

BETRIEB EINER REINIGUNGSANLAGE FÜR ARSENBELASTETES GRUNDWASSER

Verfasser: Dipl.-Ing.(FH) Wolfgang Huber
Dipl.-Ing.(FH) Karlheinz Gaag
Abfallwirtschaft & Umwelttechnik
Ingenieurgesellschaft
Friedberger Str. 155
86163 Augsburg

Zusammenfassung:

Im Rahmen der Überwachung durch die Fachbehörden wurde in den 80iger Jahren im Abstrombereich der Hausmülldeponie (HMD) Gallenbach eine Arsenkontamination im Grundwasser nachgewiesen. Seit nunmehr 3 Jahren wird das arsenkontaminierte Grundwasser erfaßt und gereinigt. Insgesamt wurden bisher ca. 200 kg Arsen dem Grundwasser entzogen. Mittlerweile haben sich sehr stabile Betriebsverhältnisse eingestellt und es werden täglich ca. 300-350 m³ arsenkontaminiertes Grundwasser gereinigt.

Wie lange die Erfassung des Grundwassers noch erforderlich sein wird, läßt sich aus den bisherigen Betriebsergebnissen nicht abschätzen. Obwohl die zu erfassenden Grundwassermengen innerhalb der bisherigen Betriebszeit abgenommen haben, hat sich der Zulaufmittelwert auf ca. 0,6 mg As/l stabilisiert.

1 ALLGEMEINES/VORBEMERKUNG

Auf der von einer privaten Entsorgungsfirma betriebenen Hausmülldeponie Gallenbach im Landkreis Aichach-Friedberg wurden von 1972 bis 1991 auf einer Fläche von ca. 15 ha 2,5 Mio. m³ Haus-/Gewerbemüll abgelagert. Im Rahmen der Überwachung durch die Fachbehörden wurde in den 80iger Jahren im Abstrombereich der Hausmülldeponie (HMD) Gallenbach eine Arsenkontamination im Grundwasser nachgewiesen.

Auf der Grundlage umfangreicher wissenschaftlicher Untersuchungen wurde die Hausmülldeponie als Ursache für die Arsenkontamination erkannt. Die Regierung von Schwaben hat daraufhin gegenüber der Betreiberfirma die Sanierungsmaßnahmen zur Arsen-

entfernung aus dem Grundwasser angeordnet. Nach Abschluß der Planungsleistungen hat die Betreiberfirma im Sommer 1995 einen Konkursantrag gestellt. Die notwendigen Sanierungsmaßnahmen wurden dann in der Folge vom Freistaat Bayern, vertreten durch die Regierung von Schwaben, im Wege der Ersatzvornahme durchgeführt.

Die geplanten Sanierungsmaßnahmen wurden im Zeitraum von September 1995 bis August 1996 durch Errichtung einer Grundwassererfassungsanlage und einer Reinigungsanlage umgesetzt.

Die Erfassungs- und Reinigungsanlage wurde erstmalig mit Beginn des Probetriebes am 19.08.1996 in Betrieb genommen. Der Probetrieb der Reinigungsanlage erfolgte unter Leitung und Verantwortung des Anlagenherstellers Preussag Wasser + Rohrtechnik GmbH, jetzt Preussag Wassertechnik GmbH. Während des Probetriebes wurden die jeweiligen Betriebszustände der Anlage getestet sowie erste Betriebsdaten aufgenommen und das Betriebspersonal eingewiesen. Mit Ende des Probetriebes am 17.10.1996 hat die Abfallwirtschaft & Umwelttechnik GmbH im Auftrag der Regierung von Schwaben die weitere Betriebsführung übernommen.

In der Zeit vom 18.10.96 bis 31.12.96 wurde der Anlagenbetrieb zunächst auf der Grundlage der Erkenntnisse aus dem Probetrieb optimiert. Mit Beginn des Betriebsjahres 1997 wurde der Regelbetrieb aufgenommen.

2 TECHNISCHE BESCHREIBUNG

2.1 GRUNDWASSERERFASSUNGSANLAGE

Die Erfassung der Arsenabstromfahne aus dem Bereich der Deponie erfolgt mit Hilfe einer Grundwassererfassungsanlage, welche außerhalb des Deponiegeländes am Fuße der westlichen Deponieböschung errichtet wurde. Die Grundwassererfassungsanlage besteht im wesentlichen aus einem ca. 35 m langen, 3,5 m breiten und 10 –11 m tiefen Drängraben mit einer unterstromig vorgesetzten Dichtwand, einem Kiesflächenfilter und einem zentralen Hebeschacht.

Der Hebeschacht bzw. Erfassungsbrunnen (sh. Bild 1) ist als Betonschachtbauwerk mit einem Innendurchmesser von 2 m ausgeführt. Der Brunnen hat eine Tiefe von 11 m. Im Schacht sind 36 Eintrittsöffnungen mit einem Durchmesser von 25 cm verteilt auf den

Brunnenringraum und auf die Brunnentiefe angeordnet. Die Eintrittsöffnungen sind mit einem V4A Edelstahlblech mit einer Dränlochung von 2,0 mm abgedeckt.

Durch zwei im Schacht installierte Pumpen wird das Grundwasser über eine Leitung zur auf dem Deponiegelände errichteten Grundwasserreinigungsanlage gefördert. Die Fördermenge ist so eingestellt, daß über eine trichterförmige Absenkung des Grundwasserspiegels im Bereich des Brunnens sämtliches arsenbelastetes Grundwasser erfaßt wird, welches eine höhere Belastung als 100 µg/l aufweist. Im Mittel werden derzeit ca. 300 - 350 m³ Grundwasser pro Tag mit einer mittleren Belastung von 600 µg Arsen/l erfaßt.



ABBILDUNG 1: DER ZENTRALBRUNNEN ZUR ERFASSUNG DES HEBESCHACHTES WIRD EINGEBRACHT

2.2 GRUNDLAGEN DER ARSENENTFERNUNG

Arsen ist in der Natur weit verbreitet. Ursache hoher Arsengehalte sind aber oft gewerbliche Abwässer und auch Ausschwemmungen. Elementares Arsen ist ungiftig, doch es reagiert im wässrigen Milieu leicht zu hochgiftigen As[+III] - Verbindungen. Weniger

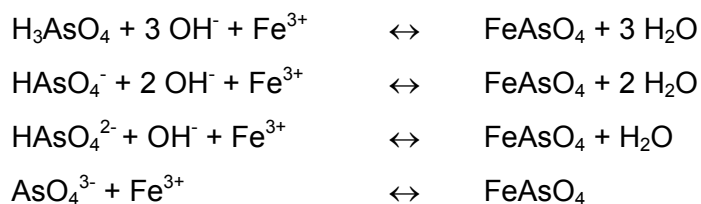
giftig sind As[+V] - Verbindungen. Arsen und seine Verbindungen wirken karzinogen und schädigen Nerven und Haut. Bei einer Langzeitaufnahme über das Trinkwasser steigt somit das Krebsrisiko. Infolgedessen wurde der Grenzwert von 1986 von 40 µg/l in der am 1.1.1996 in Kraft getretenen Trinkwasserverordnung von 1990 auf 10 µg/l herabgesetzt.

Arsen kommt in Grundwässern im allgemeinen nur in den Oxidationsstufen As[+III] und As[+V] vor. Die reduzierten Formen As[0] und As[-III] sind nur bei negativem Redoxpotential und niedrigem pH-Wert stabil. Die arsenige Säure H_3AsO_3 mit der Oxidationsstufe +III und die Arsensäure H_3AsO_4 mit der Oxidationsstufe +V dissoziieren im wässrigen Milieu mit steigendem pH-Wert zu den entsprechenden Anionen. Im Bereich natürlicher Wässer (pH 5 - pH 9) liegt die Arsensäure überwiegend als $H_2AsO_4^-$ und $HAsO_4^{2-}$ vor. Im Gegensatz dazu dissoziiert die arsenige Säure erst bei höheren pH-Werten und liegt bei pH 7 überwiegend undissoziiert vor. Die Entfernung des dreiwertigen Arsens durch Fällung ist daher nur unvollständig möglich. Deshalb muß das dreiwertige Arsen durch Zugabe eines Oxidationsmittels (z.B. Sauerstoff, Wasserstoffperoxid) zu fünfwertigem Arsen oxidiert werden.

Das am häufigsten angewendete und als Stand der Technik zu bezeichnende Verfahren zur Entfernung des Arsens aus dem Grundwasser ist die Fällung des Arsens als Eisenarsenat ($FeAsO_4$) mit Eisen-(III)-Salzen. Eisenarsenat hat ein sehr geringes Löslichkeitsprodukt ($LP = 10^{-20}$ mol/l). Arsen läßt sich deshalb praktisch quantitativ aus dem Wasser entfernen.

Die Fällung als Eisenarsenat gelingt sowohl im sauren als auch im alkalischen Bereich gut. Dabei ist die konkurrierende Fällung von Eisenhydroxid, die mit steigendem pH-Wert zunimmt, entscheidend für die erreichbare Eliminationsleistung.

Die bei der Eisenarsenatfällung ablaufenden Reaktionen sind nachfolgend zusammengestellt :



Als Konkurrenzreaktion wird Eisenhydroxid ausgefällt, so daß abhängig vom pH-Wert lediglich ein bestimmter Anteil des zugesetzten Eisen-(III)-Salzes für die Arsenatfällung nutzbar ist.



2.3 GRUNDWASSERREINIGUNGSANLAGE

2.3.1 VERFAHRENSTECHNISCHE KONZEPTION

Die Grundwasserreinigungsanlage ist als eine zweistufige Fällungs/Flockungsanlage mit nachgeschalteter Sedimentationsstufe konzipiert. Die beiden Anlagenlinien sind technisch völlig identisch aufgebaut und in einer Stahlbauhalle montiert.

Je nach Durchsatzleistung können die Anlagenlinien in zwei Betriebsarten gefahren werden.

- **Reihenbetrieb: Durchsatzleistung bis 7 l/s (25 m³/h)**
Reihenschaltung der beiden Anlagenlinien.
- **Parallelbetrieb: Durchsatzleistung über 7 l/s bis 14 l/s (25 – 50 m³/h)**
Parallelschaltung der beiden Anlagenlinien.

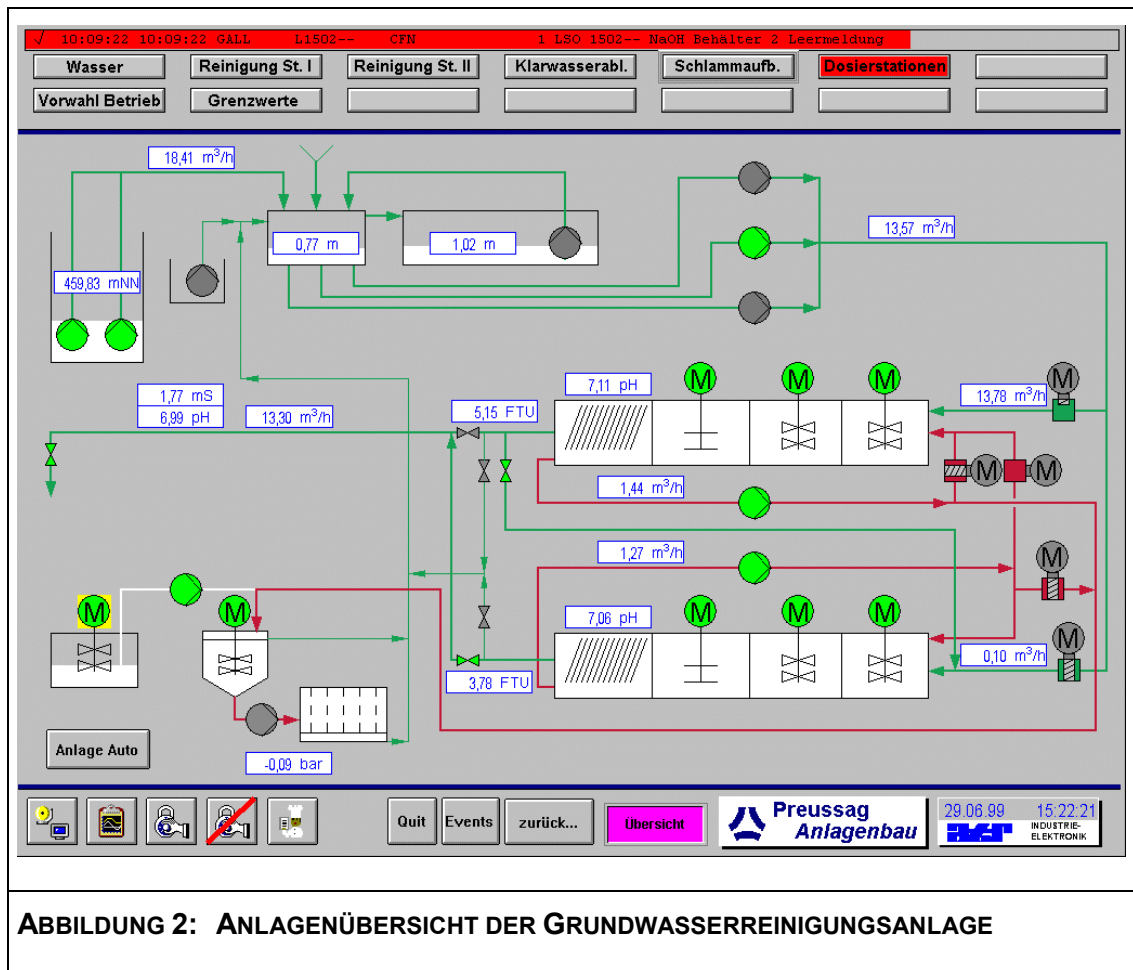


ABBILDUNG 2: ANLAGENÜBERSICHT DER GRUNDWASSERREINIGUNGSANLAGE

Nach der Förderung des Rohwassers aus dem Vorlagebecken wird Wasserstoffperoxid zur Oxidation von As[+III] zu As[+V] zudosiert.

Anschließend wird das Rohwasser entsprechend der Betriebsart (Reihe oder Parallel) im ersten Reaktionsbecken überstöchiometrisch mit Eisen(III)-Chlorid und je nach Betriebsart mit Rückführschlamm aus der jeweiligen Sedimentationsstufe intensiv vermischt. Nach Zugabe eines Flockungshilfsmittels in einem zweiten Reaktionsbecken findet in einem dritten, mit einem langsamlaufenden Rührwerk ausgestatteten Becken, die Makroflockenbildung statt.

In der, je Anlagenlinie, nachgeschalteten Sedimentationsstufe werden die sedimentierbaren Anteile mit Hilfe eines Parallelplattenabscheiders abgetrennt. Der anfallende Eisenarsenat bzw. Eisenhydroxidschlamm wird in einem Schlammstapelbehälter mit Weißkalkmilch ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) und Flockungshilfsmittel (FHM) konditioniert, in einer Kammerfilter-

presse entwässert und als stichfester Filterkuchen mit einem TS-Gehalt > 35 % zur Beseitigung der hierfür zugelassenen Sonderabfalldeponie der GSB zugeführt.

Das gereinigte Grundwasser gelangt im Überlauf der Sedimentationsstufen zum Klarwasserablauf und wird über eine ca. 300 m lange Leitung direkt in den Vorfluter Paar eingeleitet.

In den Fällungsstufen sorgt eine pH-Wert-Regelung mit NaOH-Dosierung für den für die Arseneliminierung optimalen pH-Wert (ca. 7,0).

Im Ablauf der Sedimentationsstufe befindet sich eine Trübungsmessung. Die Trübung des ablaufenden Wassers ist ein indirekter Parameter für die Arsenkonzentration. Eine zu hohe Trübung im Ablauf deutet auf eine aufschwimmende arsenhaltige Flocke in der Sedimentationsstufe hin. Ist ein gewisser Trübungsgrenzwert überschritten, so erfolgt über automatische Klappen eine Umschaltung in den Kreislaufbetrieb, wodurch der Klarwasserüberlauf in das Vorlagebecken zurückgeleitet wird. Eine Gefahr der Grenzwertüberschreitung im Ablauf in den Vorfluter besteht somit nicht.

Die Steuerung der Dosierpumpen von FeCl_3 , H_2O_2 und FHM erfolgt mengenproportional. Die Steuerung der Dosierpumpen CaOH und FHM für die Schlammkonditionierung erfolgt per Handeinstellung nach den gewonnenen Erfahrungswerten.

2.3.2 AUSLEGUNGSDATEN, EINLEITBEDINGUNGEN DES GEREINIGTEN GRUNDWASSERS

Aufgrund der erwarteten Schwankungen bzgl. der Arsenbelastung im Anlagenzulauf wurde für die Auslegung der Reinigungsleistung eine Mindestbelastung von 0,1 mg/l und eine Maximalbelastung von 3,5 mg/l vorgegeben. Für den Regelbetrieb wurde eine Belastung von 1,7 mg/l angenommen, welche jedoch mit ca. 0,6 mg/l deutlich unterschritten wird.

Die Einleitbedingungen der Grundwasserreinigungsanlage sind im Genehmigungsbescheid der Regierung von Schwaben v. 19.06.1995 festgelegt. Nachfolgende Parameter dürfen im Klarwasserablauf nicht überschritten werden:

Parameter	Grenzwert	Bemerkungen
Arsen	0,1 mg/l	von der nicht abgesetzten homogenisierten Probe
Abfiltrierbare Stoffe	10 mg/l	
PH-Wert	6,5 – 9	
Max. Abfluß	14 l/s (50 m³/h)	
TABELLE 1: EINLEITGRENZWERTE		

3 BETRIEB DER GRUNDWASSERREINIGUNGSANLAGE

3.1 BETRIEBSABLAUF

Sämtlich Anlagenteile der Gesamtanlage, Grundwassererfassung, Vorlagebecken, Notbecken und Reinigungsanlage werden zentral von der Schaltwarte in der Reinigungshalle aus betrieben. In der Warte befindet sich die zentrale Schaltanlage mit allen erforderlichen elektrotechnischen Komponenten sowie der speicher-programmierbaren Steuerung (SPS).

Weiterhin befindet sich in der Schaltwarte das PC-System mit der Software für die Prozeßleittechnik (PLT) zur Überwachung und Bedienung der Anlage sowie Protokollierung der wichtigsten Betriebsdaten.

Der Betrieb der Grundwasserreinigungsanlage läuft vollautomatisch 24 h am Tag. Die Anlage wird auch am Wochenende kontrolliert.

Für die Anlage besteht ein 24 h Bereitschaftsdienst über ein Funktelefon, welches durch ein Telenot-System bei Störfällen automatisch angewählt wird. Dadurch ist gewährleistet, daß auch außerhalb der normalen Arbeitszeit das Bedienpersonal kurzfristig auf der Anlage ist um die Störung zu beheben.

Der bestimmungsgemäße Betrieb der Grundwasserreinigungsanlage wird durch eine Vielzahl von Kontrolleinrichtungen überwacht. Zum einem über die einzelnen Meßwertaufzeichnungen zur Überwachung der geforderten Grenzwerte und zum anderen über die sicherheitstechnischen Einrichtungen zur Überwachung einzelner Anlagenaggregate.

3.2 ÜBERWACHUNGSEINRICHTUNGEN

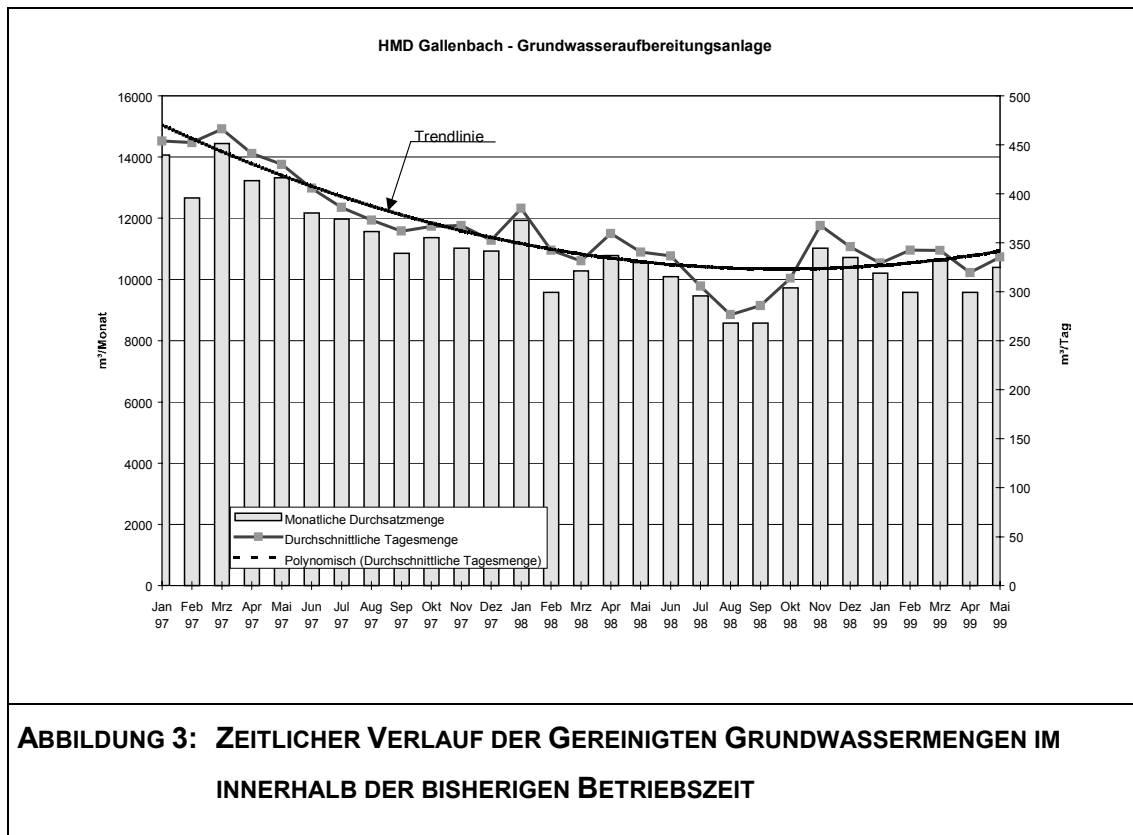
Die Einhaltung der geforderten Ablaufgrenzwerte des Klarwassers wird soweit als möglich über eine Online-Messung überwacht. Die Parameter pH-Wert und Durchfluß werden durch gängige Meßverfahren (pH-Elektrode, MID) kontinuierlich gemessen und registriert. Der Grenzwert für Arsen (As) wird indirekt über eine Trübungsmessung des gereinigten Grundwassers kontrolliert. Gleichzeitig werden täglich vom Zu- und Ablauf der Anlage Wasserproben entnommen, die im wöchentlichen Turnus durch ein akkreditiertes Labor auf As untersucht werden. Zusätzlich wird einmal pro Woche eine Analyse nach Fe_{gesamt} , $Fe_{\text{gelöst}}$, Ammonium und abfiltrierbare Stoffe durchgeführt. Desweiteren führt das zuständige Wasserwirtschaftsamt Donauwörth in unregelmäßigen Abständen im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht Fremdkontrollen durch.

3.3 BETRIEBSDATEN

3.3.1 VERARBEITUNGSMENGEN

Auf der Grundlage einer Beharrungszustandsmessung der Grundwasserpegel im Umfeld der Grundwassererfassungsanlage wurde ein minimales und maximales Absenkniveau des Hebeschachtes festgelegt, innerhalb deren Grenzen sich der Wasserstand im Hebeschacht bewegen soll. Dadurch entsteht ein Absenktrichter, der das zuströmende arsenbelastete Grundwasser im Umkreis von ca. 150-200 m erfaßt. Die sich daraus ergebenden Abpumpmengen aus dem Hebeschacht haben sich innerhalb der nun dreijährigen Betriebszeit kontinuierlich verringert. Ausgehend von einer Fördermenge von 18 – 19 m^3/h wurden Ende 1997 nur mehr 15 – 16 m^3/h gepumpt. Diese Menge verringerte sich 1998 nochmals auf 12 – 13 m^3/h und hat sich momentan bei ca. 13 – 14 m^3/h eingependelt. Die verarbeitete Jahresmenge sank demzufolge von 157.512 m^3 im Jahr 1997 auf 121.448 m^3 in 1998.

Nachfolgende Graphik zeigt die gereinigten Grundwassermengen im bisherigen Betriebsverlauf.



3.3.2 CHEMIKALIENVERBRAUCH

Der Chemikalienbedarf richtet sich verfahrensbedingt nach den durchgesetzten Grundwassermengen und somit der Arsenfracht im Grundwasser. Wegen der mengenproportionalen Dosierung der Chemikalien, reduzierte sich der Verbrauch entsprechend, von annähernd 58.000 kg/a 1997 auf 38.000 kg/a 1998. Den Großteil der Chemikalien macht dabei das Fällungsmittel FeCl_3 aus. Die spezifischen Verbrauchsmengen pro m^3 gereinigtes Rohwasser sind in Tabelle 2 vergleichend dargestellt.

	1998	1997
FeCl_3	0,148 kg/m^3	0,186 kg/m^3
NaOH	0,069 kg/m^3	0,106 kg/m^3
Ca(OH)_2	0,095 kg/m^3	0,072 kg/m^3
FHM	0,003 kg/m^3	0,002 kg/m^3

TABELLE 2: SPEZIFISCHE CHEMIKALIENVERBRÄUCHE

3.3.3 EISENARSENATSCHLAMM

Der bei der Fällung/Flockung anfallende Eisenarsenatschlamm wird in regelmäßigen Abständen über die Kammerfilterpresse entwässert und in einem Container gesammelt. Der Schlamm wird auf der benachbarten Sonderabfalldeponie der Gesellschaft zur Entsorgung von Sondermüll in Bayern mbH (GSB) beseitigt.

Während in den Betriebsjahren 1996 und 1997 der Schlammanfall annähernd gleich war, ging er 1998 aufgrund der geringeren gereinigten Rohwassermenge etwas zurück. Die spezifische Schlammmenge pro m³ gereinigtes Rohwasser hat sich über den bisherigen Betriebszeitraum nicht verändert und beträgt ca. 0,21 kg.

Insgesamt fielen bis Ende 1998 rund 77 t Eisenarsenatschlamm an. Der mittlere Arsengehalt in der Trockensubstanz beträgt ca. 8 g/kg, d.h. insgesamt wurden, bei einem mittleren TS-Gehalt von 35 %, ca. 216 kg Arsen in Form von Eisenarsenat dem kontaminierten Grundwasser entzogen.

3.4 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE UND ANLAGENAUSWERTUNGEN

Sämtliche Betriebsdaten der Grundwasserreinigungsanlage und die Grundwasserförderdaten der Erfassungsanlage werden kontinuierlich durch das Prozeßleitsystem (PLS) aufgezeichnet und auf den Festplatten der Prozeßrechner der Grundwasserreinigungsanlage bis zu einem halben Jahr gespeichert. Zur besseren Übersichtlichkeit und zur schnellen Kontrolle der Daten auch außerhalb der Grundwasserreinigungsanlage werden die wesentlichen Anlagendaten täglich in einem Tagesprotokoll handschriftlich erfaßt. Durch das PLS werden Monatsreports erstellt, in der sämtliche aufgeführten Meßwerte als Tagesdurchschnittswerte dargestellt sind. Durch das Prozeßleitsystem werden nicht nur genehmigungsrechtlich relevante Daten sondern auch anlagenrelevante Daten, wie Betriebsstunden der Aggregate, Reglereinstellungen und Dosiermengen und -faktoren etc. aufgezeichnet. Anhand dieser Daten ist es möglich, den Anlagenbetrieb zu analysieren und zu optimieren und z. B. Maschinenlaufzeiten und Standzeiten von Verschleißteilen zu überprüfen.

In Abbildung 4 ist die erfaßte Arsenfracht über die Zeit im Zulauf der Anlage, d. h. im Hebeschacht dargestellt. Demnach liegt die mittlere monatliche Arsenfracht seit Oktober

1996 zwischen 1,75 bis 11,36 kg As/Monat. Seit Oktober 1997 zeigt sich ein gleichmäßiger Verlauf der Arsenfracht zwischen Werten von 5,79 bis 8,28 kg As/Monat.

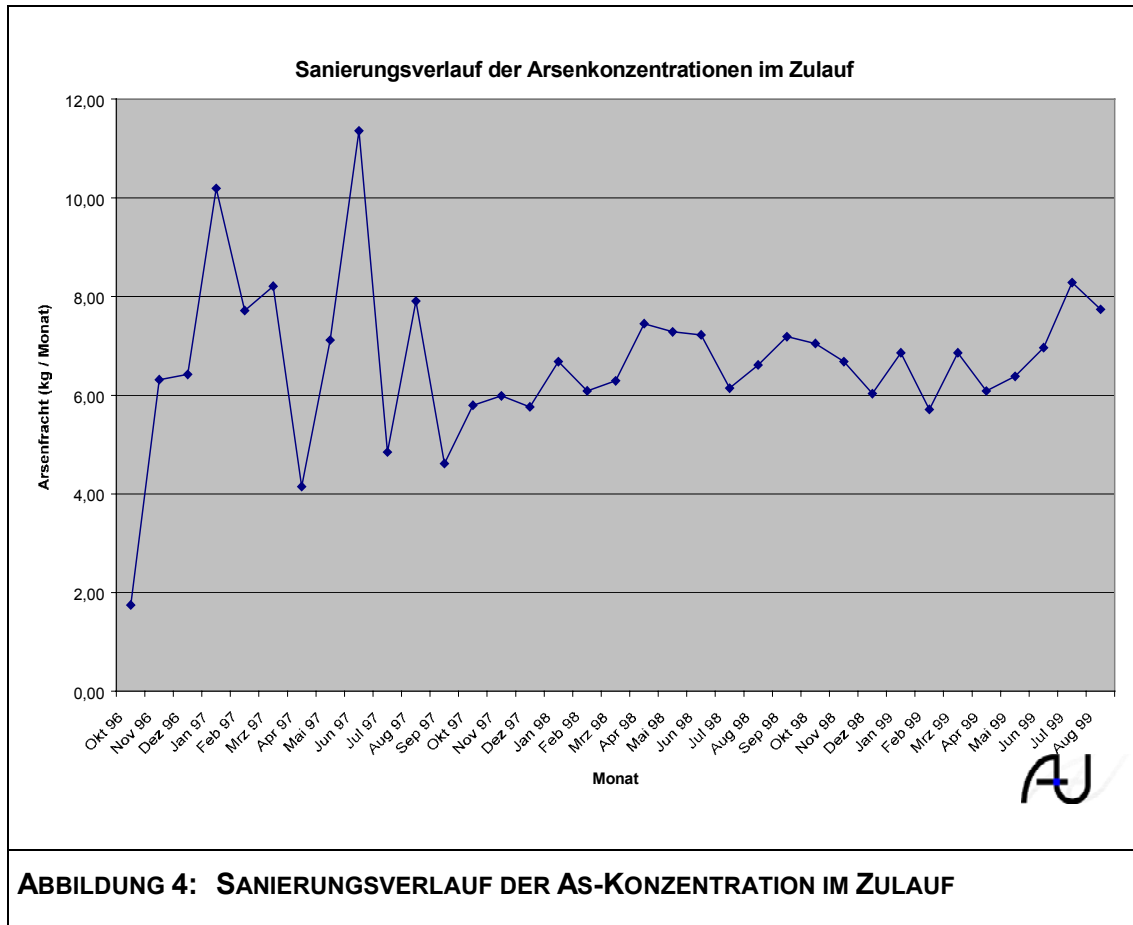


ABBILDUNG 4: SANIERUNGSVERLAUF DER AS-KONZENTRATION IM ZULAUF

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Bereich der Hausmülldeponie Gallenbach wird nun seit 3 Jahren das arsenkontaminierte Grundwasser erfaßt und gereinigt. Insgesamt wurden bisher ca. 200 kg Arsen dem Grundwasser entzogen. Mittlerweile haben sich sehr stabile Betriebsverhältnisse eingestellt und es werden täglich ca. 300-350 m³ arsenkontaminiertes Grundwasser gereinigt.

In der nunmehr zurückliegenden Betriebszeit hat sich gezeigt, daß ein vollautomatischer Betrieb der Grundwasserreinigungsanlage, lediglich mit Durchführung von Überwachungs- und Kontrollaufgaben, nicht möglich ist. Es zeigte sich vielmehr, daß eine regelmäßige Betreuung und die Durchführung regelmäßiger Routine- und Wartungsarbeiten vor Ort durch qualifiziertes Fachpersonal erforderlich ist.

Es sind bisher zwar keine größeren Prozeßstörungen, die eine notwendige Abschaltung der Anlage über einen längeren Zeitraum zur Folge hätten, aufgetreten, es treten jedoch aufgrund der vorherrschenden Randbedingungen in Einzelfällen Anlagenstörungen auf. Diese erfordern eine kurze Reaktionszeit zur Gewährleistung eines stabilen Dauerbetriebes. Bisher konnten alle Störungen im Rahmen des Betriebes behoben und der Reinigungsprozeß wieder optimal eingestellt werden. Ein längerer Kreislaufbetrieb über mehrere Betriebstage wurde bis jetzt noch nicht erforderlich.

Auf der Grundlage der umfassenden Betriebserfahrungen ergeben sich naturgemäß zusätzliche Routinearbeiten die für einen noch störungsärmeren Betrieb durchzuführen sind. Gleichzeitig verstärken sich aufgrund der nunmehr dreijährigen Betriebsdauer bereits Anlagenstörungen durch Verschleißerscheinungen einzelner Aggregate (z. B. Pumpen im Hebeschacht, Meßkreislaufpumpen).

Wie lange die Reinigung des erfaßten Grundwasser noch erforderlich sein wird, läßt sich aus den bisherigen Betriebsergebnissen nicht abschätzen. Obwohl die zu erfassenden Grundwassermengen innerhalb der bisherigen Betriebszeit abgenommen haben, hat sich der Zulaufmittelwert auf ca. 0,6 mg/l stabilisiert.