

BMUV-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

Zum Vorhaben

„Investition in eine neuartige Recyclinganlage für Bohrschlämme“

NKa3-003147

Zuwendungsempfänger

Max Wild GmbH

Umweltbereich

Ressourceneffizienz und Energieeinsparung

Laufzeit des Vorhabens

Von 23.11.2016 bis 30.06.2020

Autor

Markus Hörmann

Datum der Erstellung

31.03.2022

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt	1
Report Coversheet	2
1 Einleitung.....	3
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	3
1.2 Problemstellung.....	3
2 Vorhabenumsetzung.....	5
2.1 Stand der Technik und technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren.....	5
2.2 Grundkonzept des neuen Verfahrens	5
2.3 Ziel des Vorhabens.....	6
2.4 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung	6
2.5 Umsetzung des Vorhabens	10
2.6 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	14
3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	21
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung	21
3.2 Ergebnisse des Messprogramms	22
3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse	23
4 Übertragbarkeit.....	24
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	24
4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit	25
4.3 Veröffentlichungen und Presseaktivitäten	25
5 Zusammenfassung/Summary	26
5.1 Zusammenfassung	26
5.2 Summary.....	28
6 Literatur.....	30
7 Anhang	30
7.1 Messprogramm.....	30

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen des UBA:	Projekt-Nr.: NKa3 - 003147
Titel des Vorhabens: „Investition in eine neuartige Recyclinganlage für Bohrschlämme“	
Autoren: Markus Hörmann	Vorhabenbeginn: 23.11.2016
	Vorhabenende: 30.06.2020
Zuwendungsempfänger: Max Wild GmbH Leutkircher Straße 22 88450 Berkheim	Veröffentlichungsdatum: 31.03.2022
	Seitenzahl: 36
Gefördert im BMUV-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.	
Kurzfassung: Ziel des Vorhabens war die Errichtung einer innovativen Recyclinganlage für Bohrschlämme, die – je nach Schadstoffbelastung und Anforderungsprofil – eine bedarfsgerechte und intelligente Aufbereitung dieser Stoffe ermöglicht. Das neuartige Konzept fußt dabei auf einer dreistufigen Kombinationsanlage, die je ein Verfahren für die folgenden Belastungsstufen (Schadstoffbelastung) vorsieht: <ul style="list-style-type: none"> • Recycling von unbelasteten Bohrschlämmen zu frischen Bohrspülungen • Konditionierung von schwach belasteten Bohrschlämmen zu Flüssigböden • Thermische Aufbereitung von stark belasteten Bohrschlämmen 	
Schlagwörter: Bohrschlamm – Recyclinganlage – Ressourceneffizienz	
Anzahl der gelieferten Berichte: Papierform: 7 Elektronischer Datenträger: 1	

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environmental Agency:	Project-No.: NKa3 - 003147
Report Title: "Investment in an innovative recycling plant for drilling mud"	
Author: Markus Hoermann	Start of project: 2016/11/23
	End of project: 2020/06/30
Performing Organisation: Max Wild GmbH Leutkircher Straße 22 88450 Berkheim	Publication Date: 2021/11/30
	No. of Pages: 36
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nuclear Safety and Consumer Protection.	
Summary: The aim of the project was the construction of an innovative recycling plant for drilling muds, which enables a demand-oriented and intelligent processing of these materials depending on the pollutant load. The new concept is based on a three-stage combination plant, which provides one process for each of the following pollutant load levels: <ul style="list-style-type: none"> • Recycling of unpolluted to fresh drilling muds • Conditioning of lightly contaminated drilling muds to liquid soils • Thermal treatment of heavily contaminated drilling muds 	
Keywords: Drilling mud – recycling plant – resource efficiency	

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Max Wild GmbH ist ein mittelständisch geprägtes Familienunternehmen mit Sitz in Berkeim in Baden-Württemberg mit ca. 600 Mitarbeitern. Den Umsatz von etwa 120 Mio. Euro erwirtschaftete das Unternehmen im Bau- bzw. baunahen Gewerbe mit innovativen technischen Lösungen im Sinne der Kunden sowie der ökologischen und sozialen Verantwortung. Seit der Gründung durch Max Wild im Jahre 1955 entwickelte sich das Unternehmen vom kleinen Fuhrbetrieb für Holz und Kohle über die ersten Bauarbeiten in den 1960er Jahren hin zu einem Innovationsführer in den Geschäftsfeldern

- Abbruch,
- Grabenlose Verlegetechniken,
- Systementwicklung,
- Logistik,
- Tiefbau,
- Flächenrecycling sowie
- Material- und Transportdienstleistungen.

Mittlerweile wird das Unternehmen in zweiter und dritter Generation von Max Wilds vier Söhnen und Enkel Christian geführt. Max, Roland, Elmar, Jochen und Christian Wild sind heute die Geschäftsführer des Unternehmens und auch die dritte Generation ist bereits aktiv im Unternehmen tätig. Als Familienunternehmen mit Tradition ist das Unternehmen seiner Verantwortung gegenüber den Mitarbeitern, Geschäftspartnern sowie der Gesellschaft und der Umwelt bewusst. Um dieser Verantwortung gerecht zu werden, entwickelt Max Wild stets innovative technische Lösungen, die zum einen für die Kunden einen deutlichen Mehrwert und zum anderen nachhaltige Verbesserungen hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen des unternehmerischen Handelns bedeuten.

1.2 Problemstellung

Im Sinne des sozialen und ökologischen Verantwortungsbewusstseins plante Max Wild die Umsetzung einer Kombinationsanlage für Aufbereitung von Bohrschlämmen. Zum besseren Verständnis des nachfolgend dargestellten Projekts wird zunächst das grundsätzliche Vorgehen im Rahmen der Horizontalbohrung erläutert.

Der Bereich des Horizontalbohrens stellt eines der wichtigsten Geschäftsfelder im Unternehmen dar. Das Horizontalbohren wird insbesondere im Infrastrukturbau genutzt, wo häufig lange horizontale Wegstrecken unter der Erde überbrückt werden müssen. Bei Horizontalbohrungen wird das sogenannte Richtbohren bzw. Horizontal Directional Drilling (HDD) genutzt. Bei dieser Technik ist es möglich, den Verlauf der Bohrung im Erdreich zu steuern. Dabei wird zunächst eine sogenannte Pilotbohrung (linke Bohrung auf dem Schaubild) mit einem kleinen Bohrkopf durchgeführt, der durch eine überirdische Sonde geleitet wird. Im Anschluss wird der Bohrkanal in entgegengesetzter Richtung geräumt und auf die benötigte Größe erweitert. Am Ende wird das gewünschte Objekt in den Bohrkanal eingezogen.

Durch das HDD können bestehende Hindernisse, wie beispielsweise Baumwurzeln, bewusst umgangen werden. Die Vorteile des Horizontalbohrens liegen darin, dass kostenintensive Grabungsarbeiten unter schwierigem Terrain vermieden werden und das Risiko von

Betriebsausfällen, beispielsweise bei der Bahn, deutlich reduziert wird. Ein zweiter Aspekt, der für das HDD spricht, ist die Oberflächenunversehrtheit. Die Erfahrung zeigt, dass Böden, die einmal aufgedigert waren, stark an Qualität verlieren, was beim HDD weitestgehend verhindert wird.

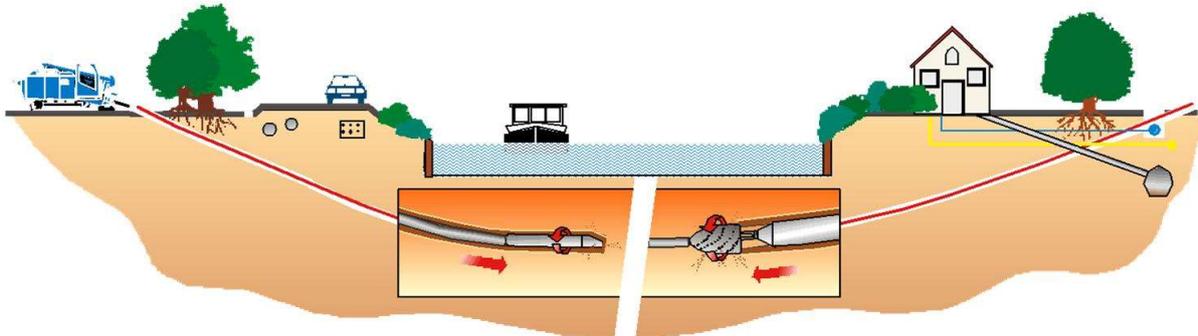


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Ablaufs einer Horizontalbohrung¹

Um das geologische Hochleistungsbohren, sowohl horizontal als auch vertikal, umsetzen zu können, benötigt man grundsätzlich eine sogenannte Bohrspülung. Diese Bohrspülung ist ein Flüssigkeitsgemisch (Suspension) aus Wasser (ca. 95 %) sowie Mineralien und weiteren Additiven. Die Bohrspülung wird über den Bohrkopf in den Bohrkanal gepumpt und hat verschiedene Aufgaben. Zum einen dient sie der Stabilisation des Bohrkanals (entscheidend hierfür ist die Tragfähigkeit der Bohrspülung) und zum anderen optimiert sie die Abführung des Erdreichs. Darüber hinaus entsteht durch den Einsatz einer Bohrspülung ein kühlender Effekt und der Reibungswiderstand am Bohrkopf wird reduziert. Neben Wasser ist der wichtigste Bestandteil der von uns eingesetzten Bohrspülung Bentonit, ein in der Natur vorkommendes Mineralgesteinsgemisch. Je nach Beschaffenheit sowie der Zusammensetzung des Erdreichs werden noch weitere Additive, beispielsweise Polymere, hinzugefügt. Bei größeren Bohrungen werden bis zu 40.000 l Bohrspülung verwendet.



Abbildung 2: Bohrkopf vor dem Einzug einer Kunststoffleitung mit austretender Bohrspülung

Die Bohrspülung wird während des Bohrvorgangs kontinuierlich wieder aus dem Bohrkanal abgepumpt. Da sie dabei auch Bestandteile des Erdreichs enthält, kann die verbrauchte Bohrspülung (Bohrschlamm) zunächst nicht wieder verwendet werden. Vor diesem Hintergrund

¹ **Quelle:** <http://www.vilkograd.com/activities/directional-drilling-with-radio-control-%E2%80%93-hdd-method/horizontal-directional-drilling-with-radio-control/?lang=en>; abgerufen am 12.11.2019

müssen die Bohrschlämme entsorgt werden, was ein zentrales Problem für die gesamte Branche darstellt. Als Flüssigkeit darf der Bohrschlamm nicht deponiert werden und eine Einleitung in die Kanalisation ist aufgrund negativer Effekte auf die Bakterienfauna der Klärwerke nicht gestattet. Weiterhin können Bohrschlämme Schadstoffe enthalten, die eine gesonderte Behandlung (beispielsweise als Sondermüll) erfordern. So können Bohrschlämme Rückstände von Stoffen wie beispielsweise

- Arsen
- Quecksilber
- Polychlorierte Biphenyle (PCB)
- Blei
- Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

enthalten. Je nach Art und Menge der Rückstände lassen sich die Bohrschlämme in die drei einleitend dargestellten verschiedenen Belastungsklassen einordnen (siehe Abbildung 3).

Infolge der Einschränkungen bei den konventionellen Entsorgungswegen hat sich in den vergangenen Jahren die Praxis durchgesetzt, dass die Bohrspülung auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht wird. Dieses Vorgehen ist jedoch fragwürdig, da zum einen das Bentonit einen versiegelnden Effekt auf die Oberfläche hat und zum anderen Schadstoffrückstände aus dem Bohrschlamm in die Böden oder das Grundwasser versickern können.

2 Vorhabenumsetzung

2.1 Stand der Technik und technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Um diese fragwürdige Praxis zu umgehen, gab es in den vergangenen Jahren unterschiedliche Ansätze, unter anderem, mit Zentrifugen und Rüttelsieben den Bohrschlamm zu recyceln. Jedoch sind diese Recyclingverfahren nur für sehr große Bohrvorhaben geeignet. In diesem Zusammenhang werden die Anlagen in ein Kreislaufsystem eingebunden, um die Bohranlagen permanent mit recycelter Bohrspülung zu versorgen. Jedoch ist mit diesem Prinzip die Entsorgung der Feststoffe sowie des verbleibenden Wassers nicht gelöst. So hängt die Entsorgung der Feststoffe stark von der verbleibenden Restfeuchtigkeit ab, da eine zu hohe Restfeuchtigkeit eine Deponierung verhindert. Daneben ist auch eine Einleitung des Wassers in die Kanalisation aufgrund von Feinstoffen, die nicht separiert werden konnten, ausgeschlossen, sodass auch dieses vermeintlich saubere Wasser nicht in die Kanalisation eingeleitet werden kann. Darüber hinaus muss vor jedem neuen Bohrvorhaben neue Bohrspülung angemischt werden, da es derzeit keine Möglichkeit gibt, recycelte Bohrspülung an anderen Bohrstellen zur Verfügung zu stellen. Eine weitere Schwachstelle der beschriebenen Recyclinganlagen besteht darin, dass für die Förderung des Bohrschlammes mit einem hohen energetischen Aufwand, beispielsweise für die Pumpsysteme, verbunden ist.

2.2 Grundkonzept des neuen Verfahrens

Max Wild hat die Problemstellung der Entsorgung von Bohrschlämmen bereits in der Vergangenheit erkannt und ein alternatives Verfahren zur Abscheidung des Wassers entwickelt. Dabei wird die Bohrspülung thermisch behandelt und das enthaltene Wasser verdampft. Dieses Verfahren befindet sich derzeit in der Prototypenphase und die Ergebnisse der Testreihen bestätigen das Funktionsprinzip dieses Verfahrens. Da die thermische Energie jedoch mit

fossilen Brennstoffen erzeugt werden muss, soll dieses Verfahren zur Einsparung von CO₂-Emissionen nur bei sehr stark mit Schadstoffen belastetem Bohrschlamm eingesetzt werden. Die verbleibenden, trockenen Feststoffe (Bentonit und Cuttings) können als Sondermüll deponiert werden. Für dieses innovative Verfahren strebt das Unternehmen derzeit eine Patentierung an.

Mit dem thermischen Aufbereitungsverfahren konnte der Grundstein für ein ganzheitliches Konzept zur Aufbereitung und Entsorgung von Bohrschlämmen gelegt werden. Im Rahmen dieses Konzepts wurde die Errichtung einer Kombinationsanlage, die je ein Aufbereitungsverfahren für verschiedene Schadstoffbelastungsklassen für Bohrschlämme beinhaltet, geplant. So wurde für die Aufbereitung von nicht belasteten Bohrschlämmen ein innovatives und hochenergieeffizientes Recyclingverfahren implementiert. Weiterhin wurde für schwach belastete Bohrschlämme ein sogenanntes Konditionierungsverfahren entwickelt, welches die Wasseranteile in den Bohrschlämmen bindet und somit eine Deponierung der festen Masse ermöglicht.

Die zentralen Neuerungen dieses Konzepts bestehen darin, dass Max Wild nunmehr recycelte Bohrspülung an neuen Bohrstellen zur Verfügung stellen kann. Dies bedeutet enorme Einsparungen im Bereich des Frischwasserverbrauchs sowie von Bentonit. Darüber hinaus kann eine Entsorgungslösung für sämtliche Belastungsklassen angeboten werden, was eine Entsorgung auf landwirtschaftlichen Flächen hinfällig macht, da diese Kombinationsanlage erstmals eine Komplettlösung für die Aufbereitung und Entsorgung der Bohrschlämme bietet. Zusätzlich werden durch die Versorgung von Baustellen mit recycelter Bohrspülung LKW-Fahrten zur Bereitstellung von Frischwasser eingespart, was weitere Einspareffekte bei CO₂-Emissionen mit sich bringt. Neben den eigentlichen Verfahren zur Aufbereitung konnte ein umfassendes Dienstleistungs- und Logistikkonzept umgesetzt werden, das sowohl die Bereitstellung der recycelten Bohrspülung als auch die Entsorgung der Bohrschlämme beinhaltet.

Im Folgenden soll auf die einzelnen Verfahren sowie die Konzeption der Gesamtanlage eingegangen werden.

2.3 Ziel des Vorhabens

Daher entwickelte Max Wild ein neuartiges dreistufiges Verfahren, mit dem Bohrschlamm unabhängig von dessen Verschmutzungsgrad aufbereitet werden kann. Dieses Verfahren, dessen erstmalige großtechnische Umsetzung vom Umweltministerium gefördert wurde und in diesem Abschlussbericht vorgestellt wird, sieht die Aufbereitung unbelasteter Schlämme zu frischer Bohrspülung, die Herstellung von Flüssigböden aus schwach belasteten Schlämmen sowie die Aufbereitung von stark belasteten Schlämmen zu deponierfähigem Abfallmaterial vor.

2.4 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung

Eine der zentralen Neuerungen dieses Konzepts besteht darin, recycelte Bohrspülung an neuen Bohrstellen zur Verfügung stellen zu können, was enorme Einsparungen im Bereich des Frischwasserverbrauchs sowie von Bentonit ermöglicht. Darüber hinaus kann Max Wild eine Entsorgungslösung für sämtliche Belastungsklassen bieten, was eine Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen hinfällig macht. Zusätzlich können durch die Versorgung von Baustellen mit recycelter Bohrspülung LKW-Fahrten zur Bereitstellung von Frischwasser eingespart werden. Neben den eigentlichen Verfahren zur Aufbereitung wurde ein umfassendes

Dienstleistungs- und Logistikkonzept erarbeitet, das neben der Herstellung von Flüssigböden sowohl die Bereitstellung der recycelten Bohrspülung als auch die Entsorgung der Bohrschlämme beinhaltet. Durch dieses branchenneue Konzept konnte das Unternehmen eine vollumfängliche Lösung für die Entsorgung von Bohrschlämmen etablieren. Bevor nachstehend die einzelnen Verfahren näher erläutert werden, wird zunächst der Gesamtprozess im Rahmen des Entsorgungskonzepts skizziert.

2.4.1 Darstellung des Gesamtprozesses

Abbildung 3 stellt schematisch den Gesamtprozess dar. Der Bohrschlamm fällt auf Baustellen als Abfallstoff an, wird abgeholt, zur Anlage transportiert, dort analysiert und in Abhängigkeit von dessen Schadstoffklasse entsprechend aufbereitet.

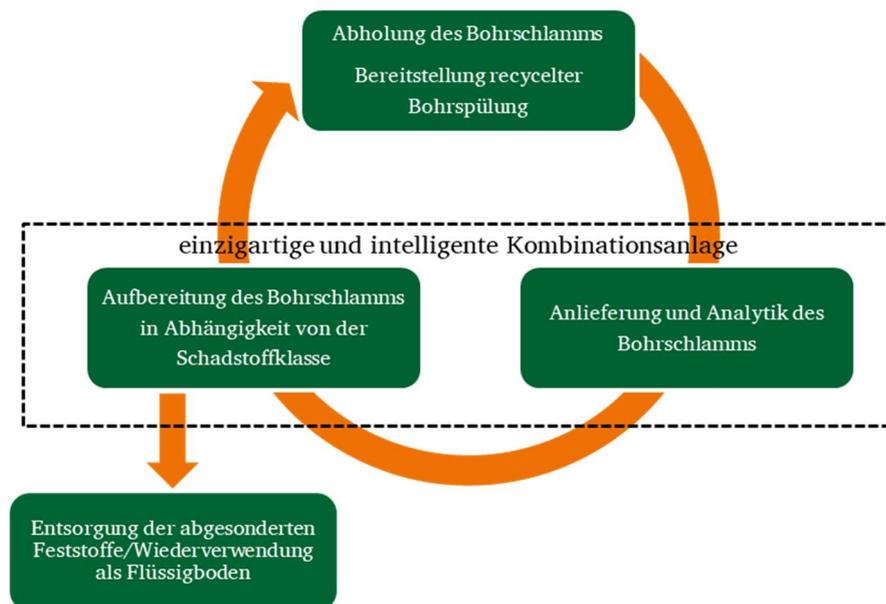


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Prozessablaufs

Abholung des Bohrschlammes

Die für den Transport und die Lagerung auf den Baustellen benötigten Container werden von Max Wild bereitgestellt. Diese Container werden abgeholt und an der Anlage abgeladen. Zur Optimierung der Logistikprozesse ist es möglich, bei Abholung bereits recycelte Bohrspülung anzuliefern.

Anlieferung/Analytik

Der angelieferte Bohrschlamm wird in speziell dafür ausgelegten Sammelbehältern gelagert. Im Anschluss erfolgt eine automatisierte Analyse (Inlineanalytik) des Bohrschlammes, um die Schadstoffbelastung sowie dessen chemisches Eigenschaftsprofil zu ermitteln. Dieses ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit am Bohrort, dem Mischungsverhältnis der Bohrspülung (Wasser zu Bentonit) sowie den eingesetzten Additiven (Polymerzusätze, die die hydraulische Lösearbeit beim Bohren übernehmen) und ist entscheidend für die spätere Parametrisierung des anzuwendenden Aufbereitungsverfahrens.

Dreistufige Aufbereitung/Entsorgung

In Abhängigkeit von der ermittelten Schadstoffbelastung wird die Aufbereitung durchgeführt. Im Anschluss werden die separierten Feststoffe entsprechend der umweltpolitischen

Rahmenbedingungen fachgerecht deponiert (dies betrifft lediglich die Rückstände der thermischen Aufbereitung). Sämtliche andere Stoffe können wiederverwendet werden. Schwach belastete Bohrschlämme können so erstmalig in Form von Flüssigböden recycelt werden.

Bereitstellung recycelter Bohrspülung

Eine der zentralen Neuerungen, die mit der Errichtung dieser Pilotanlage einhergeht, besteht darin, dass die recycelte Bohrspülung in neuen Bohrprojekten eingesetzt werden kann. Bisher wird diese direkt auf der Baustelle mit Frischwasser neu angemischt. Mit der neuen Anlage können die recycelte Bohrspülung selbst eingesetzt bzw. im Rahmen eines Dienstleistungskonzepts an andere Bohrunternehmen verkauft werden.

Bereitstellung von Flüssigböden

Eine weitere zentrale Neuerung besteht in der Aufbereitung (Konditionierung) von schwach belasteten Bohrschlämmen zu Flüssigböden. Dadurch können die in diesen Schlämmen enthaltenen Mineralien, wie z. B. Bentonit, wiederverwendet und dem Stoffkreislauf rückgeführt werden. Mit dieser innovativen Anlage können zukünftig die Flüssigböden selbst verwendet bzw. im Rahmen eines Dienstleistungskonzepts an Bauunternehmen verkauft sowie auf eine Deponierung verzichtet werden.

2.4.2 Darstellung der Recyclingverfahren

Die Basis für dieses umfangreiche Dienstleistungskonzept bildet die dreistufige Kombinationsanlage. Mit je einem Verfahren für die unterschiedlichen Belastungsklassen kann das Unternehmen eine vollumfassende Lösung für das bestehende Entsorgungsproblem bieten. Für die Beurteilung, ob die Schlämme schwach oder stark belastet sind, orientiert sich Max Wild an den länderspezifischen Regelwerken in Baden-Württemberg. Da zunächst immer das Ziel verfolgt wird, die Bohrschlämme aufzubereiten und wiederzuverwenden, beurteilen wir den Bohrschlamm zunächst nach den Grenzwerten der VwV Boden BaWü. Werden die Grenzwerte der Zuordnungsklasse Z2 überschritten, so muss die weitere Beurteilung nach der Deponieverordnung erfolgen. Im weiteren Verlauf werden die einzelnen Verfahren detailliert dargestellt.

Stufe 1: Recyclingverfahren für nicht belastete Bohrschlämme

Im Rahmen der Entwicklung des Recyclingverfahrens erwies sich ein mehrstufiges Konzept als zielführend. Dabei separieren die ersten Stufen – Rüttelsiebe – die groben Cuttings und Verunreinigungen aus dem Bohrschlamm. In den folgenden Stufen werden die separierten Fremdstoffe immer feiner aufgetrennt, bis in den finalen Stufen feine Sande abgeschieden werden können. Für die Umsetzung dieses mehrstufigen Verfahrens wurden die Anlagenkomponenten Rüttelsiebe (Shaker), Hydrozyklone (Desilder und Desander), Zentrifugen, Fördersysteme (Pumpen und Verrohrung) sowie Steuerungs- und Regelungstechnik benötigt.

Der innovative Kern dieses Verfahrens liegt insbesondere in der Steuerungs- und Regelungstechnik. Die Parametrisierung des mehrstufigen Verfahrens erfolgt bei den bislang verfügbaren Anlagen für große Bohrvorhaben manuell. Dies bedeutet, dass ein Mitarbeiter die Anlage basierend auf den eigenen Erfahrungswerten einstellt, was stark voneinander abweichende Ergebnisse und mangelnde Reproduzierbarkeit zur Folge hat. Um diese Nachteile zu vermeiden, verwendet Max Wild nun durch die Steuerungstechnik automatisiert generierte Eigenschaftsprofile, welche eine optimale Parametrisierung der Verfahrensstufen ermöglichen. Somit kann eine maximale Reproduzierbarkeit sowie eine Optimierung der Separationsergebnisse erreicht werden.

Um dieses mehrstufige Verfahren so energieeffizient wie möglich zu gestalten, wurde die Recyclinganlage auf unterschiedlichen Höhenniveaus installiert, wie in nachfolgender Abbildung 6 ersichtlich. Hierdurch kann die notwendige Pumpleistung deutlich reduziert und stattdessen die Schwerkraft zur Förderung des Bohrschlammes genutzt werden, was enorme energetische Vorteile mit sich bringt sowie den Wartungs- und Instandhaltungsaufwand der Anlage senkt.

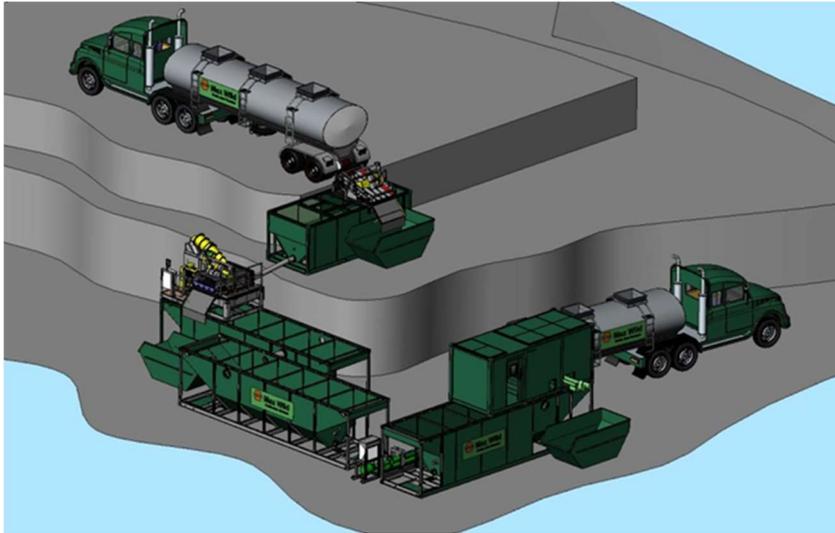


Abbildung 4: Schematischer Aufbau der Recyclinganlage

Stufe 2: Konditionierungsverfahren für schwach belastete Bohrschlämme:

Stufe 2 besteht in der Aufbereitung des Bohrschlammes zu sogenanntem Flüssigboden auf Basis eines speziell entwickelten Konditionierungsverfahrens. Dadurch kann auf eine Deponierung schwach belasteter Schlämme verzichtet werden. Unter Flüssigboden versteht man ein Gemisch aus Aushubmaterial und Zusatzstoffen sowie Wasser. Diese zählen zu den temporär fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllmaterialien und können Konsistenzen von plastisch bis fließfähig aufweisen. Derartige Böden dienen dazu, beim Einbau von erdverlegten Bauteilen, wie etwa Rohrleitungen, das zur Wiederverfüllung vorgesehene ausgehobene Bodenmaterial – in diesem Fall schwach belastete Bohrschlämme – fließfähig zu machen. Diese können dadurch selbstverdichtend wiederverwendet werden, wodurch bodenähnliche bis bodengleiche Verhältnisse im bodenmechanischen und -physikalischen Sinn wiederhergestellt werden können. Aufgrund der Tatsache, dass keine bodenfremden Zusatzstoffe und demnach auch keine abträglichen Chemikalien verwendet werden, führt der Einsatz von Flüssigboden zu einem aktiven Schutz des Bodens und des Wirkungspfades Boden-Grundwasser. Durch die Verfestigung des eingebrachten Flüssigbodens im Boden besteht außerdem keine Gefahr der Versickerung.

Flüssigböden sind (zeitweise) fließfähige Verfüllstoffe und werden unter anderem eingesetzt bei Kanal- und Rohrleitungsbauarbeiten, Wiederverfüllungen, Bodenstabilisierungen sowie Fernwärmeleitungen und Hochspannungskabel. Das innovative Verfahren zur Aufbereitung von schwach belasteten Bohrschlämmen zur Gewinnung von Flüssigböden kommt dabei erstmalig zum Einsatz. Alle bisher bekannten Konditionierungsverfahren basieren auf der Verarbeitung von organischen Schlämmen (z. B. Klärschlamm). Bohrschlämme bestehen jedoch im Wesentlichen aus nicht-organischen, mineralischen Materialien. Hinsichtlich des Bindeverhaltens unterscheiden sich diese Stoffe immens, weshalb für die Konditionierung von

Bohrschlämmen ein völlig neues Verfahren angewendet werden muss. Bislang auf dem Markt verfügbare Konditionieranlagen verwenden jedoch Rührwerke, die speziell auf organische Stoffe optimiert wurden. Diese führen bei Bohrschlämmen zu keinen prozesssicheren Ergebnissen, da sie nicht auf derartige Anforderungen ausgelegt sind, was sich durch Versuchsaufbauten und ausführliche Tests gezeigt hat. Demnach musste Max Wild zur Konditionierung von Bohrschlämmen ein völlig neuartiges Rührverfahren entwickeln, um die notwendige Prozesssicherheit gewährleisten zu können. Weiterhin bedarf eine Konditionierung zur Nutzung von Flüssigböden einer exakten Dosierung. Bislang existierten im Bereich der Aufbereitung von organischen Schlämmen keine auf dieses Verfahren ausgelegten Dosiereinrichtungen, da diese für eine Aufbereitung organischer Materialien nicht notwendig sind.

Um dieses Konditionierungsverfahren umsetzen zu können, wurden Konditionierungscontainer bzw. -silos in die Pilotanlage integriert. Diese speziellen Container enthalten eine Mischvorrichtung sowie eine Dosieranlage und verfügen über eine intelligente Steuerung. Diese Steuerung ist ein zentraler Aspekt bei der Umsetzung einer standardisierten Konditionierung und bildet die Grundlage für eine Automatisierung des Vorgangs.

Stufe 3: Thermische Aufbereitung für stark belasteten Bohrschlamm

Bei der thermischen Aufbereitung von stark belasteten Bohrschlämmen handelt es sich um eine Branchenneuheit, die im Rahmen eines Entsorgungskonzepts für Bohrschlämme erstmalig realisiert wurde. Das thermische Aufbereitungsverfahren erfolgt komplett in einem dafür spezifisch ausgelegten Container. Der Bohrschlamm befindet sich, wie bereits dargestellt, in einem V-förmigen Tank, in dem ein Förderband aus einzelnen Metallgliedern in Wabenform am Boden entlanggeführt wird und den Bohrschlamm dabei aufnimmt. Das Förderband wird über Silikonrollen umgelenkt und durch drei Ofenkammern geführt, in denen Heizstrahler angebracht sind. Diese Heizstrahler werden mit Gas betrieben und erzeugen eine Infrarotstrahlung, die den Bohrschlamm erhitzt. Durch das verdampfende, im Bohrschlamm enthaltene Wasser, können die Feststoffe abgeschieden werden.

Im Hinblick auf die ökologischen Aspekte liegt der Vorteil dieser Anlage darin, dass das in dem Bohrschlamm enthaltene Wasser völlig rückstandsfrei in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt wird. Weiterhin weist die schadstoffbelastete Trockenmasse ein wesentlich geringeres Volumen auf, was zur Schonung von Deponieflächen beiträgt. Die trockenen Rückstände können als Sondermüll in entsprechende Deponien nachhaltig eingebracht werden.

2.5 Umsetzung des Vorhabens

Das Vorhaben wurde im Zeitraum vom 01.01.2017 bis zum 30.06.2020 durchgeführt. Im *ersten Berichtszeitraum* vom 01.01.2017 bis zum 30.05.2017 erfolgten Konstruktionsarbeiten und Berechnungen zur exakten Auslegung der Anlage. Auf dieser Basis wurde ein Bauantrag ausgearbeitet. Die wesentliche Herausforderung bestand zunächst darin, das Wissen, das im Rahmen der Testanlage gewonnen wurde, auf die erstmalige großtechnische Umsetzung zu übertragen. Insbesondere in den Bereichen des Prozessflows und des Verschleißes waren umfangreiche Optimierungen notwendig. So zeigte sich, dass der Aufgabebehälter der Bohrspülung nicht wie ursprünglich angedacht realisiert werden kann, da bei diesem Lösungskonzept die Pumpen durch das Cutting schnell verschleifen. Um dieses Problem zu lösen, wurde der Aufgabebehälter in drei Fraktionen zu jeweils 60 m³ aufgeteilt (Abbildung 6). Der Boden wird dabei schräg ausgeführt, um die sich im Prozess absetzenden Cuttings mit dem Radlader ausräumen zu können. Des Weiteren ist ein Galgen an einer Führungsschiene angebracht, um den

seitlichen Verschiebung mit einem Saugschlauch und einem schwimmend ausgeführten Saugkorb realisieren zu können. Das Material wird dabei von oben abgesaugt. Dieses Lösungskonzept konnte in einem Feldversuch verifiziert werden. Die Vorteile dieses Aufbaus liegen darin, dass durch den getrennten Aufbau in drei Kammern, die verschiedenen Belastungsstufen vor dem Prozess getrennt gehalten werden können. Während eine Fraktion im Prozess bearbeitet wird, kann die nächste bereits eingefüllt und so die Zeit genutzt werden, um die Cuttings abzusetzen.

Die im *zweiten Berichtszeitraum* vom 01.06.2017 bis 30.11.2017 durchgeführten Arbeiten, lassen sich in Bauantrag, Steuerungs- und Regelungssoftware sowie Stahlbau untergliedern. Nach Einreichung des Bauantrags im August 2017 wurde von der prüfenden Bauaufsichtsbehörde festgelegt, dass dieser aufgrund unvorhergesehener Risiken detailliert werden musste. Der Bauantrag musste infolgedessen neu erstellt und um Umweltgutachten, statische Berechnungen, Flächennutzungspläne etc. ergänzt werden, sodass sich die Genehmigung des Antrags und damit der Baubeginn verzögerte. Im Bereich Stahlbau wurden die Komponenten für das Handlingmodul gefertigt. Mit der Entwicklung der dafür notwendigen Steuerungs- und Regelungstechnik wurde begonnen. Dabei ergaben sich insbesondere im Bereich der Schnittstellen unvorhergesehene Schwierigkeiten, da diese nicht wie geplant universell verwendet werden können, sondern von uns individuell angepasst bzw. neu geschaffen werden mussten.



Abbildung 5: Aufgabengrube

Die Genehmigung des Bauantrags verzögerte sich aufgrund eines ungeklärten Umgangs mit Kriechtieren weiter, sodass im *dritten Berichtszeitraum* vom 01.12.2017 bis 30.06.2018 lediglich weitere Vorarbeiten durchgeführt werden konnten. Zudem wurden die Komponenten Shaker, Container, Zentrifuge und Flockstation geliefert, die bis zur Genehmigung des Bauantrags zwischengelagert wurden. Der Schaltschrankbau wurde begonnen, ebenso wie die Programmierung der Steuerungstechnik, um mittels automatischer Analytik die optimale

Parametrisierung der Verfahrensstufen vorzugeben, wodurch eine maximale Reproduzierbarkeit sowie eine Optimierung der Separationsergebnisse erreicht werden kann.



Abbildung 6: Flockstation, Zentrifuge und Shaker

Im *vierten Berichtszeitraum* vom 01.07.2018 bis 30.11.2018 erfolgte die Genehmigung des Bauantrags. Die Baumaßnahmen konnten im Oktober 2018 begonnen werden. Diese gestalteten sich jedoch aufgrund der örtlichen geografischen Gegebenheiten aufwendiger als erwartet, was zu höheren Baukosten führte. Der Stahlbau konnte nahezu abgeschlossen werden, ebenso der Schaltschrankbau und die Programmierung der Steuerungstechnik. Weiterhin wurden erste Laborversuche gemäß des mit dem Umweltbundesamt abgestimmten Messprogramms durchgeführt.

Im *fünften Berichtszeitraum* vom 01.12.2018 bis 15.08.2019 konnten die wesentlichen Vorarbeiten abgeschlossen werden, sodass im August 2019 mit der Inbetriebnahme begonnen und die ersten Versuche durchgeführt werden konnten. Nachdem die Anlage in einen stabilen Prozess überführt werden konnte (*sechster Berichtszeitraum* vom 16.08.2019 bis 31.12.2019), erfolgte in enger Absprache mit dem Umweltbundesamt die Durchführung eines *Messprogramms*, das zum 30.07.2020 abgeschlossen wurde. Auf die dabei erzielten Ergebnisse wird in den nachfolgenden Abschnitten detailliert eingegangen.



Abbildung 7: Flockstation (Detailansicht)

2.6 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Nachfolgend werden die einzelnen Elemente der Betriebsdatenerfassung vorgestellt. Diese sind Teil einer eigens entwickelten Software als Teil der Anlagensteuerung.

Komponente Zentrifuge

Die wesentlichen Informationen sind auf dem Display des Zentrifugenmoduls dargestellt. Zustände und Drehzahlen der Anlage sind wie folgt dargestellt:

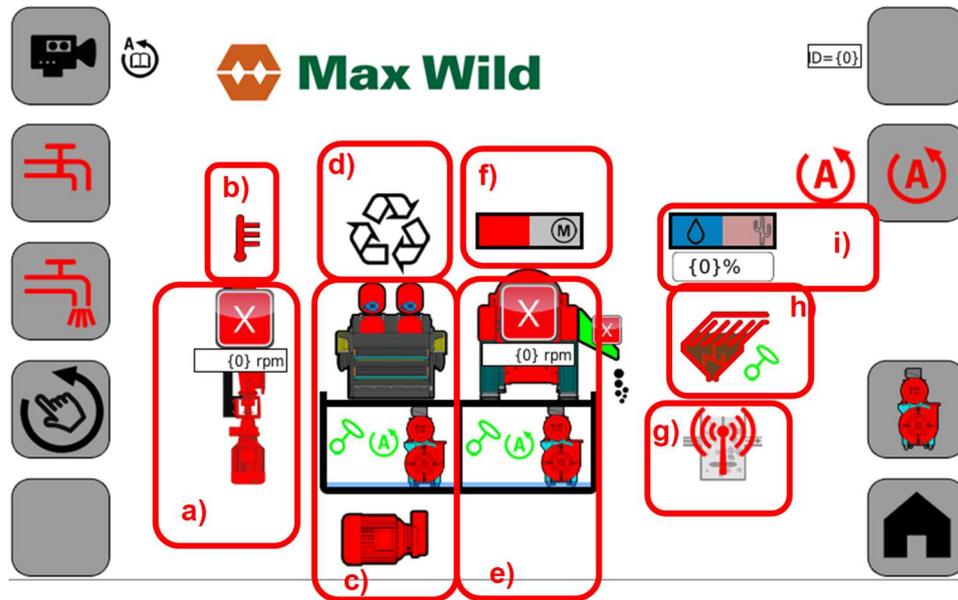


Abbildung 8: Übersicht Displayanzeige

Folgende Funktionalitäten sind verfügbar:

- Schneckenpumpe und zugehöriger Umrichter. Der Status wird über die Farbe rot (OFF) oder grün (ON) dargestellt. Die Soll Drehzahl der Schneckenpumpe in der Einheit rpm und der Status des Umrichters in Form eines roten Kreuzes wenn dieser nicht bereit ist oder dort ein Fehler anliegt.
- Anzeige Temperaturproblem an der Schneckenpumpe, z. B. wenn diese trocken läuft und zu heiß wird.
- Von oben nach unten: Zustand des Shakers, Füllstand des Tanks mit Schwimmerschalter und optischer Darstellung des Füllgrades. Zustand der im Tank enthaltenen Tauchpumpe mit Stellung Automatik oder Handbetrieb. Und zuletzt der Zustand der externen Zuführpumpe welche das aufzubereitende Material zum Shaker pumpt.
- Statusanzeige der Betriebsart Klarwasserbetrieb oder Recyclingbetrieb (hier das Symbol für Recyclingbetrieb).
- Von oben nach unten: Zustand Zentrifuge mit Zustand Umrichter (Kreuz) und die Soll Drehzahl der Zentrifuge. Zustand der im Tank enthaltenen Tauchpumpe mit Stellung Automatik oder Handbetrieb.
- Auslastung der Zentrifuge. Auswertung der Drehmomente. Roter Anzeigebalken ganz rechts entspricht 100 % Auslastung der Zentrifuge.
- Zustand der Funkverbindung zur Flockstation.
- Zustand des Lamellenklärsers. Zustände leer, voll Wasser (blau), voll Schmutz (braun) und Zustand Krälwerk.

- i) Voreinstellung für den Auswurf der Zentrifuge. Trocken oder Nass. Über diese Anzeigeeinstellung wird die Zentrifuge beeinflusst, damit diese den Feststoffauswurf trockener oder nasser reguliert.

Auf der Einstellseite am Display lässt sich zusätzlich die Grunddrehzahl der Zentrifuge einstellen

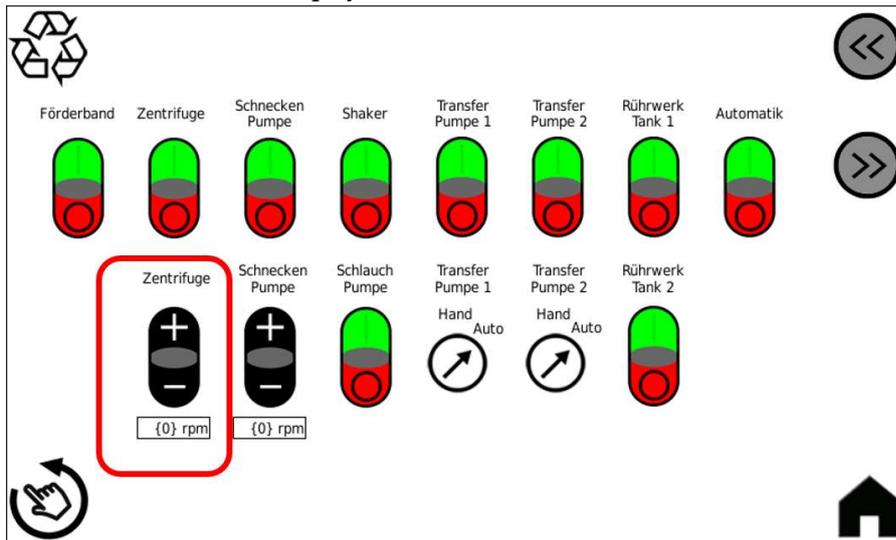


Abbildung 9: Drehzahlregelung der Zentrifuge: Die Grunddrehzahl kann zwischen 2500 und 3000 rpm beeinflusst werden

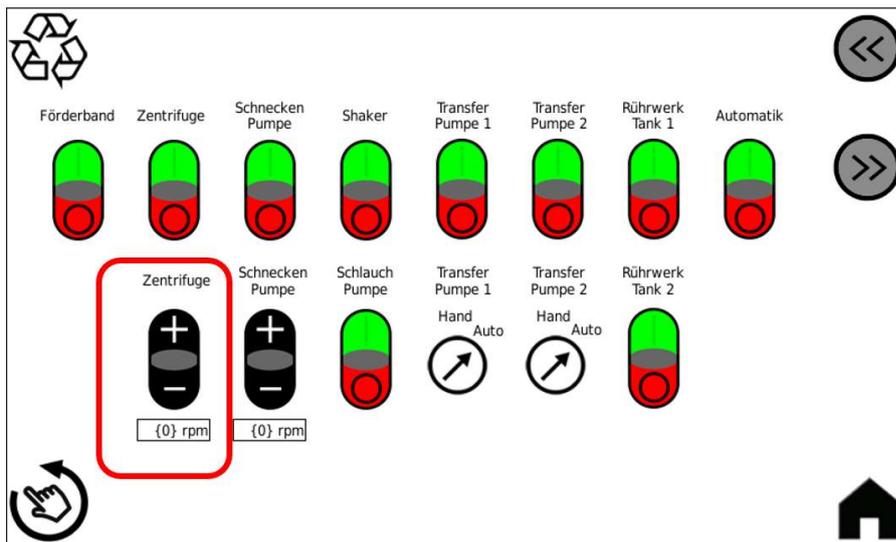


Abbildung 9: Drehzahlregelung der Zentrifuge: Die Grunddrehzahl kann zwischen 2500 und 3000 rpm beeinflusst werden

Um den Wartungszeitpunkt der Anlage zu bestimmen, werden in der Steuerung die Betriebsstunden der einzelnen Komponenten des Zentrifugenmoduls mitprotokolliert. Zu wartende Komponenten werden gelb dargestellt. Bei einer durchgeführten Wartung werden dann die neuen Stunden gespeichert und die Stunden für den nächste Service gesetzt.

Betriebsstundenzähler		letzter Service:	nächster Service:
Transferpumpe:	1000.07 h	500.05 h	1000.05 h
Schneckenpumpe:	0.00 h	0.00 h	500.00 h
Zentrifuge:	0.00 h	0.00 h	250.00 h
Shaker:	0.00 h	0.00 h	250.00 h
Grubenpumpe:	0.00 h	0.00 h	500.00 h

Abbildung 10: Betriebsstundenzähler der Anlage und die daraus abgeleitete Wartungsanzeige auf dem Startbildschirm

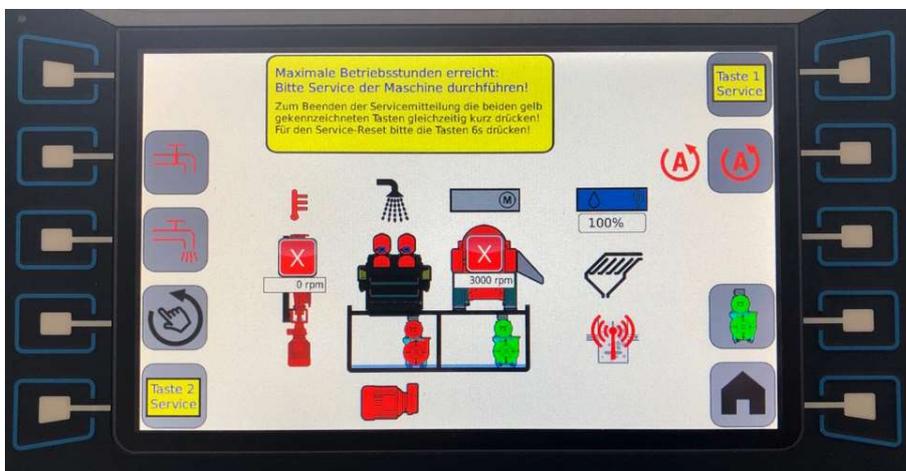


Abbildung 11: Betriebsstundenzähler: Maximale Betriebsstunden erreicht

Die Servicemeldung muss aktiv quittiert werden; die Anzeige „Service Maschine“ bleibt bestehen, bis der eigentliche Service durchgeführt wurde.



Abbildung 12: Betriebsstundenzähler: Quittierung der Servicemeldung

Folgende Störungen im Zentrifugenmodul sind möglich (die Zuordnung entspricht dabei den Buchstaben in

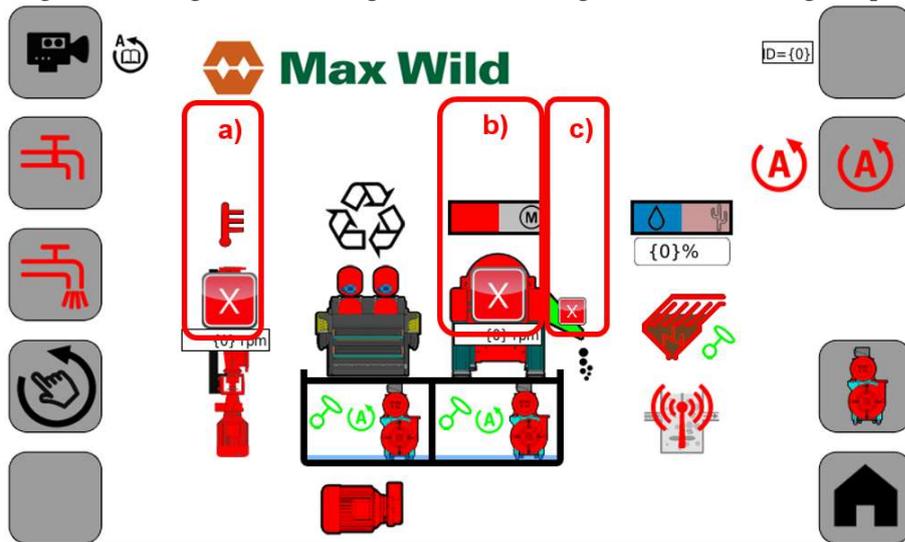


Abbildung 13: Fehlerstatus Zentrifuge

a) Fehlerstatus Umrichter Speisepumpe mit Temperaturüberwachung

- Umrichterfehler (Kreuz): Anlage herunterfahren und Neu starten. Liegt der Fehler weiterhin vor, muss der elektrische Anschluss, sowie die CAN Verkabelung der Umrichter geprüft werden.
- Temperaturfehler: Anlage herunterfahren und nach mechanischen Störungen suchen welche das Temperaturproblem ausgelöst haben könnten.

b) Fehlerstatus Umrichter Zentrifuge

- Umrichterfehler (Kreuz): Anlage herunterfahren und Neu starten.
- Liegt der Fehler weiterhin vor, muss der elektrische Anschluss, sowie die CAN Verkabelung der Umrichter geprüft werden.

c) Fehlerstatus Förderband mit Temperaturüberwachung

- Temperaturfehler: Anlage herunterfahren und nach mechanischen Störungen suchen, welche das Temperaturproblem ausgelöst haben könnten.

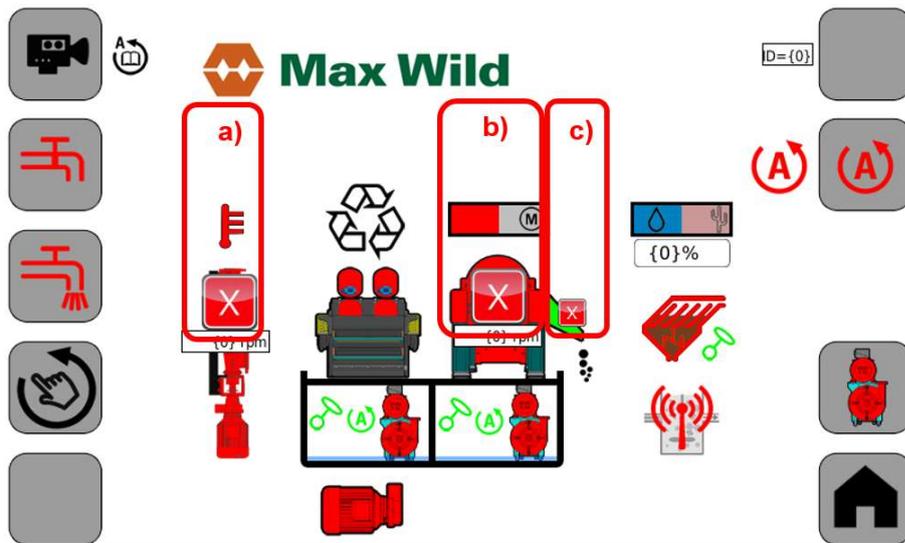


Abbildung 13: Fehlerstatus Zentrifuge

Komponente Flockstation

Die wesentlichen Informationen sind auf dem Display der Flockstation dargestellt. Zustände und Drehzahlen der Anlage sind wie folgt dargestellt (Abbildung 16):

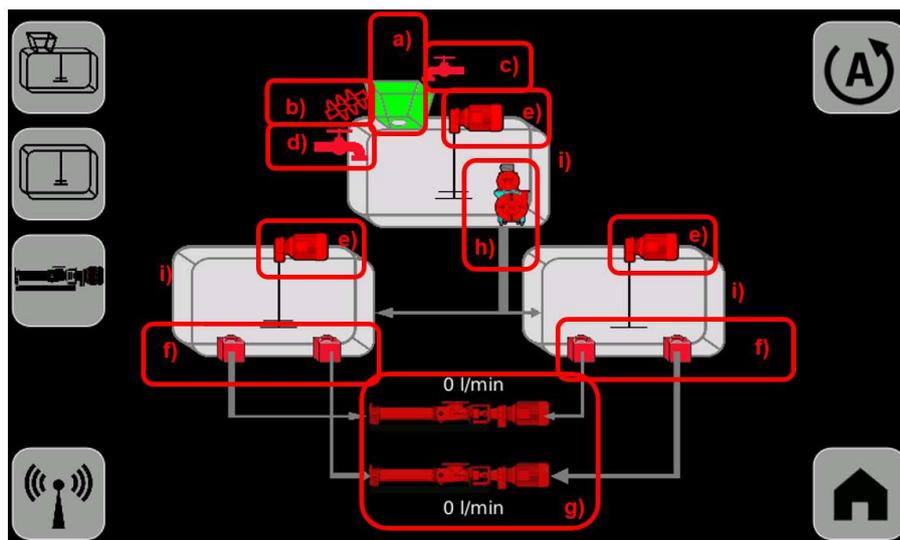


Abbildung 14: Zustände und Drehzahlen der Flockstation

- Füllstand des Aufgäbebehälters für das Flockmittel. Der Status wird über die Farbe rot (leer) oder grün (befüllt) dargestellt.
- Dosierschnecke. Der Status wird über die Farbe rot (OFF) oder grün (ON) dargestellt.
- Frischwasserzufuhr (Ventil) Dosiereinheit. Der Status wird über die Farbe rot (ZU) oder grün (AUF) dargestellt.
- Frischwasserzufuhr (Ventil) Mischtank. Der Status wird über die Farbe rot (ZU) oder grün (AUF) dargestellt.
- Rührwerk des jeweiligen Tanks. Der Status wird über die Farbe rot (OFF) oder grün (ON) dargestellt.
- Kugelhahn des jeweiligen Speichertanks. Der Status wird über die Farbe rot (ZU) oder grün (AUF) dargestellt.

- g) Schneckenpumpen. Der Status wird über die Farbe rot (OFF) oder grün (ON) dargestellt. Die Soll Drehzahl der jeweiligen Schneckenpumpe wird in der Einheit l/min angezeigt.
- h) Transferpumpe. Der Status wird über die Farbe rot (OFF) oder grün (ON) dargestellt.
- i) Tanks. Füllstände (>0 Liter) werden neben dem jeweiligen Tank in der Einheit Liter angezeigt. Zusätzlich wird der jeweilige Tank, in Abhängigkeit des Füllstands, eingefärbt.

Folgende Störungen im Flockmodul sind möglich (die Zuordnung entspricht dabei den Buchstaben in nachfolgender Abbildung:

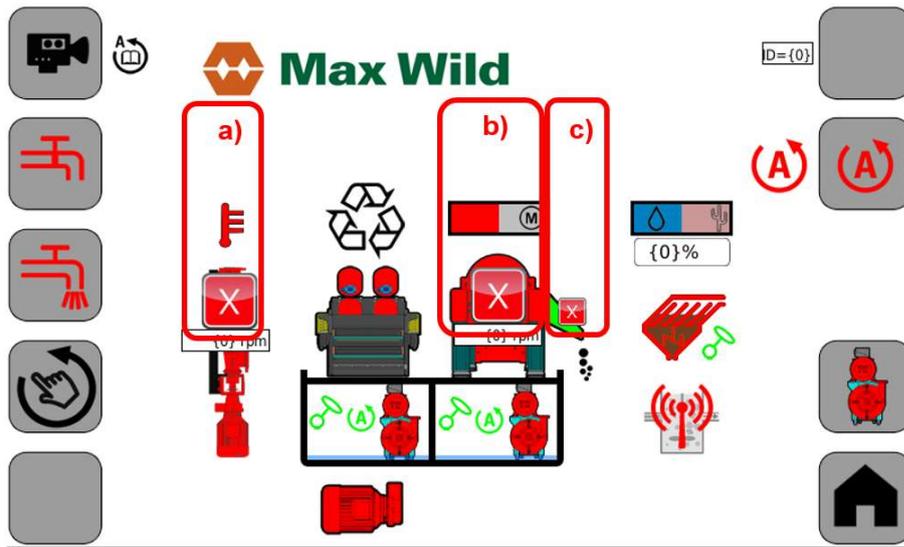


Abbildung 13: Fehlerstatus Zentrifuge

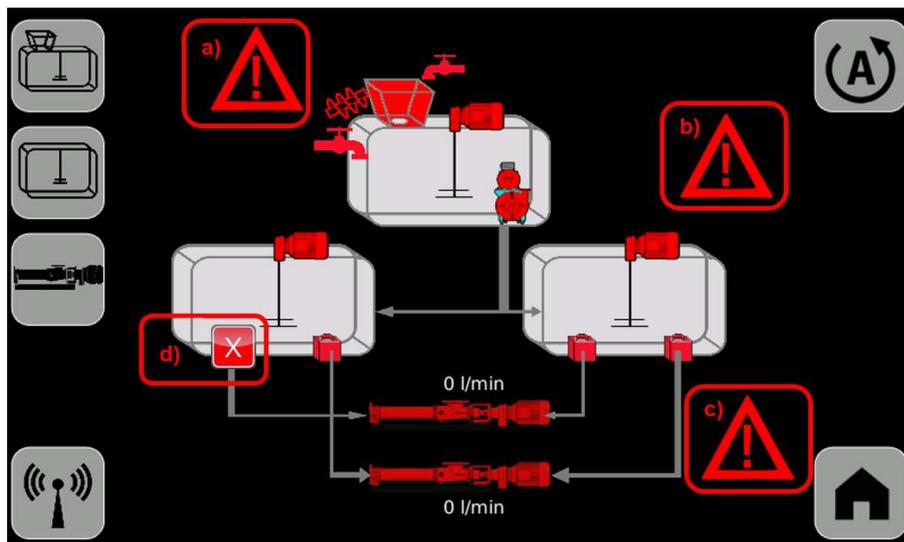


Abbildung 15: Fehlerstatus Flockmodul

- a) Fehlerstatus Aufgabebehälter Flockmittel leer.
 - Aufgabebehälter muss befüllt werden.
- b) Fehlerstatus Motoren
 - Anlage herunterfahren, Motorschutzschalter prüfen und Neu starten.

- Liegt der Fehler weiterhin vor, muss der elektrische Anschluss, sowie mechanische Probleme der Motoren geprüft werden.
- c) Fehlerstatus Umrichter Schneckenpumpen
- Umrichterfehler: Anlage herunterfahren und Neu starten.
 - Liegt der Fehler weiterhin vor, muss der elektrische Anschluss, sowie die CAN Verkabelung der Umrichter geprüft werden.
- d) Fehlerstatus Kugelhahn
- Fehler Kugelhahn öffnet nicht: Kugelhahn auf mechanische Blockade prüfen und ggf. von Hand öffnen.
 - Liegt der Fehler weiterhin vor, muss der elektrische Anschluss geprüft werden.

Klarwasser-Funkverbindung Flockstation

Damit die Flockstation zusammen mit dem Zentrifugenmodul für den Klarwassermodus verwendet werden kann, müssen auf der nachfolgenden Seite die notwendigen Einstellungen getroffen werden (Abbildung 18).

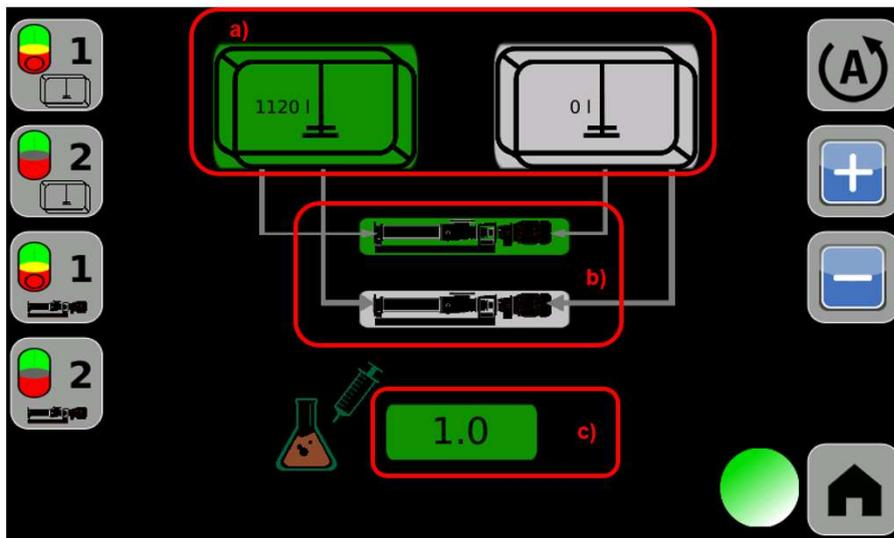


Abbildung 16: Klarwasser-Funkverbindung Flockstation

- Auswahl des Speichertanks. Die Auswahl wird über die Hintergrundfarbe grau (nicht gewählt) oder grün (gewählt) dargestellt. Zusätzlich wird der aktuelle Füllstand des jeweiligen Speichertanks in Liter angezeigt.
- Auswahl der Schneckenpumpe. Die Auswahl wird über die Hintergrundfarbe grau (nicht gewählt) oder grün (gewählt) dargestellt.
- Einstellung Dosierung. Hier werden die benötigten Anteile des Flockmittels eingestellt. Die Solldrehzahl der Schneckenpumpen wird in Abhängigkeit dieses Werts angepasst.

Automatikmodus Flockstation

Damit das Flockmittel automatisch, mit individueller Rezeptur angemischt werden kann, werden auf der nachfolgenden Seite die spezifischen Einstellungen für Füllmenge, Dosierzeit und Mischzeit vorgenommen.

3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Die Konzeptionierung, der Bau und die Inbetriebnahme der Recyclinganlage war mit einem immensen Knowhow-Zuwachs für das Unternehmen verbunden und trägt zu einer gestärkten Wettbewerbsposition bei. In enger Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt konnte Max Wild die Erarbeitung neuer Richtlinien maßgeblich begleiten und das Knowhow zielführend einbringen.



Abbildung 20: Gesamtanlage (ohne Lamellenklärer)

Der ursprüngliche Zeitplan konnte nicht gehalten werden, die Fertigstellung und Inbetriebnahme der Recyclinganlage fand anstatt im zweiten Quartal 2018 im dritten Quartal 2019 statt. Dies wurde, wie bereits an anderer Stelle dieses Abschlussberichts dargestellt, unter anderem durch eine verzögerte Baugenehmigung, nicht verfügbare Handwerker und Lieferschwierigkeiten der Anlagen- und Maschinenkomponenten verursacht. Der Abschluss des begleitenden Messprogramms verzögerte sich dann aufgrund der Witterungssituation am Standort im Januar und Februar 2020 sowie der wenig später beginnenden Covid-19-Pandemie. Das Vorhaben konnte trotz dieser Herausforderungen erfolgreich umgesetzt werden, nicht zuletzt aufgrund eines umsichtigen Projektmanagements und der starken Finanzkraft des Unternehmens. Die sich mittlerweile im Serienbetrieb befindliche Anlage ermöglicht es nun, die erhofften Umwelteffekte zu realisieren und einen Beitrag zur bisher bestehenden Entsorgungsproblematik von Bohrschlämmen zu leisten. Bezüglich des Einsparungspotentials an Wasser, THG-

Emissionen und Deponieraum geht das Unternehmen von einer Quote bis 90 % aus, zum einen durch die Reduzierung der anfallenden Abfallmenge vor Ort und zum anderen durch die Optimierung der Frachten (voll-voll) sowie der Lieferung recycelter Bohrspülung von der stationären Anlage auf die Baustelle. Vor allem aber wird das Einsparungspotential aber bei der Deponierung maßgeblich. Durch die Entwässerung und Aufbereitung von Bohrschlämmen über eine stationäre Anlage (als der Deponierung vorgelagerter Arbeitsgang) wird wertvolles Deponievolumen eingespart, da nahezu die gesamte Flüssige Phase aus dem Schlamm entnommen wird und diese nicht durch die Zugabe von Bindemittel chemisch gebunden wird.

Im Zeitraum November 2019 bis August 2020 wurde die erste Aufbereitungskampagne durchgeführt. Die verarbeiteten Mengen sind nachfolgender Tabelle zu entnehmen:

Zeitraum:	November 2019 bis August 2020
Gesamtmenge [t]	2.277,42
Gesamtmenge [m ³]:	3.074,52
Ersparnis Deponieraum [m ³] ² :	1.433,93
Ersparnis Frischwasser [m ³] ³ :	1.518,28

Tabelle 1: Ergebnisse der ersten Aufbereitungskampagne

3.2 Ergebnisse des Messprogramms

Zur Beurteilung der Inhaltsstoffe der bei der Horizontalbohrung verwendeten Bohrsuspensionen wurden die zur Herstellung der Primärsuspension verwendeten Ausgangsstoffe nach gleichen Untersuchungsmethoden analysiert. Zur Durchführung eines Messprogramms zur Überprüfung der Bohrschlämme kam nachstehendes Untersuchungskonzept zur Anwendung:

1. Untersuchung des zur Herstellung der Primärsuspension verwendeten Wassers (in der Regel Trinkwasser vom örtlichen Wasserlieferanten)
2. Untersuchung der Primärbentonitsuspension vor Beginn der Bohrung (einschließlich aller eingesetzten Zuschlagstoffe)
3. Untersuchung des Bohrschlammes nach erfolgter Bohrung einschließlich des Bohrkleins (Cuttings)

In Anhang 7.1 finden sich die gemessenen Einzelparameter (Wasser, Suspension und Bohrschlamm) je genommener Probe. Je Probenanfallstelle lässt sich folgend näher beschriebene Tendenz beobachten:

1. Nach dem Einmischen des Bentonit-Compounds zur Herstellung der Bohrsuspension wird in nahezu jeder Laborprobe nachgewiesen, dass hierdurch der Sulfat- und teilweise auch Chloridgehalt stark ansteigt. Des Weiteren ist bei der elektrischen Leitfähigkeit derselbe Trend zu erkennen.
2. Die Einzelwerte werden dann aber während oder nach der Bohrung wieder in Richtung des im Wasser festgestellten Wertes abgeschwächt (evtl. durch Beimengung von erbohrten Cuttings und ggf. Grundwasser aus dem anstehenden Schichten). Die so

² Bei einem Anteil von etwa 15 % Trockensubstanz.

³ Durch Aufbereitung zu RC-Spülung, bei einem Wassergehalt von 90 % in der Spülung.

ermittelten Werte bleiben i. d. R. dann auch weiterhin für die nachgehende Entsorgung einstufigsrelevant.

3. Im Rahmen des Versuchsprogramms waren nebenbei auch zwei Ausreiser bei den Zinkgehalten des verwendeten Trinkwassers zu beobachten (Baustellen 4 und 5) – diese sind aber höchst wahrscheinlich auf Verunreinigungen zurückzuführen. Die teils unüblich erhöhten Zinkgehalte sind unserer Einschätzung nach auf eingesetzte zinkhaltige Schmierpasten zurückzuführen. Da oftmals das benötigte Wasser aus dem jeweiligen Ortsnetz entnommen wird, werden hierfür Standrohre mit Wasseruhr vom jeweiligen Netzbetreiber (Gemeinde, Zweckverband, o.ä.) geliehen. Denkbar wäre, dass dieses erst neu instandgesetzt oder zusammengebaut wurde und hierbei eine solche Schmierpaste verwendet wurde.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass nicht alle anfallenden Bohrschlämme als unbelastet angesehen werden können. Oftmals sind einzelne abfalltechnisch relevante Einzelparameter erhöht, was dazu führt, dass die Grenzwerte der VwV Boden BaWü nicht eingehalten werden. Exemplarisch und als Leitparameter können hierbei die Gehalte an Chlorid, Sulfat, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert aufgeführt werden. Hinsichtlich dieser Einzelparameter wäre nun weiter zu prüfen, inwieweit diese für den spezifischen Abfall Bohrschlamm maßgebend sind. Der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit sind, aufgrund der enthaltenen Spülungsadditive und des sehr hohen Wassergehaltes, dem Grunde nach zur abfalltechnischen Einstufung nicht anwendbar. Dies wird auch durch den Umstand bestätigt, dass die Schlämme im Zustand, wie diese bei Bohrungen anfallen, nicht direkt verwertet werden können sondern einer Aufbereitung zugeführt werden müssen. Des Weiteren sollte generell eine Prüfung erfolgen, ob die Anwendung der Grenzwertliste aus der VwV Boden BaWü (oder adäquat die geltenden Vorschriften der jeweiligen Bundesländer für die Verwertung von Boden) für den Abfall Bohrschlamm anwendbar und vor allem geeignet ist.

3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Bislang werden Bohrschlämme zum größten Teil unbehandelt auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht. Für deren Abholung und Ausbringung fielen zum Zeitpunkt der Antragstellung etwa 60 Euro pro Kubikmeter Bohrspülung an. Allerdings kann dieser Wert je nach Anfahrtsweg auch deutlich höher, bei bis zu 150 Euro pro Kubikmeter, liegen. Angesichts der erheblichen Umweltbelastung kann diesem bisherigen Verfahren kein Vorteil abgewonnen werden, wengleich es sich um die derzeit günstigste Entsorgungsmethode handelt. Gründe hierfür sind zum einen, dass die Böden stark belastet und durch das enthaltene Bentonit versiegelt werden und zum anderen, dass dieses Verfahren nicht ganzjährig verfügbar ist. Zurzeit werden in im Unternehmen etwa 25.000 Kubikmeter Bohrschlamm pro Jahr angeliefert. Bei Entsorgungskosten von 60 Euro pro Kubikmeter fallen hierbei Kosten von 1,5 Mio. Euro pro Jahr an.

Die möglichen Einsparungen sowie der Ertrag aus der Entsorgungsdienstleistung bzw. der Bereitstellung recycelter Bohrspülungen und aufbereitender Flüssigböden pro Kubikmeter hängen wesentlich von der genutzten Aufbereitungsmethode ab. Derzeit lässt sich nur schwer abschätzen, wie sich der angelieferte Bohrschlamm von ca. 25.000 m³/p.a. hinsichtlich der Schadstoffbelastung aufteilt (nicht, schwach oder schwer belastet), weshalb Max Wild bei der Berechnung der Amortisation auf einen durchschnittlichen Kapitalrückfluss (nach Abzug aller operativen Kosten und Hinzurechnung der anfallenden Abschreibung; Cashflow) von 10 EUR

berücksichtigt. Weiterhin sind bei der Amortisationsrechnung die Kapitalkosten zu berücksichtigen, die mit 3,5 % veranschlagt wurde:

• Anschaffungskosten der Anlage	1.455,6 TEUR
• Anschaffungskosten abzüglich Zuschuss	1.034,7 TEUR
• Gesamtmenge pro Jahr:	25.000 m ³
• durchschnittlicher Kapitalrückfluss pro m ³ :	10,00 EUR
• Kapitalrückfluss (vor Kapitalkosten) pro Jahr:	250 TEUR
• Kapitalkosten pro Jahr:	50,9 TEUR (1.455,6 TEUR x 3,5%)
• Kapitalrückfluss (nach Kapitalkosten) pro Jahr:	199,1 TEUR
• Amortisationszeit ohne Zuschuss:	7,3 Jahre
• Amortisationszeit mit Zuschuss	5,2 Jahre

Die Amortisationszeit von 7,3 Jahren – durch den Zuschuss aus dem Umweltinnovationsprogramm auf 5,2 Jahre reduziert – zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens gegeben ist. Neben den Umweltaspekten kann das Unternehmen somit auch einen Beitrag zu mehr Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens und zur Sicherung der Arbeitsplätze leisten.

Bei der Recyclinganlage handelt es sich um die erstmalige großtechnische Umsetzung der Aufbereitung von Bohrschlämmen zu recycelter Bohrspülung sowie Flüssigböden. Da dieses Verfahren völlig neu ist, existiert keine Referenzanlage, mit der ein wirtschaftlicher Vergleich möglich wäre.

4 Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Einführung der Aufbereitungstechnik stößt am Markt seitens der ausführenden Firmen bislang auf wenig Akzeptanz. In erster Linie sind die Kosten bei einer fachlich korrekten Aufbereitung der Abfälle höher, was gegenüber der weitgehend üblichen Praxis einer nicht fachgerechten Verbringung (d. h. einer Ausbringung auf landwirtschaftlichen Freiflächen) der Abfälle keinen Wettbewerb erzeugen kann. Die Tendenz am Markt zeichnet sich demzufolge so ab, dass HDD-Unternehmen in der Praxis nur dann auf einen genehmigten Verwertungs- bzw. Entsorgungsweg zurückgreifen, wenn dies explizit vom Auftraggeber in den Ausschreibungsunterlagen oder während der Ausführung gefordert oder kein anderer „Entsorgungsweg“ gefunden wird.

Betriebsintern wird der anfallende Schlamm konsequent der Aufbereitungsanlage zugeführt. Nach anfänglichen Schwierigkeiten in Sachen Akzeptanz bei den Mitarbeitern auf den Bohranlagen haben diese das neue System schnell erfasst. Allein durch die Tatsache, dass die Abwicklung der Baustelle immer abhängig von der Abfuhr des Bohrschlamms war und somit immer im richtigen Zeitpunkt ein Fahrzeug zur Abfuhr bereitstehen musste, kann die Baustelle nun vorab entsprechend der örtlichen Gegebenheiten ausgestattet werden.

Die Container, mit welchen der wesentliche Anteil der Logistik abgewickelt wird, können bereits mit einer aufbereiteten Spülung aus der Anlage Eichenberg befüllt werden und müssen

vor Ort nur noch auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt werden. Die zuletzt anfallende Restmenge wird dann entsprechend wieder in die Container gefüllt und die Baustelle kann beräumt werden. Bei entsprechender Arbeitsvorbereitung und unter nicht Betrachtung unvorhersehbarer Aspekte beim Vortrieb der Bohrung, kann somit eine Baustelle an einem Stück ohne Standzeiten abgewickelt werden.

4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit

Für Bohrunternehmen, sowohl im Bereich der Horizontal- als auch der Vertikalbohrtechnik, stand bislang keine zufriedenstellende Lösung zur Entsorgung der anfallenden Bohrschlämme zur Verfügung. Mit der Umsetzung dieses Entsorgungskonzepts sowie der Pilotanlage verfügt Max Wild erstmals über eine umfassende und nachhaltige Lösung für diese Problemstellung. Die unternehmenseigene Anlage wird im Rahmen einer Dienstleistung allen Bohrunternehmen in einem bestimmten Umkreis, insbesondere Süddeutschland, angeboten. Für weitere Regionen prüfen wir unterschiedliche Konzepte, um die Technologie einem breiten Kreis an möglichen Interessenten anzubieten.

Die Erfahrungen, die während der Projektumsetzung gewonnen werden konnten, flossen in eine weitere Entwicklung aus dem Haus Max Wild ein, den sogenannten HDD-Recycling-Lkw zur Vorort-Aufbereitung von gebrauchter Bohrspülung direkt auf der Baustelle. Dieser leistet die gesamte Aufbereitung des Abwassers im HDD-Verfahren und enthält dazu eine komplette Recyclinganlage: Ein Shaker für die Grobreinigung, eine Zentrifuge für die Feinreinigung, dazu ein Wassertank für die Prozessflüssigkeit und ein Schaltschrank für die Steuerung. Den Betriebsstrom und das nötige Wasser hat der Lkw direkt „an Bord“. Damit ist er für kleinere und mittlere Projekte mit einem Durchsatz bis 250 Liter pro Minute eine herausragend innovative Lösung. Weitere Informationen können der Unternehmenshomepage entnommen werden.

4.3 Veröffentlichungen und Presseaktivitäten

Die erstmalige großtechnische Umsetzung des innovativen dreistufigen Recyclingverfahrens von Bohrschlämmen mit seinen technisch und umweltpolitisch herausragenden neuen Möglichkeiten, wird durch unterschiedliche Kommunikationswege bei den Kunden von Max Wild platziert. Nachfolgend sind die zum Abschluss des Projekts angestrebten Kommunikationsmaßnahmen dargestellt.

- Direktansprache bzw. Vorstellung bei bestehenden Kunden und Zielkunden
- Information der Lokal- und Fachpresse über das innovative dreistufige Recyclingverfahren von Bohrschlämmen
- Informationen auf der Unternehmenshomepage⁴
- Besuch von Fachtagungen
- Platzierung von Artikeln in Fachzeitschriften sowie auf Internetseiten
- Vorstellung des innovativen und umweltrelevanten Verfahrens über das BMU auf dessen Internetseite und in dessen Publikationen

⁴ Vgl. z. B. <https://www.maxwild.com/leistungsbereiche/flachenrecycling/abfallentsorgung/>, https://www.maxwild.com/site/assets/files/1021/prospekt_bohrschlammrecycling.pdf, https://www.maxwild.com/site/assets/files/1830/prospekt_rc-lkw_ansicht.pdf, jeweils abgerufen am 28.07.2020.

5 Zusammenfassung/Summary

5.1 Zusammenfassung

Einleitung

Die Max Wild GmbH ist ein mittelständisch geprägtes Familienunternehmen mit Sitz in Berkeim in Baden-Württemberg mit ca. 600 Mitarbeitern. Den Umsatz von etwa 120 Mio. Euro erwirtschaftete das Unternehmen im Bau- bzw. baunahen Gewerbe mit innovativen technischen Lösungen im Sinne der Kunden sowie der ökologischen und sozialen Verantwortung. Der Bereich des Horizontalbohrens stellt eines der wichtigsten Geschäftsfelder im Unternehmen dar. Horizontalbohren wird insbesondere im Infrastrukturbau genutzt, wo häufig lange horizontale Wegstrecken unter der Erde überbrückt werden müssen. Dabei nutzt Max Wild das sogenannte Richtbohren, das auch als Horizontal Directional Drilling (HDD) bezeichnet wird. Um Hochleistungsbohrungen durchführen zu können, ist eine Bohrspülung vonnöten, eine Suspension aus Wasser (ca. 95 %), Bentonit, ein in der Natur vorkommendes Mineralsteingemisch sowie weitere Mineralien und Additive. Die Bohrspülung wird über den Bohrkopf in den Bohrkanal gepumpt und dient der Stabilisation des Bohrkanals und der optimierten Abführung des Erdreichs. Darüber hinaus entsteht durch den Einsatz einer Bohrspülung ein kühlender Effekt und der Reibungswiderstand am Bohrkopf wird reduziert. Bei größeren Bohrungen werden bis zu 40.000 l Bohrspülung verwendet. Die Bohrspülung wird während des Bohrvorgangs kontinuierlich aus dem Bohrkanal abgepumpt. Da sie dabei auch Bestandteile des Erdreichs enthält, sogenanntes Bohrklein, kann die verbrauchte Bohrspülung – die dann als Bohrschlamm bezeichnet wird – nicht wiederverwendet werden. Zudem können Bohrschlämme Rückstände von Stoffen wie Arsen, Quecksilber, polychlorierte Biphenyle (PCB), polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie Blei enthalten. Je nach Art und Menge der Rückstände lassen sich die Bohrschlämme in drei verschiedene Belastungsklassen (nicht, schwach und stark belastet) einordnen. Daher müssen die Bohrschlämme – insbesondere bei einer Schadstoffbelastung – aufwendig entsorgt werden, was ein zentrales Problem für die gesamte Branche darstellt.

Vorhabenumsetzung

Das Vorhaben wurde im Zeitraum vom 01.01.2017 bis zum 30.06.2020 durchgeführt. Zunächst erfolgten Konstruktionsarbeiten und Berechnungen zur exakten Auslegung der Anlage. Auf dieser Basis wurde ein Bauantrag ausgearbeitet. Die wesentliche Herausforderung bestand zunächst darin, das Wissen, das im Rahmen der Testanlage gewonnen wurde, auf die erstmalige großtechnische Umsetzung zu übertragen. Insbesondere in den Bereichen des Prozessflows und des Verschleißes waren umfangreiche Optimierungen notwendig. Nach Einreichung des Bauantrags im August 2017 wurde von der prüfenden Bauaufsichtsbehörde festgelegt, dass dieser aufgrund unvorhergesehener Risiken detailliert werden musste. Der Bauantrag musste infolgedessen neu erstellt und um Umweltgutachten, statische Berechnungen, Flächennutzungspläne etc. ergänzt werden, sodass sich die Genehmigung des Antrags und damit der Baubeginn verzögerte. Im Bereich Stahlbau wurden die Komponenten für das Handlingmodul gefertigt. Mit der Entwicklung der dafür notwendigen Steuerungs- und Regelungstechnik wurde begonnen. Die Genehmigung des Bauantrags verzögerte sich aufgrund eines ungeklärten Umgangs mit Kriechtieren weiter, sodass bis Mitte 2018 lediglich weitere Vorarbeiten durchgeführt werden konnten. Zudem wurden die Komponenten Shaker, Container, Zentrifuge und Flockstation geliefert. Der Schaltschrankbau wurde begonnen, ebenso wie die Programmierung der Steuerungstechnik. Im Oktober 2018 konnten die Baumaßnahmen

begonnen werden. Diese gestalteten sich jedoch aufgrund der örtlichen geografischen Gegebenheiten aufwendiger als erwartet, was zu höheren Baukosten führte. Der Stahlbau konnte nahezu abgeschlossen werden, ebenso der Schaltschrankbau und die Programmierung der Steuerungstechnik. Weiterhin wurden erste Laborversuche gemäß des mit dem Umweltbundesamt abgestimmten Messprogramms durchgeführt. Mit der Inbetriebnahme der Anlage wurde im August 2019 begonnen und erste Versuche wurden durchgeführt. Nachdem die Anlage bis Ende 2019 in einen stabilen Prozess überführt werden konnte, erfolgte in enger Absprache mit dem Umweltbundesamt die Durchführung eines Messprogramms, das zum 30.07.2020 abgeschlossen wurde.

Ergebnisse

Die Durchführung des Vorhabens ist insgesamt als positiv und erfolgreich zu bewerten. Die Konzeptionierung, der Bau und die Inbetriebnahme der Recyclinganlage war mit einem immensen Knowhow-Zuwachs für das Unternehmen verbunden und trägt zu einer gestärkten Wettbewerbsposition bei. In enger Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt konnte Max Wild die Erarbeitung neuer Richtlinien maßgeblich begleiten und das Knowhow zielführend einbringen. Der ursprüngliche Zeitplan konnte leider nicht gehalten werden, die Fertigstellung und Inbetriebnahme der Recyclinganlage fand anstatt im zweiten Quartal 2018 im dritten Quartal 2019 statt. Dies wurde, wie bereits an anderer Stelle dieses Abschlussberichts dargestellt, unter anderem durch eine verzögerte Baugenehmigung, nicht verfügbare Handwerker und Lieferschwierigkeiten der Anlagen- und Maschinenkomponenten verursacht. Der Abschluss des begleitenden Messprogramms verzögerte sich dann aufgrund der Witterungssituation am Standort im Januar und Februar 2020 sowie der wenig später beginnenden Covid-19-Pandemie. Das Vorhaben konnte trotz dieser Herausforderungen erfolgreich umgesetzt werden, nicht zuletzt aufgrund eines umsichtigen Projektmanagements und der starken Finanzkraft des Unternehmens. Die sich mittlerweile im Serienbetrieb befindliche Anlage ermöglicht es nun, die erhofften Umwelteffekte zu realisieren und einen Beitrag zur bisher bestehenden Entsorgungsproblematik von Bohrschlämmen zu leisten. Bezüglich des Einsparungspotentials an Wasser, THG-Emissionen und Deponieraum gehen wir derzeit von einer Quote bis 90% aus. Zum einen durch die Reduzierung der anfallenden Abfallmenge vor Ort und zum anderen durch die Optimierung der Frachten (voll-voll) durch die Lieferung recycelter Bohrspülung von der stationären Anlage auf die Baustelle. Vor allem aber wird das Einsparungspotential aber bei der Deponierung maßgeblich. Durch die Entwässerung und Aufbereitung von Bohrschlämmen über eine stationäre Anlage (als der Deponierung vorgelagerter Arbeitsgang) wird wertvolles Deponievolumen eingespart, da nahezu die gesamte Flüssige Phase aus dem Schlamm entnommen wird und diese nicht durch die Zugabe von Bindemittel chemisch gebunden wird.

Ausblick

Die Einführung der Aufbereitungstechnik stößt am Markt seitens der ausführenden Firmen bislang auf wenig Akzeptanz. In erster Linie sind die Kosten bei einer fachlich korrekten Aufbereitung der Abfälle höher, was gegenüber der weitgehend üblichen Praxis einer nicht fachgerechten Verbringung (d. h. einer Ausbringung auf landwirtschaftlichen Freiflächen) der Abfälle keine Konkurrenz erzeugen kann. Die Tendenz am Markt zeichnet sich demzufolge so ab, dass HDD-Unternehmen in der Praxis nur dann auf einen genehmigten Verwertungs-/Entsorgungsweg zurückgreifen, wenn dies explizit vom gefordert oder kein anderer „Entsorgungsweg“ gefunden wird. Es bleibt abzuwarten, ob hier zukünftig eine Veränderung eintritt.

Die Erfahrungen, die während der Projektumsetzung gewonnen werden konnten, flossen in eine weitere Innovation aus dem Haus Max Wild ein, den sogenannten HDD-Recycling-Lkw zur Vorort-Aufbereitung von gebrauchter Bohrspülung direkt auf der Baustelle. Dieser leistet die gesamte Aufbereitung des Abwassers im HDD-Verfahren und enthält dazu eine komplette Recyclinganlage: Ein Shaker für die Grobreinigung, eine Zentrifuge für die Feinreinigung, dazu ein Wassertank für die Prozessflüssigkeit und ein Schaltschrank für die Steuerung. Den Betriebsstrom und das nötige Wasser hat der Lkw direkt „an Bord“. Damit ist er für kleinere und mittlere Projekte mit einem Durchsatz bis 250 Liter pro Minute eine herausragend innovative Lösung.

5.2 Summary

Introduction

Max Wild GmbH is a medium-sized, family-owned company based in Berkheim in Baden-Württemberg with around 600 employees. The company generates sales of about 120 million euros in the construction and construction-related industries with innovative technical solutions in the interests of customers and ecological and social responsibility. Horizontal drilling is one of the company's most important business areas. Horizontal drilling is used in infrastructure construction, where long horizontal distances below ground often have to be bridged. Max Wild uses directional drilling, also known as horizontal directional drilling (HDD). High-performance drilling requires a drilling fluid, a suspension of water (approx. 95 %), bentonite, a mixture of minerals found in the natural environment, and other minerals and additives. The drilling fluid is pumped into the bore channel via the drill head and serves to stabilize the bore channel and optimize the removal of the soil. In addition, the use of drilling fluid creates a cooling effect and reduces the frictional resistance at the drill head. For larger boreholes, up to 40,000 l of drilling fluid are used. The drilling fluid is continuously pumped out of the drilling channel during the drilling process. Since it also contains components of the soil in the process, so-called cuttings, the used drilling fluid - which is then referred to as drilling mud - cannot be reused. In addition, drilling muds can contain residues of substances such as arsenic, mercury, polychlorinated biphenyls (PCBs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and lead. Depending on the type and amount of residues, drilling muds can be classified into three different contamination classes (not contaminated, weakly contaminated and heavily contaminated). Therefore, the drilling muds must be disposed of in a costly manner, especially if contaminated, which is a central problem for the entire industry.

Project Implementation

The project was carried out in the period from 01.01.2017 to 30.06.2020. First, design work and calculations for the exact layout of the plant were carried out. On this basis, a building application was prepared. The main challenge was to transfer the knowledge gained from the test plant to the first industrial-scale implementation. Extensive optimization was necessary, particularly in the areas of process flow and wear. After submission of the building application in August 2017, it was determined by the examining building supervisory authority that it had to be detailed due to unforeseen risks. As a result, the building application had to be redrafted and supplemented with environmental reports, static calculations, land use plans, etc., so that the approval of the application and thus the start of construction was delayed. In the steel construction area, the components for the handling module were manufactured. Development of the necessary control and regulation technology was started. Approval of the building application was further delayed due to an unresolved issue with creepy-crawlies, so that only

further preliminary work could be carried out by mid-2018. In addition, the components shaker, container, centrifuge and flock station were delivered. The control cabinet construction was started, as was the programming of the control technology. In October 2018, the construction measures could be started. However, due to the local geographic conditions, these turned out to be more complex than expected, which led to higher construction costs. The steel construction was almost completed, as were the switch cabinet construction and the programming of the control technology. Furthermore, initial laboratory tests were carried out in accordance with the measurement program agreed with the Federal Environment Agency. Commissioning of the plant began in August 2019 and initial tests were carried out. After the plant could be transferred to a stable process by the end of 2019, a measurement program was carried out in close consultation with the Federal Environmental Agency, which was completed by July 30, 2020.

Project results

Overall, the implementation of the project can be rated as positive and successful. The conception, construction and commissioning of the recycling plant was associated with an immense increase in know-how for the company and contributes to a strengthened competitive position. In close cooperation with the Federal Environment Agency, Max Wild was able to play a decisive role in the development of new guidelines and to contribute its know-how in a targeted manner. Unfortunately, the original schedule could not be kept, the completion and commissioning of the recycling plant took place in the third quarter of 2019 instead of the second quarter of 2018. As already described elsewhere in this final report, this was caused, among other things, by a delayed building permit, unavailable tradesmen and delivery difficulties for the plant and machine components. Completion of the accompanying measurement program was then delayed due to the weather situation at the site in January and February 2020, as well as the Covid 19 pandemic that began shortly thereafter. Despite these challenges, the project was successfully implemented, not least due to prudent project management and the company's strong financial position. The plant, which is now in series operation, makes it possible to realize the hoped-for environmental effects and to contribute to the existing disposal problem of drilling muds. Regarding the potential savings in water, GHG emissions and landfill space, we currently assume a rate of up to 90%. On the one hand, by reducing the amount of waste generated on site and, on the other hand, by optimizing the freight (full) by delivering recycled drilling mud from the stationary plant to the construction site. Most importantly, however, the savings potential becomes significant at the landfill stage. By dewatering and processing drilling muds via a stationary plant (as an upstream operation to landfilling), valuable landfill volume is saved, since almost the entire liquid phase is removed from the mud, and this is not chemically bound by the addition of binding agents.

Outlook

The introduction of this treatment technology has so far met with little acceptance on the part of the companies carrying out the work. First and foremost, the costs are higher for a professionally correct treatment of the waste, which cannot create any competition compared to the largely common practice of a non-professional spreading (i.e., a spreading on agricultural open spaces) of the waste. The tendency on the market is therefore that HDD companies in practice only resort to an approved recovery/disposal route if this is explicitly demanded by the customer or if no other "disposal route" can be found. It remains to be seen whether this will change in the future.

The experience gained during the implementation of the project was incorporated into another industry innovation from Max Wild, the so-called HDD recycling truck for on-site processing of used drilling fluid directly on the construction site. This truck carries out the entire treatment of the wastewater in the HDD process and contains a complete recycling system: a shaker for coarse cleaning, a centrifuge for fine cleaning, a water tank for the process liquid and a control cabinet for the control system. The truck has the operating power and the necessary water directly "on board". This makes it an outstandingly innovative solution for small and medium-sized projects with a throughput of up to 250 liters per minute.

6 Literatur

Der vorliegenden Abschlussbericht wurde auf Basis eigener Daten und Aufzeichnungen erstellt. Externe Quellen wurden nicht herangezogen.

7 Anhang

7.1 Messprogramm

In der beiliegenden Auswertung der Messergebnisse auf den nachfolgenden Seiten sind die Zuordnungen wie folgt eingefärbt.

	Zuordnungswerte Z0 eingehalten
	Zuordnungswerte Z1.1 eingehalten
	Zuordnungswerte Z1.2 eingehalten
	Zuordnungswerte Z2 eingehalten
	Zuordnungswerte Z2 überschritten

Anfallstelle	Probenart	Zuordnungswerte für Eluat und Feststoff gem. LAGA M20 1997				89073 Ulm, Eberhardstraße			82377 Penzberg, Unterried 9			87653 Eggental-Romatsried			89073 Ulm, Eberhardstraße BA II		
						Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm
						203/7877	203/7878	203/7876	203/7883	203/7884	203/7862	203/7880	203/7881	203/7879	203/7930	203/7931	203/7929
Analyse-/ Prüfberichtsnummer						Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA
Analyseparameter						12.11.2019			13.11.2019			13.11.2019			19.11.2019		
Entnahmedatum		Z0	Z1.1	Z1.2	Z2												
Baustellennummer						1			2			3			4		
Trockensubstanz	%	-	-	-	-	-	-	48,2	-	-	75,8	-	-	10,3	-	-	12,8
Arsen	[mg/kg TS]	20	30	50	150	-	-	4,0	-	-	4,3	-	-	8,0	-	-	7,4
Blei	[mg/kg TS]	100	200	300	1000	-	-	9,8	-	-	7,7	-	-	10,0	-	-	14,0
Cadmium	[mg/kg TS]	0,6	1	3	10	-	-	0,18	-	-	0,15	-	-	0,25	-	-	0,20
Chrom (gesamt)	[mg/kg TS]	50	100	200	600	-	-	17	-	-	35	-	-	33	-	-	24
Kupfer	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	-	13,0	-	-	14,0	-	-	24,0	-	-	19,0
Nickel	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	-	14	-	-	20	-	-	23	-	-	19
Quecksilber	[mg/kg TS]	0,3	1	3	10	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	0,07	-	-	0,09
Thalium	[mg/kg TS]	0,5	1	3	10	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4
Zink	[mg/kg TS]	120	300	500	1500	-	-	36	-	-	42	-	-	56	-	-	48
Aufschluss mit Königswasser																	
EOX	[mg/kg TS]	1	3	10	15	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5
MKW (C10-C22)	[mg/kg TS]					-	-	< 30	-	-	30	-	-	< 30	-	-	< 30
MKW (C10-C40)	[mg/kg TS]	100	300	500	1000	-	-	< 50	-	-	< 50	-	-	< 50	-	-	60
Cyanid (gesamt)	[mg/kg TS]	1	10	30	100	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25
PCB gesamt (DIN)	[mg/kg TS]	0,02	0,1	0,5	1	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.
BTXE Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.
LHKW Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.
Σ PAK (EPA Liste)	[mg/kg TS]	1	5	15	20	-	-	0,53	-	-	0,50	-	-	0,08	-	-	n.n.
Benzo(a)pyren	[mg/kg TS]		< 0,5	< 1		-	-	0,06	-	-	0,11	-	-	< 0,04	-	-	< 0,04
Zuordnungswerte Eluat																	
pH-Wert	[-]	6,5 - 9	6,5 - 9	6 - 12	5,5 - 12	7,44	8,26	8,61	7,82	8,57	8,26	7,52	8,79	8,81	7,90	8,42	8,47
elektrische Leitfähigkeit	[µS/cm]	500	500	1000	1500	492	1005	118	653	1296	76	662	1324	691	504	1225	612
Arsen	[µg/l]	10	10	40	60	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Blei	[µg/l]	20	40	100	200	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cadmium	[µg/l]	2	2	5	10	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Chrom (gesamt)	[µg/l]	15	30	75	150	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	7,00	7,00	
Kupfer	[µg/l]	50	50	150	300	12,00	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	23,00	< 5	< 5
Nickel	[µg/l]	40	50	150	200	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	6	< 5	< 5
Thalium	[µg/l]	< 1	1	3	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Quecksilber	[µg/l]	0,2	0,2	1	2	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Zink	[µg/l]	100	100	300	600	27	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	11	412	16	24
Phenolindex	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Cyanid	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Chlorid	[mg/l]	10	10	20	30	21	43	7	21	32	< 2	5	14	7	18	31	15
Sulfat	[mg/l]	50	50	100	150	14	105	9	28	155	6	6	183	86	11	92	65
Einstufung nach LAGA M20 1997																	
Erläuterungen:																	
n.n.	nicht nachgewiesen/unterhalb Nachweisgrenze																
< 50	kleiner als technische Nachweisgrenze von ...																
--	keine Analyse / kein Grenz- oder Orientierungswert																

Anfallstelle	Probenart	Zuordnungswerte für Eluat und Feststoff gem. LAGA M20 1997				76744 Wörth-Jockgrim			70329 Stuttgart-Rohracker			86863 Langenneufnach, Schwabmünchner Str.			89281 Altenstadt-Untereichen Mühlbachstraße 5			
		Analyse-/Prüfberichtsnummer	Z0	Z1.1	Z1.2	Z2	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm
							203/7927	203/7928	203/7926	203/7971	203/7970	203/7969	203/7974	203/7973	203/7972	203/7968	203/7967	203/7967
Analyselparameter																		
Entnahmedatum						20.11.2019			29.11.2019			29.11.2019			29.11.2019			
Baustellennummer						5			6			7			8			
Trockensubstanz	%	-	-	-	-	-	-	47,6	-	-	32	-	-	19,3	-	-	-	9,5
Arsen	[mg/kg TS]	20	30	50	150	-	-	4,0	-	-	2,8	-	-	9,9	-	-	-	5,4
Blei	[mg/kg TS]	100	200	300	1000	-	-	4,8	-	-	6,5	-	-	7,5	-	-	-	7,2
Cadmium	[mg/kg TS]	0,6	1	3	10	-	-	0,08	-	-	0,05	-	-	0,22	-	-	-	0,14
Chrom (gesamt)	[mg/kg TS]	50	100	200	600	-	-	16	-	-	20	-	-	20	-	-	-	13
Kupfer	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	-	6,5	-	-	5,8	-	-	12,0	-	-	-	13,0
Nickel	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	-	11	-	-	10	-	-	14	-	-	-	12
Quecksilber	[mg/kg TS]	0,3	1	3	10	-	-	0,02	-	-	0,03	-	-	0,06	-	-	-	0,07
Thalium	[mg/kg TS]	0,5	1	3	10	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	-	< 0,4
Zink	[mg/kg TS]	120	300	500	1500	-	-	20	-	-	44	-	-	38	-	-	-	30
Aufschluss mit Königswasser																		
EOX	[mg/kg TS]	1	3	10	15	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	-	< 0,5
MKW (C10-C22)	[mg/kg TS]					-	-	< 30	-	-	< 30	-	-	< 30	-	-	-	< 30
MKW (C10-C40)	[mg/kg TS]	100	300	500	1000	-	-	< 50	-	-	< 50	-	-	< 50	-	-	-	< 50
Cyanid (gesamt)	[mg/kg TS]	1	10	30	100	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	-	< 0,25
PCB gesamt (DIN)	[mg/kg TS]	0,02	0,1	0,5	1	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	-	n.n.
BTXE Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	-	n.n.
LHKW Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	-	n.n.
Σ PAK (EPA Liste)	[mg/kg TS]	1	5	15	20	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	0,16	-	-	-	1,90
Benzo(a)pyren	[mg/kg TS]		< 0,5	< 1		-	-	< 0,04	-	-	< 0,04	-	-	< 0,04	-	-	-	0,19
Zuordnungswerte Eluat																		
pH-Wert	[]	6,5 - 9	6,5 - 9	6 - 12	5,5 - 12	7,27	9,58	8,83	7,94	9,20	8,87	7,81	8,79	8,45	7,82	9,00	9,18	
elektrische Leitfähigkeit	[µS/cm]	500	500	1000	1500	685	1297	174	349	1262	190	442	766	320	492	943	719	
Arsen	[µg/l]	10	10	40	60	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	4,00	7,00	< 4	4,00	5,00	
Blei	[µg/l]	20	40	100	200	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Cadmium	[µg/l]	2	2	5	10	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	
Chrom (gesamt)	[µg/l]	15	30	75	150	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Kupfer	[µg/l]	50	50	150	300	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Nickel	[µg/l]	40	50	150	200	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Thallium	[µg/l]	< 1	1	3	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Quecksilber	[µg/l]	0,2	0,2	1	2	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	
Zink	[µg/l]	100	100	300	600	1163	18	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	17	< 10	12	< 10	< 10	
Phenolindex	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Cyanid	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Chlorid	[mg/l]	10	10	20	30	23	17	2	8	46	5	2	7	2	17	20	15	
Sulfat	[mg/l]	50	50	100	150	20	173	26	37	200	21	8	99	28	12	138	75	
Einstufung nach LAGA M20 1997																		
Erläuterungen:																		
n.n.	nicht nachgewiesen/unterhalb Nachweisgrenze																	
< 50	kleiner als technische Nachweisgrenze von ...																	
—	keine Analyse / kein Grenz- oder Orientierungswert																	

Anfallstelle	Probenart	Zuordnungswerte für Eluat und Feststoff gem. LAGA M20 1997				89195 Staig-Essendorf			88145 Opfenbach-Göritz			76767 Hagenbach Pfalz			86564 Brunnen			
		Analyse-/Prüfberichtsnummer	Z0	Z1.1	Z1.2	Z2	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm
							203/7990	203/7989	203/7988	203/8035	203/8034	203/8033	203/8092	203/8091	203/8090	203/8590	203/8589	203/8588
Analyseparameter						Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	
Entnahmedatum						12.11.2019			10.12.2019			12.11.2019			18.03.2020			
Baustellennummer						9			10			11			12			
Trockensubstanz	%	-	-	-	-	-	-	56	-	-	12,9	-	-	0,7	-	-	7,9	
Arsen	[mg/kg TS]	20	30	50	150	-	-	7,1	-	-	6,0	-	-	8,9	-	-	11,0	
Blei	[mg/kg TS]	100	200	300	1000	-	-	8,50	-	-	11,0	-	-	13,0	-	-	6,8	
Cadmium	[mg/kg TS]	0,6	1	3	10	-	-	0,15	-	-	0,25	-	-	0,20	-	-	0,22	
Chrom (gesamt)	[mg/kg TS]	50	100	200	600	-	-	40	-	-	26	-	-	22	-	-	43	
Kupfer	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	-	17,0	-	-	26,0	-	-	21,0	-	-	12,0	
Nickel	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	-	29	-	-	24	-	-	14	-	-	14	
Quecksilber	[mg/kg TS]	0,3	1	3	10	-	-	0,05	-	-	0,06	-	-	0,10	-	-	0,05	
Thalium	[mg/kg TS]	0,5	1	3	10	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	
Zink	[mg/kg TS]	120	300	500	1500	-	-	42	-	-	62	-	-	63	-	-	34	
Aufschluss mit Königswasser																		
EOX	[mg/kg TS]	1	3	10	15	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	
MKW (C10-C22)	[mg/kg TS]					-	-	< 30	-	-	30	-	-	60	-	-	70	
MKW (C10-C40)	[mg/kg TS]	100	300	500	1000	-	-	< 50	-	-	< 50	-	-	110	-	-	130	
Cyanid (gesamt)	[mg/kg TS]	1	10	30	100	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	
PCB gesamt (DIN)	[mg/kg TS]	0,02	0,1	0,5	1	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	
BTXE Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	-	n.n.	-	-	0,20	-	-	n.n.	-	-	0,25	
LHKW Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	
Σ PAK (EPA Liste)	[mg/kg TS]	1	5	15	20	-	-	0,14	-	-	0,34	-	-	n.n.	-	-	0,36	
Benzo(a)pyren	[mg/kg TS]		< 0,5	< 1		-	-	0,04	-	-	0,07	-	-	< 0,04	-	-	< 0,04	
Zuordnungswerte Eluat																		
pH-Wert	[]	6,5 - 9	6,5 - 9	6 - 12	5,5 - 12	7,79	7,93	7,79	7,80	7,75	7,84	7,77	8,93	7,72	8,17	9,34	9,60	
elektrische Leitfähigkeit	[µS/cm]	500	500	1000	1500	804	863	127	580	781	335	609	1670	1352	440	1267	928	
Arsen	[µg/l]	10	10	40	60	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	5,00	< 4	< 4	7,00	6,00	
Blei	[µg/l]	20	40	100	200	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Cadmium	[µg/l]	2	2	5	10	< 0,2	< 0,2	0,20	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	
Chrom (gesamt)	[µg/l]	15	30	75	150	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Kupfer	[µg/l]	50	50	150	300	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Nickel	[µg/l]	40	50	150	200	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Thallium	[µg/l]	< 1	1	3	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Quecksilber	[µg/l]	0,2	0,2	1	2	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	
Zink	[µg/l]	100	100	300	600	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	24	< 10	< 10	
Phenolindex	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	12,00	< 10	< 10	< 10	
Cyanid	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Chlorid	[mg/l]	10	10	20	30	30	49	< 2	9	10	3	13	24	22	5	11	6	
Sulfat	[mg/l]	50	50	100	150	42	81	7	6	48	13	61	296	203	14	252	133	
Einstufung nach LAGA M20 1997																		
Erläuterungen:																		
n.n. nicht nachgewiesen/unterhalb Nachweisgrenze																		
< 50 kleiner als technische Nachweisgrenze von ...																		
— keine Analyse / kein Grenz- oder Orientierungswert																		

Anfallstelle	Probenart	Zuordnungswerte für Eluat und Feststoff gem. LAGA M20 1997				91207 Lauf an der Pegnitz OT Weigenhofen			87764 Legau			83623 Dietramszell Erneuerung Isardücker			89165 Dietersheim			
		Analyse-/Prüfberichtsnummer	Z0	Z1.1	Z1.2	Z2	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm
							203/8634	203/8633	203/8632	203/8653	203/8652	203/8651	203/8650	203/8649	203/8648	203/8656	203/8655	203/8654
Analyselparameter						Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	
Entnahmedatum		26.03.2020			01.04.2020			01.04.2020			01.04.2020							
Baustellnummer		13			14			15			16							
Trockensubstanz	%	-	-	-	-	-	-	15,3	-	-	13,7	-	-	15,1	-	-	2,9	
Arsen	[mg/kg TS]	20	30	50	150	-	-	21,0	-	-	11,0	-	-	10,0	-	-	9,3	
Blei	[mg/kg TS]	100	200	300	1000	-	-	86,0	-	-	50,0	-	-	13,0	-	-	10,0	
Cadmium	[mg/kg TS]	0,6	1	3	10	-	-	1,30	-	-	0,62	-	-	0,30	-	-	0,20	
Chrom (gesamt)	[mg/kg TS]	50	100	200	600	-	-	55	-	-	28	-	-	23	-	-	20	
Kupfer	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	-	31,0	-	-	40,0	-	-	25,0	-	-	28,0	
Nickel	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	-	45	-	-	26	-	-	22	-	-	14	
Quecksilber	[mg/kg TS]	0,3	1	3	10	-	-	0,06	-	-	0,19	-	-	0,07	-	-	0,10	
Thalium	[mg/kg TS]	0,5	1	3	10	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	
Zink	[mg/kg TS]	120	300	500	1500	-	-	466	-	-	208	-	-	59	-	-	48	
Aufschluss mit Königswasser																		
EOX	[mg/kg TS]	1	3	10	15	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	
MKW (C10-C22)	[mg/kg TS]					-	-	80	-	-	30	-	-	< 30	-	-	40	
MKW (C10-C40)	[mg/kg TS]	100	300	500	1000	-	-	140	-	-	50	-	-	< 50	-	-	60	
Cyanid (gesamt)	[mg/kg TS]	1	10	30	100	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	
PCB gesamt (DIN)	[mg/kg TS]	0,02	0,1	0,5	1	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	
BTXE Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	0,20	
LHKW Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	
Σ PAK (EPA Liste)	[mg/kg TS]	1	5	15	20	-	-	0,07	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	0,77	
Benzo(a)pyren	[mg/kg TS]		< 0,5	< 1		-	-	< 0,04	-	-	< 0,04	-	-	< 0,04	-	-	0,07	
Zuordnungswerte Eluat																		
pH-Wert	[]	6,5 - 9	6,5 - 9	6 - 12	5,5 - 12	7,55	7,87	8,85	7,31	7,35	7,99	7,46	9,18	9,40	7,47	8,10	9,25	
elektrische Leitfähigkeit	[µS/cm]	500	500	1000	1500	648	827	503	579	673	547	706	1833	522	534	1738	3202	
Arsen	[µg/l]	10	10	40	60	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	27,00	4,00	< 4	< 4	10,00	
Blei	[µg/l]	20	40	100	200	< 5	< 5	7,00	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Cadmium	[µg/l]	2	2	5	10	< 0,2	< 0,2	0,80	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,30	< 0,2	
Chrom (gesamt)	[µg/l]	15	30	75	150	< 5	< 5	10,00	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Kupfer	[µg/l]	50	50	150	300	< 5	< 5	< 5	12,00	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	6,00	< 5	< 5	
Nickel	[µg/l]	40	50	150	200	< 5	< 5	< 5	42	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Thalium	[µg/l]	< 1	1	3	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Quecksilber	[µg/l]	0,2	0,2	1	2	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	
Zink	[µg/l]	100	100	300	600	29	< 10	46	146	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	37	< 10	19	
Phenolindex	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Cyanid	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	
Chlorid	[mg/l]	10	10	20	30	17	27	14	7	8	12	17	25	7	7	18	29	
Sulfat	[mg/l]	50	50	100	150	12	79	59	< 5	28	20	40	222	45	5	330	509	
Einstufung nach LAGA M20 1997																		
Erläuterungen:																		
n.n.	nicht nachgewiesen/unterhalb Nachweisgrenze																	
< 50	kleiner als technische Nachweisgrenze von ...																	
—	keine Analyse / kein Grenz- oder Orientierungswert																	

Anfallstelle	Probenart	Analysen-/ Prüfberichtsnummer	Entnahmedatum	Baustellennummer	Zuordnungswerte für Eluat und Feststoff gem. LAGA M20 1997				67125 Dannstadt-Schauernheim Falkenweg - Thüga			67125 Dannstadt-Schauernheim Falkenweg - Pfalzwerke			87734 Benningen			87730 Bad Grönenbach			87509 Immenstadt				
					Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm	Wasser	Suspension	Bohrschlamm
					203/8669	203/8668	203/8667	203/8672	203/8671	203/8670	203/8772	203/8771	203/8770	203/8769	203/8768	203/8767	203/8845	203/8844	203/8843						
					Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA	Eluat LAGA	Eluat LAGA	LAGA
	Z0	Z1.1	Z1.2	Z2	03.04.2020			03.04.2020			21.04.2020			21.04.2020			29.04.2020								
					17			18			19			20			21								
Trockensubstanz	%	-	-	-	-	-	6,2	-	-	9,5	-	-	30,3	-	-	2,2	-	-	8,6						
Arsen	[mg/kg TS]	20	30	50	150	-	10,0	-	-	9,5	-	-	3,9	-	-	11,0	-	-	4,7						
Blei	[mg/kg TS]	100	200	300	1000	-	17,0	-	-	16,0	-	-	5,5	-	-	14,0	-	-	5,8						
Cadmium	[mg/kg TS]	0,6	1	3	10	-	-	-	-	0,12	-	-	0,10	-	-	0,27	-	-	0,18						
Chrom (gesamt)	[mg/kg TS]	50	100	200	600	-	56	-	-	51	-	-	17	-	-	42	-	-	11						
Kupfer	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	27,0	-	-	24,0	-	-	12,0	-	-	25,0	-	-	21,0						
Nickel	[mg/kg TS]	40	100	200	600	-	30	-	-	28	-	-	11	-	-	24	-	-	11						
Quecksilber	[mg/kg TS]	0,3	1	3	10	-	0,08	-	-	0,02	-	-	0,03	-	-	0,13	-	-	0,04						
Thalium	[mg/kg TS]	0,5	1	3	10	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4	-	-	< 0,4						
Zink	[mg/kg TS]	120	300	500	1500	-	83	-	-	74	-	-	28	-	-	62	-	-	30						
Aufschluss mit Königswasser																									
EOX	[mg/kg TS]	1	3	10	15	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5	-	-	< 0,5						
MKW (C10-C22)	[mg/kg TS]					-	170	-	-	80	-	-	30	-	-	180	-	-	< 30						
MKW (C10-C40)	[mg/kg TS]	100	300	500	1000	-	230	-	-	110	-	-	50	-	-	180	-	-	< 50						
Cyanid (gesamt)	[mg/kg TS]	1	10	30	100	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	< 0,25	-	-	0,35	-	-	< 0,25						
PCB gesamt (DIN)	[mg/kg TS]	0,02	0,1	0,5	1	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.						
BTXE Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	0,14	-	-	n.n.	-	-	0,05	-	-	1,90	-	-	n.n.						
LHKW Gesamt	[mg/kg TS]	< 1	1	3	5	-	n.n.	-	-	0,01	-	-	n.n.	-	-	n.n.	-	-	n.n.						
Σ PAK (EPA Liste)	[mg/kg TS]	1	5	15	20	-	0,15	-	-	0,13	-	-	0,09	-	-	0,46	-	-	1,40						
Benzo(a)pyren	[mg/kg TS]		< 0,5	< 1		-	< 0,04	-	-	< 0,04	-	-	< 0,04	-	-	0,04	-	-	0,08						
Zuordnungswerte Eluat																									
pH-Wert	[-]	6,5 - 9	6,5 - 9	6 - 12	5,5 - 12	7,28	8,51	9,02	7,71	8,51	8,95	7,70	8,44	8,81	7,74	8,47	8,56	7,76	9,10	8,93					
elektrische Leitfähigkeit	[µS/cm]	500	500	1000	1500	336	962	1075	341	974	693	776	1411	248	707	1362	1678	305	1427	1623					
Arsen	[µg/l]	10	10	40	60	< 4	5,00	8,00	< 4	5,00	4,00	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	6,00	< 4					
Blei	[µg/l]	20	40	100	200	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	12,00	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5					
Cadmium	[µg/l]	2	2	5	10	< 0,2	< 0,2	0,60	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,40	< 0,2	< 0,2	< 0,2					
Chrom (gesamt)	[µg/l]	15	30	75	150	< 5	< 5	19,00	< 5	< 5	10,00	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5					
Kupfer	[µg/l]	50	50	150	300	< 5	< 5	5,00	6,00	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	7,00	< 5	< 5					
Nickel	[µg/l]	40	50	150	200	< 5	< 5	8	< 5	< 5	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5					
Thalium	[µg/l]	< 1	1	3	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1					
Quecksilber	[µg/l]	0,2	0,2	1	2	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15					
Zink	[µg/l]	100	100	300	600	14	< 10	46	23	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	59	13	< 10	11	33	10					
Phenolindex	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10					
Cyanid	[µg/l]	< 10	10	50	100	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5					
Chlorid	[mg/l]	10	10	20	30	6	14	15	7	16	10	27	36	5	17	25	42	< 2	7	10					
Sulfat	[mg/l]	50	50	100	150	< 5	129	148	< 5	150	98	7	188	25	7	175	183	< 5	213	269					
Einstufung nach LAGA M20 1997																									
Erläuterungen:																									
n.n.																									
< 50																									
