einen Einsatz bei der Grubenwasseraufbereitung qualitativ bewertet.

**Tabelle 6: Qualitative Bewertung der Verfahren zur Ammoniumentfernung bei der Grubenwasseraufbereitung** (Farbskala: grün – positiv bzw. gut geeignet, gelb/orange – bedingt geeignet, rot – negativ bzw. nicht geeignet)

Ammoniumentfernung bei der Grubenwasseraufbereitung	Nitrifikation bei der Enteisungsfiltration **	Nitrifikation bei der Trockenfiltration	belüfteter Biofilter mit Trägermaterial	Ammoniumoxidation mit Chlor
Effektivität (Ammonium-Elimination)	> 95 %	> 95 %	> 95 %	> 95 %
Robustheit + Flexibilität der Verfahren *	robust + flexibel	robust + flexibel	robust + flexibel	robust + flexibel
Umgang mit Chemikalien	nein (nur Luft bzw. technischer Sauerstoff)	nein (nur Luft)	nein (nur Luft)	Chlorgas
Möglicher Eintrag von Nebenprodukten in das Reinwasser	nein	evtl. Partikel (Biomasse)	Partikel (Biomasse)	Chloramine und Chlororganische Verbindungen (LHKW)
Energieverbrauch	gering	gering bis moderat	moderat (für Lufteintrag)	gering
Reststoffe / Entsorgung	Spülabwässer bzw. Schlamm (nach Sedimentation)	Spülabwässer bzw. Schlamm (nach Sedimentation)	Spülabwässer bzw. Schlamm (nach Sedimentation)	keine
Investitionskosten qualitativ	moderat	moderat	moderat bis hoch	gering
Betriebskosten qualitativ	gering	gering	moderat	moderat
Bemerkung	bei vorheriger Belüftung bis max. 2 mg/l NH <sub>4</sub>	bis max. 4 mg/l NH <sub>4</sub> (bei niedriger Filtergeschwindigkeit)		hoher spezifischer Chlorverbrauch

\* z. B. bei Durchsatz- oder Konzentrationsschwankungen

\*\* nach Belüftung bzw. Sauerstoff-Dosierung

\*\*\* FM = Flockungsmittel FHM = Flockungshilfsmittel

Nach Einschätzung der Gutachter kommen für die Ammoniumentfernung aus Grubenwässern vor allem die Nitrifikation bei der Enteisungsfiltration und die Biofiltration in Betracht.

## 5 Aufbereitungsverfahren für drei Standorte

### 5.1 Verfahrenskonzepte

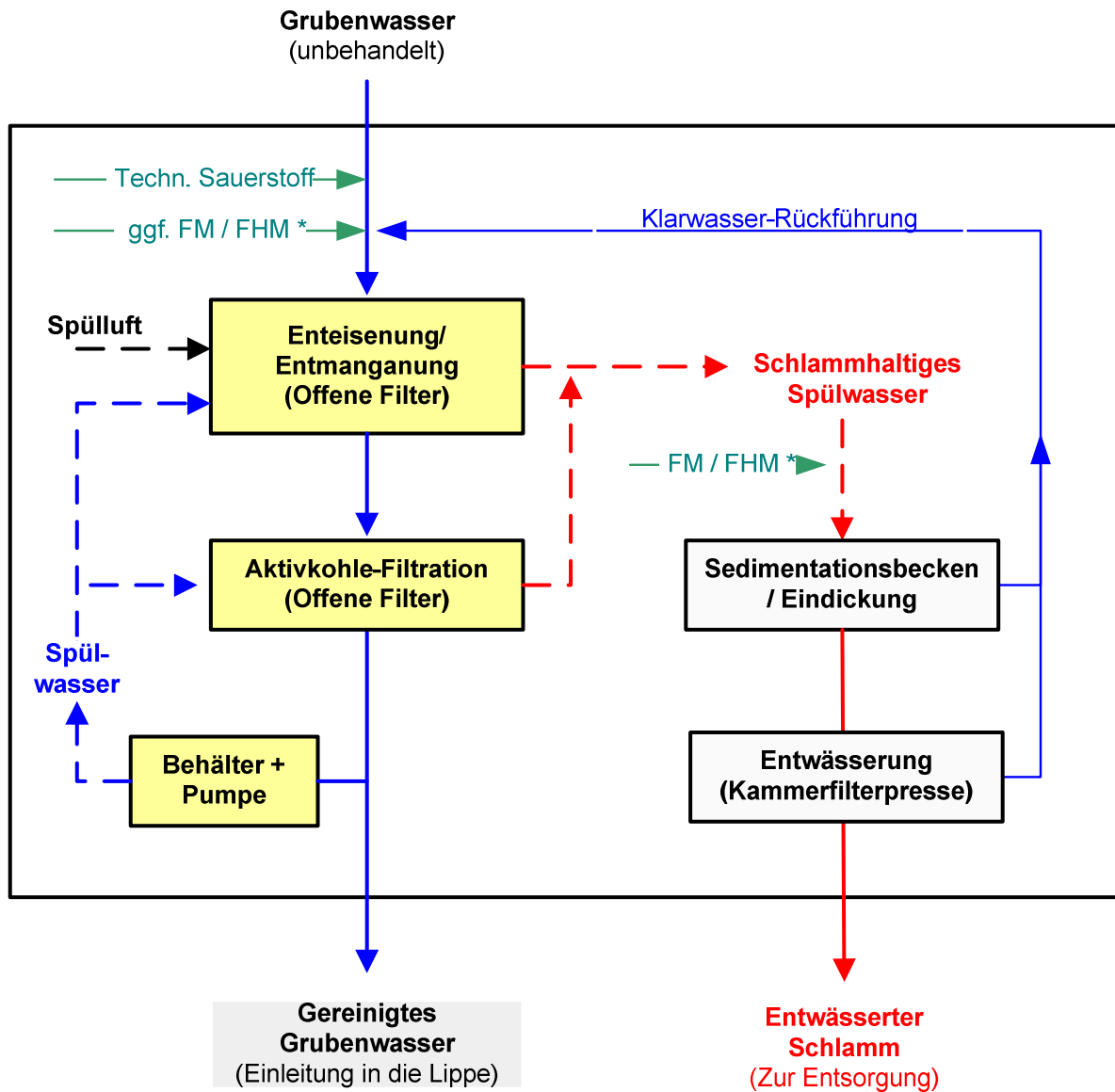
#### 5.1.1 Standort Haus Aden (Lippe)

Das Grubenwasser des Standortes Haus Aden enthält nach den IWW vorliegenden Informationen etwa 1 mg/l Eisen und 2 mg/l Ammonium. Im Hinblick auf die Enteisung scheint dieses Wasser für eine Eisen(II)- bzw. Eisen(III)-Filtration geeignet zu sein. Da laut DMT-Prognose das Grubenwasser von Haus Aden zukünftig mehr Ammonium und Eisen enthalten wird (siehe Tabelle 2), ist zukünftig eine einfache Belüftung vor der Filtration nicht ausreichend. Stattdessen wird vorgeschlagen, für die Enteisung technischen Sauerstoff zu dosieren.

Abbildung 1 zeigt das vorgeschlagene Verfahrenskonzept für den Standort Haus Aden.

Zunächst wird das Grubenwasser mit technischem Sauerstoff versetzt. Ob vor der Filtration ggf. Flockungsmittel bzw. Flockungshilfsmittel (FHM) dosiert werden, hängt u.a. von der Eisen-Speziation ab und kann erst nach genaueren Untersuchungen gesagt werden. Die Enteisung und die Entfernung der partikulär gebundenen PCB erfolgt über mehrere parallel betriebene Filter. Anschließend erfolgt eine Filtration über Aktivkohle, welche die Entfernung der gelösten PCB zum Ziel hat. Ein Teil des gereinigten Wassers wird als Spülwasser zwischengespeichert.

Die diskontinuierlich anfallenden schlammhaltigen Spülwässer werden mit einem Flockungshilfsmittel versetzt und in einem Sedimentationsbecken mit Krähwerk eingedickt. Der anfallende Schlamm wird über Kammerfilterpressen entwässert und anschließend entsorgt. Das Klarwasser wird zum Zulauf der Behandlungsanlage zurückgeführt.



\* FM: Flockungsmittel FHM: Flockungshilfsmittel  
Festlegung erfolgt erst nach Labor- bzw. Pilotversuchen

**Abbildung 1: Verfahrensschema für den Standort Haus Aden**

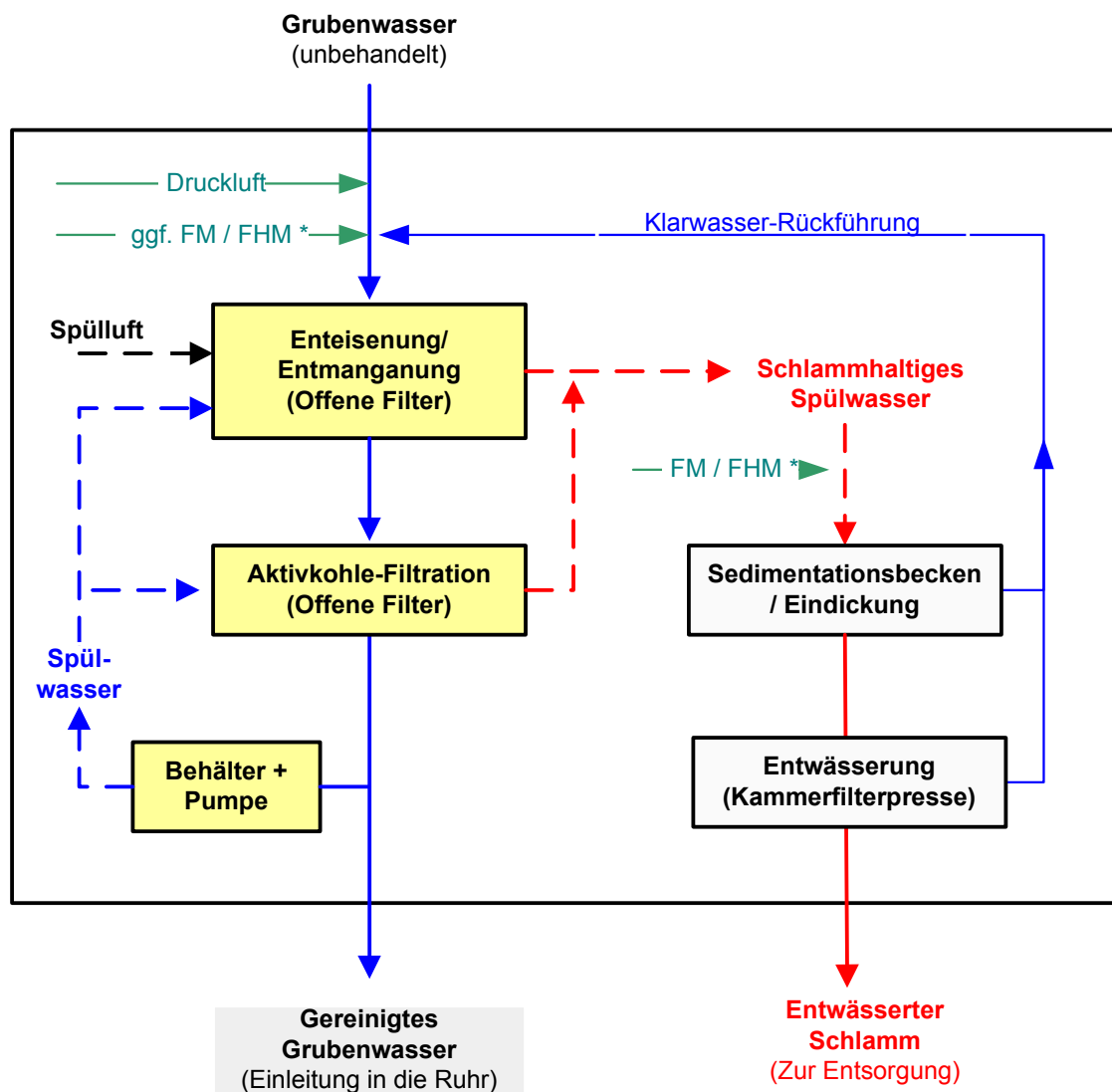
Hinweis zur Unterscheidung der beiden Aufbereitungsvarianten:

- Variante a: nur Enteisungsfiltration
- Variante b: Enteisungsfiltration + Aktivkohlefiltration

### 5.1.2 Standort Robert Müser (Ruhr)

Das Grubenwasser des Standortes Robert Müser enthält nach den IWW vorliegenden Informationen zwischen 1 und 8 mg/l Eisen und 1,2 mg/l Ammonium. Eine Prognose über die zukünftige Beschaffenheit des Grubenwassers am Standort Robert Müser existiert nicht. Nach den derzeit vorliegenden Informationen scheint das Grubenwasser am Standort Robert Müser für eine Eisen(II)- bzw. Eisen(III)-Filtration geeignet zu sein.

Abbildung 2 zeigt das vorgeschlagene Verfahrenskonzept für den Standort Robert Müser.



\* FM: Flockungsmittel FHM: Flockungshilfsmittel  
Festlegung erfolgt erst nach Labor- bzw. Pilotversuchen

Abbildung 2: Verfahrensschema für den Standort Robert Müser

Das Aufbereitungsschema für den Standort Robert Müser ist nahezu identisch mit dem Aufbereitungsschema für den Standort Haus Aden. Der einzige Unterschied ist, dass am Standort Robert Müser kein technischer Sauerstoff benötigt wird. Hier ist nach derzeitigem Kenntnisstand eine Druckluft-Dosierung vor der Enteisung ausreichend.

Hinweis zur Unterscheidung der beiden Aufbereitungsvarianten:

- Variante a: nur Enteisungsfiltration
- Variante b: Enteisungsfiltration + Aktivkohlefiltration

### 5.1.3 Standort Ibbenbüren Ost

Das Grubenwasser des Standortes Ibbenbüren Ost enthält nach den IWW vorliegenden Informationen derzeit zwischen 4 und 10 mg/l Eisen sowie zwischen 5 – 10 mg/l Ammonium.

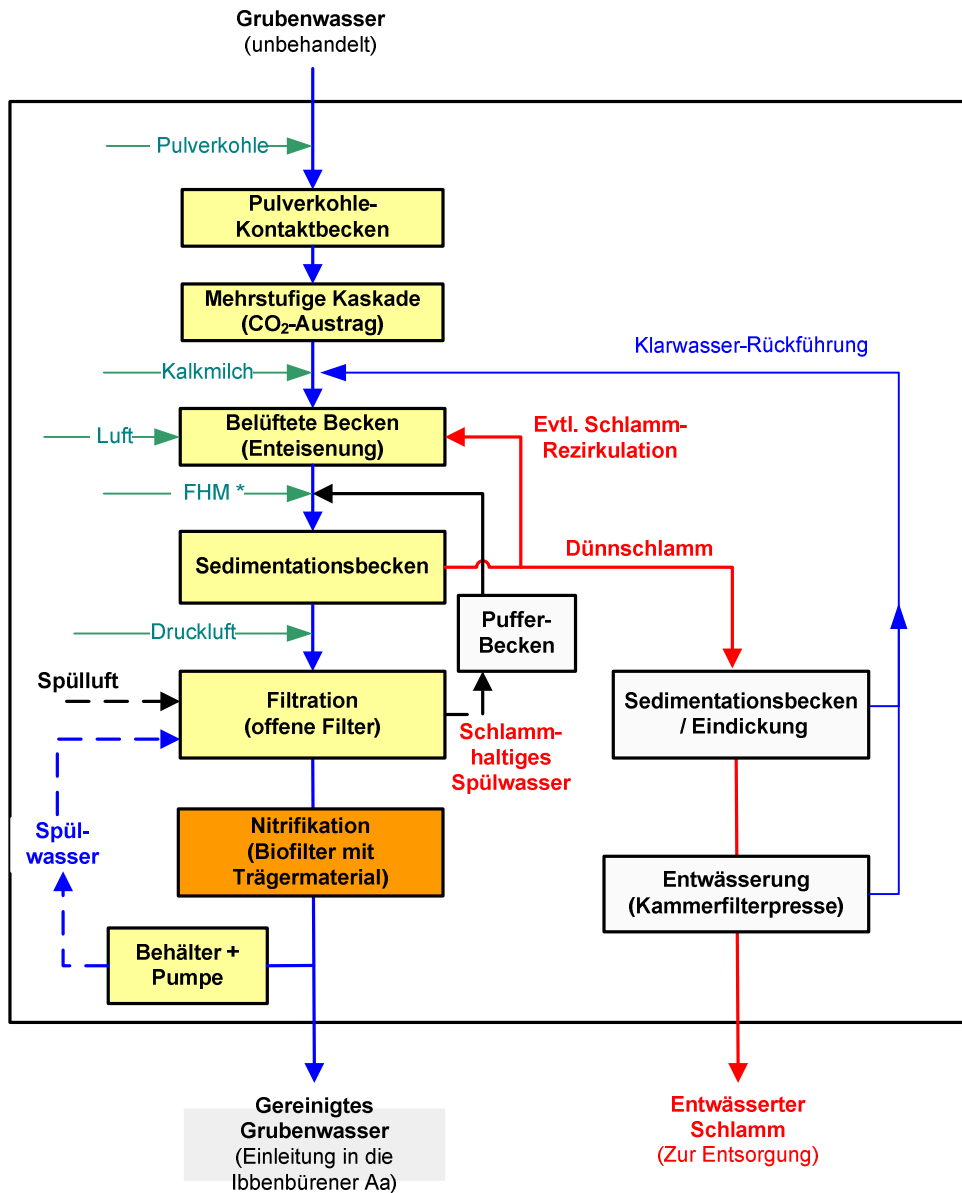
Im "Hintergrundpapier Steinkohle" (MKULNV, 2015) wird davon ausgegangen, dass zukünftig die Wasserqualität des Ostfeldes ähnlich der des Westfeldes sein wird. Wenn diese Annahme zutreffend sein sollte, dann werden im Grubenwasser des Ostfeldes zukünftig die Eisenkonzentration bei ca. 160 mg/l und die Ammoniumkonzentration bei ca. 1 mg/l liegen.

Für den Standort Ibbenbüren Ost wurde ein Konzept entwickelt, mit dem sowohl das derzeitige als auch das zukünftige Grubenwasser behandelt werden kann.

Abbildung 3 zeigt das vorgeschlagene Verfahrenskonzept für den Standort Ibbenbüren Ost.

Hinweis zur Unterscheidung der beiden Aufbereitungsvarianten:

- Variante a: Kaskade - Belüftung - Sedimentation - Filtration - Biofilter
- Variante b: Pulveraktivkohle + Kaskade - Belüftung - Sedimentation - Filtration – Biofilter



\* FM: Flockungsmittel FHM: Flockungshilfsmittel  
Festlegung erfolgt erst nach Labor- bzw. Pilotversuchen

**Abbildung 3: Verfahrensschema für den Standort Ibbenbüren Ost**

Nur Variante b:

Zu Beginn der Aufbereitung wird Pulveraktivkohle in das unbelüftete Grubenwasser dosiert. In einem anschließenden Kontaktbecken erfolgt die Adsorption der gelösten PCB an die Aktivkohle.

Variante a und b:

Die Zugabe von Kalkmilch erfolgt im Zulauf der Belüftungsbecken, in denen ein Großteil des Eisens oxidiert und als unlösliches Eisenhydroxid gefällt wird. Nach der Zugabe eines Flockungshilfsmittels erfolgt die Sedimentation (Variante a: des Eisenhydroxids; Variante b: des Gemischs aus Eisenhydroxid und Pulveraktivkohle).

Ein Teil des gereinigten Grubenwassers wird als Spülwasser zwischengespeichert. Die diskontinuierlich anfallenden schlammhaltigen Spülwässer werden in einem Pufferbecken gesammelt und von dort aus kontinuierlich vor das Sedimentationsbecken zurückgeführt. Der im Sedimentationsbecken anfallende Dünnschlamm wird in einem Schlamm-Stapelbecken eingedickt, über Kammerfilterpressen oder Dekanterzentrifugen entwässert und anschließend entsorgt. Das Klarwasser wird zum Zulauf der belüfteten Becken zurückgeführt.

#### **5.1.4 Eventuell mögliche Alternativ-Verfahren**

In den zuvor dargestellten Konzepten für die drei Referenzstandorte wurden für die Filtration jeweils klassische, abwärts durchströmt Festbettfilter vorgesehen, deren Betrieb in gewissen Intervallen für die Spülung unterbrochen wird.

Im Gegensatz dazu gibt es seit vielen Jahren auch kontinuierlich arbeitende Filtrationssysteme, die beispielsweise in der Abwasser- und Prozesswasseraufbereitung im Einsatz sind. Solche Systeme bieten u. a. den Vorteil, dass die Spülung im laufenden Prozess erfolgt und der Filtrationsbetrieb für die Spülung somit nicht unterbrochen werden muss. Zudem sind kontinuierlich arbeitende Systeme bzgl. der Investitionskosten möglicherweise kostengünstiger als klassische Festbettfilter (siehe Kapitel 6).

Nach Einschätzung der Gutachter ist bei den kontinuierlich arbeitenden Filtern jedoch die Filtratqualität (u.a. Trübung) nicht so gut wie bei den klassischen Festbettfiltern. Um die angestrebte weitestgehende PCB-Elimination zu erreichen, wurden daher bei den Aufbereitungskonzepten klassische Festbettfilter berücksichtigt.

Es wird jedoch empfohlen, bei ggf. anstehenden Pilotversuchen auch den Einsatz und die Prüfung von kontinuierlich arbeitenden Filtern vorzusehen.



## 5.2 Wesentliche Komponenten (Verfahrenstechnik)

In Tabelle 7 sind die wesentlichen verfahrenstechnischen Komponenten der verschiedenen Varianten zusammengefasst.

**Tabelle 7: Wesentliche Komponenten der Verfahrenstechnik**

Komponenten	Haus Aden Variante a	Haus Aden Variante b	Robert Müser Variante a	Robert Müser Variante b	Ibbenbüren Ost Variante a	Ibbenbüren Ost Variante b
Pulverkohle						Pulverkohle-dosierung
						Pulverkohle-Kontaktbecken
Filtration (Partikel, Eisen)	Filterbecken	Filterbecken	Filterbecken	Filterbecken	Filterbecken	Filterbecken
Aktivkohle-Filtration		Filterbecken		Filterbecken		
weitere Becken					Belüftungsbecken, Sedimentation	Belüftungsbecken, Sedimentation
Belüftung	Sauerstofftank, -dosierung und -messung	Sauerstofftank, -dosierung und -messung			Sauerstofftank, -dosierung und -messung	Sauerstofftank, -dosierung und -messung
			Kompressor; Drucklufttank und -dosierung	Kompressor; Drucklufttank und -dosierung	Kompressor; Drucklufttank und -dosierung	Kompressor; Drucklufttank und -dosierung
Dosierung	FM / FHM-Dosierung inkl. Ansetzstation	FM / FHM-Dosierung inkl. Ansetzstation	FM / FHM-Dosierung inkl. Ansetzstation	FM / FHM-Dosierung inkl. Ansetzstation	Kalkmilch-Lösestation und Dosierung	Kalkmilch-Lösestation und Dosierung
					FM / FHM-Dosierung inkl. Ansetzstation	FM / FHM-Dosierung inkl. Ansetzstation
Spülwasser	Spülwasserbehälter + Pumpe	Spülwasserbehälter + Pumpe	Spülwasserbehälter + Pumpe	Spülwasserbehälter + Pumpe	Spülwasserbehälter + Pumpe	Spülwasserbehälter + Pumpe
Spülluft	Spülluftgebläse	Spülluftgebläse	Spülluftgebläse	Spülluftgebläse	Spülluftgebläse	Spülluftgebläse
Schlammbehandlung	Sedimentationsbecken	Sedimentationsbecken	Sedimentationsbecken	Sedimentationsbecken	Sedimentationsbecken	Sedimentationsbecken
	Eindicker	Eindicker	Eindicker	Eindicker	Eindicker	Eindicker
	mobile Entwässerung	mobile Entwässerung	mobile Entwässerung	mobile Entwässerung	mobile Entwässerung	stationäre Entwässerung

## 5.3 Beschaffenheit der behandelten Grubenwässer

Im Anhang 3 befinden sich die Detail-Tabellen und eine Erläuterung zur Abschätzung der Beschaffenheit der behandelten Grubenwässer.

In Tabelle 8 ist die geschätzte Beschaffenheit der behandelten Grubenwässer für die Standorte Haus Aden und Robert Müser zusammengefasst.

**Tabelle 8: Geschätzte Beschaffenheit der behandelten Grubenwässer und Eliminationsraten an den Standorten Haus Aden und Robert Müser**

Parameter	Einheit	Haus Aden		Robert Müser	
		Variante a	Variante b	Variante a	Variante b
		ohne AKF *	mit AKF *	ohne AKF *	mit AKF *
<b>PCB #28<sub>gesamt</sub></b>	<b>ng/l</b>	<b>ca. 0,2</b>	<b>&lt; 0,1</b>	<b>ca. 0,2</b>	<b>&lt; 0,1</b>
<b>Eisen</b>	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Ammonium</b>	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Elimination PCB #28</b>	<b>%</b>	<b>76 %</b>	<b>95 %</b>	<b>74 %</b>	<b>97 %</b>
<b>Elimination Eisen</b>	%	97 %	97 %	99 %	99 %
<b>Elimination Ammonium</b>	%	96 %	96 %	93 %	93 %

\* AKF = Aktivkohlefiltration (granulierte Aktivkohle)

Nach Einschätzung von IWW können an den Standorten Haus Aden und Robert Müser mit den zuvor skizzierten Aufbereitungsschritten die Konzentration der einzelnen PCB im gereinigten Grubenwasser in den a-Varianten (Abreinigung der partikulären Phase ohne Aktivkohle-Festbettfilter) auf ca. 0,2 ng/l und in den b-Varianten (zusätzliche Reinigung der wässrigen Phase mit Aktivkohle-Festbettfilter) auf < 0,1 ng/l verringert werden. Die Eisen- und Ammoniumkonzentrationen können auf 0,1 mg/l verringert werden.

In Tabelle 9 ist die geschätzte Beschaffenheit der behandelten Grubenwässer für den Standort Ibbenbüren Ost zusammengefasst.

**Tabelle 9: Geschätzte Beschaffenheit der behandelten Grubenwässer am Standort Ibbenbüren Ost**

Parameter	Einheit	Ibbenbüren Ost derzeit		Ibbenbüren Ost zukünftig	
		Variante a	Variante b	Variante a	Variante b
		ohne PKD *	mit PKD *	ohne PKD *	mit PKD *
<b>PCB #28<sub>gesamt</sub></b>	<b>ng/l</b>	<b>ca. 0,2</b>	<b>&lt; 0,1</b>	<b>ca. 0,2</b>	<b>&lt; 0,1</b>
Eisen	mg/l	0,1	0,1	0,2	0,2
Ammonium	mg/l	0,2	0,2	< 0,1	< 0,1
<b>Elimination PCB #28</b>	<b>%</b>	<b>94 %</b>	<b>98 %</b>	<b>97 %</b>	<b>99 %</b>
Elimination Eisen	%	99 %	99 %	99,9 %	99,9 %
Elimination Ammonium	%	98 %	98 %	98 %	98 %

\* PKD = Pulverkohle-Dosierung

Nach Einschätzung von IWW können am Standort Ibbenbüren – ausgehend von der derzeitigen und der zukünftigen Rohwasserzusammensetzung - mit den zuvor skizzierten Aufbereitungsschritten die Konzentration der einzelnen PCB im gereinigten Grubenwasser in den a-Varianten (ohne Pulverkohle-Dosierung) auf ca. 0,2 ng/l und in den b-Varianten (mit Pulverkohle-Dosierung) auf < 0,1 ng/l verringert werden.

Die Eisen- und Ammoniumkonzentrationen können auf 0,1 - 0,2 mg/l verringert werden.

## 5.4 Betriebsmittel

Bei den verschiedenen Varianten werden die in Tabelle 10 genannten Betriebsmittel benötigt.

**Tabelle 10: Benötigte Betriebsmittel**

Betriebsmittel	Haus Aden Variante a	Haus Aden Variante b	Robert Müser Variante a	Robert Müser Variante b	Ibbenbüren Ost Variante a	Ibbenbüren Ost Variante b
Pulverkohle						x
Granulierte Aktivkohle		x		x		
Technischer Sauerstoff	x	x				
Druckluft	x	x	x	x	x	x
Kalkmilch					x	x
Flockungs- und Flockungshilfsmittel	x	x	x	x	x	x

## 5.5 Personal / Arbeitssicherheit

Die Aufbereitungsprozesse an den Standorten Haus Aden und Robert Müser sind nahezu identisch und können weitestgehend automatisiert betrieben werden. Insofern wird der Personalbedarf in diesen beiden Fällen als verhältnismäßig gering eingeschätzt.

An den Standorten Haus Aden und Robert Müser kommen Flockungs- und Flockungshilfsmittel zum Einsatz. Diese Stoffe müssen – entsprechend ihrer eventuellen Einstufung als Gefahrstoff – gelagert und gehandhabt werden.

Am Standort Ibbenbüren Ost kommt in beiden Varianten Kalkmilch und in Variante b zusätzlich Pulveraktivkohle zum Einsatz. Kalkmilch kann einerseits als dosierfertige Suspension in Tankwagen geliefert und eingesetzt werden. Bei großen Kalkmilch-Verbräuchen – wie in diesem Fall – wird diese aus Kostengründen meist vor Ort aus Kalkhydrat oder Branntkalk hergestellt. Der Personalaufwand zum Betrieb a) einer Kalkmilch-Löse- oder Löschstation, b) einer Kalkmilch-Dosieranlage, c) einer Pulveraktivkohle-Dosiereinrichtung und eines Flockungs-/Fällungs/Sedimentations- und Filtrationsprozesses am Standort Ibbenbüren wird als deutlich höher eingeschätzt als der nahezu vollautomatisierte Filtrationsbetrieb an den Standorten Haus Aden und Robert Müser.

Kalkhydrat, Kalkmilch und Pulveraktivkohle müssen - entsprechend ihrer eventuellen Einstufung als Gefahrstoff oder wassergefährdender Stoff – gelagert und gehandhabt werden.

## 5.6 Umweltschutz / Rückstände

Bei allen Aufbereitungsvarianten fallen als Reststoffe letztlich Schlämme an, die PCB enthalten. Solche Schlämme müssen - entsprechend der sogenannten POP-Verordnung – verbrannt werden.

An den Standorten Haus Aden und Robert Müser wird im Falle der b-Varianten granuliert Aktivkohle eingesetzt. Unter Berücksichtigung der zuvor genannten PCB-Konzentrationen (in der Wasserphase) wird für eine PCB-Elimination von 90 % in beiden Fällen eine mögliche Aktivkohle-Laufzeit von ca. 1,4 Jahren (50.000 Bettvolumen) geschätzt. Die Beladung der Aktivkohle mit dem PCB-Kongener 28 läge demzufolge bei ca. 0,02 mg/kg Aktivkohle. Auf Basis der vorliegenden Analyseergebnisse der Grubenwässer kann man annehmen, dass der Anteil von PCB 28 etwa 10 % der Gesamtkonzentration an PCB entspricht. Demnach läge die Gesamt-PCB-Beladung der Aktivkohle bei ca. 0,2 mg/kg Aktivkohle.

Damit eine (kostengünstige) Aktivkohle-Reaktivierung möglich ist, muss die PCB-Beladung der gebrauchten Aktivkohle  $< 1 \text{ mg/kg}$  (Norit) bzw.  $< 2 \text{ mg/kg}$  (Jacobi Carbon) liegen. Demnach könnte die gebrauchte Aktivkohle ( $0,2 \text{ mg/kg}$ ) in diesem Fall – wenn alle Annahmen zutreffend – reaktiviert werden.

Der Anbieter Donau Carbon schließt hingegen eine Annahme von gebrauchten, PCB-beladenen Aktivkohlen generell aus.

Die Alternative zur (kostengünstigen) Reaktivierung der granulierten Aktivkohle ist ebenfalls eine (teure) Verbrennung.

Bezüglich der Betriebskosten lässt sich sagen: Je geringer die Beladung und je kürzer die Laufzeit der Aktivkohle, umso wirtschaftlich vorteilhafter ist die Reaktivierung der Aktivkohle. Andersherum gilt: Je höher die Beladung und je länger die Laufzeit der Aktivkohle, umso weniger nachteilhaft ist eine Verbrennung der Aktivkohle.

Für die Betriebskostenkalkulation wurde angenommen, dass die beladene Aktivkohle nicht reaktiviert sondern verbrannt wird und durch frische Kohle ersetzt wird.

## 6 Arbeitspaket II: Investitions- und Betriebskosten

### 6.1 Eingangsdaten und Auslegung

Als maßgebende zu betrachtenden Randbedingungen sind die anfallenden Grubenwassermengen (Rohwasser), die Zusammensetzung des Grubenwassers, die Menge an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) und die PCB-Konzentration an den Schwebstoffteilchen der jeweiligen Standorte zu berücksichtigen. In der Tabelle 11 werden die anfallenden Rohwassermengen dargestellt. Zur Ermittlung des für die Auslegung der Anlagen maßgebenden Spitzenfaktors wurde auf Erfahrungen der RAG zurückgegriffen. Im Rahmen eines Abstimmungsgesprächs wurden Angaben zu einem Referenzstandort gemacht, der bereits eine Brunnenwasserhaltung betreibt. Dort sind drei Pumpen installiert, von denen eine ein reines Reserveaggregat ist. Von den zwei Betriebspumpen sind im Mittel ca. 1,5 Pumpen in Betrieb. Bezogen auf den mittleren Grubenwasseranfall ergibt sich somit ein Spitzenfaktor von  $2 / 1,5 = 1,33$ . Auf der sicheren Seite liegend wurde im Rahmen des Gutachtens ein Wert von 1,5 angesetzt.

**Tabelle 11: Auslegungsdaten der Standorte**

	Einheit	Haus Aden	Robert Müser	Ibbenbüren Ost (derzeit)	Ibbenbüren Ost (künftig)
Q <sub>a</sub> Rohwasser	m <sup>3</sup> /a	13.000.000	11.000.000	4.000.000	4.000.000
Spitzenfaktor	-	1,5	1,5	1,5	1,5
Q <sub>h,mittel</sub> (Nennlast)	m <sup>3</sup> /h	1.484	1.256	457	457
Q <sub>h,max</sub> (Spitzenlast)	m <sup>3</sup> /h	2.226	1.884	685	685

Für die Betrachtung der Verfahrensvarianten zur Elimination von PCB-Konzentrationen im Grubenwasser ist die Zusammensetzung des Rohwassers an den jeweiligen Standorten zu berücksichtigen.

Für die weitere Betrachtung wurden die oben aufgeführten Referenzstandorte ausgewählt, da sie sich hinsichtlich der folgenden Parameter unterscheiden:

- PCB-Konzentration Schwebstoff
- Menge Abfiltrierbare Stoffe (AFS)

- Eisen-Gehalte
- Anfallende Rohwassermengen.

Aufgrund der genannten Randbedingungen sind bei der Verfahrenstechnik unterschiedliche Bauarten und technische Hilfsmittel vorgesehen, welche im folgenden Kapitel AP II-b näher erläutert werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen des Rohwassers sind unterschiedliche verfahrenstechnische Lösungen für die Standorte zu betrachten. Die Auslegungsdaten der Standorte Haus Aden und Robert Müser sind hinsichtlich der anfallenden Rohwassermengen und der PCB-Konzentration ähnlich, sodass ähnliche Verfahren zur PCB-Elimination Anwendung finden können. Für den Standort Ibbenbüren Ost ist aufgrund der in Zukunft zu erwartenden hohen Eisen-Gehalte und der damit notwendigen Ausfällung ein anderes Verfahren auszuwählen. In der weiteren Betrachtung werden für jeden Standort zwei Varianten untersucht. Die erste beinhaltet lediglich eine Elimination des an Partikel gebundenen PCB (Variante A). In der zweiten Variante wird zusätzlich eine adsorptive Elimination des gelösten PCB berücksichtigt (Variante B). Am Standort Ibbenbüren wurden die Kosten sowohl für den jetzigen Zustand als auch für den zukünftigen Zustand mit deutlich erhöhten Eisenfrachten separat ermittelt.

Auf Basis der anfallenden Rohwassermengen und der aus den Vorstudien angenommenen Grubenwasserzusammensetzung können die Auslegungsdaten und Abmessungen für die folgenden Verfahrensstufen ermittelt werden:

- Sauerstofftank
- Filterbecken
- Aktivkohlefilter
- Kontaktbecken
- Sedimentationsbecken
- Schlammwässerung
- Pumpwerk

### **6.1.1 Standort Haus Aden**

Am Standort Haus Aden fallen jährlich 13 Mio. m<sup>3</sup> Grubenwasser an. Dies entspricht durchschnittlich 1.484 m<sup>3</sup>/h. Unter Berücksichtigung des Stundenspitzenfaktors von 1,5 fallen max. 2.226 m<sup>3</sup>/h (Spitzenlast) Grubenwasser an. Gemäß den Vorgaben des IWW können die

Raumfilter für die Enteisung mit einer Geschwindigkeit ( $v$ ) von 6 m/h bei Nennlast und 9 m/h bei Spitzenlast beschickt werden. Zur Vorbehandlung wird dem Grubenwasser in der Zulaufleitung zur ersten Reinigungsstufe technischer Sauerstoff und ggf. weitere Flockungsmittel hinzugegeben. Die Dosiermenge für den technischen Sauerstoff beträgt im Mittel 15 mg/l und maximal 20 mg/l.

Unter Berücksichtigung der genannten Filtergeschwindigkeit kann die Größe der Filterfläche wie folgt berechnet werden:

$$A_{\text{erf}} = \frac{Q_d}{v_F} = \frac{1.484 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{6 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 247,33 \text{ m}^2 \approx 250 \text{ m}^2$$

Für den Standort Haus Aden ergibt sich demzufolge eine benötigte Filterfläche von 247,33 m<sup>2</sup>. Unter Annahme der Filtergröße von 50 m<sup>2</sup> werden fünf Filter benötigt. Aufgrund der regelmäßigen Spülvorgänge wird ein sechster Filter planerisch vorgesehen. Folglich ergibt sich eine Gesamterfläche von 300 m<sup>2</sup>. Als Filtermaterial wird gem. den vorangegangenen Kapiteln Quarzsand mit einer Schütthöhe von 2,0 m vorgesehen.

Neben der Filtration zur Enteisung bzw. Partikelelimination erfolgt in der Variante B in der zweiten Stufe die Filtration durch Aktivkohle (Adsorption) mit einer Schütthöhe von 2,0 m. Hierbei werden gemäß den Angaben vom IWW Filtergeschwindigkeiten von 8 m/h (Nennlast) und 12 m/h (Spitzenlast) angenommen. Aufgrund der höheren Filtergeschwindigkeiten reduziert sich die benötigte Filterfläche auf 185,50 m<sup>2</sup>.

$$A_{\text{erf}} = \frac{Q_d}{v_F} = \frac{1.484 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{8 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 185,50 \text{ m}^2 \approx 186 \text{ m}^2$$

Aufgrund der notwendigen Redundanz ist die Filteranlage mit fünf Filtern von je 50 m<sup>2</sup> und der daraus resultierenden Gesamterfläche von 250 m<sup>2</sup> auszulegen.

Das Spülwasser der Aktivkohlefilterbecken und der Filterbecken für die Enteisung wird einem Sedimentationsbecken zugeführt. Die Rückspülggeschwindigkeit wird wie folgt vorläufig wie folgt angesetzt:

Enteisung = 60 m/h

Aktivkohlefilter = 30 m/h



Die Spüldauer wird mit jeweils 10 Minuten angenommen. Für die Auslegung der Sedimentationsbecken wird davon ausgegangen, dass pro Tag maximal 3 Becken gespült werden müssen. Die Aufenthaltszeit des Spülwassers im Sedimentationsbecken beträgt 24h.

Daraus ergibt sich eine erforderliche Beckengröße von:

$$V_{\text{erf}} = \text{Anzahl der Filterbecken} \cdot (A_{\text{Filterbecken}} \cdot \text{Spülggeschwindigkeit} \cdot \text{Spüldauer}^*)$$

$$V_{\text{erf, Enteisung}} = 3 \cdot (50 \text{ m}^2 \cdot 60 \text{ m/h} \cdot 0,16667\text{h}) = 1.500,03 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{erf, Aktivkohle}} = 3 \cdot (50 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ m/h} \cdot 0,16667\text{h}) = 750 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow V_{\text{erf, max}} = 1.500,03 \text{ m}^3 + 750 \text{ m}^3 = 2.250 \text{ m}^3$$

Die Tiefe der Sedimentationsanlage wird mit 3,0 m inkl. 0,5 m Freibord angesetzt. Es verbleibt eine wirksame Beckentiefe von 2,5 m. Daraus erfolgt eine erforderliche Beckenoberfläche von:

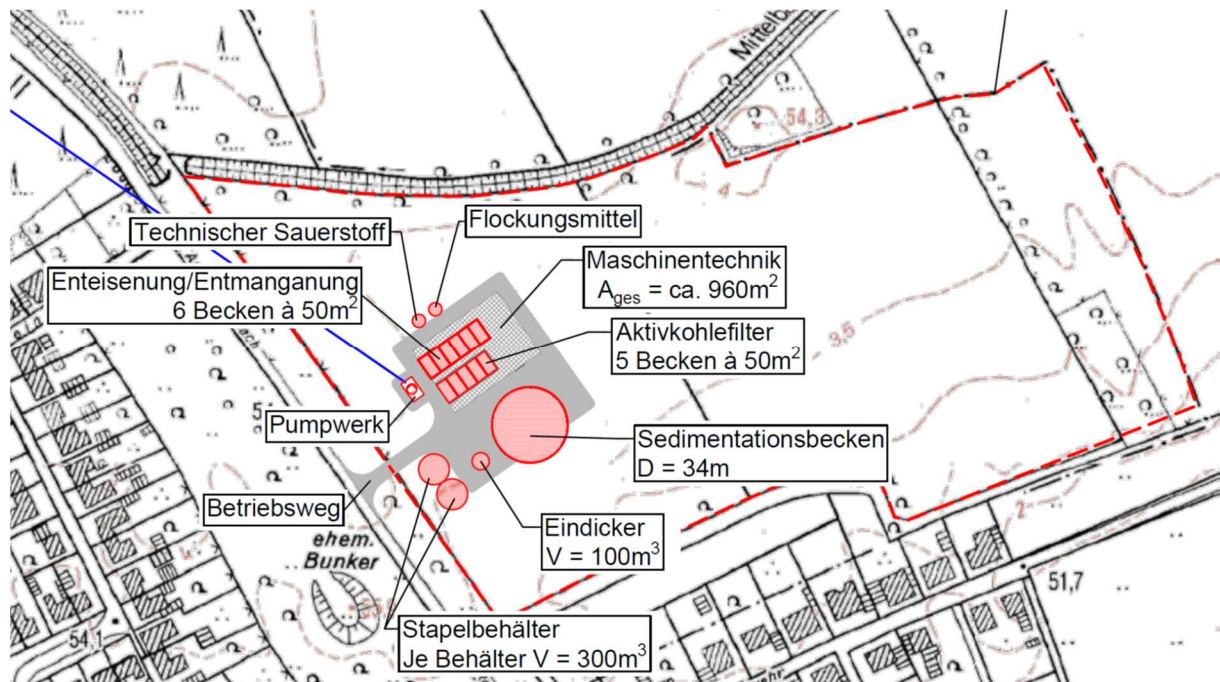
$$A_{\text{erf}} = \frac{2.250}{2,50} = 900 \text{ m}^2$$

Dies entspricht einem Rundbecken mit einem Durchmesser von ca. 34 m. Der Schlammanfall beträgt gemäß den Berechnungen in den vorangegangenen Kapiteln ca. 200 t/a bzw. 0,55 t/d entsprechend 23 kg/h Trockenmasse. Nach Absetzen im Sedimentationsbecken wird von einem TR-Gehalt von ca. 2% ausgegangen, sodass sich der mittlere Schlammvolumenstrom nach Eindickung zu 27,5 m<sup>3</sup>/d ergibt.

Nach einer weiteren Eindickung von mindestens 3 Tagen Aufenthaltszeit ist mit einem TR-Gehalt im eingedickten Schlamm von 5% zu rechnen. Für den Standort Haus Aden wird ein Eindickbehälter mit einem Volumen von 100 m<sup>3</sup> gewählt. Der maßgebende Schlammvolumenstrom zur Entwässerung beträgt damit 11,0 m<sup>3</sup>/d.

Der Schlammstapelbehälter wird mit einer Größe von 600 m<sup>3</sup> gewählt, sodass diese ca. 2 Monate vorgehalten werden können.

Am Standort Haus Aden werden durch die RAG bereits Reserveflächen für eine mögliche Grubenwasserbehandlung vorgehalten. Diese befinden sich nordwestlich der Schachtanlage an der Ableittrasse in Richtung Lippe auf der anderen Seite des Dattel-In-Hamm-Kanals. Das sich auf Basis der Bemessung ergebende Anlagenkonzept für die Variante B ist in der folgenden Abbildung dargestellt. In der Variante A entfällt die GAK-Filtration. Wie zu erkennen ist, wird nur ein kleinerer Teil der Gesamtfläche für die projektierte Anlage benötigt.



**Abbildung 4: Lageplanskizze Grubenwasserbehandlung Haus Aden Variante B**

### 6.1.2 Standort Robert Müser

Die Aufbereitung des PCB-haltigen Grubenwassers erfolgt am Stand Robert Müser in gleicher Art und Weise wie am Standort Haus Aden. Aus den Vorstudien geht hervor, dass jährlich 11. Mio. m<sup>3</sup> Grubenwasser anfallen – dies entspricht 1.255 m<sup>3</sup>/h. Unter Berücksichtigung des Stundenspitzenfaktors von 1,5 fallen maximal 1.883 m<sup>3</sup> pro Stunde an.

Mit Hilfe der oben dargestellten Formel zur Berechnung der Filterfläche ist für die Filtration zur Enteisenung / Entmanganung eine Grundfläche von 209,29 m<sup>2</sup> unter der Annahme der Filtergeschwindigkeit von 6 m/h (Nennlast) bzw. 9 m/h (Spitzenlast) notwendig. Zur Vorbehandlung wird dem Grubenwasser in der Zulaufleitung zur ersten Reinigungsstufe Druckluft und ggf. Flockungsmittel hinzugegeben. Mit der folgenden Formel kann die Größe der Filterfläche berechnet werden:

$$A_{\text{erf}} = \frac{Q_d}{v_F} = \frac{1.255,71 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{6 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 209,29 \text{ m}^2 \approx 210 \text{ m}^2$$

Aufgrund der Spülvorgänge wird eine zusätzliche Filterfläche mit 42 m<sup>2</sup> hinzugefügt, sodass insgesamt 6 Filter mit einer Grundfläche von 252 m<sup>2</sup> erforderlich sind. Als Filtermaterial wird gem. den Angaben vom IWW Quarzsand mit einer Schütthöhe von 2,0 m vorgesehen, woraus sich ein Gesamtvolumen von 504 m<sup>3</sup> ergibt.

Auch an diesem Standort wird in der Variante B eine zusätzliche Aktivkohleabsorption berücksichtigt. Für die Filtration des PCB-haltigen Grubenwassers mittels Aktivkohle ist wegen der höheren Filtergeschwindigkeit (8 m/h Nennlast, 12 m/h Spitzenlast) eine geringere Filterfläche mit 156,96 m<sup>2</sup> ausreichend. Dementsprechend werden fünf Beckenkammern mit einer Filterflächen von je 40 m<sup>2</sup> mit einer Gesamtfläche von 200 m<sup>2</sup> als ausreichend angesehen.

$$A_{\text{erf}} = \frac{Q_d}{v_F} = \frac{1.255,71 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{8 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 156,96 \text{ m}^2 \approx 157 \text{ m}^2$$

Das Spülwasser der Aktivkohlefilterbecken und der Filterbecken für die Enteisung wird einem Sedimentationsbecken zugeführt. Die Rückspülungsgeschwindigkeit wird wie folgt angenommen:

Enteisung = 60 m/h

Aktivkohlefilter = 30 m/h.

Die Spüldauer wird mit 10 Minuten angesetzt. Pro Tag werden drei Becken gespült. Die Aufenthaltszeit des Spülwassers im Sedimentationsbecken beträgt 24h.

Daraus ergibt sich eine erforderliche Beckengröße von:

$V_{\text{erf}} = \text{Anzahl der Filterbecken} \cdot (A_{\text{Filterbecken}} \cdot \text{Spülggeschwindigkeit} \cdot \text{Spüldauer})$

$V_{\text{erf, Enteisung}} = 3 \cdot (42 \text{ m}^2 \cdot 60 \text{ m/h} \cdot 0,16667\text{h}) = 1.260 \text{ m}^3$

$V_{\text{erf, Aktivkohle}} = 3 \cdot (40 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ m/h} \cdot 0,16667\text{h}) = 600 \text{ m}^3$

$\rightarrow V_{\text{erf, max}} = 1.260 \text{ m}^3 + 600 \text{ m}^3 = 1.860 \text{ m}^3$

Die Tiefe der Sedimentationsanlage wird mit 3,0 m angesetzt. Dabei sind 0,50 m wieder als Freibord festgehalten. Daraus erfolgt eine erforderliche Fläche von:

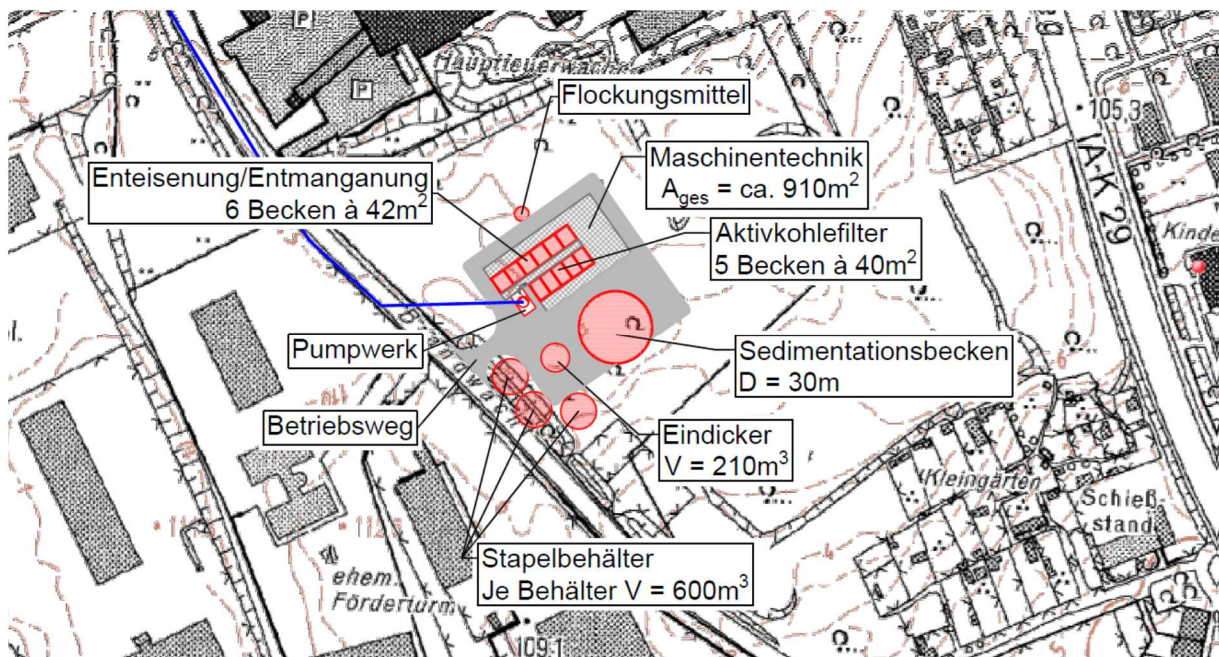
$$A_{\text{erf}} = \frac{1.860}{2,50} = 744 \text{ m}^2$$

Dies entspricht einem Rundbecken mit einem Durchmesser von ca. 30 m. Der Schlammfall beträgt gemäß den Berechnungen in den vorangegangenen Kapiteln ca. 499 t/a bzw. 1,37 t/d entsprechend 57 kg/h Trockenmasse. Nach Absetzen im Sedimentationsbecken wird von einem TR-Gehalt von ca. 2 % ausgegangen, sodass sich der mittlere Schlammvolumenstrom nach Eindickung zu 68,5 m<sup>3</sup>/d ergibt.

Nach einer weiteren Eindickung von mindestens 3 Tagen Aufenthaltszeit ist mit einem TR-Gehalt im eingedickten Schlamm von 5 % zu rechnen. Für den Standort Robert Müser wird ein Eindickbehälter von 210 m<sup>3</sup> gewählt. Der maßgebende Schlammvolumenstrom zur Entwässerung beträgt damit 27,4 m<sup>3</sup>/d.

Der Schlammstapelbehälter wird mit einer Größe von 1.800 m<sup>3</sup> gewählt, sodass diese ca. 2 Monate vorgehalten werden können.

Inwieweit mögliche Grundstücke auf dem Gelände der ZWH Robert Müser zur Verfügung stehen, ist derzeit unklar. Das sich auf Basis der Bemessung ergebende Anlagenkonzept für die Variante B ist in der folgenden Abbildung dargestellt. In der Variante A entfällt die GAK-Filtration. Im Rahmen des Gutachtens wurde von einer Nutzung der Freifläche nordöstlich der ZWH ausgegangen. Diese befindet sich zwischen der Hauptfeuerwache und dem Wertstoffhof und würde ausreichend Fläche bieten.



**Abbildung 5: Lageplanskizze Grubenwasserbehandlung Robert Müser Variante B**

### 6.1.3 Standort Ibbenbüren Ost

Am Standort Ibbenbüren Ost fallen derzeit und zukünftig 4 Mio. m<sup>3</sup> PCB-haltiges Grubenwasser an, wobei dies bei Nennlast 456,6 m<sup>3</sup>/h und bei Spitzenlast (Faktor 1,5) 684,9 m<sup>3</sup>/h entspricht.



Am Standort Ibbenbüren-Ost durchfließt das Rohwasser in der Variante B zunächst das Pulverkohlekontaktbecken. Hierfür werden insgesamt 3 Kontaktkammern mit einer Aufenthaltszeit bei Spitzenlast von jeweils 10 Minuten bzw. einem Volumen von jeweils 114 m<sup>3</sup> planerisch vorgesehen. Die Gesamtkontaktzeit beträgt 30 Minuten. Das Gesamtvolumen summiert sich auf 342 m<sup>3</sup>. In der Variante A wird dieses Becken nicht realisiert.

Das nachfolgende belüftete Becken benötigt eine Aufenthaltsdauer von ca. 1,0 h. Dies entspricht einem Volumen von 685 m<sup>3</sup>.

Der Bemessung des Sedimentationsbeckens werden eine Oberflächenbeschickung von 2,0 m/h und eine Aufenthaltszeit von 2,0 h bei Spitzenlast zu Grunde gelegt. Es ergeben sich eine Oberfläche von 342 m<sup>2</sup> und ein Volumen von 1.370 m<sup>3</sup>. Die Tiefe beträgt demnach

Gemäß den Vorgaben des IWW können die Raumfilter zur Partikelabtrennung mit einer Geschwindigkeit ( $v$ ) von 6 m/h bei Nennlast und 9 m/h bei Spitzenlast beschickt werden. Zur Vorbehandlung wird dem Grubenwasser im Zulauf zur Filtration technischer Sauerstoff zugegeben. Die Dosiermenge für den technischen Sauerstoff beträgt im Mittel 15 mg/l und maximal 20 mg/l.

Unter Berücksichtigung der genannten Filtergeschwindigkeit kann die Größe der Filterfläche wie folgt berechnet werden:

$$A_{\text{erf}} = \frac{Q_d}{v_F} = \frac{456,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{6 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 76,10 \text{ m}^2 \approx 80 \text{ m}^2$$

Unter Berücksichtigung eines dritten Filterbeckens als Reserven für Spülvorgänge werden insgesamt drei Filter á 40 m<sup>2</sup> (Gesamtfläche 120 m<sup>2</sup>) in der Kostenschätzung berücksichtigt. Als Filtermaterial wird gem. den vorangegangenen Kapiteln Quarzsand mit einer Schütthöhe von 2,0 m vorgesehen.

Das Spülwasser der Filterkammern wird einem Sedimentationsbecken zugeführt. Die Spülgeschwindigkeit wird vorläufig mit 60 m/h angesetzt:

Die Spüldauer wird mit jeweils 10 Minuten angenommen. Für die Auslegung der Sedimentationsbecken wird davon ausgegangen, dass pro Tag maximal 3 Becken gespült werden müssen. Die Aufenthaltszeit des Spülwassers im Sedimentationsbecken beträgt 24h.

Daraus ergibt sich eine erforderliche Beckengröße von:

$$V_{\text{erf}} = \text{Anzahl der Filterbecken} \cdot (A_{\text{Filterbecken}} \cdot \text{Spülgeschwindigkeit} \cdot \text{Spüldauer})$$

$$V_{\text{erf}} = 3 \cdot (40 \text{ m}^2 \cdot 60 \text{ m/h} \cdot 0,16667\text{h}) = 1.200 \text{ m}^3$$

Die Tiefe der Sedimentationsanlage wird mit 3,0 m inkl. 0,5 m Freibord angesetzt. Es verbleibt eine wirksame Beckentiefe von 2,5 m. Daraus erfolgt eine erforderliche Beckenoberfläche von:

$$A_{\text{erf}} = \frac{1.200}{2,50} = 480 \text{ m}^2$$

Dies entspricht einem Rundbecken mit einem Durchmesser von ca. 25 m. Für die Auslegung der Schlammwässerung und die Berechnung des Schlammanfalls sind die zukünftig erhöhten Frachten infolge erhöhter Eisenkonzentrationen im Rohwasser maßgebend. Diese ergeben gemäß vorangegangenen Kapiteln in Summe zu 2.075 t/a Trockenmasse. Dies entspricht 5,69 t/d bzw. 237 kg/h Trockenmasse. Nach Absetzen im Sedimentationsbecken wird von einem erreichbaren TR-Gehalt von ca. 2% ausgegangen, sodass sich der mittlere Schlammvolumenstrom nach Eindickung zu 284,3 m<sup>3</sup>/d ergibt.

Nach einer weiteren Eindickung von mindestens 3 Tagen Aufenthaltszeit ist mit einem TR-Gehalt im eingedickten Schlamm von 5% zu rechnen. Für den Standort Ibbenbüren-Ost werden 3 Eindickbehälter mit einem Volumen von je 300 m<sup>3</sup> bzw. ein Gesamtvolumen von 900 m<sup>3</sup> gewählt. Der maßgebende Schlammvolumenstrom zur Entwässerung beträgt damit 113,7 m<sup>3</sup>/d.

Der Schlammstapelbehälter wird mit einer Größe von 1.800 m<sup>3</sup> gewählt, sodass diese ca. 2 Monate vorgehalten werden können. Das Volumen wird gleichmäßig auf drei Behälter mit je 600 m<sup>3</sup> aufgeteilt.

Zudem wird für den Standort Ibbenbüren Ost ein Biofilter vorgesehen, dessen Größe anhand der vorhandenen Ammoniumkonzentration zu bemessen ist. Es wird davon ausgegangen, dass im Grubenwasser 2 mg/l vorhanden sind. Pro Tag fallen am Standort Ibbenbüren Ost 16.440 m<sup>3</sup> Grubenwasser an. Hieraus ergibt sich eine Ammoniumfracht von 32,88 kg/d. Bei einer Raumbelastung von 0,25 kg/ (m<sup>3</sup>·d) ist ein Volumen des Biofilters von 131,52 m<sup>3</sup> notwendig. Unter der Annahme der Höhe des Filterbettes von 2 m beträgt die notwendige Oberfläche 65,76 m<sup>2</sup>. Insgesamt wird eine Biofilterfläche von 120 m<sup>2</sup> vorgesehen, um die Spülung des Filters gewährleisten zu können.

Aufgrund einer nicht ausreichenden Datenlage konnte im Rahmen des Gutachtens nicht im Detail geprüft werden, inwieweit die in Ibbenbüren bereits vorhandenen Anlagen zur Grubenwasserbehandlung in ein zukunftsfähiges Konzept integriert werden können. Zudem findet über die ausgebaute Anlage in Gravenhorst insbesondere die Entwässerung des Westfelds statt. Für die nachfolgende Abbildung wurde von einer Errichtung der Anlagen auf einer Freifläche auf dem Gelände des Bergwerks Oeynhausens ausgegangen. Ob diese Fläche tatsächlich zur Verfügung steht, ist mit der RAG abzustimmen. Das sich auf Basis der

Bemessung ergebende Anlagenkonzept für die Variante B ist in der folgenden Abbildung dargestellt. In der Variante A entfallen die Anlagen zur PAK-Dosierung, Einmischung und Abtrennung.

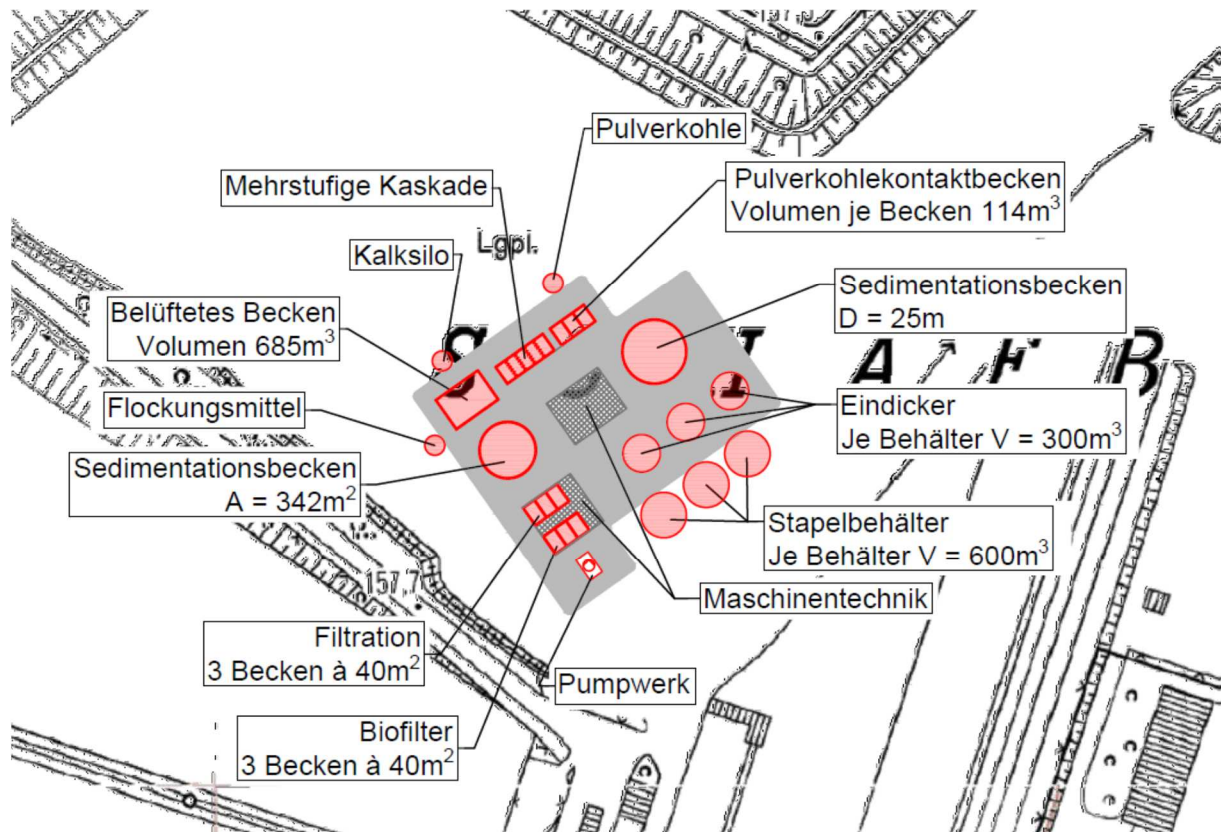


Abbildung 6: Lageplanskizze Grubenwasserbehandlung Ibbenbüren Ost Variante B

## 6.2 Abschätzung der Investitionskosten

### 6.2.1 Investitions- und Kapitalkosten für die drei Standorte

Die Methodik zur Ermittlung der Investitionskosten und die Aufteilung auf die einzelnen Anlagenstufen sind ausführlich im Anhang dargestellt. Die hier genannten Investitionskosten beinhalten einen pauschalen Ansatz von 15% für Baunebenkosten, die die erforderlichen Kosten für Planung, Bauüberwachung und Fachgutachten beinhalten. Mögliche Kosten für Grunderwerb wurden nicht berücksichtigt.

Die auf die einzelnen Anlagenteile und Gewerke aufgeteilten Investitionskosten für alle drei Standorte können der nachfolgenden Tabelle 6 entnommen werden:

Mit Hilfe der vorgenannten Parameter wurden auf Basis der o.g. Investitionskosten die folgenden jährlichen Kapitalkosten gem. KVR-Leitlinie der LAWA ermittelt:

**Tabelle 12: Investkosten und jährliche Kapitalkosten Variante A (ohne Aktivkohle)**

Standort	Haus Aden	Robert Müser	Ibbenbüren Ost (derzeit)	Ibbenbüren Ost (künftig)
Investkosten Zu- und Ablaufleitungen	221.000 €	221.000 €	221.000 €	221.000 €
Investkosten Bautechnik	3.329.000 €	3.241.000 €	4.126.000 €	3.620.000 €
Investkosten Maschinentechnik	2.739.000 €	2.378.000 €	1.921.000 €	2.381.000 €
Investkosten EMSR-Technik	959.000 €	812.000 €	646.000 €	818.000 €
Investkosten gesamt	7.248.000 €	6.652.000 €	6.913.000 €	7.040.000 €
Kapitalkosten pro Jahr (netto)	491.000 €	444.000 €	437.000 €	464.000 €



**Tabelle 13: Investkosten und jährliche Kapitalkosten Variante B (mit Aktivkohle)**

Standort	Haus Aden	Robert Müser	Ibbenbüren Ost (derzeit)	Ibbenbüren Ost (künftig)
Investkosten Zu- und Ablaufleitungen	221.000 €	221.000 €	221.000 €	221.000 €
Investkosten Bautechnik	4.689.000 €	4.391.000 €	4.550.000 €	4.531.000 €
Investkosten Maschinenteknik	4.809.000 €	4.034.000 €	1.921.000 €	2.381.000 €
Investkosten EMSR-Technik	1.620.000 €	1.341.000 €	646.000 €	818.000 €
Investkosten gesamt	11.340.000 €	9.987.000 €	7.338000 €	7.951.000 €
Kapitalkosten pro Jahr (netto)	789.000 €	686.000 €	458.000 €	510.000 €

Die in den vorstehenden Tabellen genannten Kosten für den Standort Ibbenbüren-Ost sind unabhängig voneinander zu verstehen.

### 6.3 Abschätzung der Kosten für den Betriebsmitteleinsatz

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Verfahrenstechnik ist der Einsatz von verschiedenen Betriebsmitteln notwendig. Folgende Betriebsmittel wurden bei den Verfahren berücksichtigt:

- Granulierte Aktivkohle (GAK)
- Pulver-Aktivkohle (PAK)
- Technischer Sauerstoff
- Flockungshilfsmittel
- Kalkmilch.

#### 6.3.1 Granulierte Aktivkohle (GAK)

Für die Berechnung des Verbrauchs der GAK wurden gemäß den Angaben des IWW 50.000 Bettvolumen bis zum Austausch zu Grunde gelegt. Werden diese Werte mit dem benötigten

Filterbettvolumen multipliziert ergibt sich die Wassermenge, die bis zu einem PCB-Durchbruch durchgesetzt werden kann. Unter Berücksichtigung der mittleren Zulaufwassermenge kann die mittlere Standzeit der GAK berechnet werden. Im folgenden Abschnitt wird die Berechnung für die jeweiligen Standorte aufgeführt:

#### Haus Aden:

$$Q_{\text{Durchbruch}} = A_F \cdot h_F \cdot BV$$

$$\text{Durchbruch}_{\text{Wassermenge}} = 185,50 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ m} \cdot 50.000 = 18.550.228,31 \text{ m}^3$$

Anfall Grubenwasser = 13.000.000 m<sup>3</sup>/a

$$\frac{18.550.228,31 \text{ m}^3}{13.000.000 \text{ m}^3/\text{a}} = 1,43 \text{ a}$$

Gemäß der dargestellten Berechnung ist die Aktivkohle nach 1,43 Jahren verbraucht und muss ausgetauscht bzw. reaktiviert werden. Dies entspricht ca. 17 Monaten.

Die Gesamtmasse der Aktivkohle ergibt anhand folgender Berechnung:

$$\text{Aktivkohle}_{\text{gesamt}} = A_F \cdot h_F \cdot \rho$$

$$\text{Aktivkohle}_{\text{gesamt}} = 250 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ m} \cdot 0,45 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 225 \text{ t}$$

Daraus ergibt sich ein jährlicher Verbrauch von ca. 158,00 Tonnen pro Jahr. Die Kosten für die Aktivkohle werden mit 1.600,00 € pro Tonne angesetzt.

#### Robert Müser:

Durchbruch<sub>Wassermenge</sub> = A<sub>Fil</sub> \* Filterhöhe · Bettvolumen

$$\text{Durchbruch}_{\text{Wassermenge}} = 156,96 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ m} \cdot 50.000 = 15.696.347,03 \text{ m}^3$$

Anfall Grubenwasser = 11.000.000 m<sup>3</sup>/a

$$\frac{15.696.347,03 \text{ m}^3}{11.000.000 \text{ m}^3/\text{a}} = 1,43 \text{ a}$$

Gemäß der dargestellten Berechnung ist die Aktivkohle nach 1,43 Jahren verbraucht und muss ausgetauscht bzw. reaktiviert werden. Dies entspricht ca. 17 Monaten.

Die Gesamtmasse der Aktivkohle ergibt anhand folgender Berechnung:

$$\text{Aktivkohle}_{\text{gesamt}} = A_F \cdot h_F \cdot \rho$$

$$\text{Aktivkohle}_{\text{gesamt}} = 200 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ m} \cdot 0,45 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 180 \text{ t}$$

Daraus ergibt sich ein jährlicher Verbrauch von ca. 126,00 Tonnen pro Jahr. Die Kosten für die Aktivkohle werden mit 1.600,00 € pro Tonne angesetzt.

#### Ibbenbüren Ost:

Verfahrensbedingt wird am Standort Ibbenbüren Ost auf granuliert Aktivkohle verzichtet. Stattdessen wird für die Elimination des PCB-haltigen Grubenwassers Pulver-Aktivkohle eingesetzt.

### 6.3.2 Pulver-Aktivkohle

Der Verbrauch der Pulver-Aktivkohle basiert auf Abschätzungen des IWW und wird mit 10 g/m<sup>3</sup> angegeben. Durch die Angabe des anfallenden Rohwassers kann die Menge der Pulver-Aktivkohle bestimmt werden.

#### Ibbenbüren Ost:

Zur Berechnung des Verbrauchs der Pulver-Aktivkohle wird folgende Formel herangezogen:

$$\text{Verbrauch}_{\text{Aktivkohle}} = \text{Pulverkohle}_{\text{Zugabe}} \cdot \text{Grubenwassermenge pro Jahr}$$

$$\text{Verbrauch}_{\text{Aktivkohle}} = \frac{10 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 4.000.000 \text{ m}^3/\text{a}}{(1000 \cdot 1000)} = 40 \text{ t/a}$$

Der Preis für die Pulver-Aktivkohle wird mit 1.800,00 € pro Tonne angesetzt.

### 6.3.3 Technischer Sauerstoff und Druckluft

Für die Enteisenung / Entmanganung am Standort Haus Aden beträgt der mittlere Bedarf für den technischen Sauerstoff 15 mg/l. Demzufolge kann über das anfallende Grubenwasser der Jahresbedarf berechnet werden.

Zur Berechnung des jährlichen Verbrauchs des technischen Sauerstoffs wird folgende Formel herangezogen:

$$\text{Verbrauch}_{\text{techn. Sauerstoff}} = \text{Techn. Sauerstoff}_{\text{Zugabe}} \cdot \text{Grubenwassermenge pro Jahr}$$

Haus Aden:

$$\text{Verbrauch}_{\text{Sauerstoff}} = \frac{\left(15 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 13.000.000 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}\right)}{(1.000 \cdot 1000)} = 195 \text{ t/a}$$

Die angesetzten Kosten von 200 € pro Tonne Sauerstoff beinhalten auch die Kosten für die Tankmiete. An den Standorten Robert Müser und Ibbenbüren Ost ist der Einsatz von Druckluft vorgesehen. Weitere Berechnungsgrundlagen werden in dem Kapitel zur Berechnung des Energiebedarfs ausgeführt.

### 6.3.4 Flockungshilfsmittel

Basiert ebenfalls auf einer Annahme des IWW mit 0,1 g/m<sup>3</sup> und kann demzufolge über die anfallende Rohwassermenge bestimmt werden. Die benötigte Menge der Flockungshilfsmittel (FHM) wird folgendermaßen bestimmt:

$$\text{Verbrauch}_{\text{techn. FHM}} = \text{FHM}_{\text{Zugabe}} \cdot \text{Grubenwassermenge pro Jahr}$$

Haus Aden:

$$\text{Verbrauch}_{\text{Aktivkohle}} = \frac{\left(0,1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 13.000.000 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}\right)}{(1.000 \cdot 1000)} = 1,3 \text{ t/a}$$

Robert Müser:

$$\text{Verbrauch}_{\text{Aktivkohle}} = \frac{\left(0,1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 11.000.000 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}\right)}{(1000 \cdot 1000)} = 1,1 \text{ t/a}$$

Ibbenbüren Ost:

$$\text{Verbrauch}_{\text{Aktivkohle}} = \frac{\left(0,1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 4.000.000 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}\right)}{(1000 \cdot 1000)} = 0,4 \text{ t/a}$$

Für das Flockungshilfsmittel werden in der Kostenbetrachtung 1.300,00 € pro Tonne angesetzt.

### 6.3.5 Kalkhydrat

Für die Enteisenung des anfallenden Grubenwassers wird am Standort Ibbenbüren Ost eine Kalkmilch-Suspension eingesetzt. Diese wird vor Ort aus festem Kalkhydrat hergestellt. Aufgrund der derzeitigen Grubenwasserzusammensetzung wird eine spez. Kalkhydrat-Dosierung von 0,55 mmol/l vorgesehen. Dies entspricht 40,8 g/m<sup>3</sup>. Für die zukünftige Grubenwasserzusammensetzung werden 3,9 mmol/l, entsprechend 289 g/m<sup>3</sup> benötigt.

Erneut kann der Jahresbedarf über das anfallende Rohwasser errechnet werden.

#### Ibbenbüren Ost derzeit:

$$\text{Verbrauch}_{\text{Kalkmilch}} = \text{Kalkmilch}_{\text{Zugabe}} \cdot \text{Grubenwassermenge pro Jahr}$$

$$\text{Verbrauch}_{\text{Kalkmilch}} = \frac{(40,8 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 4.000.000 \frac{\text{m}^3}{\text{a}})}{(1000 \cdot 1000)} = 163 \text{ t/a}$$

#### Ibbenbüren Ost zukünftig:

$$\text{Verbrauch}_{\text{Kalkmilch}} = \frac{(289 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 4.000.000 \frac{\text{m}^3}{\text{a}})}{(1000 \cdot 1000)} = 1.156 \text{ t/a}$$

### 6.3.6 Polymerverbrauch

Eine fest installierte Schlammentwässerung über Kammerfilterpressen ist lediglich für den Standort Ibbenbüren Ost für die Zukunft angedacht. In diesem Fall ist der Einsatz eines Polymers nötig, welche mit 10 kg Wirksubstanz (WS) pro Tonne Trockensubstanz (TS) Schlamm angesetzt wird.

$$\text{Verbrauch}_{\text{Polymer}} = 0,01 \text{ t (WS)} \cdot 2.075 \text{ t (TS)} = 20,75 \text{ t/a}$$

Die Kosten für Polymer werden mit 4,00 € pro kg Wirksubstanz angesetzt.

## 6.4 Berechnung des Energiebedarfs

Die Berechnung des Energiebedarfs erfolgte gem. dem DWA Regelwerk A 216 Anhang A.1. Folgende Gewerke wurden für den jährlichen Stromverbrauch berücksichtigt:

- Pumpen / Hebewerke
- Filteranlagen
- Kammerfilterpresse
- sonstiges.

Der Stromverbrauch der Anlagen wird gem. dem genannten Regelwerk bezogen auf die durchgesetzte Wassermenge in kWh/m<sup>3</sup> angegeben. Somit ergibt sich der jährliche Stromverbrauch über die anfallende Rohwassermenge bzw. über den Förderstrom in den jeweiligen technischen Anlagen.

Als Berechnungsansatz zur Ermittlung des Stromverbrauchs der Pumpen kann gemäß dem Arbeitsblatt DWA-A 216 folgende Formel zu Grunde gelegt werden:

$$E = \frac{Q \cdot h \cdot 2,7}{n_{\text{ges}}} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,7}{n_{\text{Pumpe}} \cdot n_{\text{Motor}}} = \frac{Q \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{a}} \right] \cdot h [\text{m}] \cdot e_{\text{spez}} \left[ \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \right]}{1000}$$

Die wesentliche Einflussgröße für die Energieeffizienz ist die geodätische Förderhöhe. Der theoretische notwendige Strombedarf liegt bei 2,7 Wh/(m<sup>3</sup>·m) Wasser und manometrische Förderhöhe (DWA-A 216 Anhang A.1, A.5 – A.8).

Pumpenart	Fördermedium	Laufgrad	Wirkungsgrad $\eta_{ges} = \eta_{Pumpe} \cdot \eta_{Motor}$ (1)	Spezifischer Stromverbrauch $e_{spez}^{*1}$ Wh/(m <sup>3</sup> ·m)
Schnecken- und Rührpumpen	Rohabwasser		0,50 – 0,60	5,4 – 4,5
	Rücklaufschlamm, interner Kreislauf		0,60 – 0,70	4,7 – 3,9
Kreiselpumpe	Rohabwasser	Wirbelrad	0,45 – 0,55	6,0 – 4,9
		Einkanalarad	0,50 – 0,60	5,4 – 4,7
Kreiselpumpe	Rücklaufschlamm, interner Kreislauf Ablauf (Filterbeschickung)	Mehrkanalarad	0,65 – 0,75	4,2 – 3,6
		Spiralarad	0,65 – 0,75	4,2 – 3,6
Propellerpumpe/ Rohrgehäusepumpe	Interner Kreislauf		0,65 – 0,80	4,2 – 3,4
Exzentrerschneckenpumpe	Schlämme		0,50 – 0,65	5,4 – 4,2
ANMERKUNG				
*) Spezifischer Stromverbrauch $e_{spez} = 2,7 \text{ Wh/(m}^3 \cdot \text{m)} // \eta_{ges}$				

**Abbildung 7: Zielwerte für den mittleren Gesamtwirkungsgrad und den spezifischen Stromverbrauch von Pumpen auf Kläranlagen [Baumann et al. 2014]**

#### Filteranlagen:

Für den Verfahrensschritt der Filtration fallen Stromkosten an, welche sich nach dem Arbeitsblatt DWA-A 216 wie folgt aufteilen lassen:

- anheben des Abwassers auf 3 m Höhe  $e_{spez} = 15,0 \text{ Wh/m}^3$
- Flockungsmitteldosierung  $e_{spez} = 0,2 \text{ Wh/m}^3$
- Spülung Spülluft  $e_{spez} = 1,2 \text{ Wh/m}^3$
- Spülung Spülwasser  $e_{spez} = 3,0 \text{ Wh/m}^3$
- Schlammwasserrückführung  $e_{spez} = 3,0 \text{ Wh/m}^3$

In Summe werden als Berechnungsansatz zur Ermittlung des Stromverbrauchs für die Filteranlage 22,4 Wh/m<sup>3</sup> angesetzt. An den Standorten Haus Aden, Robert Müser und Ibbenbüren Ost sind bei der Variante B jeweils zwei Filteranlagen vorgesehen, sodass der Stromverbrauch bei 44,8 Wh/m<sup>3</sup> liegt.

Haus Aden:

$$E = \frac{Q_a \cdot 44,8 \text{ [Wh/m}^3\text{]}}{1000} = \frac{13.000.000 \text{ [m}^3\text{/a]} \cdot 44,8 \text{ [Wh/m}^3\text{]}}{1000} = 582.400 \text{ kWh/a}$$

Robert Müser:

$$E = \frac{Q_a \cdot 44,8 \text{ [Wh/m}^3\text{]}}{1000} = \frac{11.000.000 \text{ [m}^3\text{/a]} \cdot 44,8 \text{ [Wh/m}^3\text{]}}{1000} = 492.800 \text{ kWh/a}$$

Ibbenbüren Ost:

$$E = \frac{Q_a \cdot 22,4 \text{ [Wh/m}^3\text{]}}{1000} = \frac{4.000.000 \text{ [m}^3\text{/a]} \cdot 22,4 \text{ [Wh/m}^3\text{]}}{1000} = 89.600 \text{ kWh/a}$$

Die Stromkosten werden mit 0,20 € pro kWh angesetzt. Bei der Variante A entfällt die Filtration sodass der Stromverbrauch der Filteranlage auf 22,4 Wh/m<sup>3</sup> reduziert werden kann. Demzufolge halbieren sich bei der Variante die Stromkosten um 50 %.

Druckluft:

Für den Einsatz von Druckluft an den Standorten Robert Müser und Ibbenbüren Ost werden pro Kubikmeter Grubenwasser 0,05 m<sup>3</sup> Druckluft benötigt. Bei der anfallenden Wassermenge von 1.256 m<sup>3</sup>/h bzw. 456 m<sup>3</sup>/h beträgt dies 62,8 m<sup>3</sup>/h bzw. 22,8 m<sup>3</sup>/h Druckluft.

$$E = \frac{Q_a \cdot h}{n_{ges} \cdot 367} = \frac{1256 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \cdot 5 \text{ [m]}}{0,7 \cdot 367} = 1,2 \text{ kW}$$

Unter der Voraussetzung, dass der Kompressor ganzjährig betrieben wird (8.760 Stunden), fallen 10.512 kWh/a an. Bei einem Strompreis von 0,20 € entstehen Kosten in Höhe von 2.102,40 €.

Kammerfilterpresse:

Der Stromverbrauch für Kammerfilterpressen wird mit 70 kWh pro Tonne Trockensubstanz zu Grunde gelegt. Dementsprechend werden bei einem Schlammanfall von 2.075 t Trockensubstanz 145.250 kWh/a benötigt.



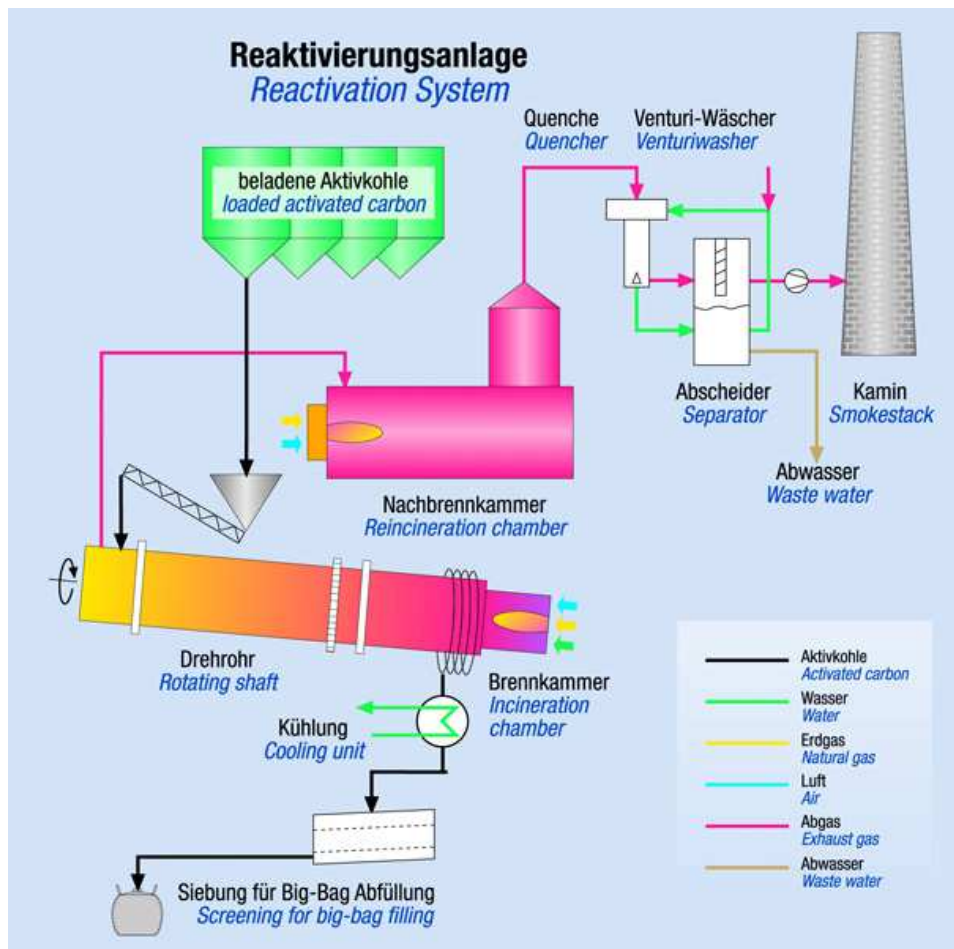
## 6.5 Reststoffentsorgung

Durch die Elimination von PCB im Rohwasser entstehen Abfallprodukte, welche einer geeigneten Verwertung bzw. Entsorgung zugeführt werden müssen. Als Abfallprodukte entstehen:

- Verbrauchte granuliert Aktivkohle
- Schlamm inkl. Pulveraktivkohle.

Die Menge der zu entsorgenden Aktivkohle ergibt sich aus dem jährlichen Verbrauch. Im folgenden Kapitel ist eine Alternative zur Entsorgung der granulierten Aktivkohle dargestellt.

Für die verfahrenstechnische Aufbereitung des PCB-haltigen Grubenwassers ist u.a. der Einsatz von Aktivkohle in den Filteranlagen vorgesehen. Aufgrund des hohen Verbrauchs der Aktivkohle und den damit immensen Kosten, wurde mittels einer Marktrecherche nach einer kostengünstigen Alternative zum Einsatz von Frischkohlen recherchiert. Die Betriebszeiten für die Aktivkohle werden für die untersuchten Verfahren auf ca. 1 bis 2 Jahre abgeschätzt. Die mit PCB beladene Aktivkohle kann ggf. durch thermische Behandlung in speziellen Anlagen reaktiviert werden, indem die gebrauchte Aktivkohle innerhalb eines Drehofens in mehrere Temperaturzonen nach und nach erhitzt ( $>1.000^{\circ}\text{C}$ ) wird. Durch die kontinuierliche Temperaturerhöhung werden die von der Aktivkohle adsorbierten Stoffe wieder abgegeben, sodass im Anschluss eine erneute Aktivierung der Aktivkohle mit Wasserdampf erfolgen kann. Grundsätzlich besteht durch Chargentrennung in der Aufbereitung die Möglichkeit, dass die gleiche Aktivkohle erneut in die Filteranlagen eingebaut werden kann. In der folgenden Abbildung ist der Verfahrensprozess der Reaktivierung der Aktivkohle grafisch dargestellt.



**Abbildung 8: Aufbereitung Aktivkohle (Quelle: Donau Carbon)**

Es wird darauf hingewiesen, dass das Reaktivieren der beladenen Aktivkohle bis zu einem Grenzwert von 1 mg/kg möglich ist. Bei einer Überschreitung des Grenzwertes ergeben sich gemäß den Angaben der Hersteller anlagenspezifische Restriktionen bei der Rauchgasentsorgung.

Unter Berücksichtigung des Bettvolumens von ggf. >50.000 und den daraus resultierenden längeren Standzeiten ist es nicht auszuschließen, dass die Aktivkohle mit mehr als 1 mg/kg PCB beladen wird und folglich komplett ausgetauscht werden muss.

In diesem Fall sind die Entsorgungskosten für die Aktivkohle zu ermitteln und in der Kostenbetrachtung zu berücksichtigen. In der Kostenschätzung wird auf der sicheren Seite liegend davon ausgegangen, dass die Aktivkohle nicht reaktiviert werden kann. Es ist daher eine Neubeschaffung der Kohle und die Entsorgung der beladenen Kohle zu kalkulieren.

Neben den Entsorgungskosten der Aktivkohle sind die Entsorgungskosten für den entwässerten Schlamm zu berücksichtigen.

Die im Rohwasser enthaltenen Schwebstoffteilchen werden durch technische Betriebsmittel ausgefällt, sodass in der Folge Schlammmassen abgelagert und entsorgt werden müssen. Dabei orientiert sich die Höhe der anfallenden Schlammmassen im Wesentlichen an den vorhandenen Eisengehalten zzgl. der eingesetzten Pulveraktivkohle. Gemäß den Angaben des IWW wird davon ausgegangen, dass der zu entsorgende Schlamm nach Eindickung und Entwässerung einen Trockensubstanzgehalt von 30% aufweist. Folglich können die Entsorgungsmassen mit t/a angegeben werden.

Für die Standorte ergeben sich folgende zu entsorgende Schlammmassen:

**Tabelle 14: anfallende Schlammmassen**

	Einheit	Haus Aden	Robert Müser	Ibbenbüren Ost (derzeit)	Ibbenbüren Ost (künftig)
Trockenmasse gesamt	t/a	200	499	478	2.075
TR entwässerter Schlamm	%	30	30	30	30
Eingedickter Entwässerter Schlamm (Originalsubstanz)	t/a	667	1.665	1.592	6.918

Da auf den Standorten Haus Aden und Robert Müser nur relativ geringe Schlammengen anfallen, wurde hier keine fest installierte Schlammmentwässerung vorgesehen. Es wurden stattdessen Kosten für eine mobile Lohnentwässerung in Höhe von 220 € pro Tonne Trockenrückstand angesetzt.

Bei rechnerischen PCB-Konzentrationen von 0,01 bis 0,13 mg/kg wird eine Verbrennung des anfallenden Schlammes empfohlen. Der Wert liegt jedoch deutlich unter dem Schwellenwert von 50 ppm (50 mg/kg), der eine Einstufung als Sonderabfall erforderlich machen würde. Für die Verbrennung sowohl der Kohle als auch des Schlammes wurden Kosten von 80 € pro Tonne Originalsubstanz (entsprechend 267 € pro Tonne Trockenrückstand) angesetzt.

## 6.6 Berechnung des Personalbedarfs

Für die Berechnung des Personalbedarfs wurde das ATV-Merkblatt M 271 zu Grunde gelegt. Aus der Tabelle 2 im Merkblatt M 271 ergibt sich die mittlere effektive Jahresarbeitszeit (MEJAZ) pro Mitarbeiter mit 1.677 Stunden pro Jahr. In dieser Berechnung sind die Wochenendtage / Ferientage, Urlaubstage und Krankheitstage berücksichtigt.

An den Standorten Haus Aden und Robert Müser sind für den Betrieb der Anlagen jeweils zwei Personen vorgesehen. Aufgrund der technischen Notwendigkeit einer Kalkhydratanlage am Standort Ibbenbüren Ost, wird ein dritter Mitarbeiter in der Kostenbetrachtung angesetzt.

### 6.6.1 Instandhaltungskosten

In den vorherigen Kapiteln wurde die Ermittlung der Volumenströme / Menge der notwendigen Betriebsmittel dargestellt. Nicht berücksichtigt wurden bisher die Instandhaltungskosten der einzelnen Gewerke und die Analysekosten für die Wasserqualität / der Schlamm Entsorgung. Bei den jährlichen Betriebskosten stellen die Analysekosten einen geringen Anteil dar. Angedacht sind zwei Messkampagnen pro Jahr.

Für die Bauwerke wurden folgenden Instandhaltungskosten aus Erfahrungswerten angesetzt:

- 1 % Instandhaltungskosten Bautechnik
- 2 % Instandhaltungskosten Maschinenteknik
- 2 % Instandhaltung EMSR-Technik.

## 6.7 Ermittlung der Gesamtkosten

Aus den jährlichen Kapitalkosten (netto) lässt sich der Einheitspreis für die Aufbereitung von einem Kubikmeter Grubenwasser berechnen. Hierzu werden die jährlichen Kapitalkosten durch die Menge des anfallenden Grubenwassers dividiert.

**Tabelle 15: Gesamtkostenübersicht Variante A (ohne Aktivkohle)**

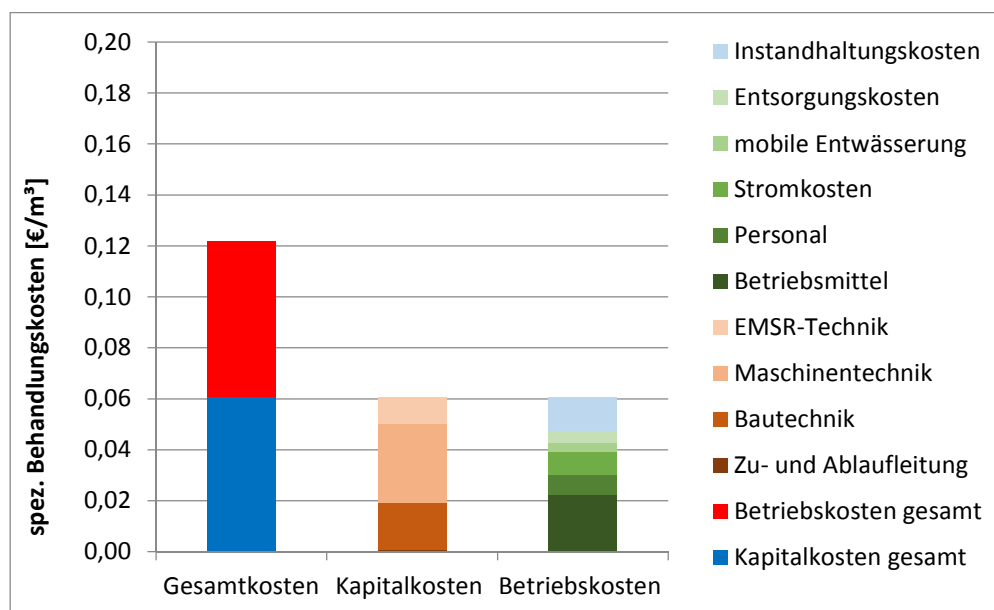
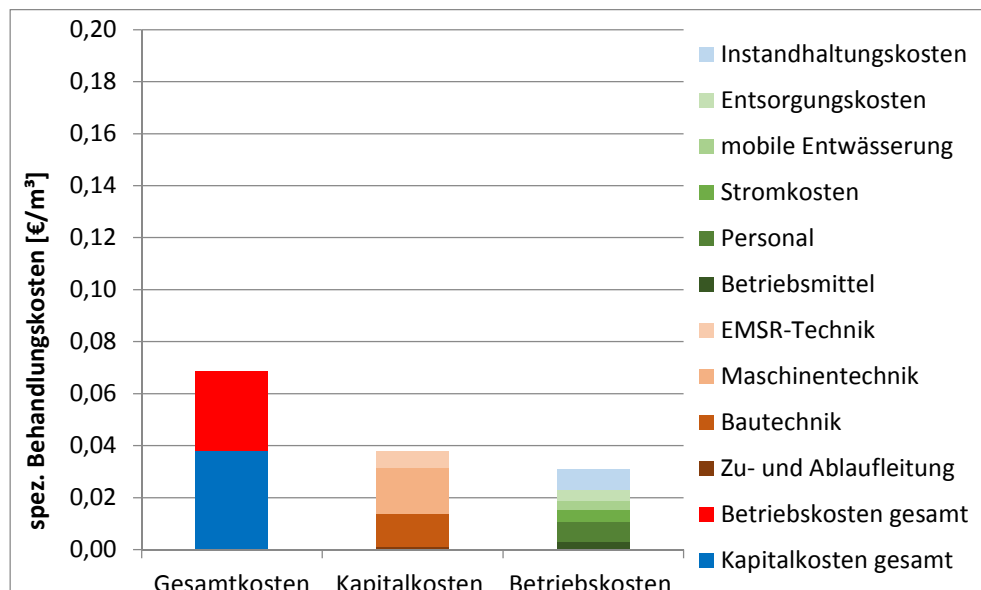
Gliederung der Kosten	Dim	Haus Aden	Robert Müser	Ibbenbüren Ost (derzeit)	Ibbenbüren Ost (künftig)
Abwassermenge	m³/a	13.000.000	11.000.000	4.000.000	4.000.000
Investkosten gesamt	€	7.248.000	6.652.000	6.914.000	7.040.000
Kapitalkosten	€/a	491.000	444.000	437.000	464.000
spez. Kapitalkosten	ct/m³	4	4	11	12
Betriebskosten	€/a	400.000	489.000	503.000	1.236.000
spez. Betriebskosten	ct/m³	3	4	13	31
Jahreskosten	€/a	891.000	933.000	940.000	1.700.000
spez. Gesamtkosten	ct/m³	7	8	24	43

**Tabelle 16: Gesamtkostenübersicht Variante B (mit Aktivkohle)**

Gliederung der Kosten	Dim	Haus Aden	Robert Müser	Ibbenbüren Ost (derzeit)	Ibbenbüren Ost (künftig)
Abwassermenge	m³/a	13.000.000	11.000.000	4.000.000	4.000.000
Investkosten gesamt	€	11.340.000	9.987.000	7.338.000	7.951.000
Kapitalkosten	€/a	789.000	686.000	458.000	510.000
spez. Kapitalkosten	ct/m³	6	6	11	13
Betriebskosten	€/a	791.000	805.000	590.000	1.331.000
spez. Betriebskosten	ct/m³	6	7	15	33
Jahreskosten	€/a	1.581.000	1.491.000	1.048.000	1.841.000
spez. Gesamtkosten	ct/m³	12	13	26	46

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Verteilung der spezifischen Kosten auf die verschiedenen Anteile der Kapital- und Betriebskosten.

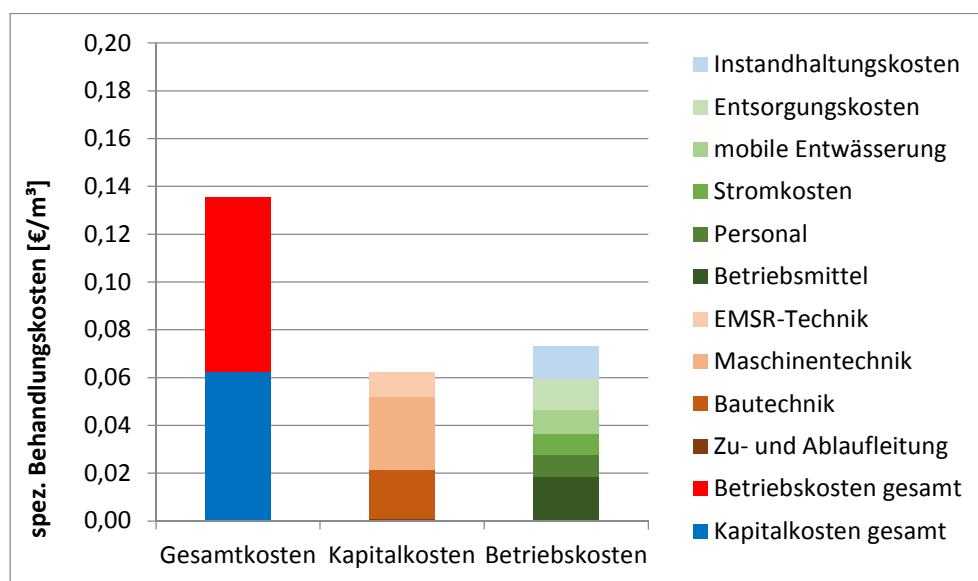
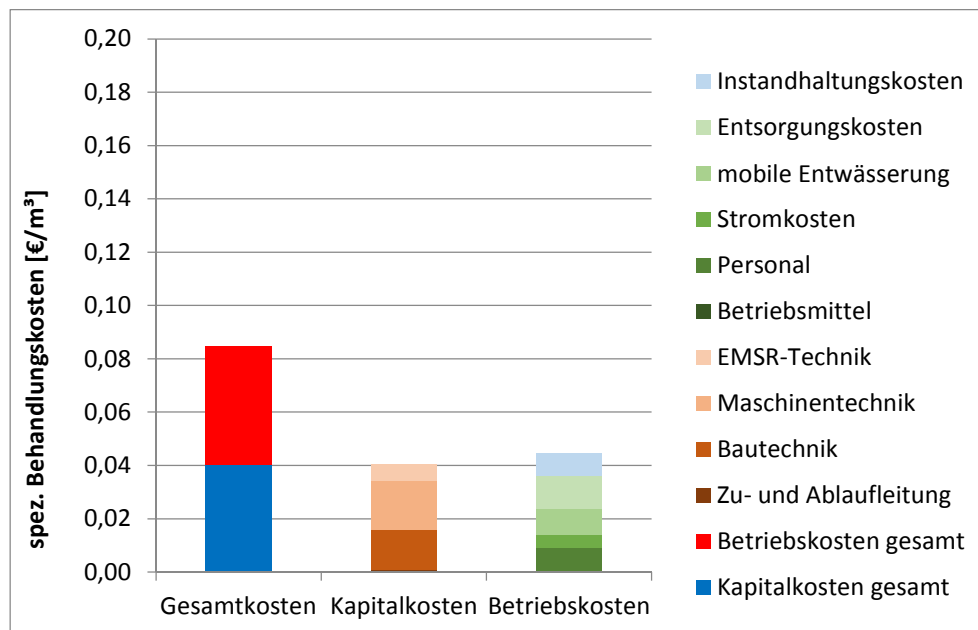
Haus Aden:



**Abbildung 9: Spezifische Behandlungskosten am Standort Haus Aden für die Varianten A (oben) und B (unten)**

Die Behandlungskosten am Standort Haus Aden liegen zwischen 7 und 12 Cent/m<sup>3</sup>. Bei der Variante A haben die Kapitalkosten einen etwas größeren Anteil als die summierten Betriebskosten. Bei den Betriebskosten dominieren in Variante A der Personaleinsatz und in Variante B der Betriebsmitteleinsatz infolge des GAK-Verbrauchs. Bei der Variante B halten sich die Kapital- und Betriebskosten in etwa die Waage.

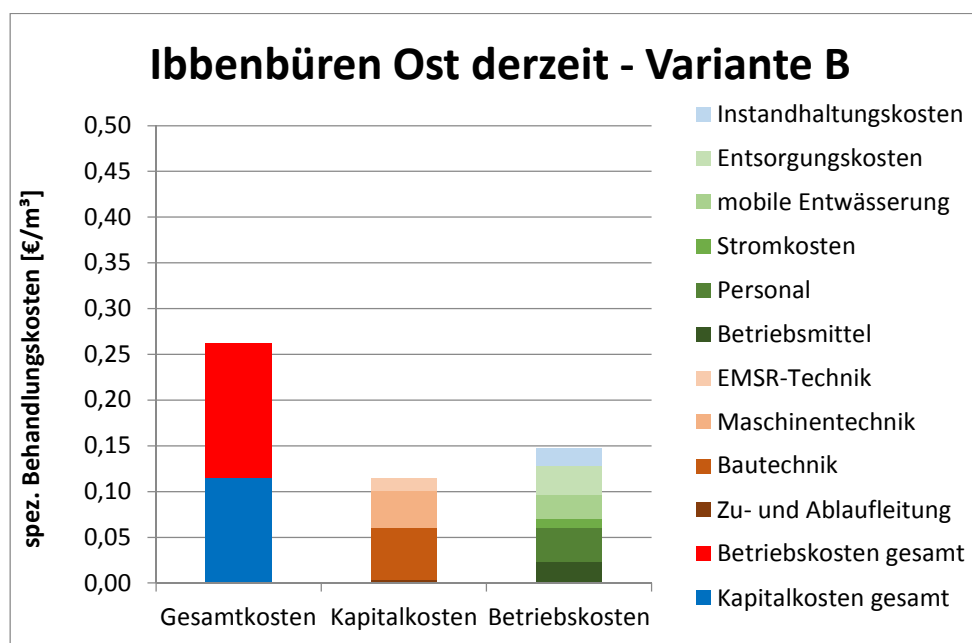
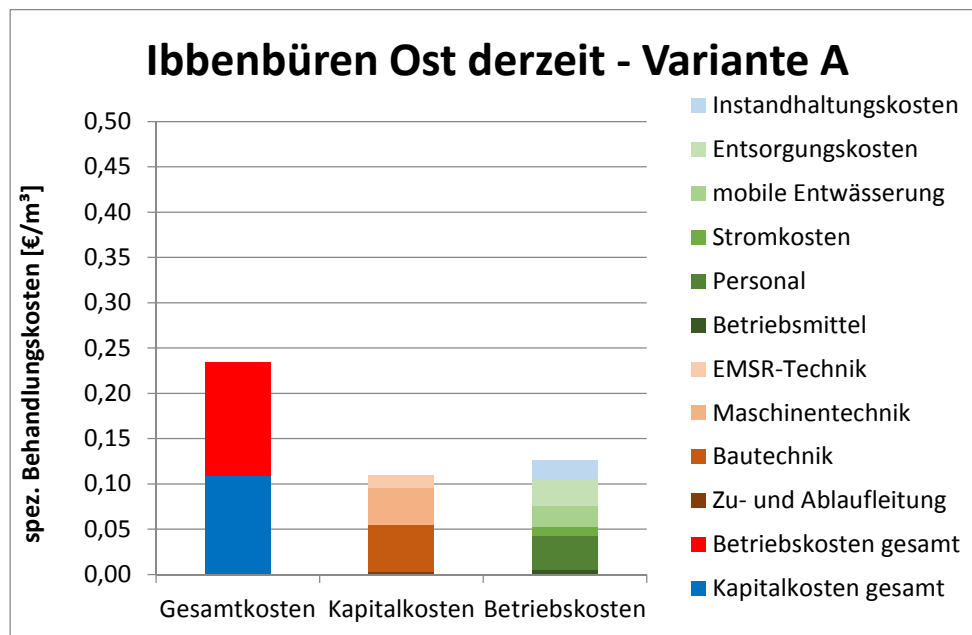
Robert Müser:



**Abbildung 10: Spezifische Behandlungskosten am Standort Robert Müser für die Varianten A (oben) und B (unten)**

Die Behandlungskosten am Standort Robert Müser liegen zwischen 8 und 13 Cent/m<sup>3</sup>. Die Betriebskosten haben einen etwas größeren Anteil als die summierten Kapitalkosten. Bei den Betriebskosten dominieren in Variante A die Entsorgungskosten und in Variante B der Betriebsmitteleinsatz infolge des GAK-Verbrauchs.

Ibbenbüren Ost derzeit:

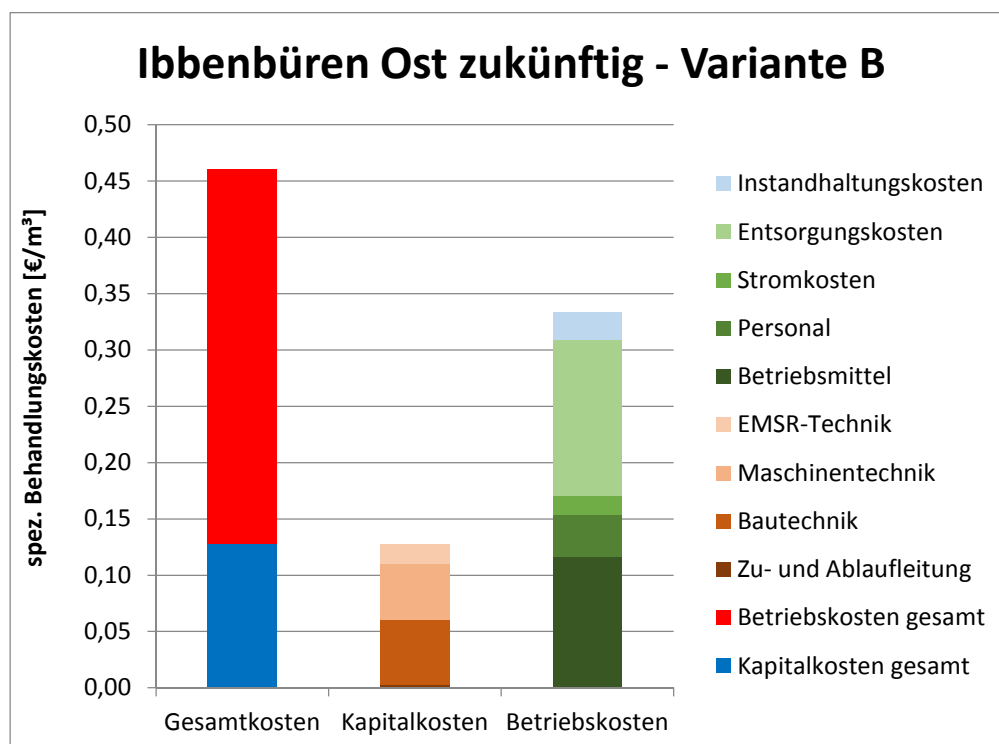
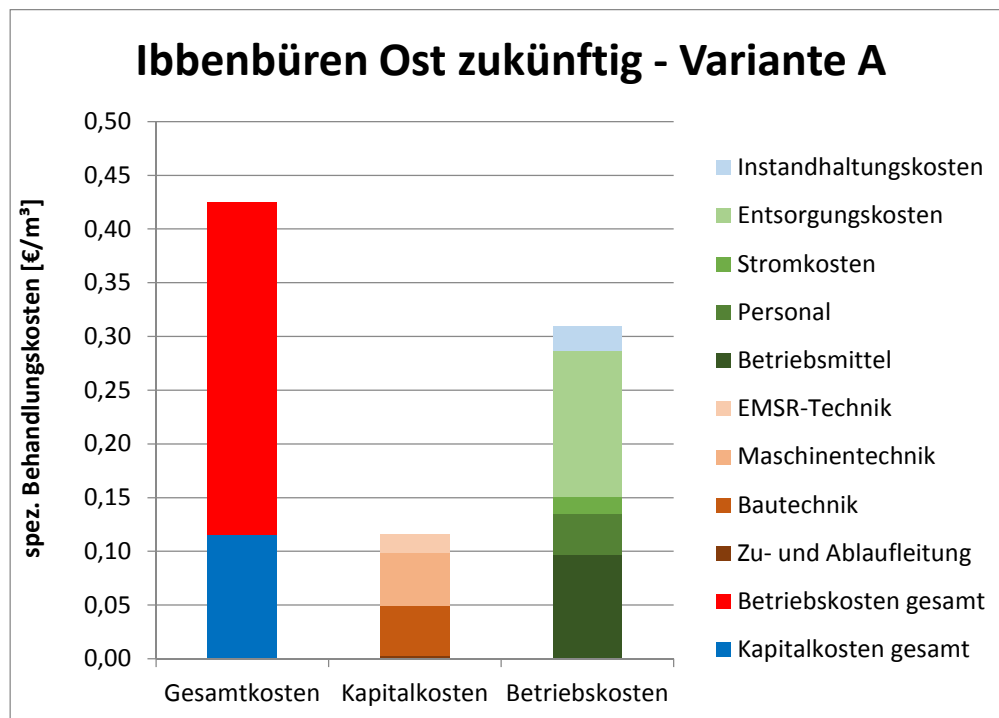


**Abbildung 11: Spezifische Behandlungskosten am Standort Ibbenbüren Ost für die Variante A (oben) und B (unten) mit der derzeitigen Wasserbeschaffenheit**

Die Behandlungskosten am Standort Ibbenbüren Ost liegen beim derzeitigen Wasser zwischen 24 und 26 Cent/m<sup>3</sup>. Die Betriebskosten haben einen etwas größeren Anteil als die summierten Kapitalkosten. Bei den Betriebskosten dominieren in beiden Varianten die Personalkosten aufgrund des Betriebs der Kalkhydratanlage, sowie die Entsorgungskosten.



Ibbenbüren Ost zukünftig:



**Abbildung 12: Spezifische Behandlungskosten am Standort Ibbenbüren Ost für die Variante A (oben) und B (unten) mit der zukünftigen Wasserbeschaffenheit**

Mit der zukünftigen Wasserbeschaffenheit liegen die Behandlungskosten am Standort Ibbenbüren Ost zwischen 43 und 46 Cent/m<sup>3</sup>. Die Betriebskosten haben einen deutlich größeren Anteil als die summierten Kapitalkosten. Bei den Betriebskosten dominieren in beiden Varianten die Betriebsmittel- und Entsorgungskosten.

Am Standort Ibbenbüren ist anzumerken, dass große Teile der Kosten der Variante A unabhängig von einer PCB-Elimination bereits infolge einer ggf. erforderlichen Enteisung (inkl. Schlammfall) und Nitrifikation anfallen. Die Kosten der eigentlichen PCB-Elimination liegen somit im Bereich der übrigen Standorte.

## 6.8 Unsicherheiten in der Kostenermittlung

Die hier genannten Kosten wurden auf Basis einer Konzeptplanung in Anlehnung an die Vorgehensweise bei einer Vorplanung ermittelt. Für eine Kostenschätzung die im Rahmen einer Vorplanung erstellt werden, werden in der Literatur Unsicherheiten von bis zu 50% genannt. Ein exakter Wert ist jedoch nicht spezifiziert und stets vom Einzelfall abhängig (Welter, 2012). Tatsächlich werden an andere Stelle für den Bereich der Kostenschätzung Werte Unsicherheiten von 25% bis 30% benannt. Maßgebende Unsicherheiten für die hier vorliegende Kostenschätzung ergeben sich aus den nachfolgend genannten offenen Punkten:

- Unsicherheiten Investitionskosten, u.a:
  - Unsichere Datenlage zu Wassermengen und –beschaffenheit, zum Umsetzungszeitpunkt (bspw. andere Zusammensetzung nach Wasseranstieg etc., insbesondere hinsichtlich des gelösten PCB-Anteils im Grubenwasser und damit der Erfordernis einer Adsorptionsstufe)
  - Unscharfe Reinigungsanforderungen
  - Unsicherheit Flächenverfügbarkeit
  - Fehlende Fach- und Sondergutachten (bspw. Baugrund, Kampfmittel, Landschaftsschutz etc.) inkl. möglicher resultierender Auflagen
  - Unklarheit über den künftigen Anlagenbetreiber und seiner möglichen spez. Anforderungen
  - Preisentwicklung bis zur Ausführung
  - Unklarheit über die späteren Vergabeeinheiten (Kosten für übliche Aufteilung auf Hauptgewerke kalkuliert, Vergabe an Generalunternehmer führt zu höheren Nachunternehmerzuschlägen etc.)
- Unsicherheiten Betriebskosten, u.a:

- Unsichere Datenlage zu Wassermengen und –beschaffenheit zum Umsetzungszeitpunkt
- Unscharfe Reinigungsanforderungen
- Unsicherheit hinsichtlich der tatsächlichen Beschaffenheit des anfallenden PCB-haltigen Klärschlammes und der verbundenen Entsorgungsmöglichkeiten und –kosten (aufgrund des Schlammanfalls insbesondere für Ibbenbüren zukünftig signifikant)
- Unsicherheit hinsichtlich der Standzeit der granulierten Aktivkohle bzw. der Dosierung von Pulverkohle aufgrund der Hintergrundmatrix und der spez. Kohleeigenschaften (maßgebende Kostenbeeinflussung bei geänderten Standzeiten)
- Preisentwicklung der Betriebsmittel (insbesondere Aktivkohle und Strom)

Die genannten Unsicherheiten beziehen sich auf die betrachteten Standorte. Eine Übertragung der Ergebnisse für die spez. Behandlungskosten auf andere Standorte unterliegt entsprechend größeren Unsicherheiten.

Zur Reduzierung der Kostenunsicherheiten wird folgender, gestufter Prozess empfohlen:

- Weitere Verbesserung der Datengrundlage (insbesondere Quantifizierung des Anteils gelöster PCB-Fractionen im Grubenwasser)
- Festlegung der einzuhaltenden Ablaufwerte
- Erstellung eines Organisationskonzepts für den Betrieb und die Finanzierung der Anlagen / Festlegen des künftigen Betreibers
- Festlegung eines Pilotstandorts
- Auslegung, Einrichtung und Betrieb einer halbtechnischen Pilotanlage am Pilotstandort mit allen relevanten Verfahrensstufen
- Auswertung der Ergebnisse und Scale-Up auf eine großtechnische Anlage zur Vollstrombehandlung
- Vor- und Entwurfsplanung für die großtechnische Anlage am Pilotstandort inkl. der erforderlichen Fach- und Sondergutachten

Am Ende des Prozesses steht dann die Kostenberechnung der Entwurfsplanung mit einer Genauigkeit von +/- ca. 20%. Im Anschluss ist zu prüfen, ob die erzielten Ergebnisse auf die die anderen Standorte direkt übertragen werden oder ob zunächst die großtechnische Anlage an einem Standort errichtet wird und Betriebserfahrungen gesammelt werden.

Im Zuge des weiteren Prozesses sind zudem verschiedene Möglichkeiten für Kosteneinsparungen zu prüfen (bspw. Einsatz kontinuierlich gespülter Filter). Zudem sollte am Standort Ibbenbüren untersucht werden, inwieweit durch eine Überleitung der Grubenwässer und gemeinsame Behandlung in den vorhandenen Grubenwasserbehandlungsanlagen des Westfeldes (Gravenhorst und Püsselbüren) Kosteneinsparungen erzielt werden können. Aufgrund fehlender Plan- und Bemessungsunterlagen konnte im Rahmen dieses Gutachtens dazu keine Aussage getroffen werden. Zwischen Vor- und Entwurfsplanung kann die Planung zudem über ein Value-Engineering hinsichtlich des Nutzen/Kosten-Verhältnisses optimiert werden.

## 7 Arbeitspaket III: Vergleichende Gegenüberstellung der Varianten

### 7.1 Vorgehensweise

Im Arbeitspaket I wurden für die drei Referenzstandorte geeignete Aufbereitungsverfahren ausgewählt und Grobkonzepte für jeweils zwei Varianten je Standort entwickelt. Darauf aufbauend wurden in Arbeitspaket II für sämtliche Varianten die Investitions- und Betriebskosten grob abgeschätzt.

Zu Projektbeginn wurden - gemeinsam mit dem MKULNV - Kriterien definiert, um die in den Arbeitspaketen I und II dargestellten Varianten mit Hilfe einer Nutzwertanalyse transparent bewerten zu können. Die Wichtungen sind Vorschläge der Gutachter.

Die Aufbereitungsvarianten werden nach folgenden Kriterien und Wichtungen bewertet:

- |   |      |
|---|------|
| • Wirkungsgrad bzw. erreichbare PCB-Ablaufwerte | 50 % |
| • Energiebedarf                                 | 10 % |
| • Weitere Umweltauswirkungen                    | 10 % |
| • Spezifische Aufbereitungskosten je Kubikmeter | 30 % |

Das Kriterium "Wirkungsgrad" wird mit 50 % am höchsten gewichtet, weil die "weitestgehende" PCB-Elimination das oberste Ziel der Aufbereitungsmaßnahme ist. Zudem werden Eisen- und Ammonium-Konzentrationen über 90% reduziert. Weiterhin ist eine Reduzierung der PAK-Belastung zu erwarten. Dies war aber nicht Gegenstand der Studie.

Die Bewertung des Wirkungsgrades erfolgte analog zum üblichen Schulnoten-Schema: (Note 1: > 92 %, Note 2: 81 – 92 %, Note 3: 67 – 80 %, Note 4: 50 – 66 %, Note 5: < 50 %)

Die „Spezifischen Aufbereitungskosten“ werden mit 30 % gewichtet, weil die hohen zu behandelnden Wassermengen zu hohen Aufbereitungskosten führen, und somit die generelle Machbarkeit deutlich beeinflussen. Die Bewertung der Kosten erfolgte anhand der **spezifischen Aufbereitungskosten** je Kubikmeter Grubenwasser. Hierbei wurde die Bewertungsskala wie folgt definiert:

- 0 ct/m<sup>3</sup> = Sehr gut (Note 1)
- 50 ct/m<sup>3</sup> = Mangelhaft (Note 5)

Der Energiebedarf und die weiteren Umweltauswirkungen werden mit jeweils 10 % gewichtet. Unter dem Begriff "weitere Umweltauswirkungen" werden Treibhausgas-Emissionen aufgrund der eingesetzten Chemikalien und Betriebsmittel (z.B. Aktivkohle) verstanden und qualitativ bewertet.

## 7.2 Bewertung der Varianten

### 7.2.1 Haus Aden

Tabelle 17 zeigt die Nutzwertanalyse für die beiden Varianten zum Standort Haus Aden. Die Bewertung erfolgt mittels Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft).

**Tabelle 17: Nutzwertanalyse für die beiden Varianten zum Standort Haus Aden - Bewertung mittels Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft)**

Kriterium	Gewichtung	Variante A ohne Aktivkohle	Variante B mit Aktiv- kohle-Filter
		Bewertung	Bewertung
<b>Wirkungsgrad bzw. erreichbare PCB-Ablaufwerte</b>	50 %	2,8	1,2
<b>Energiebedarf</b>	10 %	1	2
<b>Weitere Umweltauswirkungen</b>	10 %	1	3
<b>Spezifische Aufbereitungskosten</b>	30 %	1,5	2,0
<b>Summe</b>	<b>100 %</b>	<b>2,1</b>	<b>1,7</b>

**Wirkungsgrad:** Mit Variante B (mit Aktivkohle-Filtration) werden die PCB voraussichtlich zu etwa 95 % aus den Grubenwässern entfernt, was in der Nutzwertanalyse mit "Sehr gut" bewertet wird. Hingegen wird mit Variante A (ohne Aktivkohle) eine etwas schlechtere, aber noch akzeptable PCB-Eliminationsrate von 76 % erreicht (Note: Befriedigend).

Der **Energiebedarf** ist bei Variante B höher als bei Variante A, weil zusätzliche Förderenergie benötigt wird. Daher wird Variante B hierbei schlechter bewertet als Variante A.

Auch bezüglich **weiterer Umweltauswirkungen** wird Variante B schlechter bewertet als Variante A, weil mit dem Einsatz der Aktivkohle zusätzliche Treibhausgas-Emissionen verbunden sind, beispielsweise aufgrund von Herstellung, Transport und Verbrennung der Aktivkohle.

Die für den Standort Haus Aden geschätzten **spezifischen Aufbereitungskosten** liegen bei 7 bzw. 12 ct/m<sup>3</sup> Grubenwasser, was nach dem zuvor erläuterten Bewertungsschema für Variante A die Note 1,5 und für Variante B die Note 2,0 zur Folge hat.

Die Anwendung des in Kapitel 7.1 dargestellten Bewertungsschemas ergibt für den Standort Haus Aden eine etwas bessere Bewertung der B-Variante (mit Aktivkohle: Note 1,7).

In Anhang 4 befindet sich eine Sensitivitätsanalyse zu den beiden wichtigsten Kriterien Wirkungsgrad und Aufbereitungskosten für den Standort Haus Aden. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass mit steigender Gewichtung des Wirkungsgrades die Gesamtbewertung von Variante B immer besser wird. Variante A wird hingegen erst dann besser bewertet als Variante B, wenn die Kosten zu mehr als 50 % und dementsprechend der Wirkungsgrad zu weniger als 30 % gewichtet werden.

### 7.2.2 Robert Müser

Tabelle 18 zeigt die Nutzwertanalyse für die beiden Varianten zum Standort Robert Müser.

**Tabelle 18: Nutzwertanalyse für die beiden Varianten zum Standort Robert Müser - Bewertung mittels Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft)**

Kriterium	Gewichtung	Variante A ohne Aktivkohle	Variante B mit Aktiv- kohle-Filter
		Bewertung	Bewertung
<b>Wirkungsgrad bzw. erreichbare PCB-Ablaufwerte</b>	50 %	3,0	1,1
<b>Energiebedarf</b>	10 %	1	2
<b>Weitere Umweltauswirkungen</b>	10 %	1	3
<b>Spezifische Aufbereitungskosten</b>	30 %	1,7	2,1
<b>Summe</b>	<b>100 %</b>	<b>2,2</b>	<b>1,7</b>

**Wirkungsgrad:** Mit Variante B (mit Aktivkohle-Filtration) werden die PCB voraussichtlich zu etwa 97 % aus den Grubenwässern entfernt, was in der Nutzwertanalyse mit "Sehr gut" bewertet wird. Hingegen wird mit Variante A (ohne Aktivkohle) eine etwas schlechtere, aber noch akzeptable PCB-Eliminationsrate von 74 % erreicht (Note: Befriedigend).

Der **Energiebedarf** ist bei Variante B höher als bei Variante A, weil zusätzliche Förderenergie benötigt wird. Daher wird Variante B hierbei schlechter bewertet als Variante A.

Auch bezüglich **weiterer Umweltauswirkungen** wird Variante B schlechter bewertet als Variante A, weil mit dem Einsatz der Aktivkohle zusätzliche Treibhausgas-Emissionen verbunden sind, beispielsweise aufgrund von Herstellung, Transport und Verbrennung der Aktivkohle.

Die für den Standort Robert Müser geschätzten **spezifischen Aufbereitungskosten** liegen bei 8 bzw. 14 ct/m<sup>3</sup> Grubenwasser, was nach dem zuvor erläuterten Bewertungsschema für Variante A die Note 1,7 und für Variante B die Note 2,1 zur Folge hat.

Die Anwendung des in Kapitel 7.1 dargestellten Bewertungsschemas ergibt für den Standort Haus Aden eine etwas bessere Bewertung der B-Variante (mit Aktivkohle: Note 1,7).

Die Sensitivitätsanalyse in Anhang 4 zeigt, dass mit steigender Gewichtung des Wirkungsgrades die Gesamtbewertung von Variante B immer besser wird. Variante A wird hingegen erst dann besser bewertet als Variante B, wenn die Kosten zu mehr als 53 % und dementsprechend der Wirkungsgrad zu weniger als 27 % gewichtet werden.

### **7.2.3 Ibbenbüren-Ost (derzeitige Wasserbeschaffenheit)**

Tabelle 19 zeigt die Nutzwertanalyse für die beiden Varianten zum Standort Ibbenbüren Ost.



**Tabelle 19: Nutzwertanalyse für die beiden Varianten zum Standort Ibbenbüren Ost (derzeitige Wasserbeschaffenheit) - Bewertung mittels Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft)**

Kriterium	Gewichtung	Variante A ohne Aktivkohle	Variante B mit Pulver- Aktivkohle
		Bewertung	Bewertung
<b>Wirkungsgrad bzw. erreichbare PCB-Ablaufwerte</b>	50 %	1,3	0,9
<b>Energiebedarf</b>	10 %	2	2
<b>Weitere Umweltauswirkungen</b>	10 %	3	4
<b>Spezifische Aufbereitungskosten</b>	30 %	2,9	3,1
<b>Summe</b>	<b>100 %</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>

**Wirkungsgrad:** Mit beiden Variante werden die PCB voraussichtlich zu 94 bzw. 98 % aus den Grubenwässern entfernt, was in der Nutzwertanalyse mit "Sehr gut" bewertet wird.

Der **Energiebedarf** ist bei beiden Varianten etwa gleich hoch.

Bezüglich **weiterer Umweltauswirkungen** wird Variante B schlechter bewertet als Variante A, weil mit dem Einsatz der Aktivkohle zusätzliche Treibhausgas-Emissionen verbunden sind, beispielsweise aufgrund von Herstellung, Transport und Verbrennung der Aktivkohle.

Die für den Standort Ibbenbüren geschätzten **spezifischen Aufbereitungskosten** liegen bei 24 bzw. 26 ct/m<sup>3</sup> Grubenwasser, was nach dem zuvor erläuterten Bewertungsschema für Variante A die Note 2,9 und für Variante B die Note 3,1 zur Folge hat.

Die Anwendung des in Kapitel 7.1 dargestellten Bewertungsschemas ergibt für den Standort Ibbenbüren für beide Varianten die gleiche Bewertung (Note: 2,0).

Die Sensitivitätsanalyse in Anhang 4 zeigt, dass beide Varianten über weite Bereiche etwa gleich bewertet werden. Lediglich bei sehr extremen Gewichtungen des einen oder anderen Kriteriums liegen die Bewertungen der beiden Varianten um etwa 0,2 Punkte auseinander.

### 7.2.4 Ibbenbüren-Ost (zukünftige Wasserbeschaffenheit)

Tabelle 20 zeigt die Nutzwertanalyse für die beiden Varianten zum Standort Ibbenbüren Ost.

**Tabelle 20: Nutzwertanalyse für die beiden Varianten zum Standort Ibbenbüren Ost (zukünftige Wasserbeschaffenheit) - Bewertung mittels Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft)**

Kriterium	Gewichtung	Variante A ohne Aktivkohle	Variante B mit Pulver- Aktivkohle
		Bewertung	Bewertung
<b>Wirkungsgrad bzw. erreichbare PCB-Ablaufwerte</b>	50 %	1,0	0,8
<b>Energiebedarf</b>	10 %	3	3
<b>Weitere Umweltauswirkungen</b>	10 %	4	5
<b>Spezifische Aufbereitungskosten</b>	30 %	4,4	4,7
<b>Summe</b>	<b>100 %</b>	<b>2,5</b>	<b>2,6</b>

**Wirkungsgrad:** Mit beiden Variante werden die PCB voraussichtlich zu 97 bzw. 99 % aus den Grubenwässern entfernt, was in der Nutzwertanalyse mit "Sehr gut" bewertet wird.

Der **Energiebedarf** ist bei beiden Varianten etwa gleich hoch, Aufgrund des zukünftig erhöhten Schlammanfalls ist gegenüber dem Ist-Zustand bei beiden Varianten mit einem höheren Energieverbrauch für die Schlammentwässerung zu rechnen.

Bezüglich **weiterer Umweltauswirkungen** wird Variante B schlechter bewertet als Variante A, weil mit dem Einsatz der Aktivkohle zusätzliche Treibhausgas-Emissionen verbunden sind, beispielsweise aufgrund von Herstellung, Transport und Verbrennung der Aktivkohle. Im Vergleich zum derzeitigen Zustand wird zukünftig in Ibbenbüren sowohl bei der A- als auch bei der B-Variante sehr viel Kalkhydrat benötigt, was zusätzliche Treibhausgas-Emissionen verursacht und somit zu einer schlechteren Bewertung führt.

Die für den Standort Ibbenbüren geschätzten spezifischen Aufbereitungskosten liegen bei 43 bzw. 46 ct/m<sup>3</sup> Grubenwasser, was nach dem zuvor erläuterten Bewertungsschema für Variante A die Note 4,4 und für Variante B die Note 4,7 zur Folge hat.

Die Anwendung des in Kapitel 7.1 dargestellten Bewertungsschemas ergibt für den Standort Ibbenbüren für beide Varianten die gleiche Bewertung (Note: 2,0).

Die Sensitivitätsanalyse in Anhang 4 zeigt, dass beide Varianten über weite Bereiche etwa gleich bewertet werden. Bei einer extremen Gewichtung der Kosten wird die A-Variante um etwa 0,3 Punkte besser bewertet als die B-Variante.

### 7.3 Empfohlene Varianten

Die zuvor dargestellte und erläuterte Nutzwertanalyse zeigt für die Standorte Haus Aden und Robert Müser jeweils eine etwas bessere Bewertung für die B-Varianten (mit Aktivkohle) als für die A-Varianten (ohne Aktivkohle). Zwar sind mit den B-Varianten auch in jedem Fall höhere Kosten als für die A-Varianten verbunden, dieser Aspekt fällt jedoch an den Standorten Haus Aden und Robert Müser bei dem verwendeten Gewichtung weniger ins Gewicht als die positive Wirkung der Aktivkohle im Hinblick auf die Qualität der gereinigten Grubenwässer.

Aufgrund der zuvor erwähnten, unsicheren Datenlage bzgl. gelöster PCB in der Wasserphase ist jedoch fraglich, ob die Aktivkohle überhaupt zur PCB-Elimination benötigt wird.

**Insofern werden zunächst für alle 3 Standorte jeweils die A-Varianten (ohne Aktivkohle) als geeignete Verfahren zur PCB-Elimination vorgeschlagen.**

Sollten die weiteren Analysen bestätigen, dass in der Wasserphase der Grubenwässer gelöste PCB in relevanten Konzentrationen vorliegen, dann sollte man die B-Varianten (mit Aktivkohle) in Betracht ziehen und diese in Form von Pilotversuchen testen (siehe Kapitel 7.4).

### 7.4 Weiteres Vorgehen

Aufgrund der unsicheren Datenlage wird empfohlen, weitere Analysen der Grubenwässer vorzunehmen. Zusätzlich zu den partikulär gebundenen PCB sollten aus Sicht der Gutachter auch die in der Wasserphase gelösten PCB analysiert werden.

Falls zukünftig eine PCB-Entfernung aus Grubenwässern an einzelnen Standorten in Betracht kommt, wird empfohlen, zunächst an diesen Standorten mögliche Aufbereitungsverfahren in

Form von Labor- und halbtechnischen Pilotversuchen zu testen. Solche Untersuchungen sind hilfreich, um einerseits die (theoretischen) Ergebnisse dieser Studie (beispielsweise zur PCB-Elimination einzelner Verfahren) in der Praxis abzusichern. Andererseits kann man dadurch wichtige Informationen im Hinblick auf die Prozessgestaltung und Dimensionierung von technischen Aufbereitungsanlagen erhalten.

Im Falle von Pilotversuchen sollten neben den hier empfohlenen Varianten auch Alternativverfahren, beispielsweise kontinuierlich arbeitende Filtrationsverfahren, untersucht werden, weil diese im späteren Betrieb möglicherweise zu großen Einsparungen führen können.

Im Anschluss an die Praxis-Untersuchungen könnten dann die konkrete Vorplanung inkl. einer detaillierten Kostenermittlung durchgeführt werden.

### **Schritte**

- Erweitertes PCB-Monitoring (inkl. gelöster PCB und Wassermatrix) von Grubenwässern an den Standorten, an denen zukünftig Grubenwasser gefördert wird
- Ausschreibung und Auftragsvergabe von Pilotversuchen zur PCB-Entfernung an zwei Standorten (z.B. Haus Aden, Ibbenbüren)
- Durchführung von Pilotversuchen an zwei Standorten
- Abschlussbericht zu Pilotversuchen und zum PCB-Monitoring
- Bewertung der Ergebnisse durch das MKULNV, anschl. Festlegung der weiteren Vorgehensweise

Für die Abarbeitung der einzelnen Schritte wird ein Zeitraum von 1,5 - 2 Jahren geschätzt.

## 8 Literatur

- Amstaetter K, Eek E, Cornelissen G (2012): Sorption of PAHs and PCBs to activated carbon: Coal versus biomass-based quality. *Chemosphere*, 2012(87), 573-578.
- Barjenbruch, M. (2007): Verfahren zur Abwasserfiltration – Grundlagen, Auslegung und Betriebserfahrungen, *Chemie Ingenieur Technik* 2007 (79) Nr. 11, 1861-1870.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2014): Erfassung von persistenten organischen Schadstoffen im bayerischen Alpenraum  
[https://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe\\_luft/projekte/doc/zusammenfassung\\_popalp.pdf](https://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/projekte/doc/zusammenfassung_popalp.pdf) abgerufen am 17.11.2016
- Beless B, Rifai H S, Rodrigoues D F (2014): Efficacy of Carbonaceous Materials for Sorbing Polychlorinated Biphenyls from Aqueous Solution. *Environ. Sci. Technol.*, 2014(48), 10372-10379.
- Bohn, Dr.- Ing. T. (1993): Wirtschaftlichkeit und Kostenplanung von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen.
- Bolzonella D, Fatone F, Pavan P, Cecchi F (2010): Poly-chlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzo-furans and dioxin-like poly-chlorinated biphenyls occurrence and removal in conventional and membrane activated sludge processes. *Bioresource Technology* 101 (2010) 9445–9454
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2008): Maßnahmen in ARA zur weitergehenden Elimination von Mikroverunreinigungen, Kostenstudie.
- Bundesfinanzministerium (2001): Bericht des Arbeitsstabes Europäische Wirtschafts- und Währungsunion vom 20. Juni 2001.
- DMT (2015): Prognose zu Einleitwerten am Standort Haus Aden bei Flutung der Wasserprovinz Ost. Auftraggeber: RAG Deutsche Steinkohle AG (liegt dem MKULNV vor)
- DMT (2016a): Stoffprognose für das Ansteigenlassen des Grubenwasserspiegels in den Wasserprovinzen Reden und Duhamel auf -320 mNN unter Beachtung der Komponenten der WRRL und von PCB. DMT GmbH & Co. KG, Essen ([http://www.bid.rag.de/bid/PDFs/SA//GWA\\_Redен\\_Duhamel/Fachgutachten/4\\_DMT\\_Stoffprognose/Saar\\_Wasseranstieg\\_-320\\_DMT.pdf](http://www.bid.rag.de/bid/PDFs/SA//GWA_Redен_Duhamel/Fachgutachten/4_DMT_Stoffprognose/Saar_Wasseranstieg_-320_DMT.pdf)) (abgerufen am 10.10.2016)
- DMT (2016b): Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Klinger per mail vom 27.07.2016 (liegt dem MKULNV vor)

- Donau Carbon (2016): Reaktivierung / Reactivation, Reaktivierung von gebrauchten Aktivkohlen Reactivation of Spent Activated Carbon <http://www.donau-carbon.com/Downloads/Reaktivierung.aspx> abgerufen am 11.10.2016.
- DVGW W 223-1 (2005): Arbeitsblatt W 223-1, Enteisung und Entmanganung; Teil 1: Grundsätze und Verfahren, DVGW Bonn
- DVGW W 223-2 (2005): Arbeitsblatt W 223-2, Enteisung und Entmanganung; Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen, DVGW Bonn
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2010): DWA Positionen – Positionen zur Klärschlamm Entsorgung.
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2013): Merkblatt DWA- M 366, Maschinelle Schlammwässerung.
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2015): Arbeitsblatt DWA-A 216, Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen.
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2016): Arbeitsblatt DWA-A 203, Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung.
- Europäisches Parlament und der Rat (2004): Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG.
- Grombach P, Haberer K, Merkl G, Trüb E (2000): Handbuch der Wasserversorgungstechnik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag
- Günthert, F. W., Reicherter, E. (2001): Investitionskosten der Abwasserentsorgung.
- HDR (2013): Treatment Technology - Review and Assessment. [https://www.awb.org/file\\_viewer.php?id=2903](https://www.awb.org/file_viewer.php?id=2903) abgerufen am 10.10.2016
- Imhoff, K. R. , Jardin, N. (2009): Taschenbuch der Stadtentwässerung.
- Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH (2009): Dimensionierung einer Versickerungsmulde, Alternative Bemessung nach Arbeitsblatt DWA-A 138.
- Jonker M T O, Koelmans A A (2002): Sorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Polychlorinated Biphenyls to Soot and Soot-like Materials in the Aqueous Environment: Mechanistic Considerations. Environ. Sci. Technol., 2002(36), 3725-3734.

- Kresse, Dipl.-Ing. A., Könemann, Dipl.-Ing. agr. R., Lahmeyer, Dipl.-Ing. W., Linsen, Dipl.-Ing. K., Neuschäfer, Dipl.-Ing. U., Scharnagel, Dipl.-Ing. C., Schnitker, Dipl.-Ing. W., Vocks, Dipl.-Ing. A. (2010): Leitfaden zur Klärschlamm Entsorgung, DWA-Arbeitsbericht Arbeitsgruppe AK-13.4, 2016.
- LANUV (2015): Belastungen von Oberflächengewässern und von aktiven Grubenwassereinleitungen mit bergbaubürtigen PCB (und PCB-Ersatzstoffen) Ergebnisse des LANUV-Sondermessprogramms 2015.
- McDonough K M, Fairey J L, Lowry G V (2008): Adsorption of polychlorinated biphenyls to activated carbon: Equilibrium isotherms and a preliminary assessment of the effect of dissolved organic matter and biofilm loadings. *Water Research*, 2008(42), 575-584.
- Metzger, S., et. al (2014): Kosten der Pulveraktivkohleanwendung zur Spurenstoffelimination am Beispiel ausgeführter und in Bau befindlicher Anlagen KA Korrespondenz *Abwasser, Abfall* · 2014 (61) Nr. 11, 1029-1037.
- MKULNV (2015): Hintergrundpapier Steinkohle zum Bewirtschaftungsplan 2016-2021 für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas. [http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/w/wasserwirtschaft\\_untertagebau/hintergrundpapier.pdf](http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/w/wasserwirtschaft_untertagebau/hintergrundpapier.pdf)
- Mutschmann/Stimmelmayer (2011): Taschenbuch der Wasserversorgung. Vieweg+Teubner Verlag | Springer
- OGewV (2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV) vom 20. Juni 2016. BGBl. I S. 1373
- Perrad A, Descorme C (2016): Static and dynamic adsorption studies of PolyChloroBiphenyls (PCBs) over activated carbons. *Chemosphere*, 2016(145), 528-534.
- Purolite (2016): Persönliche Mitteilung von Dr. Frank Galbrecht
- Riberio A R, Nunes O C, Pereira M F R, Silva A M T (2014): An overview on the advanced oxidation processes applied for the treatment of water pollutants defined in the recently launched Directive 2013/39/EU. *Environment International*, 2015(75), 33-51.
- Rodriguez C et al (2008): Dioxins, Furans and PCBs in Recycled Water for Indirect Potable Reuse. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2008, 5(5) 356-367
- Shaban Y, El Sayed M A, El Maradny A A, Al Farawati R K, Al Zobidi M I, Kahn S U M (2016): Photocatalytic removal of polychlorinated biphenyls (PCBs) using carbon-modified titanium oxides nanoparticles. *Applied Surface Science*, 2016(365), 108-113.

- Siebielska I, Siedko R (2015): Polychlorinated biphenyl concentration changes in sewage sludge and organic municipal waste mixtures during composting and anaerobic digestion. *Chemosphere* 126 (2015) 88–95
- Statistisches Bundesamt (2009): Index der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz) nach dem Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken, Ausgabe 2009 (GP 2009), Lange Reihen der Fachserie 17, Reihe 2 von Januar 2000 bis Juli 2016.
- Statistisches Bundesamt (2016): Preisindizes für die Bauwirtschaft, Fachserie 17, Reihe 4, 5/2016.
- Welter U (2012): Teure Missverständnisse – Die Kostenbegriffe geben Auskunft über Genauigkeit der Kostenermittlung. *Vergabe Navigator* 4/2012; ISSN 1861-6658
- Wolkersdorfer C (2013): Grubenwasserreinigung – Verfahren und Vorgehensweisen. – Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie. [https://www.researchgate.net/profile/Christian\\_Wolkersdorfer/publications](https://www.researchgate.net/profile/Christian_Wolkersdorfer/publications)
- Wolkersdorfer C, Lopes D V, Nariyan E (2015): Intelligent Mine Water Treatment - Recent International Developments. 63-68.
- Yu D N, Macawile M C A, Abella L C, M. G S (2011): Degradation of polychlorinated biphenyls in aqueous solutions after UV-peroxide treatment: Focus on toxicity of effluent to primary producers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2011(74), 1607-1614.



## 9 Anhang

### Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Methodik zur Abschätzung der Investitionskosten

Anhang 2: Geschätzte Investitions- und Betriebskosten

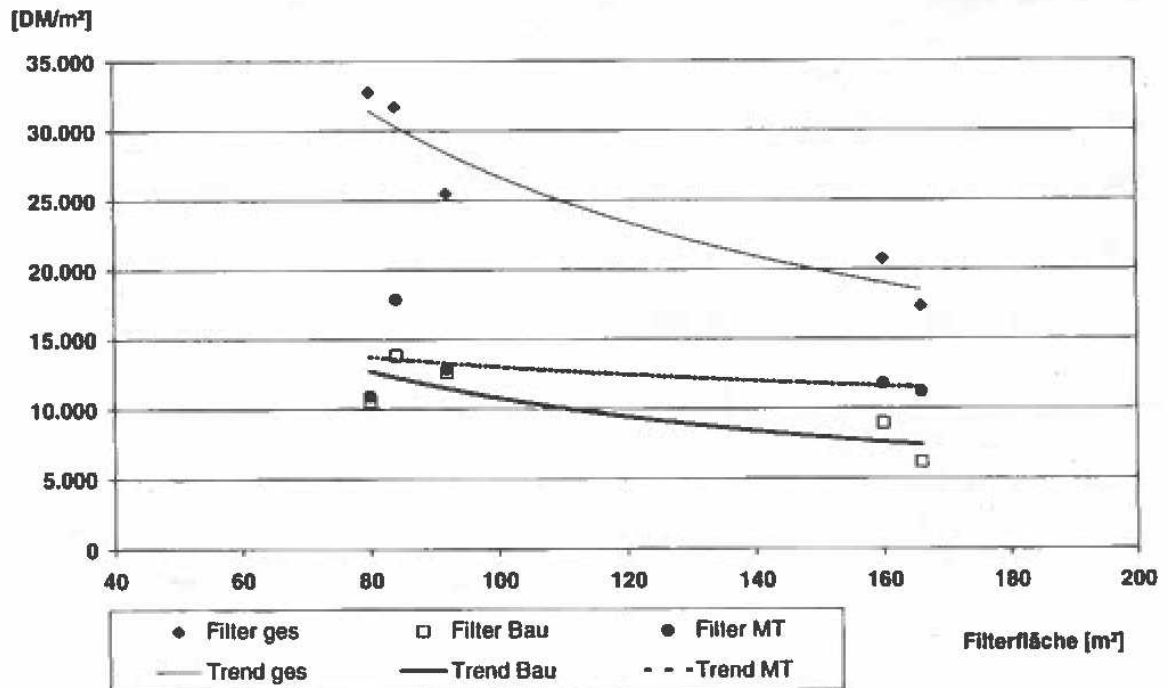
Anhang 3: Berechnungen zur Beschaffenheit der Reinwässer und zu den PCB-Eliminationsraten der verschiedenen Varianten

Anhang 4: Sensitivitätsanalysen zu den Kriterien Wirkungsgrad und Kosten für die drei Standorte

## **Anhang 1: Methodik zur Abschätzung der Investitionskosten**

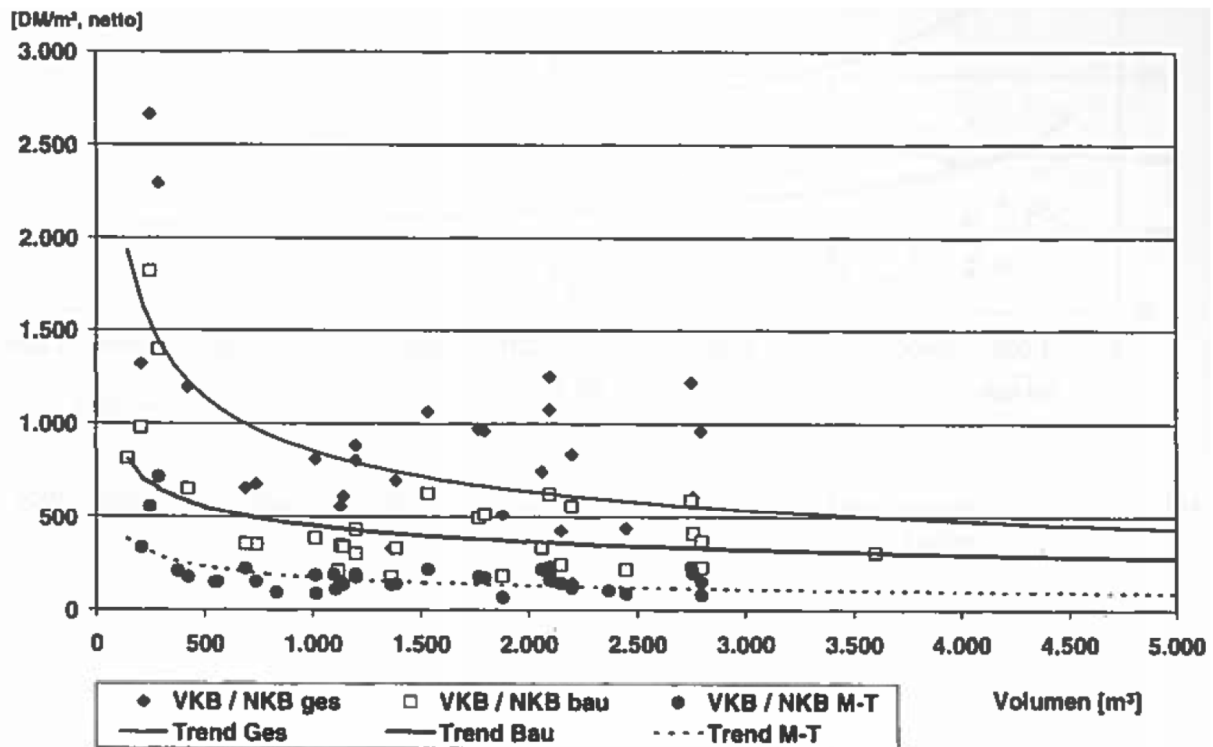
Ein maßgebender Faktor der Investitionskosten stellen die geplanten Filtrationsanlagen an allen untersuchten Standorten dar. In Deutschland wurden im Zeitraum von Ende der 1980er- bis Mitte der 1990er-Jahre ca. 180 Abwasserfiltrationsanlagen errichtet (Barjenbruch, 2007). Auf dieser umfangreichen Datenbasis bauen zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten zur größenabhängigen Abschätzung des Investitionsbedarfs für Filtrationsanlagen auf. Seitdem wurden in Deutschland deutlich weniger Anlagen errichtet, sodass keine aktuelle Datenbasis dieser Größenordnung zur Auswertung vorhanden ist. Als Grundlage für die Ermittlung der Investitionskosten wurden daher die Kostenbetrachtungen von Günthert/Reicherter (2001), die Kostenbetrachtungen von Schröder (1998), und die Daten des statistischen Bundesamtes (DESTATIS 2015 und 2016) herangezogen. Sämtliche Kosten werden ohne Mehrwertsteuer (netto) aufgeführt.

Günthert und Reicherter haben die Daten von 44 Kläranlagen ausgewertet und die einzelnen Verfahrensstufen grafisch dargestellt. Auf Basis dessen, konnten die Investitionskosten für die Bautechnik und die Maschinenteknik für das Bezugsjahr 1999 ermittelt und unter Berücksichtigung der entsprechenden Preisindizes auf das Jahr 2016 extrapoliert werden. Die resultierenden Kosten wurden mit aktuellen Erfahrungswerten neuerer Anlagen plausibilisiert, darunter Daten einer Raumfiltration, die sich gerade im Vergabeprozess befindet.



**Abbildung 13:** Investitionskosten Filter;  
 Quelle: Günthert/Reicherter (2001): Investitionskosten der Abwasserentsorgung

Auch für die Kostenschätzung der Sedimentationsbecken wurden zunächst die volumenbezogenen, spezifischen Investitionskosten von Günthert und Reicherter (2001) herangezogen, in Euro umgerechnet und über die entsprechenden Preisindizes des statistischen Bundesamtes aktualisiert. Dieses Vorgehen wird auch bei den ersten Kostenermittlungen im Rahmen konkreter Planungsprojekte so angewendet. Darüber hinaus erfolgte auch hier eine Plausibilitätsprüfung mit den Kosten für vergleichbare Beckenanlagen aus Referenzprojekten. Hier liegt auch eine deutlich größere aktuelle Datenbasis vor.



**Abbildung 14:** Investitionskosten für Sedimentationsbecken (Vor- und Nachklärbecken) (korrigierter Preisindex). [DM/m<sup>3</sup>, 1999 netto].

Auch für die Kostenschätzung kleiner Becken wird auf spezifische, volumenbezogene Preise aus Literatur und eigener Projekterfahrung zurückgegriffen. Für andere Bauteile, wie bspw. Sauerstofftanks und –verdampfer, Einrichtungen der Schlammwässerung etc. werden pauschale Ansätze auf Basis von Erfahrungswerten herangezogen. Die Vorgehensweise ist im Rahmen der angestrebten Gesamtkostenbetrachtung zulässig, da die aus den Investitionskosten abgeleiteten Kapitalkosten nur einen Teil der Gesamtkosten ausmachen, die in wesentlichen Teilen auch durch die Betriebskosten bestimmt werden.

Für die EMSR-Technik wurden die Kosten aus der Studie von Schröder (1998) berücksichtigt. Zudem wurden die Daten mit den Preisindizes des Statistischen Bundesamtes abgeglichen. Mit Hilfe der Preisindizes des Statistischen Bundesamtes konnten die Investitionskosten auf das Jahr 2015 übertragen werden. Hierfür wurden die Daten des Statistischen Bundesamtes aus den Bezugsjahren 2015 und 2016 entnommen. In der Fachserie 17, Reihe 4, 5 /2016 werden die Preisindizes für den Ingenieurbau nach Straßenbau, Brücken im Straßenbau und Ortskanäle unterschieden. Für die vorliegende Kostenschätzung nach Günthert/Reicherter und Schröder wurden für die Bautechnik die Preisindizes für Brücken im Straßenbau angewandt. Dies ist eine übliche Vorgehensweise für vom Betonbau geprägte Bauwerke der

Wasserwirtschaft. Für die Maschinentechnik und EMSR-Technik liegen die Preisindizes des Statistischen Bundesamtes erst seit dem Jahr 2000 vor. Die Preisindizes für die Maschinentechnik bzw. EMSR-Technik stammen aus der Fachserie 17, Reihe 2, 2016 des Statistischen Bundesamtes und sind unter Gruppe GP 27 „Elektrische Ausrüstungen“ und GP 28 „Maschinen (Maschinenbauerzeugnisse)“ aufgeführt.

Durch die Währungsumstellung im Jahr 2001 von DM in Euro wurde seitens des Bundesfinanzministeriums der unwiderrufliche Umrechnungskurs mit 1 Euro = 1,95583 DM festgelegt.

Für die Kostenschätzung der Hauptbauwerke können somit die nachfolgenden Berechnungsformeln verwendet werden, die auf den Berechnungsformeln von Günthert / Reicherter basieren, in Euro umgerechnet und auf das Jahr 2016 aktualisiert wurden:

#### **Sedimentationsbecken [€/m<sup>3</sup>]:**

$$\begin{aligned} \text{IK}_{\text{Sedi,Bau}} &= 3.557,3 \cdot V [\text{m}^3]^{-0,2987} / 1,95583 \cdot 108,5 / 83,6 \\ &= 2.360,55 \cdot V [\text{m}^3]^{-0,2987} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{IK}_{\text{Sedi,MT}} &= 2.888,7 \cdot V [\text{m}^3]^{-0,4046} / 1,95583 \cdot 105,5 / 85,1 \\ &= 1.831,02 \cdot V [\text{m}^3]^{-0,4046} \end{aligned}$$

#### **Filter [€/m<sup>2</sup>]:**

$$\begin{aligned} \text{Filter Bau:} & \quad y = 40.462 \cdot A [\text{m}^2]^{-0,2461} / 1,95583 \cdot 108,5 / 83,6 \\ & \quad = 26.849,7 \cdot A [\text{m}^2]^{-0,2461} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Filter MT:} & \quad y = 332.818 \cdot A [\text{m}^2]^{-0,7445} / 1,95583 \cdot 108,5 / 85,1 \\ & \quad = 216.958,1 \cdot A [\text{m}^2]^{-0,7445} \end{aligned}$$

Zum Vergleich wurden die Kosten der Filteranlagen mittels der Kostenfunktion von Schröder (1998) unter Berücksichtigung der Preisindizes aus den Jahren 2015/2016 verglichen. Schröder gibt folgende Kostenfunktionen für Filteranlagen an:

- Bautechnik:  $IK_{\text{Bau}} = 0,034 \cdot A_{\text{Fil}} [\text{m}^2]^{0,863} / 1,95583 \cdot 108,5 / 83,6$  [Mio. €]  
 $= 0,02256 \cdot A_{\text{Fil}} [\text{m}^2]^{0,863}$
- Bautechnik:  $IK_{\text{Masch}} = 0,044 \cdot A_{\text{Fil}} [\text{m}^2]^{0,795} / 1,95583 \cdot 108,5 / 85,1$  [Mio. €]  
 $= 0,02868 \cdot A_{\text{Fil}} [\text{m}^2]^{0,795}$
- Bautechnik:  $IK_{\text{EI/MSR}} = 0,014 \cdot A_{\text{Fil}} [\text{m}^2]^{0,845} / 1,95583 \cdot 105,5 / 92,6$  [Mio. €]  
 $= 0,0081 \cdot A_{\text{Fil}} [\text{m}^2]^{0,845}$

In der vorliegenden Kostenbetrachtung sind folgende Randbedingungen nicht berücksichtigt:

- Straßen, Wege, Außenanlagen, Zu- und Ablaufkanäle etc. beschränken sich auf das direkte Baufeld der Filteranlagen

Die Berechnung der Investitionskosten erfolgte gem. Günthert / Reicherter sowie vergleichsweise Schröder, wobei die Kostenbetrachtung bei Schröder mit 3 % - 7 % geringfügig höher ausfällt.

Für einen späteren Variantenvergleich bzw. einen Vergleich der Kosten der unterschiedlichen Standorte erfolgt eine Betrachtung der Jahreskosten. Hierfür sind die Investitionskosten an den einzelnen Standorten in jährliche Kapitalkosten umzurechnen. Dies erfolgt auf Basis der aktuellen Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 2012). Zur Berechnung des Kapitalwiedergewinnungsfaktors sind der Realzinssatz und die Nutzungsdauer je Gewerk die zu berücksichtigen. Der Kapitalwiedergewinnungsfaktor wird verwendet, um einen vorhandenen Kapitalwert in gleich große Beträge umzuwandeln und somit die jährlichen Investitionskosten zu ermitteln und errechnet sich wie folgt:

$$\text{KFAKR} = [(1 + i)^n \times i] / [(1 + i)^n - 1].$$

In der aufgeführten Formel stellt  $i$  den Kalkulationszinssatz und  $n$  die Anzahl der Jahre dar. Gemäß der KVR-Leitlinie der LAWA sind grundsätzlich reale Zinssätze zwischen 2 % und 5 % anzunehmen. Für die vorliegende Betrachtung wurden 3 % angenommen. Die Anzahl der Jahre variiert bei den unterschiedlichen Gewerken und orientiert sich der KVR-Leitlinie der LAWA (2012, 8. Auflage). Eine Preissteigerung wird nicht angesetzt.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	1,02000	1,02500	1,03000	1,03500	1,04000	1,04500	1,05000
2	0,51505	0,51883	0,52261	0,52640	0,53020	0,53400	0,53780
3	0,34675	0,35014	0,35353	0,35693	0,36035	0,36377	0,36721
4	0,26262	0,26582	0,26903	0,27225	0,27549	0,27874	0,28201
5	0,21216	0,21525	0,21835	0,22148	0,22463	0,22779	0,23097
6	0,17853	0,18155	0,18460	0,18767	0,19076	0,19388	0,19702
7	0,15451	0,15750	0,16051	0,16354	0,16661	0,16970	0,17282
8	0,13651	0,13947	0,14246	0,14548	0,14853	0,15161	0,15472
9	0,12252	0,12546	0,12843	0,13145	0,13449	0,13757	0,14069
10	0,11133	0,11426	0,11723	0,12024	0,12329	0,12638	0,12950
11	0,10218	0,10511	0,10808	0,11109	0,11415	0,11725	0,12039
12	0,09456	0,09749	0,10046	0,10348	0,10655	0,10967	0,11283
13	0,08812	0,09105	0,09403	0,09706	0,10014	0,10328	0,10646
14	0,08260	0,08554	0,08853	0,09157	0,09467	0,09782	0,10102
15	0,07783	0,08077	0,08377	0,08683	0,08994	0,09311	0,09634
16	0,07365	0,07660	0,07961	0,08268	0,08582	0,08902	0,09227
17	0,06997	0,07293	0,07595	0,07904	0,08220	0,08542	0,08870
18	0,06670	0,06967	0,07271	0,07582	0,07899	0,08224	0,08555
19	0,06378	0,06676	0,06981	0,07294	0,07614	0,07941	0,08275
20	0,06116	0,06415	0,06722	0,07036	0,07358	0,07688	0,08024
21	0,05878	0,06179	0,06487	0,06804	0,07128	0,07460	0,07800
22	0,05663	0,05965	0,06275	0,06593	0,06920	0,07255	0,07597
23	0,05467	0,05770	0,06081	0,06402	0,06731	0,07068	0,07414
24	0,05287	0,05591	0,05905	0,06227	0,06559	0,06899	0,07247
25	0,05122	0,05428	0,05743	0,06067	0,06401	0,06744	0,07095
26	0,04970	0,05277	0,05594	0,05921	0,06257	0,06602	0,06956
27	0,04829	0,05138	0,05456	0,05785	0,06124	0,06472	0,06829
28	0,04699	0,05009	0,05329	0,05660	0,06001	0,06352	0,06712
29	0,04578	0,04889	0,05211	0,05545	0,05888	0,06241	0,06605
30	0,04465	0,04778	0,05102	0,05437	0,05783	0,06139	0,06505

Abbildung 15: Kapitalwiedergewinnungsfaktoren KFAKR (i;n)

Quelle: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) 2012

## Anhang 2: Geschätzte Investitions- und Betriebskosten

### Haus Aden Variante A

<b>Haus Aden Variante A</b>		
<b>Ausgangswerte</b>	<b>Dim</b>	<b>Haus Aden Variante A</b>
Jahresgrubenwassermenge	m <sup>3</sup> /a	13.000,000
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	m <sup>3</sup> /h	1.484,02
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	m <sup>3</sup> /h	2.226,03
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	l/s	412,23
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	l/s	618,34
Filtrationsgeschwindigkeit Raumfilter - Nennlast	m/h	6
Filterhöhe	m	2
technischer Sauerstoff	mg/l	15,00
Annahme Durchflusszeit	h	1,00
Stromverbrauch Filter	Wh/m <sup>3</sup>	22,40
Filterfläche Raumfilter	m <sup>2</sup>	247,34
<b>Investkosten</b>		
		<b>Gesamtpreis inkl. 15 % BNK in €</b>
Außenanlagen / Betriebswege		325.450 €
Sauerstofftank und Verdampfer		28.750 €
Zu- und Ablaufleitungen DN 1000 PE SDR Druckrohr		220.800 €
Kontaktbecken		776.250 €
Filtration - Bautechnik		1.725.000 €
Filtration - Maschinenteknik		2.415.000 €
Filtration - EMSR Technik		793.500 €
Sedimentationsbecken / Schlammwässerung		31.050 €
Pumpwerk Bautechnik		235.933 €
Pumpwerk Maschinenteknik		324.484 €
Pumpwerk EMSR-Technik		165.690 €
Schlammstapelbehälter		207.000 €
<b>Summe Investkosten</b>		<b>7.248.906 €</b>
<b>Betriebskosten</b>		
		<b>Betriebskosten in €/a</b>
technischer Sauerstoff		39.000 €
Flockungshilfsmittel		1.690 €
Personalkosten		100.000 €
Entsorgungskosten Schlamm		53.360 €
Mobile Entwässerung		44.000 €
Stromkosten Filter		58.240 €
Instandhaltungskosten Bautechnik		29.752 €
Instandhaltungskosten Maschinenteknik		54.790 €
Instandhaltungskosten EMSR-Technik		19.184 €
<b>Summe Betriebskosten</b>		<b>400.016 €</b>



<b>Haus Aden Variante A</b>					
<b>Investitionskosten</b>		<b>Einheit</b>	<b>Gesamtkosten in €</b>	<b>Kosten pro Jahr in €</b>	<b>Kosten in ct/m<sup>3</sup></b>
<b>Investitionskosten Zu- und Ablaufleitungen</b>			220.800 €	11.265 €	0,09
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Bautechnik</b>			3.329.433 €	169.865 €	1,31
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Maschinentchnik</b>			2.739.484 €	229.477 €	1,77
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08				
<b>Investitionskosten EMSR-Technik</b>			959.190 €	80.348 €	0,62
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08				
<b>Kapitalkosten</b>				<b>490.955 €</b>	<b>3,78</b>
Betriebsmittel				40.690 €	0,31
Personal				100.000 €	0,77
Stromkosten				58.240 €	0,45
Mobile Entwässerung				44.000 €	0,34
Entsorgungskosten				53.360 €	0,41
Instandhaltungskosten				103.726 €	0,80
<b>Betriebskosten</b>				<b>400.016 €</b>	<b>3,08</b>
<b>Summe Investitionskosten (netto)</b>			<b>7.248.906 €</b>		
zzgl. 19% MwSt.			1.377.292 €		
<b>Summe Investitionskosten (brutto)</b>			<b>8.626.199 €</b>		
<b>Jahreskosten (netto)</b>				<b>890.971 €</b>	<b>6,85</b>
zzgl. 19% MwSt.				169.285 €	
<b>Jahreskosten (brutto)</b>				<b>1.060.256 €</b>	

## Haus Aden Variante B

Haus Aden Variante B		
Ausgangswerte	Dim	Haus Aden Variante B
Jahresgrubenwassermenge	m <sup>3</sup> /a	13.000,000
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	m <sup>3</sup> /h	1.484,02
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	m <sup>3</sup> /h	2.226,03
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	l/s	412,23
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	l/s	618,34
Filtrationsgeschwindigkeit Raumfilter - Nennlast	m/h	6
Filtrationsgeschwindigkeit Aktivkohlefilter - Nennlast	m/h	8
Filterhöhe	m	2
Dichte Aktivkohlefilter	t/m <sup>3</sup>	0,45
Annahme Durchbruch Bettvolumen		50.000,00
Durchbruch nach Wassermenge	m <sup>3</sup>	18.550.228,31
Masse Aktivkohle gesamt	t	225,00
Durchbruch nach Jahr	a	1,43
technischer Sauerstoff	mg/l	15,00
Annahme Durchflusszeit	h	1,00
Stromverbrauch Filter	Wh/m <sup>3</sup>	44,80
Filterfläche Raumfilter	m <sup>2</sup>	247,34
Filterfläche Aktivkohlefilter	m <sup>2</sup>	185,50
Investkosten		Gesamtpreis inkl. 15 % BNK in €
Außenanlagen / Betriebswege		325.450 €
Sauerstofftank und Verdampfer		28.750 €
Zu- und Ablaufleitungen DN 1000 PE SDR Druckrohr		220.800 €
Kontaktbecken		698.625 €
Filtration - Bautechnik		1.725.000 €
Filtration - Maschinentechnik		2.415.000 €
Filtration - EMSR Technik		793.500 €
Aktivkohlefilter - Bautechnik		1.437.500 €
Aktivkohlefilter - Maschinentechnik		2.070.000 €
Aktivkohlefilter - EMSR Technik		661.250 €
Sedimentationsbecken / Schlammwässerung		31.050 €
Pumpwerk Bautechnik		235.933 €
Pumpwerk Maschinentechnik		324.484 €
Pumpwerk EMSR-Technik		165.690 €
Schlammstapelbehälter		207.000 €
<b>Summe Investkosten</b>		<b>11.340.031 €</b>
Betriebskosten		Betriebskosten in €/a
Aktivkohlekosten		252.288 €
technischer Sauerstoff		39.000 €
Flockungshilfsmittel		1.690 €
Personalkosten		100.000 €
Entsorgungskosten Schlamm		53.360 €
Entsorgungskosten Aktivkohle		12.614 €
Mobile Entwässerung		44.000 €
Stromkosten Filter		116.480 €
Instandhaltungskosten Bautechnik		43.351 €
Instandhaltungskosten Maschinentechnik		96.190 €
Instandhaltungskosten EMSR-Technik		32.409 €
<b>Summe Betriebskosten</b>		<b>791.382 €</b>

<b>Haus Aden Variante B</b>					
<b>Investitionskosten</b>		<b>Einheit</b>	<b>Gesamtkosten in €</b>	<b>Kosten pro Jahr in €</b>	<b>Kosten in ct/m<sup>3</sup></b>
<b>Investitionskosten Zu- und Ablaufleitungen</b>			220.800 €	11.265 €	0,09
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Bautechnik</b>			4.689.308 €	239.245 €	1,84
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Maschinentchnik</b>			4.809.484 €	402.874 €	3,10
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08				
<b>Investitionskosten EMSR-Technik</b>			1.620.440 €	135.739 €	1,04
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08				
<b>Kapitalkosten</b>				<b>789.123 €</b>	<b>6,07</b>
Betriebsmittel				292.978 €	2,25
Personal				100.000 €	0,77
Stromkosten				116.480 €	0,90
Mobile Entwässerung				44.000 €	0,34
Entsorgungskosten				65.974 €	0,51
Instandhaltungskosten				171.950 €	1,32
<b>Betriebskosten</b>				<b>791.382 €</b>	<b>6,09</b>
<b>Summe Investitionskosten (netto)</b>			<b>11.340.031 €</b>		
zzgl. 19% MwSt.			2.154.606 €		
<b>Summe Investitionskosten (brutto)</b>			<b>13.494.637 €</b>		
<b>Jahreskosten (netto)</b>				<b>1.580.504,73 €</b>	<b>12,16</b>
zzgl. 19% MwSt.				300.295,90 €	
<b>Jahreskosten (brutto)</b>				<b>1.880.800,63 €</b>	

## Robert Müser Variante A

<b>Robert Müser Variante A</b>		
<b>Ausgangswerte</b>	<b>Dim</b>	<b>Robert Müser Variante A</b>
Jahresgrubenwassermenge	m <sup>3</sup> /a	11.000.000
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	m <sup>3</sup> /h	1.255,71
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	m <sup>3</sup> /h	1.883,56
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	l/s	348,81
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	l/s	523,21
Filtrationsgeschwindigkeit Raumfilter - Nennlast	m/h	6
Filterhöhe	m	2
Annahme Durchflusszeit	h	1,00
Stromverbrauch Filter	Wh/m <sup>3</sup>	22,40
Filterfläche Raumfilter	m <sup>2</sup>	209,28
Stromverbrauch Kompressor Druckluft	kW/h	1,2
<b>Investkosten</b>		
		<b>Gesamtpreis inkl. 15 % BNK in €</b>
Außenanlagen / Betriebswege		317.400
Zu- und Ablaufleitungen DN 1000 PE SDR Druckrohr		220.800
Kontaktbecken		577.530
Filtration - Bautechnik		1.460.500
Filtration - Maschinentechnik		2.103.120
Filtration - EMSR Technik		671.830
Sedimentationsbecken / Schlammmentwässerung		65.205
Pumpwerk Bautechnik		199.635
Pumpwerk Maschinentechnik		274.563
Pumpwerk EMSR Technik		140.199
Schlammstapelbehälter		621.000
<b>Summe Investkosten</b>		<b>6.651.782,77 €</b>
<b>Betriebskosten</b>		
		<b>Betriebskosten in €/a</b>
Flockungshilfsmittel		1.430 €
Personalkosten		100.000 €
Entsorgungskosten Schlamm		133.200 €
Mobile Entwässerung		109.780 €
Stromkosten Filter		49.280 €
Stromkosten Kompressor Druckluft		2.102 €
Instandhaltungskosten Bautechnik		29.239 €
Instandhaltungskosten Maschinentechnik		47.554 €
Instandhaltungskosten EMSR-Technik		16.241 €
<b>Summe Betriebskosten</b>		<b>488.825 €</b>

Robert Müser Variante A					
		Einheit	Gesamtkosten in €	Kosten pro Jahr in €	Kosten in €/m <sup>3</sup>
<b>Investitionskosten</b>					
<b>Investitionskosten Zu- und Ablaufleitungen</b>			220.800 €	11.265 €	0,10
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Bautechnik</b>			3.241.270 €	165.367 €	1,50
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Maschinentchnik</b>			2.377.683 €	199.170 €	1,81
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Investitionskosten EMSR-Technik</b>			812.029 €	68.021 €	0,62
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Kapitalkosten</b>				<b>443.824 €</b>	<b>4,03</b>
Betriebsmittel				1.430 €	0,01
Personal				100.000 €	0,91
Stromkosten				51.382 €	0,47
Mobile Entwässerung				109.780 €	1,00
Entsorgungskosten				133.200 €	1,21
Instandhaltungskosten				93.033 €	0,85
<b>Betriebskosten</b>				<b>488.825 €</b>	<b>4,44</b>
<b>Summe Investitionskosten (netto)</b>			<b>6.651.783 €</b>		
zzgl. 19% MwSt.			1.263.839 €		
<b>Summe Investitionskosten (brutto)</b>			<b>7.915.621 €</b>		
<b>Jahreskosten (netto)</b>				<b>932.649 €</b>	<b>8,48</b>
zzgl. 19% MwSt.				177.203 €	
<b>Jahreskosten (brutto)</b>				<b>1.109.852 €</b>	

## Robert Müser Variante B

<b>Robert Müser Variante B</b>		
<b>Ausgangswerte</b>	<b>Dim</b>	<b>Robert Müser Variante B</b>
Jahresgrubenwassermenge	m <sup>3</sup> /a	11.000.000
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	m <sup>3</sup> /h	1.255,71
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	m <sup>3</sup> /h	1.883,56
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	l/s	348,81
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	l/s	523,21
Filtrationsgeschwindigkeit Raumfilter - Nennlast	m/h	6
Filtrationsgeschwindigkeit Aktivkohlefilter - Nennlast	m/h	8
Filterhöhe	m	2
Dichte Aktivkohlefilter	t/m <sup>3</sup>	0,45
Annahme Durchbruch Bettvolumen		50.000,00
Durchbruch nach Wassermenge	m <sup>3</sup>	15.696.347,03
Masse Aktivkohle gesamt	t	180,00
Durchbruch nach Jahr	a	1,43
Annahme Durchflusszeit	h	1,00
Stromverbrauch Filter	Wh/m <sup>3</sup>	44,80
Filterfläche Raumfilter	m <sup>2</sup>	209,28
Filterfläche Aktivkohlefilter	m <sup>2</sup>	156,96
Stromverbrauch Kompressor Druckluft	kW/h	1,2
<b>Investkosten</b>		<b>Gesamtpreis inkl. 15 % BNK in €</b>
Außenanlagen / Betriebswege		317.400
Zu- und Ablaufleitungen DN 1000 PE SDR Druckrohr		220.800
Kontaktbecken		577.530
Filtration - Bautechnik		1.460.500
Filtration - Maschinentechnik		2.103.120
Filtration - EMSR Technik		671.830
Aktivkohlefilter - Bautechnik		1.150.000
Aktivkohlefilter - Maschinentechnik		1.656.000
Aktivkohlefilter - EMSR Technik		529.000
Sedimentationsbecken / Schlammwässerung		65.205
Pumpwerk Bautechnik		199.635
Pumpwerk Maschinentechnik		274.563
Pumpwerk EMSR Technik		140.199
Schlammstapelbehälter		621.000
<b>Summe Investkosten</b>		<b>9.986.783</b>
<b>Betriebskosten</b>		<b>Betriebskosten in €/a</b>
Aktivkohlekosten		201.830
Flockungshilfsmittel		1.430
Personalkosten		100.000
Entsorgungskosten Schlamm		133.200
Entsorgungskosten Aktivkohle		10.092
Mobile Entwässerung		109.780
Stromkosten Filter		98.560
Stromkosten Kompressor Druckluft		2.102
Instandhaltungskosten Bautechnik		40.739
Instandhaltungskosten Maschinentechnik		80.674
Instandhaltungskosten EMSR-Technik		26.821
<b>Summe Betriebskosten</b>		<b>805.227</b>

Robert Müser - Variante B					
<b>Investitionskosten</b>		<b>Einheit</b>	<b>Gesamtkosten in €</b>	<b>Kosten pro Jahr in €</b>	<b>Kosten in €/m<sup>3</sup></b>
<b>Investitionskosten Zu- und Ablaufleitungen</b>			220.800 €	11.265 €	0,10
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Bautechnik</b>			4.391.270 €	224.039 €	2,04
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Maschinenteknik</b>			4.033.683 €	337.888 €	3,07
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Investitionskosten EMSR-Technik</b>			1.341.029 €	112.333 €	1,02
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Kapitalkosten</b>				685.526 €	6,23
Betriebsmittel				203.260 €	1,85
Personal				100.000 €	0,91
Stromkosten				100.662 €	0,92
Mobile Entwässerung				109.780 €	1,00
Entsorgungskosten				143.292 €	1,30
Instandhaltungskosten				148.233 €	1,35
<b>Betriebskosten</b>				805.227 €	7,32
<b>Summe Investitionskosten (netto)</b>			9.986.783 €		
zzgl. 19% MwSt.			1.897.489 €		
<b>Summe Investitionskosten (brutto)</b>			11.884.271 €		
<b>Jahreskosten (netto)</b>				1.490.753 €	13,55
zzgl. 19% MwSt.				283.243 €	
<b>Jahreskosten (brutto)</b>				1.773.996 €	

## Ibbenbüren Ost derzeitige Wasserqualität Variante A

<b>Ibbenbüren Ost - Variante A aktuell</b>		
<b>Ausgangswerte</b>	<b>Dim</b>	<b>Ibbenbüren Ost - Variante A aktuell</b>
Jahresgrubenwassermenge	m <sup>3</sup> /a	4.000.000
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	m <sup>3</sup> /h	456,62
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	m <sup>3</sup> /h	684,93
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	l/s	126,84
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	l/s	190,26
Filtrationsgeschwindigkeit Raumfilter Nennlast	m/h	6
Filterhöhe	m	2
Kalkhydrat	g/m <sup>3</sup>	40,80
Stromverbrauch Kompressor	kW/h	1,20
Annahme Durchflusszeit Belüftungsbecken	h	1,00
Stromverbrauch Filter	Wh/m <sup>3</sup>	44,80
Filterfläche Raumfilter	m <sup>2</sup>	76,10
Filterfläche Biofilter	m <sup>2</sup>	100,00
<b>Investkosten</b>		
		<b>Gesamtpreis inkl. 15% BNK in €</b>
Außenanlagen / Betriebswege		811.900 €
Kalkhydratsilo + Dosierstation		253.000 €
Zu- und Ablaufleitungen DN 1000 PE SDR Druckrohr		220.800 €
Mehrstufige Kaskade		126.500 €
Belüftungsbecken		212.693 €
Sedimentationsbecken		425.385 €
Filtration - Bautechnik		690.000 €
Filtration - Maschinentechnik		993.600 €
Filtration - EMSR Technik		317.400 €
Biofilter - Bautechnik		575.000 €
Biofilter - Maschinentechnik		828.000 €
Biofilter - EMSR Technik		264.500 €
Sedimentationsbecken / Eindickung		279.450 €
Pumpwerk Bautechnik		130.670 €
Pumpwerk Maschinentechnik		99.841 €
Pumpwerk - EMSR Technik		63.727 €
Schlammstapelbehälter		621.000 €
<b>Summe Investkosten</b>		<b>6.913.466 €</b>
<b>Betriebskosten</b>		
		<b>Betriebskosten in €/a</b>
Flockungshilfsmittel		520 €
Kalkhydrat		19.584 €
Personalkosten		150.000 €
Mobile Entwässerung		96.360 €
Entsorgungskosten Schlamm		116.720 €
Stromkosten Kompressor Druckluft		2.102 €
Stromkosten Filter		35.840 €
Instandhaltungskosten Bautechnik		30.607 €
Instandhaltungskosten Maschinentechnik		38.429 €
Instandhaltungskosten EMSR-Technik		12.913 €
<b>Summe Betriebskosten</b>		<b>503.075 €</b>



Ibennbüren Ost - Variante A aktuell					
Kosten		Einheit	Gesamtkosten in €	Kosten pro Jahr in €	Kosten in ct/m <sup>3</sup>
<b>Investitionskosten Zu- und Ablaufleitungen</b>			220.800 €	11.265 €	0,28
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Bautechnik</b>			4.125.598 €	210.485 €	5,26
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Maschinentchnik</b>			1.921.441 €	160.953 €	4,02
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Investitionskosten EMSR-Technik</b>			645.627 €	54.082 €	1,35
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Kapitalkosten</b>				<b>436.785 €</b>	<b>10,92</b>
Betriebsmittel				20.104 €	0,50
Personal				150.000 €	3,75
Stromkosten				37.942 €	0,95
Mobile Entwässerung				96.360 €	2,41
Entsorgungskosten				116.720 €	2,92
Instandhaltungskosten				81.948 €	2,05
<b>Betriebskosten</b>				<b>503.075 €</b>	<b>12,58</b>
<b>Summe Investitionskosten (netto)</b>			<b>6.913.466 €</b>		
zzgl. 19% MwSt.			1.313.559 €		
<b>Summe Investitionskosten (brutto)</b>			<b>8.227.025 €</b>		
<b>Jahreskosten (netto)</b>				<b>939.859 €</b>	<b>23,50</b>
zzgl. 19% MwSt.				178.573 €	
<b>Jahreskosten (brutto)</b>				<b>1.118.433 €</b>	

## Ibbenbüren Ost derzeitige Wasserqualität Variante B

<b>Ibbenbüren Ost - Variante B aktuell</b>		
<b>Ausgangswerte</b>	<b>Dim</b>	<b>Ibbenbüren Ost - Variante B aktuell</b>
Jahresgrubenwassermenge	m <sup>3</sup> /a	4.000.000
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	m <sup>3</sup> /h	456,62
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	m <sup>3</sup> /h	684,93
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	l/s	126,84
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	l/s	190,26
Filtrationsgeschwindigkeit Raumfilter Nennlast	m/h	6
Filterhöhe	m	2
Pulverkohle Zugabe	g/m <sup>3</sup>	10,00
Kalkhydrat	g/m <sup>3</sup>	40,80
Stromverbrauch Kompressor	kW/h	1,20
Annahme Durchflusszeit Belüftungsbecken	h	1,00
Annahme Durchflusszeit Pulverkohle-Kontaktbecken	h	0,50
Stromverbrauch Filter	Wh/m <sup>3</sup>	44,80
Filterfläche Raumfilter	m <sup>2</sup>	76,10
Filterfläche Biofilter	m <sup>2</sup>	100,00
<b>Investkosten</b>		<b>Gesamtpreis inkl. 15 % BNK in €</b>
Außenanlagen / Betriebswege		811.900 €
Kalkhydratsilo + Dosierstation		253.000 €
Pulverkohlesilo		287.500 €
Zu- und Ablaufleitungen DN 1000 PE SDR Druckrohr		220.800 €
Pulverkohle - Kontaktbecken		106.191 €
Mehrstufige Kaskade		126.500 €
Belüftungsbecken		212.693 €
Sedimentationsbecken		425.385 €
Filtration - Bautechnik		690.000 €
Filtration - Maschinentechnik		993.600 €
Filtration - EMSR Technik		317.400 €
Biofilter - Bautechnik		575.000 €
Biofilter - Maschinentechnik		828.000 €
Biofilter - EMSR Technik		264.500 €
Sedimentationsbecken / Eindickung		310.500 €
Pumpwerk Bautechnik		130.670 €
Pumpwerk Maschinentechnik		99.841 €
Pumpwerk - EMSR Technik		63.727 €
Schlammstapelbehälter		621.000 €
<b>Summe Investkosten</b>		<b>7.338.207 €</b>
<b>Betriebskosten</b>		<b>Betriebskosten in €/a</b>
Aktivkohlekosten - Pulverkohle		72.000 €
Flockungshilfsmittel		520 €
Kalkhydrat		19.584 €
Personalkosten		150.000 €
Mobile Entwässerung		105.160 €
Entsorgungskosten Schlamm (inkl. Pulverkohle)		127.360 €
Stromkosten Kompressor Druckluft		2.102 €
Stromkosten Filter		35.840 €
Instandhaltungskosten Bautechnik		25.769 €
Instandhaltungskosten Maschinentechnik		38.429 €
Instandhaltungskosten EMSR-Technik		12.913 €
<b>Summe Betriebskosten</b>		<b>589.677 €</b>

<b>Ibennbüren Ost - Variante B aktuell</b>					
<b>Kosten</b>		<b>Einheit</b>	<b>Gesamtkosten in €</b>	<b>Kosten pro Jahr in €</b>	<b>Kosten in ct/m<sup>3</sup></b>
<b>Investionskosten Zu- und Ablaufleitungen</b>			220.800 €	11.265 €	0,28
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investionskosten Bautechnik</b>			4.550.339 €	232.155 €	5,80
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Maschinentchnik</b>			1.921.441 €	160.953 €	4,02
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Investionskosten EMSR-Technik</b>			645.627 €	54.082 €	1,35
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Kapitalkosten</b>				<b>458.454 €</b>	<b>11,46</b>
Betriebsmittel				92.104 €	2,30
Personal				150.000 €	3,75
Stromkosten				37.942 €	0,95
Mobile Entwässerung				105.160 €	2,63
Entsorgungskosten				127.360 €	3,18
Instandhaltungskosten				77.111 €	1,93
<b>Betriebskosten</b>				<b>589.677 €</b>	<b>14,74</b>
<b>Summe Investionskosten (netto)</b>			<b>7.338.207 €</b>		
zzgl. 19% MwSt.			1.394.259 €		
<b>Summe Investionskosten (brutto)</b>			<b>8.732.466 €</b>		
<b>Jahreskosten (netto)</b>				<b>1.048.132 €</b>	<b>26,20</b>
zzgl. 19% MwSt.				199.145 €	
<b>Jahreskosten (brutto)</b>				<b>1.247.277 €</b>	

## Ibbenbüren Ost zukünftige Wasserqualität Variante A

<b>Ibbenbüren Ost - Variante A zukünftig</b>		
<b>Ausgangswerte</b>	<b>Dim</b>	<b>Ibbenbüren Ost - Variante A zukünftig</b>
Jahresgrubenwassermenge	m <sup>3</sup> /a	4.000.000
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	m <sup>3</sup> /h	456,62
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	m <sup>3</sup> /h	684,93
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	l/s	126,84
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	l/s	190,26
Filtrationsgeschwindigkeit Raumfilter Nennlast	m/h	6
Filterhöhe	m	2
Kalkhydrat	g/m <sup>3</sup>	289,00
Stromverbrauch Kompressor	kWh	1,20
Annahme Durchflusszeit Belüftungsbecken	h	1,00
Stromverbrauch Filter	Wh/m <sup>3</sup>	44,80
Filterfläche Raumfilter	m <sup>2</sup>	76,10
Filterfläche Biofilter	m <sup>2</sup>	100,00
<b>Investkosten</b>		<b>Gesamtpreis inkl. 15 % BNK in €</b>
Außenanlagen / Betriebswege		811.900 €
Kalkhydratsilo + Dosierstation		253.000 €
Zu- und Ablaufleitungen DN 1000 PE SDR Druckrohr		220.800 €
Mehrstufige Kaskade		126.500 €
Belüftungsbecken		212.693 €
Sedimentationsbecken		425.385 €
Filtration - Bautechnik		690.000 €
Filtration - Maschinentechnik		993.600 €
Filtration - EMSR Technik		317.400 €
Biofilter - Bautechnik		57.500 €
Biofilter - Maschinentechnik		828.000 €
Biofilter - EMSR Technik		264.500 €
Sedimentationsbecken / Eindickung		279.450 €
Pumpwerk Bautechnik		130.670 €
Pumpwerk Maschinentechnik		99.841 €
Pumpwerk - EMSR Technik		63.727 €
Schlammwässerung Bautechnik		632.500 €
Schlammwässerung Maschinentechnik		460.000 €
Schlammwässerung EMSR-Technik		172.500 €
<b>Summe Investkosten</b>		<b>7.039.966 €</b>
<b>Betriebskosten</b>		<b>Betriebskosten in €/a</b>
Flockungshilfsmittel		520 €
Kalkhydrat		115.600 €
Polymer		271.360 €
Personalkosten		150.000 €
Entsorgungskosten Schlamm		542.720 €
Stromkosten Kompressor Druckluft		2.102 €
Stromkosten Filter		35.840 €
Stromverbrauch Schlammwässerung		28.493 €
Instandhaltungskosten Bautechnik		25.547 €
Instandhaltungskosten Maschinentechnik		47.629 €
Instandhaltungskosten EMSR-Technik		16.363 €
<b>Summe Betriebskosten</b>		<b>1.236.174 €</b>

Ibennbüren Ost - Variante A zukünftig					
Kosten		Einheit	Gesamtkosten in €	Kosten pro Jahr in €	Kosten in ct/m <sup>3</sup>
<b>Investionskosten Zu- und Ablaufleitungen</b>			220.800 €	11.265 €	0,28
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investionskosten Bautechnik</b>			3.619.598 €	184.669 €	4,62
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Maschinentechnik</b>			2.381.441 €	199.485 €	4,99
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Investionskosten EMSR-Technik</b>			818.127 €	68.532 €	1,71
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Kapitalkosten</b>				463.951 €	11,60
Betriebsmittel				387.480 €	9,69
Personal				150.000 €	3,75
Stromkosten				66.435 €	1,66
Entsorgungskosten				542.720 €	13,57
Instandhaltungskosten				89.538 €	2,24
<b>Betriebskosten</b>				1.236.174 €	30,90
<b>Summe Investionskosten (netto)</b>			7.039.966 €		
zzgl. 19% MwSt.			1.337.594 €		
<b>Summe Investionskosten (brutto)</b>			8.377.560 €		
<b>Jahreskosten (netto)</b>				1.700.125 €	42,50
zzgl. 19% MwSt.				323.024 €	
<b>Jahreskosten (brutto)</b>				2.023.148 €	

## Ibbenbüren Ost zukünftige Wasserqualität Variante B

<b>Ibbenbüren Ost - Variante B zukünftig</b>		
<b>Ausgangswerte</b>	<b>Dim</b>	<b>Ibbenbüren Ost - Variante B zukünftig</b>
Jahresgrubenwassermenge	m <sup>3</sup> /a	4.000,000
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	m <sup>3</sup> /h	456,62
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	m <sup>3</sup> /h	684,93
mittlere Tagesmenge Grubenwasser	l/s	126,84
Stundenspitzenfaktor (x1,5)	l/s	190,26
Filtrationsgeschwindigkeit Raumfilter Nennlast	m/h	6
Filterhöhe	m	2
Pulverkohle Zugabe	g/m <sup>3</sup>	10,00
Kalkhydrat	g/m <sup>3</sup>	289,00
Stromverbrauch Kompressor	kw/h	1,20
Annahme Durchflusszeit Belüftungsbecken	h	1,00
Annahme Durchflusszeit Pulverkohle-Kontaktbecken	h	0,50
Stromverbrauch Filter	Wh/m <sup>3</sup>	44,80
Filterfläche Raumfilter	m <sup>2</sup>	76,10
Filterfläche Biofilter	m <sup>2</sup>	100,00
<b>Investkosten</b>		<b>Gesamtpreis inkl. 15% BNK in €</b>
Außenanlagen / Betriebswege		811.900 €
Kalhydratsilo + Dosierstation		253.000 €
Pulverkohlesilo		287.500 €
Zu- und Ablaufleitungen DN 1000 PE SDR Druckrohr		220.800 €
Pulverkohle - Kontaktbecken		106.191 €
Mehrstufige Kaskade		126.500 €
Belüftungsbecken		212.693 €
Sedimentationsbecken		425.385 €
Filtration - Bautechnik		690.000 €
Filtration - Maschinentechnik		993.600 €
Filtration - EMSR Technik		317.400 €
Biofilter - Bautechnik		575.000 €
Biofilter - Maschinentechnik		828.000 €
Biofilter - EMSR Technik		264.500 €
Sedimentationsbecken / Eindickung		279.450 €
Pumpwerk Bautechnik		130.670 €
Pumpwerk Maschinentechnik		99.841 €
Pumpwerk - EMSR Technik		63.727 €
Schlammwässerung Bautechnik		632.500 €
Schlammwässerung Maschinentechnik		460.000 €
Schlammwässerung EMSR-Technik		172.500 €
<b>Summe Investkosten</b>		<b>7.951.157 €</b>
<b>Betriebskosten</b>		<b>Betriebskosten in €/a</b>
Aktivkohlekosten - Pulverkohle		72.000 €
Flockungshilfsmittel		520 €
Kalkhydrat		115.600 €
Polymer		276.720 €
Personalkosten		150.000 €
Entsorgungskosten Schlamm (inkl. Pulverkohle)		553.440 €
Stromkosten Kompressor Druckluft		2.102 €
Stromkosten Filter		35.840 €
Stromkosten Schlammwässerung		29.056 €
Instandhaltungskosten Bautechnik		31.784 €
Instandhaltungskosten Maschinentechnik		47.629 €
Instandhaltungskosten EMSR-Technik		16.363 €
<b>Summe Betriebskosten</b>		<b>1.331.053 €</b>

Ibennbüren Ost - Variante B zukünftig					
Kosten		Einheit	Gesamtkosten in €	Kosten pro Jahr in €	Kosten in ct/m <sup>3</sup>
<b>Investitionskosten Zu- und Ablaufleitungen</b>			220.800 €	11.265 €	0,28
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Bautechnik</b>			4.530.789 €	231.157 €	5,78
Abschreibungsdauer (Jahre)	30	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,05102				
<b>Investitionskosten Maschinentchnik</b>			2.381.441 €	199.485 €	4,99
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Investitionskosten EMSR-Technik</b>			818.127 €	68.532 €	1,71
Abschreibungsdauer (Jahre)	15	a			
Verzinsung (%)	3,00%	%			
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,08377				
<b>Kapitalkosten</b>				510.439 €	12,76
Betriebsmittel				464.840 €	11,62
Personal				150.000 €	3,75
Stromkosten				66.998 €	1,67
Entsorgungskosten				553.440 €	13,84
Instandhaltungskosten				95.775 €	2,39
<b>Betriebskosten</b>				1.331.053 €	33,28
<b>Summe Investitionskosten (netto)</b>			7.951.157 €		
zzgl. 19% MwSt.			1.510.720 €		
<b>Summe Investitionskosten (brutto)</b>			9.461.877 €		
<b>Jahreskosten (netto)</b>				1.841.493 €	46,04
zzgl. 19% MwSt.				349.884 €	
<b>Jahreskosten (brutto)</b>				2.191.376 €	

### **Anhang 3: Berechnungen zur Beschaffenheit der Reinwässer und zu den PCB-Eliminationsraten der verschiedenen Varianten**

#### **Vorgehensweise:**

Auf Basis der Rohwasser-Ausgangskonzentrationen, der ausgewählten Aufbereitungsverfahren und von eigenen Erfahrungswerten wurden von IWW zunächst Annahmen bezüglich der erreichbaren Ablaufkonzentrationen bei den Parametern Eisen, Ammonium und abfiltrierbaren Stoffen getroffen. So wurde beispielsweise für Haus Aden Variante A angenommen, dass mit der ausgewählten Aufbereitungstechnik eine Eisenablaufkonzentration von 0,1 mg/l und eine Konzentration von 0,5 mg/l an abfiltrierbaren Stoffen erreicht werden kann. Aus 3 mg/l Eisen im Rohwasser entstehen während der Aufbereitung ca. 6 mg/l Eisenschlamm, die gemeinsam mit dem Großteil der abfiltrierbaren Stoffe (10 mg/l) abgetrennt werden. Das bedeutet, dass von ca. 16 mg/l an partikulären Stoffen ca. 15,5 mg/l entfernt werden, was einer Eliminationsleistung von 97 % entspricht.

Für die Eliminationsleistung der partikulär gebundenen PCB wurde der gleiche Wert zu Grunde gelegt, der zuvor für die abfiltrierbaren Stoffe (inkl. Fe-Schlamm) ermittelt wurde, im Fall von Haus Aden also 97 %.

In Haus Aden Variante A wird keine Aktivkohle eingesetzt, so dass in diesem Fall eine Eliminationsleistung für die gelösten PCB von 0 % angenommen wurde. In der Summe (gelöste und partikulär gebundene PCB) resultiert daraus für Haus Aden Variante A eine PCB-Eliminationsleistung von 76 %.

In Variante B (mit Aktivkohle-Festbettfilter) wurde für die gelösten PCB eine Eliminationsleistung von 90 % angenommen, für die partikulären PCB wie zuvor 97 %. Dies ergibt in der Summe eine PCB-Eliminationsleistung von 95 %.

Die Berechnungen für die Standorte Robert Müser und Ibbenbüren erfolgten in analoger Weise. Einziger Unterschied: Für die am Standort Ibbenbüren bei den B-Varianten verwendete Pulverkohle wurde eine PCB-Eliminationsleistung von 80 % angenommen.

#### Hinweis zu den PCB-Eliminationsleistungen für Aktivkohle:

Die hier angenommenen Werte basieren auf Schätzungen / Aussagen von Mitarbeitern der Aktivkohle-Herstellerfirmen Donau Carbon, Jacobi Carbons und Norit. Die Mitarbeiter haben jedoch unabhängig voneinander darauf hingewiesen, dass u.a. aufgrund von Matrixeffekten sichere Prognosen zur PCB-Elimination (bzw. GAK-Laufzeit, PAK-Dosiermenge) erst möglich sind, wenn entsprechende Labor- bzw. Pilotversuche mit den jeweiligen Wässern durchgeführt worden sind.



## Berechnungsergebnisse:

### Haus Aden Variante A (ohne Aktivkohle)

Parameter	Ausgangs-konzentration	Reinwasser-Konzentration	Elimi-nation	inkl. Fe-Schlamm
Abfiltrierbare Stoffe*	10 mg/l	0,50 mg/l	97 %	16 mg/l
PCB #28 partikulär gebunden	70 µg/kg			
PCB #28 partikulär gebunden	0,70 ng/l	0,02 ng/l	97 %	
PCB #28 gelöst	0,19 ng/l	0,19 ng/l	0 %	
PCB #28 gesamt	0,89 ng/l	0,21 ng/l	76 %	
Fe	3 mg/l	0,1 mg/l	97 %	
NH <sub>4</sub>	3 mg/l	0,1 mg/l	96 %	

### Haus Aden Variante B (mit Aktivkohlefiltration)

Parameter	Ausgangs-konzentration	Ablauf Filtration	Ablauf Aktivkohle (Reinwasser)	Elimi-nation	inkl. Fe-Schlamm
Abfiltrierbare Stoffe*	10 mg/l	0,50 mg/l	0,50 mg/l	97 %	16 mg/l
PCB #28 partikulär gebunden	70 µg/kg				
PCB #28 partikulär gebunden	0,70 ng/l	0,02 ng/l	0,02 ng/l	97 %	
PCB #28 gelöst	0,19 ng/l	0,19 ng/l	0,02 ng/l	90 %	
PCB #28 gesamt	0,89 ng/l	0,21 ng/l	0,04 ng/l	95 %	
Fe	3 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l	97 %	
NH <sub>4</sub>	3 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l	96 %	

### Robert Müser Variante A (ohne Aktivkohle)

Parameter	Ausgangskonzentration	Reinwasserkonzentration	Elimination	inkl. Fe-Schlamm
Abfiltrierbare Stoffe*	30 mg/l	0,50 mg/l	99 %	46 mg/l
PCB #28 partikulär gebunden	19 µg/kg			
PCB #28 partikulär gebunden	0,57 ng/l	0,01 ng/l	99 %	
PCB #28 gelöst	0,19 ng/l	0,19 ng/l	0 %	
PCB #28 gesamt	0,76 ng/l	0,20 ng/l	74 %	
Fe	8 mg/l	0,1 mg/l	99 %	
NH <sub>4</sub>	1,4 mg/l	0,1 mg/l	93 %	

### Robert Müser Variante B (mit Aktivkohlefiltration)

Parameter	Ausgangskonzentration	Ablauf Filtration
Abfiltrierbare Stoffe*	30 mg/l	0,50 mg/l
PCB #28 partikulär gebunden	19 µg/kg	
PCB #28 partikulär gebunden	0,57 ng/l	0,01 ng/l
PCB #28 gelöst	0,19 ng/l	0,19 ng/l
PCB #28 gesamt	0,76 ng/l	0,20 ng/l
Fe	8 mg/l	0,1 mg/l
NH <sub>4</sub>	1,2 mg/l	0,1 mg/l

Ablauf Aktivkohle (Reinwasser)	Elimination	inkl. Fe-Schlamm
0,50 mg/l	99 %	46 mg/l
0,01 ng/l	99 %	
0,02 ng/l	90 %	
0,03 ng/l	97 %	
0,1 mg/l	99 %	
0,1 mg/l	93 %	

**Ibbenbüren Ost derzeit Variante A (ohne Aktivkohle)**

Parameter	Ausgangskonzentration	Reinwasser-Konzentration	Elimination	inkl. Fe-Schlamm
Abfiltrierbare Stoffe*	50 mg/l	0,5 mg/l	99 %	70 mg/l
PCB #28 partikulär geb.	70 µg/kg			
PCB #28 partikulär geb.	3,50 ng/l	0,03 ng/l	99 %	
PCB #28 gelöst	0,19 ng/l	0,19 ng/l	0 %	
PCB #28 gesamt	3,69 ng/l	0,22 ng/l	94 %	
Fe	10 mg/l	0,1 mg/l	99 %	
NH <sub>4</sub>	10 mg/l	0,2 mg/l	98 %	

**Ibbenbüren Ost derzeit Variante B (mit 10 mg/l Pulver-Aktivkohle-Dosierung)**

Parameter	Ausgangskonzentration	Reinwasser-Konzentration	Elimination	inkl. 10 mg/l Pulverkohle	inkl. Fe-Schlamm
Abfiltrierbare Stoffe*	50 mg/l	0,5 mg/l	99 %	60 mg/l	80 mg/l
PCB #28 partikulär geb.	70 µg/kg				
PCB #28 partikulär geb.	3,50 ng/l	0,02 ng/l	99 %		
PCB #28 gelöst	0,19 ng/l	0,04 ng/l	80 %		
PCB #28 gesamt	3,69 ng/l	0,06 ng/l	98 %		
Fe	10 mg/l	0,1 mg/l	99 %		
NH <sub>4</sub>	10 mg/l	0,2 mg/l	98 %		

**Ibbenbüren Ost zukünftig Variante A (ohne Aktivkohle)**

Parameter	Ausgangskonzentration	Reinwasser-Konzentration	Elimination	inkl. Fe-Schlamm
Abfiltrierbare Stoffe*	90 mg/l	1,00 mg/l	99,8 %	410 mg/l
PCB #28 partikulär geb.	70 µg/kg			
PCB #28 partikulär geb.	6,30 ng/l	0,02 ng/l	99,8 %	
PCB #28 gelöst	0,19 ng/l	0,19 ng/l	0 %	
PCB #28 gesamt	6,49 ng/l	0,21 ng/l	97 %	
Fe	160 mg/l	0,2 mg/l	99,9 %	
NH <sub>4</sub>	0,6 mg/l	0,01 mg/l	98 %	

**Ibbenbüren Ost zukünftig Variante B (mit 10 mg/l Pulver-Aktivkohle-Dosierung)**

Parameter	Ausgangskonzentration	Reinwasser-Konzentration	Elimination	inkl. 10 mg/l Pulverkohle	inkl. Fe-Schlamm
Abfiltrierbare Stoffe*	90 mg/l	1,00 mg/l	99,8 %	100 mg/l	420 mg/l
PCB #28 partikulär geb.	70 µg/kg				
PCB #28 partikulär geb.	6,30 ng/l	0,02 ng/l	99,8 %		
PCB #28 gelöst	0,19 ng/l	0,04 ng/l	80 %		
PCB #28 gesamt	6,49 ng/l	0,05 ng/l	99 %		
Fe	160 mg/l	0,2 mg/l	99,9 %		
NH <sub>4</sub>	0,6 mg/l	0,01 mg/l	98 %		

#### Anhang 4: Sensitivitätsanalysen zu den Kriterien Wirkungsgrad und Kosten für die drei Standorte

