

Reduktion von Spurenstoffen Lützelburg, Murg, Thur

Technischer Bericht

HUNZIKERBETATECH

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum

Projektname: Konzept für die Reduktion des Eintrags von Spurenstoffen in Lützelburg, Murg, Thur
Auftraggeber: Amt für Umwelt Thurgau, Abteilung Abwasser und Anlagensicherheit
Ausgabe: August 2014
Autor: Hunziker Betatech AG
Wittenwilerstrasse 6
8355 Aadorf
Tel. 052 368 07 70
E-Mail: info@hunziker-betatech.ch
Vinitha Pazhepurackel
Reto Manser
Koreferat: Ruedi Moser
in Zusammenarbeit mit dem Amt für Umwelt Thurgau, Frauenfeld

Datei: Q:\Projekte\7000-\7000-\7038.10 AfU Thurgau, Konzept\290 Berichte (490)\7038.10 Konzept Reduktion MV\7038.10-V5 Konzept Reduktion MV.docx

Inhaltsverzeichnis

0	Zusammenfassung	3
1	Ausgangslage	4
1.1	Massnahmen gegen Spurenstoffe in der Schweiz	4
1.2	Einzugsgebiete der Murg und Lützelmurg	4
2	Ziele	5
3	Vorgehen	6
4	Resultate	7
4.1	Kriterien BAFU	7
4.2	Aktuelle Situation der ARA	9
4.3	Massnahmen gegen Spurenstoffe	12
4.4	Darstellung Nutzen der Massnahmen anhand Modellrechnungen	18
4.5	Messungen	22
5	Diskussion	25
5.1	Sensitivitätsbetrachtungen und offene Fragen	25
5.2	Fazit	25
6	Ausblick	27
7	Datengrundlagen und Literatur	28
8	Beilagen	29
1.	Pläne der ARA für den Platzbedarf der Ozonung mit bioaktiver Stufe und dem Ulmer-Verfahren	
2.	Berechnungsgrundlagen für den Platzbedarf und die Kosten	
3.	Resultate Messkampagne	

0 Zusammenfassung

Mit der **geplanten Revision des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung** wird neu die Elimination von Spurenstoffen bzw. Mikroverunreinigungen (EMV) bei rund 100 Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in der Schweiz gefordert. Als Kriterien für einen Ausbau gelten im Wesentlichen die Grösse der ARA sowie das Verdünnungsverhältnis des gereinigten Abwassers im Gewässer (Abwasseranteil). Da die Gesetzesänderungen beim Abschluss dieses Berichtes noch nicht in Kraft sind, gelten alle Aussagen unter dem Vorbehalt der definitiven Inkraftsetzung der neuen Regelungen (voraussichtlich 2016).

Ziel der vorliegenden Studie ist es, ein Konzept für das Einzugsgebiet der Lützelmurg, Murg und Thur zu erarbeiten. Betroffen sind die ARA Aadorf (an der Lützelmurg), Münchwilen, Matzingen und Frauenfeld (alle an der Murg). Mittels Bestandesaufnahmen bei den ARA, Berechnung des Abwasseranteils (Prognose 2030), Modellierung der Situation bei der ARA Frauenfeld sowie Messungen ausgewählter Spurenstoffe werden Handlungsbedarf und Massnahmen aufgezeigt.

Bei sämtlichen ARA ist das Verdünnungsverhältnis kritisch bis ungünstig (Abwasseranteil über 10 %). Die ARA Frauenfeld, Aadorf und Münchwilen sind deshalb verpflichtet, Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen zu ergreifen. Bei der ARA Matzingen wird die Situation nach dem Ausbau der anderen ARA neu beurteilt.

Zur Verbesserung der Gewässerqualität bezüglich Spurenstoffe kommen folgende Massnahmen in Betracht:

- Ausbau der ARA mit zusätzlicher Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV)
- Zusammenschluss mit einer anderen ARA
- Ableitung in ein Gewässer mit ausreichendem Verdünnungsverhältnis

Auf allen Anlagen sind **genügend Platzreserven** für den Ausbau mit den heute bekannten Verfahren (Behandlung mit Ozon, Ozonung, oder Pulveraktivkohle, PAK) vorhanden.

Gemeinsame Lösungen durch **Zusammenschlüsse von Anlagen** sind aus heutiger Sicht nicht realisierbar, da die Platzreserven bei der ARA Matzingen zu gering sind und für die Leitungsführung bis zur ARA Frauenfeld (Querung des gesamten Stadtgebiets) mit unverhältnismässig hohen Kosten zu rechnen ist.

Eine **Ableitung in ein Gewässer** mit ausreichendem Verdünnungsverhältnis wäre lediglich für die ARA Frauenfeld denkbar (Länge rund 1 km). Dagegen spricht, dass a) die ARA Frauenfeld die grösste Anlage im Einzugsgebiet ist (Oberliegerverantwortung), b) das Kantonsspital an die ARA angeschlossen ist und c) direkt unterhalb der Murgmündung ein wichtiges Grundwasserpumpwerk (PW Wuhr) der Trinkwasserversorgung für die Region Frauenfeld sowie ein beliebter Badeplatz liegen.

Die **Investitionskosten** für die erforderlichen Massnahmen auf den Anlagen werden je nach gewähltem Verfahren auf **CHF 21 – 36 Mio.** geschätzt. Davon werden 75% durch den Bund abgegolten. Die Schätzung der **jährlichen Betriebskosten** beträgt **CHF 1.1 – 2.0 Mio.** Für die betrachteten Anlagen ist die Ozonung sowohl bezüglich Investition als auch Betrieb kostengünstiger als das PAK-Verfahren.

Die **Modellierung des Nutzens der Massnahmen** am Fallbeispiel der ARA Frauenfeld zeigt, dass heute rund an einem Tag pro Woche der EMV unbehandelte Abwasseranteil im Vorfluter > 10% ist. Mit dem Bau einer EMV-Stufe würde an keinem Tag mehr dieser Schwellenwert überschritten werden. Am Beispiel des Schmerzmittels Diclofenac kann illustriert werden, dass bereits bei der Auslegung auf den Trockenwetteranfall (Q_{TW}) der Anteil Tage mit Überschreitungen des chronischen Qualitätskriteriums (CQK) in der Murg drastisch reduziert wird.

Das AfU führte parallel zu dieser Studie eine **Messkampagne** durch, um die Konzentrationen ausgewählter Mikroverunreinigungen jeweils ober- und unterhalb der ARA-Einleitstellen sowie im ARA-Ablauf zu bestimmen. Die Messresultate geben wertvolle Hinweise auf die effektive Belastung der Murg und Lützelmurg und für die Planung der Massnahmen.

1 Ausgangslage

1.1 Massnahmen gegen Spurenstoffe in der Schweiz

Was sind Spurenstoffe?

Unter Spurenstoffen – auch Mikroverunreinigungen genannt – versteht man organische Substanzen (Medikamenten und andere Chemikalien), welche in den Gewässern in Konzentrationen im Bereich von wenigen Nano- bis Mikrogramm pro Liter vorkommen und die bereits in so tiefen Konzentrationen den Ablauf grundlegender biochemischer Prozesse in der Natur beeinflussen können. Darunter fallen einerseits viele synthetische Substanzen wie Arzneimittelwirkstoffe, Stoffe mit bioziden Eigenschaften, Lebensmittelzusatzstoffe, Inhaltsstoffe von Kosmetika oder Reinigungsmitteln, etc. aber auch Stoffe natürlichen Ursprungs wie beispielsweise Hormone [1].

Durch Massnahmen bei ausgewählten kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) soll der Eintrag von Spurenstoffen in die Gewässer zum Schutze der Trinkwasserressourcen und der Gewässerflora und -fauna verringert werden.

Aktueller Vorschlag zur Änderung des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung (BAFU)

Bei der geplanten Änderung des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung wird neu die Elimination von Spurenstoffen bei rund 100 Anlagen in der Schweiz gefordert. Damit können die Tier- und Pflanzenwelt der Gewässer sowie die Trinkwasserressourcen optimal geschützt werden, und die Schweiz kann ihre Oberliegerverantwortung wahrnehmen. Gleichzeitig wird der Eintrag an organischen Spurenstoffen in die Gewässer halbiert. Dadurch wird gewährleistet, dass mit den anfallenden Kosten ein optimaler Nutzen erzielt wird [10].

Es ist geplant, dass grosse ARA zur Reduktion grosser Frachten, ARA an Gewässerabschnitten mit ungenügender Verdünnung des eingeleiteten gereinigten Abwassers und ARA an Gewässern, die für die Trinkwassernutzung von Bedeutung sind, Massnahmen ergreifen müssen [1].

Mit der Änderung des Gewässerschutzgesetzes wird eine gesamtschweizerische Spezialfinanzierung geschaffen. Diese wird über eine Abgabe pro angeschlossenen Einwohner gespiesen (maximal 9 CHF pro E_{ang} und Jahr). Der Bund gewährt aus dieser Spezialfinanzierung Abgeltungen von 75% an die Erstellung und Beschaffung von Anlagen und Einrichtungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV) in ARA [5].

Neu ist auch vorgesehen, dass wenn anstelle von Anlagen und Einrichtungen zur Elimination von Spurenstoffen Kanalisationen erstellt werden, die Kosten höchstens in der Höhe anrechenbar sind, in der sie bei Massnahmen auf der Abwasserreinigungsanlage selber entstanden wären. Dies umfasst den Bau von Verbindungsleitungen zu einer in der Nähe liegenden ARA, die nach Anschluss die Anforderungen bezüglich der Elimination von Spurenstoffen erfüllt.

1.2 Einzugsgebiete der Murg und Lützelermurg

Die Murg ist ein Nebenfluss der Thur. Sie mündet unterhalb von Frauenfeld in die Thur. Die Lützelermurg wiederum ist ein Nebenfluss der Murg und fliesst bei Matzingen in die Murg (Abbildung 1).

In den Einzugsgebieten der Lützelermurg und der Murg befinden sich die ARA Aadorf, ARA Frauenfeld, ARA Matzingen und ARA Münchwilen.

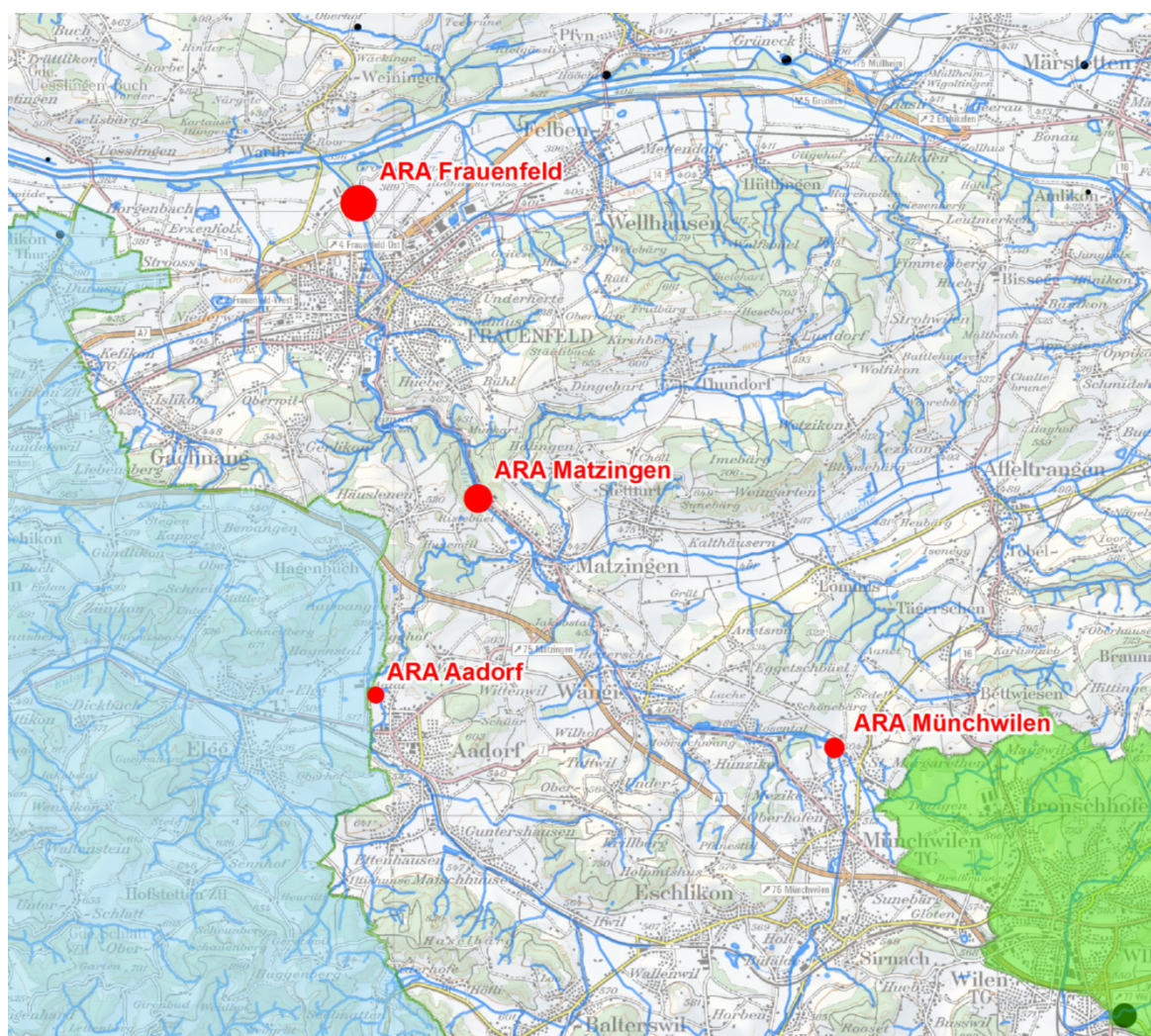


Abbildung 1: Anlagen in den Einzugsgebieten der Murg und Lützel- und Murg

2 Ziele

Für das Einzugsgebiet der Murg und Lützel- und Murg wird ein Konzept erarbeitet mit dem Ziel, das zweckmässige Vorgehen zur Reduktion von Spurenstoffen in die Gewässer zu ermitteln. Dazu wird eine Planung im Einzugsgebiet erstellt.

3 Vorgehen

Anhand der BAFU-Kriterien wurde in einem ersten Schritt geprüft, welche ARA Massnahmen zur Elimination von Spurenstoffen treffen müssen (Abbildung 2). Anschliessend wurde die aktuelle Situation der Anlagen aufgenommen, um die Randbedingungen für mögliche Massnahmen zu kennen. Daraus wurden mögliche Massnahmen aufgezeigt. Schliesslich wurde mit Hilfe einfacher Modellrechnungen der erwartete Nutzen der Massnahmen abgeschätzt. Parallel dazu führte das AfU eine Messkampagne zur Erfassung des aktuellen Zustands bezüglich der wichtigsten Spurenstoffe durch.

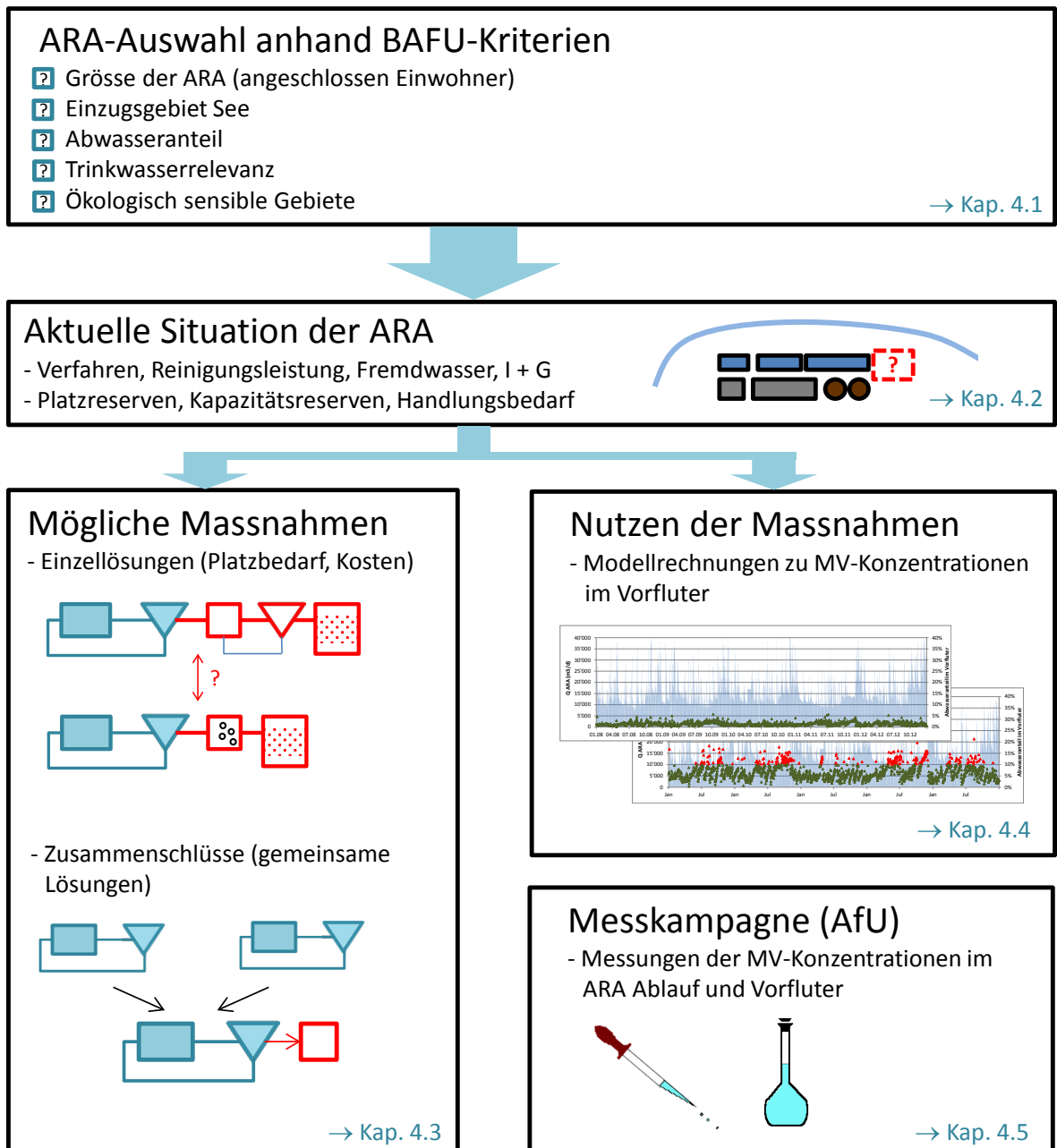


Abbildung 2: Gewähltes Vorgehen

4 Resultate

4.1 Kriterien BAFU

Auswahlkriterien

Im aktuellen Vorschlag zur Änderung ist vorgesehen, dass folgende ARA die Anforderung des Reinigungseffekts von 80% für Spurenstoffe einhalten müssen:

- ARA ab 80'000 angeschlossenen Einwohnern;
- ARA ab 24'000 angeschlossenen Einwohnern im Einzugsgebiet von Seen;
- ARA ab 8'000 angeschlossenen Einwohnern an Fließgewässern mit einem Anteil von mehr als 10% nicht bezüglich Spurenstoffen gereinigtem Abwasser; der Kanton bezeichnet die Anlagen, die Massnahmen treffen müssen, im Rahmen einer Planung im Einzugsgebiet;

Ausnahmen:

- Bei ARA ab 8'000 angeschlossenen Einwohnern und besonderen hydrogeologischen Verhältnissen (z.B. Karst) und
- bei ARA ab 1'000 angeschlossenen Einwohnern an Fließgewässern, die in ökologisch sensiblen Gebieten oder für die Trinkwasserversorgung wichtige Gebiete, liegen.

An ARA angeschlossene Einwohner

Die Angaben zur Anzahl der angeschlossenen Einwohner pro ARA für das Jahr 2010 stammen vom Amt für Umwelt des Kantons Thurgau. Für die Abschätzung der Belastungsentwicklung wurde die prognostizierte Bevölkerungsentwicklung von 2010 – 2030 betrachtet [4]. Als massgebliche Anzahl angeschlossene Einwohner für die Kriterien wurde die Prognose für das Jahr 2030 verwendet.

Die Bevölkerungsentwicklung im Kanton Thurgau 2010-2030 ist mit einer Zunahme von 14.9% für das Hauptszenario prognostiziert [4]. Im Bezirk Münchwilen wird eine Bevölkerungszunahme von 13.9% und im Bezirk Frauenfeld von 14.0% erwartet (Tabelle 1).

Planung im Einzugsgebiet

Der Vorschlag zur neuen Gewässerschutzverordnung [5] verlangt für die Bestimmung des Abwasseranteils eine Planung im Einzugsgebiet. Diese Planung muss auch zukünftige Entwicklungen berücksichtigen¹. Für die kumulativen Betrachtungen wurde angenommen, dass auch nach der Ausrüstung einer ARA mit einem Verfahren zur Elimination der Spurenstoffen immer noch 20% des Abwassers „ungeeignet“ in den Vorfluter gelangt (entspricht der geforderten Eliminationsleistung von 80%) und entsprechend bei der Berechnung des Abwasseranteils bei unterliegenden ARA berücksichtigt.

Berechnung des Abwasseranteils

Der Abwasseranteil im Gewässer berechnet sich aus

- der Abflussmenge Q_{347} im Fließgewässer und
- allen Einleitungen aus ARA bei Trockenwetter nach weitgehender Durchmischung.

Die Abflussmengen Q_{347} bei den Einleitstellen der ARA wurden vom AfU des Kantons Thurgau, Abteilung Wasservirtschaft/Wasserbau abgeschätzt (Tabelle 1)².

¹ Die Entwässerung des Gebietes Wil-West (Spatenstich auf 2020 geplant) ist noch nicht festgelegt und deshalb nicht berücksichtigt. Für die ARA Münchwilen könnte die neue Überbauung eine wesentliche Mehrbelastung bedeuten.

² AfU, Robert Holzschuh, 17.1.2014

Die Berechnung der mittleren Abwassermenge im Ablauf der ARA bei Trockenwetter erfolgte gemäss der Empfehlung zur Definition und Standardisierung von Kennzahlen für die Abwasserentsorgung (Tabelle 1, [7]). Als Datengrundlage dienen die ARA-Betriebsdaten 2008 – 2012. Für den Prognosehorizont 2030 wurde angenommen, dass der Trockenwetteranfall nur um 50% der prognostizierten Bevölkerungszunahme ansteigt, da der Fremdwasseranteil unverändert oder sogar rückläufig sein dürfte.

In der Tabelle 1 sind die Datengrundlagen zur Beurteilung der BAFU-Kriterien zusammengestellt.

Tabelle 1: Datengrundlagen Kriterien BAFU

		ARA Aadorf	ARA Münchwilen	ARA Matzingen	ARA Frauenfeld
Datengrundlagen					
Angeschlossene Einwohner	2010 2030	15'010 17'200	18'510 21'210	15'000 17'190	33'000 37'810
Gewässer		Lützelburg	Murg	Murg	Murg
	Q₃₄₇ (l/s)	134	393	800	940
	Messort	oberhalb ARA	unterhalb ARA	oberhalb ARA	oberhalb ARA
	Bestimmung Q₃₄₇	Messstation oberhalb	Ehemalige Messstation	Interpolation, Schätzung	Messstation oberhalb
Aufgewertete Gewässerstrecke bei EMV	km	6.5	8	7.5	1
Q_{TW} (2008-2012) ¹⁾	l/s	72	69	75	151
Q_{TW} (2030)	l/s	77	74	81	162
Q_{max} ²⁾	l/s	250	250	300	600
Q_{TW} spezifisch	l/E_{ang} * d	413	323	431	395
Berechnete Abwasseranteile im Prognosejahr 2030					
lokal		37%	19%	9%	15%
Kumuliert ohne EMV ³⁾		-	-	26%	36%
Abfluss Gewässer bei 10% Abwasseranteil (kumuliert)		ca. Q ₁₀₀	ca. Q ₂₇₅	ca. Q ₂₀₅	ca. Q ₁₃₀
Variante EMV Aadorf und Münchwilen		7%	4%	13%	25%
Variante EMV Aadorf, Münchwilen und Frauenfeld		7%	4%	13%	13%
Variante EMV alle ARA		7%	4%	5%	7%
Kriterien BAFU					
> 80'000 E_{ang}		Nein	Nein	Nein	Nein
> 24'000 E_{ang} & EZG See		Nein	Nein	Nein	Nein
> 8'000 E_{ang} & Abwasseranteil > 10% (kumulative Betrachtung)		Ja	Ja	Ja	Ja
ökologisch sensible oder für Trinkwasserversorgung wichtige Gebiete		Nein	Nein	Nein	Nein

¹⁾ angegeben ist der Tagesmittelwert über die 5 Jahre ²⁾ heute max. behandelte Abwassermenge auf ARA

³⁾ Eliminationsmassnahmen Spurenstoffe, Annahme für Eliminationsleistung: 80%

Alle vier Anlagen haben deutlich mehr als 8'000 und klar weniger als 80'000 angeschlossene Einwohner. Da das Einzugsgebiet der Murg nicht oberhalb eines Sees liegt, ist der Schwellenwert von 24'000 angeschlossenen Einwohnern nicht relevant. Zudem liegen im betrachteten Gebiet keine ökologisch sensiblen oder für die Trinkwasserversorgung wichtigen Gebiete, die einen besonderen Schutz erfordern würden³.

Hingegen weisen sämtliche Anlagen – mit Ausnahme der ARA Matzingen – bereits bei der isolierten Betrachtung einen Abwasseranteil > 10% zu (Zeile „lokal“ in der Tabelle 1) und sind somit verpflichtet, Massnahmen zu ergreifen. Bei der kumulativen Betrachtung zeigt sich ein interessantes Bild. Auch wenn die oberliegenden ARA Aadorf und Münchwilen Massnahmen ergreifen, würde der bezüglich Spurenstoffe ungereinigte Abwasseranteil nach der Einleitstelle der ARA Matzingen den Schwellenwert von 10% überschreiten. Weiter kann das Gewässerschutzziel eines Abwasseranteils < 10% unterhalb der ARA Frauenfeld auch mit Massnahmen auf der ARA Frauenfeld nicht erreicht werden, sofern auf der ARA Matzingen auf Massnahmen verzichtet würde. Lediglich mit Massnahmen auf sämtlichen vier Anlagen kann das Gewässerschutzziel eines Abwasseranteils < 10% erfüllt werden. Eine grobe Sensitivitätsanalyse mit Variation der Abwassermengen und Wasserführung im Vorfluter ($Q_{TW}(2030) \pm 10\%$, $Q_{347} \pm 10\%$) ergibt, dass die gemachten Aussagen gültig bleiben (Daten nicht gezeigt).

4.2 Aktuelle Situation der ARA

Um die Anlagen möglichst früh zu informieren und miteinzubeziehen, wurden alle ARA besichtigt und die Datengrundlagen mit den ARA-Betreibern besprochen. Dadurch konnte u.a. die Platzverfügbarkeit abgeschätzt werden, die später für die Anordnung der EMV-Stufe in das Anlagenlayout benötigt wurde. Bei den Besprechungen waren Vertreter des ARA-Betriebs und teilweise des ARA-Verbands, ein Kantonsvertreter und zwei Mitarbeitende der Hunziker Betatech AG anwesend.

Die ARA-Betreiber wurden einerseits über die aktuellen Vorschläge des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung informiert, andererseits wurden sie zu folgenden Themen befragt:

- Verfahren
- Reinigungsleistung
- Fremdwasser
- Industrie und Gewerbe
- Kapazitätsreserven
- Platzreserve
- Pumpwerk für Massnahmen gegen Spurenstoffe erforderlich?
- Letzter Ausbau / letzte Sanierung
- Handlungsbedarf betreffend Ausbau / Sanierung

Mit Ausnahme der ARA Matzingen haben sämtliche ARA ihre Dimensionierungsbelastung erreicht oder teilweise überschritten (Tabelle 2). Die Einleitbedingungen (vollständige Nitrifikation bei Temperaturen > 10 °C) können aber von allen Anlagen mit wenigen Ausnahmen eingehalten werden.

³ Mündliche Aussage AfU an Startsituation vom 13.11.2013

Tabelle 2: Auswertung biologische Belastung der ARA

ARA	EW bio Dim	EW CSB 2008 - 2012		EW NH ₄ ¹⁾ 2008 - 2012	
		Mittelwert	85%-Wert	Mittelwert	85%-Wert
ARA Aadorf	18'000	14'900	19'600	13'900	16'900
ARA Münchwilen ²⁾	24'000	17'700	23'200	21'800	27'900
ARA Matzingen	50'000	37'900	49'100	36'900	44'400
ARA Frauenfeld	80'000	58'800	76'200 ³⁾	42'600	60'100

¹⁾ Angaben ARA Frauenfeld beziehen sich auf N_{tot}

²⁾ Bei der ARA Münchwilen handelt es sich um eine abgesetzte Rohabwasserprobe. Es wurde daher mit dem spezifischen EW für Ablauf VKB gerechnet ($80 \text{ g}_{\text{CSB}}/\text{EW} \cdot \text{d}$)

³⁾ Werte > 80'000 EW während den Kampagnen Zuckerfabrik

Die Informationen zu den ARA aus den Besprechungen mit den ARA-Betrieben sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Informationen zu den Anlagen aus den Besprechungen mit den ARA-Betrieben

	Aadorf	Münchwilen	Matzingen	Frauenfeld
Verfahren	Belebtschlamm A/I	Belebtschlamm	Belebtschlamm	Belebtschlamm / Tropfkörper
Reinigungsleistung	Anforderungen erfüllt	Anforderungen erfüllt	Anforderungen erfüllt	Anforderungen erfüllt
Fremdwasser (aus ARA-Daten geschätzt)	hoch	mittel	mittel	hoch
Industrie + Gewerbe	-Inoplastik (CSB) -Halag-Chemie (P)	-Bernet (Wäsche-rei) -swisstulle (Hilfs-mittel für Textilver-arbeitung) -Biorender (Biogas aus organischen Abfällen) Das Abwasser wird vorbehandelt.	-Hefe Schweiz (Abwasser wird vorbehandelt) Verfärbung und Geruchs-problematik we-gen Hefefabrik -Frifag (Güggeli)	-Zuckerfabrik: 50% des Abwas-sers ist hochbelas-tet und wird vor-behandelt. Stark erhöhte CSB-Frachten während der Kampagne (Sep – Dez) -RecyPET (PET-Flaschen-Recycling) -sia (phenol- und formaldehyd-haltige Abwässer) - Kantonsspital - Hugelshofer (Lastwagen-reinigungen von Nahrungsmittel-transporten)
Kapazitätsreserven	keine	keine	ca. 10%	bez. CSB keine (Winter: Kampag-ne Zuckerfabrik)
Heutige Platzreserve	vorhanden (Land der Kompostieran-lage gehört der ARA)	vorhanden	gering	vorhanden
Pumpwerk für EMV erforderlich?	ja	ja	ja	ja
Letzter Ausbau / Sanierung	1999 – 2003: Ausbau 2. Biologie	1992-2002: 2. Ausbautetappe	2004: Erweiterung biologische Anla-geteile	1997: Ausbau biologische Stufe 2011: Optimierung Belüftung 2011/2012: BHKW
Handlungsbedarf betreffend Ausbau / Sanierung	Massnahmen wegen Erreichung Kapazitätsgrenze.	Es laufen Abklä-rungen zur Errei-chung der Kapazi-tätsgrenze.	-	-

4.3 Massnahmen gegen Spurenstoffe

Einleitung

Für alle vier Anlagen werden mögliche Massnahmen (2 Verfahrensvarianten), deren Platzbedarf und deren Kosten aufgezeigt. Zudem wird geprüft, ob allenfalls gemeinsame Lösungen – Zusammenschlüsse – möglich sind.

Verfahren

Übersicht

Zurzeit werden in der Schweiz nur Verfahren mit Ozonung oder Aktivkohle ernsthaft in Betracht gezogen. Folgende Verfahrensvarianten mit Ozon und Pulveraktivkohle (PAK) werden diskutiert:

- Verfahren mit Ozon
 - Ozon mit nachgeschaltetem Sandfilter
 - Ozon mit nachgeschalteter bioaktiver Stufe
- Verfahren mit Pulveraktivkohle
 - PAK-Adsorption und Sedimentation und Sandfilter (Ulmer-Verfahren)
 - mit / ohne Rückführung PAK in die Biologie
 - PAK-Direkt dosierung in Biologie mit Sandfiltration
 - PAK-Dosierung auf Sandfilter
 - Actiflo®Carb mit Tuchfilter
 - PAK-Verfahren mit Membranfilter
 - Filtration mit granulierter Aktivkohle

Die eingerahmten Verfahrensvarianten werden im vorliegenden Bericht genauer betrachtet. Diese werden nachfolgend beschrieben.

Ozon mit nachgeschaltetem Sandfilter / bioaktiver Stufe

Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel, das selektiv Doppelbindungen und bestimmte funktionelle Gruppen in Molekülen angreift. Da sehr viele Spurenstoffe solche Bindungen oder funktionelle Gruppen enthalten, werden sie durch Ozon oxidiert (umgewandelt). Ozon wird seit Jahrzehnten für die Desinfektion und zur Elimination von organischen Inhaltsstoffen in der Trinkwasseraufbereitung, in der Aufbereitung von Badewasser und in der Behandlung von industriellen Abwässern eingesetzt.

Ozon muss vor Ort in einem Ozongenerator erzeugt werden und wird anschliessend gasförmig ins Abwasser eingetragen. Als Trägergas dient in der Regel Sauerstoff, der flüssig angeliefert wird. Gasförmiges Ozon ist ein starkes Reizgas. Um die Gefährdung des Betriebspersonals zu minimieren, muss sichergestellt werden, dass kein Ozon aus dem Abwasser austritt und das Ozon in der Abluft vernichtet wird.

Nachfolgend ist das Schema der Ozonung mit einem Sandfilter dargestellt. Der Sandfilter dient als Nachbehandlung. Diese wird empfohlen, um potentiell toxische Reaktionsprodukte effektiv entfernen zu können. Zurzeit wird geprüft, ob auch günstigere Alternativen als Nachbehandlung (bioaktive Stufe) möglich sind.

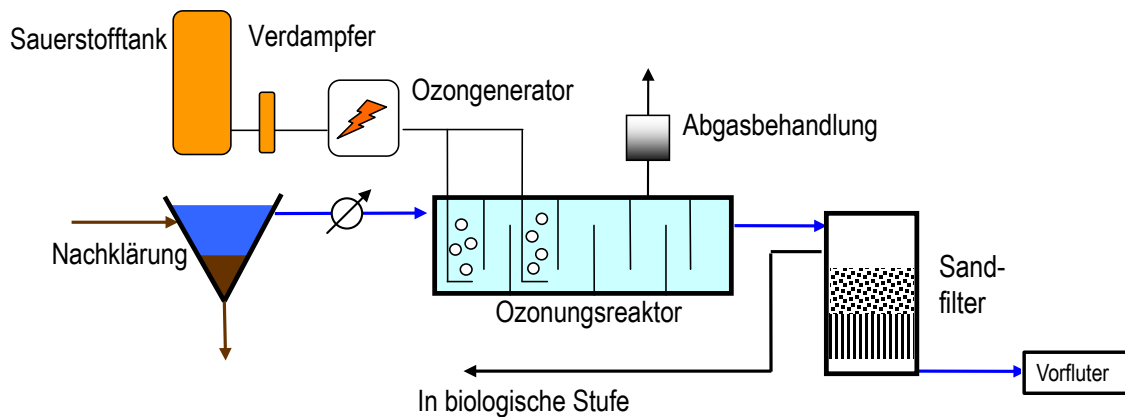


Abbildung 3: Schema der Ozonung mit Sandfilter [1]

Ulmer-Verfahren

Aktivkohle hat eine sehr poröse Struktur und damit eine sehr hohe spezifische Oberfläche ($> 1000 \text{ m}^2/\text{g}$). An dieser grossen Oberfläche lagern sich viele Stoffe aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften an. Die Anwendungen von Aktivkohle sind vielfältig. Beispiele sind die Trinkwasseraufbereitung, die industrielle Abwasserbehandlung, die Lebensmittelindustrie oder die Abluftbehandlung.

Bei der Behandlung mit Aktivkohle ist das Ulmer-Verfahren dasjenige Verfahren, zu welchem am meisten Erfahrungen bestehen. In Deutschland wird es seit längerem zur Entfärbung von Abwasser sowie in den letzten Jahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen eingesetzt. Dieses Verfahren benötigt jedoch viel Platz. Für Anlagen mit einem bestehenden Sandfilter werden zurzeit platzsparendere Alternativen getestet. Alle PAK-Verfahren benötigen zwingend einen Filter zur Abtrennung der Pulveraktivkohle. Da jedoch keine der betrachteten Anlagen einen Sandfilter besitzt, wird nur das Ulmer-Verfahren betrachtet.

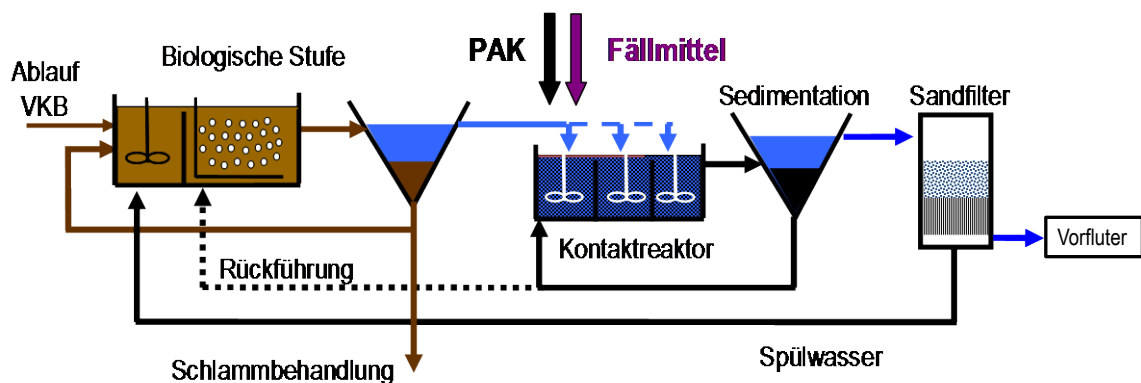


Abbildung 4: Schema Ulmer-Verfahren [1]

Platzbedarf

Dimensionierungswassermenge

Im aktuellen Vorschlag der Gewässerschutzverordnung wird ein Reinigungseffekt bezogen auf das Rohabwasser und gemessen anhand von ausgewählten Substanzen von 80% gefordert.

Die Grösse der Anlageteile wird durch die hydraulische Belastung vorgegeben. Zurzeit ist die Studie „Dimensionierung, Redundanz und Anforderungen“ [3] im Auftrag des Verbands des Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) in Bearbeitung. In Rahmen dieser Studie wird geprüft, auf welche Dimensionierungswassermenge die Verfahrensstufe zur Elimination von Spurenstoffen ausgelegt werden soll. Es wird diskutiert, diese Stufe nicht auf die gesamte auf der ARA behandelte Abwassermenge auszulegen, da bereits bei der Behandlung des Abwassers bei Trockenwetter die Spurenstoffe zu einem grossen Teil eliminiert werden.

Die Dimensionierungswassermenge wird zurzeit noch diskutiert. Es muss auch geprüft werden, ob der geforderte Reinigungseffekt erzielt werden kann. Es ist vorgesehen, dass der VSA eine entsprechende Empfehlung formuliert.

Im vorliegenden Bericht wird für die Bestimmung des Platzbedarfs mit einer Dimensionierungswassermenge von $1.5 Q_{TW,16h}$ gerechnet (siehe Tabelle 4). Mit dieser Dimensionierungswassermenge wird sichergestellt, dass bei allen Trockenwettertagen auch die Tagesspitzen behandelt werden.

Tabelle 4: Dimensionierungswassermengen für die ARA und die Verfahrensstufe zur Elimination von Spurenstoffen

	Bezeichnung	Beschreibung
$2 Q_{TW,16h}^{1)}$	Doppelte Trockenwetter-Wassermenge	Empfohlene Dimensionierungswassermenge ARA. Häufig liegt die effektive hydraulische Kapazität höher.
$1.5 Q_{TW,16h}^{1)}$	1.5-fache Trockenwetter-Wassermenge	Im vorliegenden Bericht verwendete Wassermenge zur Auslegung der Stufe zur Elimination von Spurenstoffen . (= 75% von $2 Q_{TW,16h}$).
$1.0 Q_{TW,16h}^{1)}$	1-fache Trockenwetter-Wassermenge	

¹⁾ $Q_{TW,16h} = Q_{TW} \cdot 24h/16h$

Auslegehorizont

Als Auslegehorizont wurde das Jahr 2030 gewählt. Für die Dimensionierung wird die erwartete Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt (Tabelle 1). Auf eine Vorhersage der Entwicklungen im Bereich Industrie und Gewerbe wird verzichtet, da sie mit zu grossen Unsicherheiten behaftet ist.

Für die Dimensionierung der neuen Verfahrensstufe wird ein Bevölkerungswachstum von 15% berücksichtigt. Die Dimensionierungswassermenge wird voraussichtlich nicht proportional zum Bevölkerungswachstum zunehmen, da der Fremdwasseranteil auf rund 50% geschätzt wird. Es wird angenommen, dass die Fremdwassermenge nicht weiter zunimmt. Wenn nur die Schmutzwassermenge zunimmt, erhöht sich die Dimensionierungswassermenge entsprechend um rund 7.5%.

Platzbedarf

Nachfolgend sind die gewählten Dimensionierungsgrößen und Annahmen für die Auslegung angegeben. Diese orientieren sich an [3].

Ozonung

Der Ozonreaktor ist für eine hydraulische Aufenthaltszeit von 20 min und die bioaktive Stufe für eine Aufenthaltszeit von 30 min bei der Dimensionierungswassermenge ausgelegt. Wie die Auslegung der bioaktiven Stufe im Detail aussieht, ist noch unbekannt. Die Dimensionierung des Sandfilters lehnt sich an die ATV-A 203 an.

Für die Schätzung des Platzbedarfs wurden die Beckentiefen des Ozonreaktors und der bioaktiven Stufe 4.5 m tief gewählt. Um eine ausreichende Kontaktzeit des Ozons mit dem Wasser sicherzustellen, muss der Ozonreaktor bei der Realisierung wahrscheinlich tiefer ausgelegt werden. Mit den gewählten 4.5 m liegt man bei der Schätzung des Platzbedarfs jedoch auf der sicheren Seite.

Der Ozonreaktor und die bioaktive Stufe bzw. der Sandfilter werden voraussichtlich zusammen in einem Gebäude realisiert, in welchem auch der Ozonerzeuger, Restozonvernichter und der Steuerraum untergebracht sein werden.

Ulmer-Verfahren

Die Adsorptionsstufe des Ulmer-Verfahrens ist auf ein PAK-Schlammalter von 2 Tagen ausgelegt. Die Sedimentation wurde gemäss ATV A131 ausgelegt.

Der Platzbedarf für die Verfahrensvarianten „Ozonung mit bioaktiver Stufe“ und das „Ulmer-Verfahren“ sind auf Plänen (Massstab 1:1'000) in der Beilage 1 dargestellt. Die Datengrundlage und die dazugehörige Berechnung befinden sich in Beilage 2.

Kosten

Die Kosten der verschiedenen Verfahrensvarianten wurden anhand von Kostenkurven des Berichts „Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser“ [2] und des Kostenmodells des Projekts „Dimensionierung, Redundanz, Anforderungen“ [3] geschätzt.

Erste Erfahrungen aufgrund von Vorprojekten deuten darauf hin, dass die anhand der Kostenkurven und des Kostenmodells geschätzten Werte auf der sicheren Seite bzw. etwas hoch liegen. Die Kostengenauigkeit liegt ungefähr bei $\pm 30\%$.

Bestimmung Investitionskosten

Die Investitionskosten können anhand der Kostenkurven in Abhängigkeit der ARA-Grösse (in EW) bestimmt werden. Die Grösse der betrachteten Verfahrensvarianten hängt jedoch von der hydraulischen Belastung ab. Die hydraulische Belastung bestimmt somit die Höhe der Investitionskosten. Bei den vier betrachteten ARA unterscheiden sich die biologische und hydraulische Belastung zum Teil stark.

Die Kosten wurden aufgrund der „hydraulischen ARA-Grösse“ ermittelt. Die detaillierten Berechnungen befinden sich in Beilage 2.

Bestimmung Betriebskosten

Die Betriebskosten hängen bei der Ozonung neben dem Personal stark vom Strom- und Sauerstoffbedarf ab. Bei der Behandlung mit PAK sind die erforderliche PAK-Menge und der höhere Schlammfall massgebend für die Betriebskosten. Die Ozon- und PAK-Dosierung (Ulmer-Verfahren) hängt direkt von der Konzentration, resp. Fracht an organischen Verbindungen im Ablauf der biologischen Stufe der ARA ab.

Die Konzentration der organischen Verbindungen ist abhängig von der biologischen Reinigung. In erster Näherung wird angenommen, dass die Konzentration der organischen Verbindungen (DOC-Konzentrationen) bei allen ARA ausser der ARA Matzingen gleich hoch ist. Die ARA Matzingen hat wegen der Hefe Schweiz im Einzugsgebiet erhöhte DOC-Werte im Ablauf. Aus diesem Grund wurden auch die Einleitbedingungen für die ARA Matzingen von 10 auf 15 mg/l erhöht.

Die detaillierten Berechnungen zu den Betriebskosten befinden sich in Beilage 2.

Kosten für verschiedene Verfahrensvarianten

Die Kosten für verschiedene Verfahrensvarianten, welche anhand von Kostenkurven grob abgeschätzt wurden, sind in Tabelle 5 aufgeführt:

Tabelle 5: Investitions- und Betriebskosten für verschiedene Verfahrensvarianten ausgelegt auf 1.5 Q_{TW,16h} (± 30%)

	Ozon mit bioaktiver Stufe		Ozon mit Sandfilter		Ulmer-Verfahren	
	Investitions-kosten	Betriebs-kosten	Investitions-kosten	Betriebs-kosten	Investitions-kosten	Betriebs-kosten
	Mio. CHF	Mio. CHF/a	Mio. CHF	Mio. CHF/a	Mio. CHF	Mio. CHF/a
ARA Aadorf ARA Münchwilen	6	0.3	7	0.3	10	0.5
ARA Matzingen		0.4		0.4		0.7
ARA Frauenfeld	9	0.5	10	0.5	16	1.0

Kosten für verschiedene Dimensionierungswassermengen

Anhand des Kostenmodells, das für das Projekt „Dimensionierung, Redundanz, Anforderungen“ [3] zur Verfügung stand, wurde der Einfluss der Änderung der Dimensionierungswassermenge auf die Investitionskosten abgeschätzt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Kosten für Verfahrensvarianten zur Elimination von Spurenstoffen in Abhängigkeit der Dimensionierungswassermenge. Kostenangaben relativ zu den Kosten für die Dimensionierungswassermenge 1.5 Q_{TW,16h}. Die Prozentzahlen wurden auf 5% gerundet (± 30%).

	Ozonung mit Sandfilter			Ulmer-Verfahren		
	1.0 Q _{TW,16h}	1.5 Q _{TW,16h}	2 Q _{TW,16h}	1.0 Q _{TW,16h}	1.5 Q _{TW,16h}	2 Q _{TW,16h}
	Kosten relativ zu den Kosten für die Dimensionierungswassermenge 1.5 Q _{TW,16h}					
ARA Aadorf ARA Matzingen ARA Münchwilen	85%	100%	115%	90%	100%	110%
ARA Frauenfeld	85%	100%	115%	90%	100%	110%

Abgeltungen und Abgaben

Die Abgeltungen und Abgaben wurden grob abgeschätzt. Die Abgeltungen betragen 75% der anrechenbaren Kosten. Die Abgaben betragen maximal 9 Franken pro angeschlossenen Einwohner und Jahr.

Auf der Grundlage der obigen Investitionskostenschätzung wurden die Erstinvestitionen abzüglich der erwarteten Abgeltungen zusammengestellt (Tabelle 7):

Tabelle 7: Erstinvestitionskosten abzüglich Abgeltungen für verschiedene Verfahrensvarianten

	Ozonung mit bioaktiver Stufe	Ozonung mit Sandfilter	Ulmer-Verfahren
Investitionskosten abzüglich Abgeltungen in Mio. CHF			
ARA Aadorf ARA Matzingen ARA Münchwilen	1.5	1.75	2.5
ARA Frauenfeld	2.25	2.5	4.0

Die Abgabe für die Finanzierung der Abgeltungen von Massnahmen zur Elimination von Spurenstoffen richtet sich nach den angeschlossenen Einwohnern. Die Höhe der Abgabe wurde für die vier Abwasserreinigungsanlagen anhand der erwarteten angeschlossenen Einwohner im Jahr 2030 abgeschätzt (Tabelle 8).

Tabelle 8: Erwartete jährliche Abgaben für die Finanzierung der Abgeltungen von Massnahmen zur Elimination von Spurenstoffen

	Angeschlossene Einwohner 2030	Abgaben in Mio. CHF/a
ARA Aadorf	17'200	0.15
ARA Frauenfeld	37'810	0.34
ARA Matzingen	17'190	0.15
ARA Münchwilen	21'210	0.19

Zusammenschlüsse

Im Rahmen dieser Untersuchungen wird auch geprüft, ob allenfalls Zusammenschlüsse von den vier betrachteten Anlagen möglich und sinnvoll sind.

Zusammenschlüsse sollen aus den folgenden zwei Gründen zum jetzigen Zeitpunkt geprüft werden:

- Synergien: Anstelle von zwei kleinen Anlagen zur Elimination von Spurenstoffen muss nur eine (grössere) Anlage erstellt werden.
- Abgeltungen für Kanalisationen: Wenn eine ARA Massnahmen gegen Spurenstoffe ergreifen muss, erhält sie beim Bau einer Anschlussleitung Abgeltungen in höchstens derselben Höhe, die sie bei Massnahmen auf der eigenen Anlage erhalten hätte.

Aufgrund der Topographie und der Standorte der ARA (siehe Abbildung 1) sind die Zusammenschlussvarianten bereits vorgezeichnet. Folgende Zusammenschlussvarianten sind denkbar:

Tabelle 9: Mögliche Zusammenschlussvarianten

Variante 0	Einzellösungen
Variante 1	Aadorf an Matzingen
Variante 2	Münchwilen an Matzingen
Variante 3	Matzingen an Frauenfeld
Variante 4	Aadorf und Münchwilen an Matzingen
Variante 5	Aadorf und Matzingen an Frauenfeld
Variante 6	Münchwilen und Matzingen an Frauenfeld
Variante 7	Aadorf, Münchwilen an Matzingen an Frauenfeld

Aufgrund der topografischen Bedingungen wird ersichtlich, dass bei Zusammenschlüssen die oberliegenden ARA an die ARA Matzingen oder weiter an die ARA Frauenfeld angeschlossen würden (Abbildung 1 und Tabelle 9).

Deshalb wurde zuerst geprüft, wie die Platzverhältnisse und die Anschlussmöglichkeiten an die ARA Matzingen und Frauenfeld aussehen. Die ARA Matzingen hat lediglich geringe Platzreserven für eine Vergrösserung der Anlage. Ein zusätzlicher Landerwerb wurde bereits einmal geprüft und stellte sich als sehr schwierig heraus. Auch wenn ein sehr kompaktes Verfahren zur Abwasserreinigung gewählt würde, wäre der Platzbedarf wahrscheinlich für die Umbauphase zu gering. Deshalb ist ein Anschluss an die ARA Matzingen zum heutigen Zeitpunkt keine Option.

Die ARA Frauenfeld verfügt über grössere Platzreserven und allenfalls wäre auch ein zusätzlicher Landerwerb möglich. Bei einem Anschluss der oberliegenden ARA an die ARA Frauenfeld besteht die Schwierigkeit in der Leitungsführung. Die Anschlussleitung müsste durch das stark überbaute Stadtgebiet von Frauenfeld geführt werden. Der Bau einer neuen Leitung oder die erforderlichen Anpassungen des bestehenden Kanalisationsnetzes wären mit hohen Kosten verbunden. Zudem stellt das Abwasser der ARA Matzingen, welches bezüglich des Geruchs behandelt werden muss, ein Problem dar. Wenn dieses Abwasser zuerst durch ein langes Leitungsnetz geführt werden muss, kann die Geruchsproblematik nicht mehr kontrolliert werden. Aus diesen Gründen wird auch ein Anschluss der oberliegenden ARA an die ARA Frauenfeld zurzeit nicht weiterverfolgt.

4.4 Darstellung Nutzen der Massnahmen anhand Modellrechnungen

Um die erwartete Wirkung von Massnahmen zur Elimination von Spurenstoffen abzuschätzen, wurde am Beispiel der ARA Frauenfeld eine einfache Modellrechnung basierend auf den Ansätzen in [3] durchgeführt (Abbildung 5).

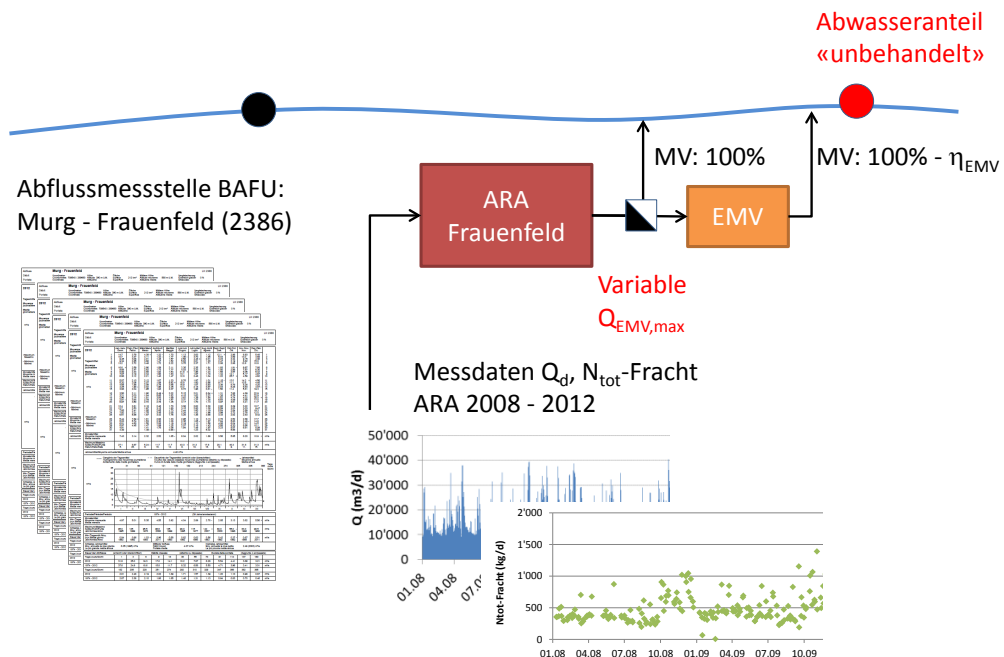


Abbildung 5: Schematische Darstellung Modellrechnungen am Fallbeispiel der ARA Frauenfeld

Als Datengrundlage für die Abflussdaten in der Murg konnten die Tagesmittelwerte der Abflussmessstelle Murg-Frauenfeld verwendet werden. Nicht berücksichtigt werden dabei die Vorbelastung der Murg sowie Mischwasserüberläufe. Als Grundlage für die Charakterisierung des Abwasseranfalls auf der ARA Frauenfeld dienten die Betriebsdaten Q und N_{tot} (Ammonium wird im Zulauf nicht gemessen). Ausgewertet wurden die Jahre 2008 – 2012. Die Berechnungen basieren auf Tagesmittelwerten, die Tagesdynamik wird somit nicht berücksichtigt. In erster Näherung kann aber davon ausgegangen werden, dass die in der Modellierung verwendeten Tagesmittelwerte, z.B. $1 Q_{\text{TW}}$ (m^3/d) einer Auslegung der EMV-Stufe von $1 Q_{\text{TW},16\text{h}}$ (l/s) entsprechen würde.

Es sind im Wesentlichen zwei Parameter, die die Wirkung der getroffenen Massnahmen beeinflussen:

1. Wirkungsgrad des Verfahrens η_{EMV} : Mit den heute bekannten Massnahmen gegen Spurenstoffe werden die Konzentrationen im Ablauf je nach Verbindung unterschiedlich stark reduziert [8, 9]. Für die meisten bekannten Stoffe können Wirkungsgrade zwischen 80 und 100% erreicht werden. Der angenommene Wirkungsgrad bestimmt die maximal erreichbare Eliminationsleistung.
2. Maximal behandelte Abwassermenge: Die Höhe der maximal behandelten Abwassermenge beeinflusst direkt die Investitions- und teilweise die Betriebskosten für die EMV-Anlage. Daher wird heute davon ausgegangen, dass EMV-Anlagen aus Kosten/Nutzen-Überlegungen nicht auf das Q_{max} der ARA ausgelegt werden. Somit würde bei höherer hydraulischer Belastung ein Teil des Abwassers vor der EMV-Stufe entlastet.

Folgende Kennzahlen wurden berechnet:

1. Der **durch die EMV-Stufe behandelte Abwasseranteil** bezogen auf die gesamte auf der ARA behandelte Abwassermenge
2. **Eliminationsleistung** basierend auf dem Ammoniumansatz [3]
Im aktuellen Vorschlag der Gewässerschutzverordnung [5] wird eine Eliminationsleistung für Spurenstoffe bezogen auf das Rohabwasser von 80% gefordert.
3. Anteil Tage mit einem bezüglich Spurenstoffen **unbehandelten Abwasseranteil im Vorfluter > 10%**
Dies gibt einen Hinweis, wie häufig das Qualitätsziel Verdünnung (Abwasseranteil < 10%) nicht eingehalten werden kann.
4. Anteil Tage mit einer **Diclofenac-Konzentration im Vorfluter > 50 ng/l**
Diclofenac ist ein weit verbreitetes Schmerzmittel, das ganzjährig vorwiegend in Privathaushalten verwendet und daher gleichmässig über das kommunale Abwasser in die Fließgewässer eingetragen wird. Diclofenac gehört zu den vorgeschlagenen Indikatorsubstanzen für die Überwachung des Reinigungseffekts und kann mit den bekannten Verfahren (Kapitel 5.3) sehr gut eliminiert werden. Schliesslich hat sich gezeigt, dass sich Diclofenac in Schweizer Fließgewässern annähernd konservativ verhält und daher gut für die Modellierung eignet [3]. Für die spezifische Diclofenac-Fracht wurde der Mittelwert aus der Messkampagne verwendet ($736 \mu\text{g}/\text{E} \cdot \text{d}$, Kapitel 4.5). Dieser liegt deutlich über dem Erfahrungswert aus der Literatur ($180 \mu\text{g}/\text{E} \cdot \text{d}$, [3]). Gründe dafür sind nicht bekannt. Die gemessenen Diclofenac-Konzentrationen in den ARA Abläufen bewegen sich im üblichen Bereich (ca. $1.5 \mu\text{g}/\text{l}$). Der Vorschlag für das chronische Qualitätskriterium für Diclofenac liegt in der Schweiz bei 50 ng/l (EU: 100 ng/l) [3].

Die Berechnung der Kennzahlen erfolgte für unterschiedliche Auslegungen der EMV-Stufe ($1 Q_{\text{TW},16\text{h}}$, $1.5 Q_{\text{TW},16\text{h}}$, $2 Q_{\text{TW},16\text{h}}$). Der Wirkungsgrad η_{EMV} für Diclofenac wurde mit 90% angenommen [8, 9].

Der Abfluss der Murg zeigt die typische Charakteristik eines pluvial geprägten Fließgewässers ohne glazialen Einfluss. Längere Phasen mit geringem Abfluss treten vor allem in den Sommer- und Herbstmonaten auf und erreichen oder unterschreiten regelmässig den langjährigen Wert für das Q_{347} von $0.94 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abbildung 6).

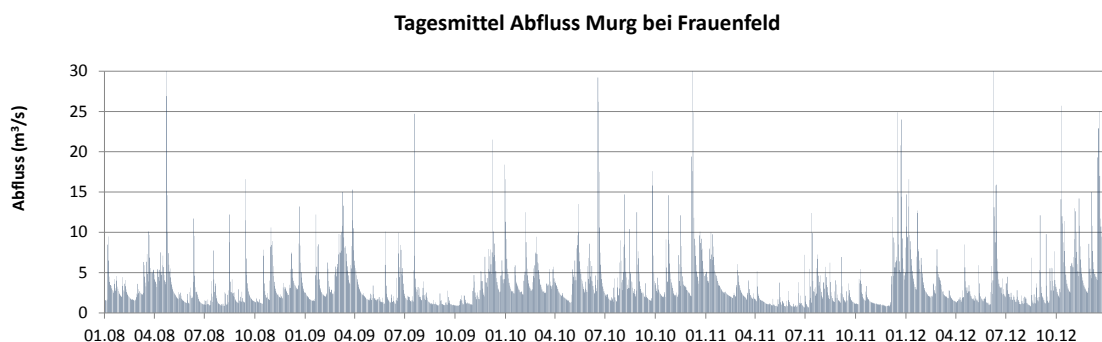


Abbildung 6: Ganglinie Tagesmittel Abfluss der Murg bei Frauenfeld (BAFU-Messstation LH2386)

In der Folge wird laut Modell das Qualitätsziel Verdünnung (Abwasseranteil im Vorfluter < 10%) regelmässig an Tagen mit geringer Wasserführung nicht erreicht (Abbildung 7). Der mittlere Abwasseranteil im Vorfluter beträgt rund 7% (Tabelle 10). Sofern Massnahmen zur Elimination von Spurenstoffen ergriffen werden, reduziert sich dieser Wert deutlich. Bei der Auslegung der EMV-Stufe auf $1.5 Q_{\text{TW},16\text{h}}$ wird die 10%-Marke an keinem Tag der ausgewerteten Periode erreicht (Abbildung 7).

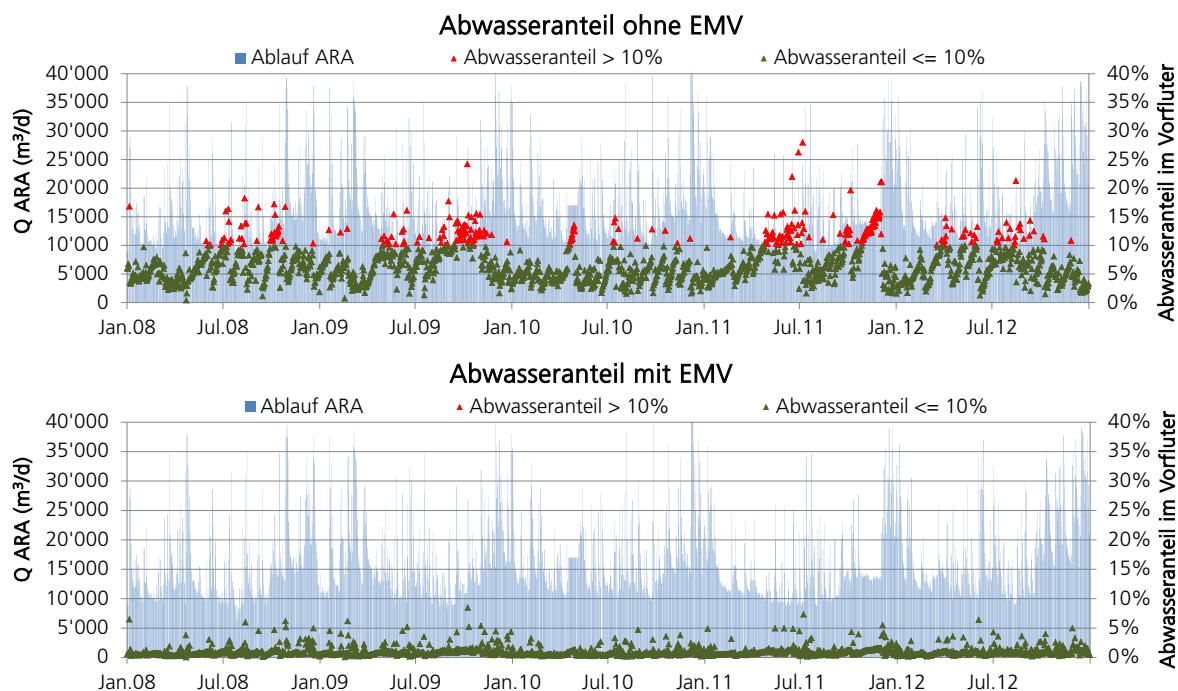


Abbildung 7: Modellrechnung Ganglinie Abwasseranteil. EMV = Eliminationsmassnahmen Mikroverunreinigungen. Die maximal behandelte Abwassermenge über die EMV-Stufe entspricht ca. $1.5 Q_{TW,16h}$.

Ähnlich präsentiert sich die Situation bei den modellierten Diclofenac-Konzentrationen im Vorfluter (Abbildung 8).

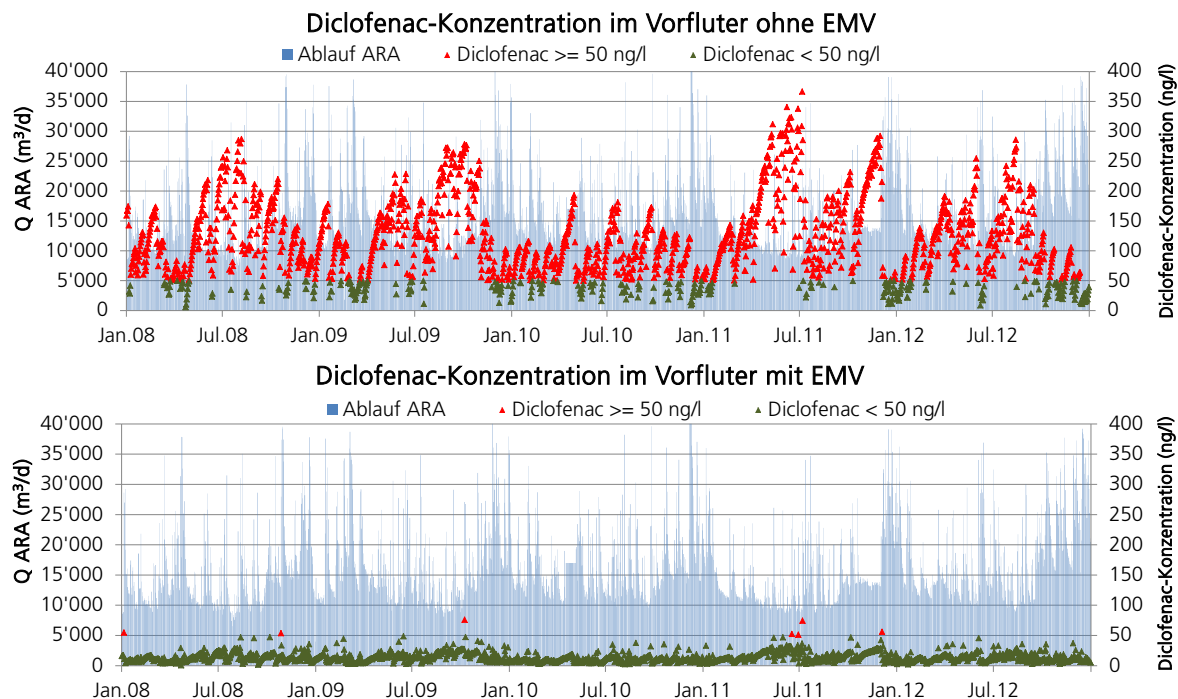


Abbildung 8: Modellrechnung Ganglinie Diclofenac-Konzentration im Vorfluter. EMV = Eliminationsmassnahmen Mikroverunreinigungen. Die maximal behandelte Abwassermenge über die EMV-Stufe entspricht ca. $1.5 Q_{TW,16h}$.

Mit gemessenen spezifischen Diclofenac-Frachten (Kapitel 5.5) wird das chronische Qualitätskriterium für Fließgewässer von 50 ng/l an 4 von 5 Tagen überschritten (Tabelle 10). Aufgrund der hohen spezifischen Diclofenac-Frachten wird das CQK bereits bei einem Abwasseranteil < 10% überschritten.

Tabelle 10 fasst die Ergebnisse der Modellrechnung zusammen. Es zeigt sich, dass

- die im Vorschlag der Gewässerschutzverordnung geforderte Reinigungsleistung bei einer Auslegung auf $1.5 Q_{TW,16h}$ erreicht wird. Dies gilt für Stoffe, die in der EMV-Stufe zu 90% eliminiert werden.
- bereits bei der Auslegung auf $1 Q_{TW,16h}$ der Anteil Tage mit Abwasseranteil > 10% resp. die Diclofenac-Konzentration im Vorfluter ≥ 50 ng/l drastisch reduziert werden. Umgekehrt bringt eine Auslegung $> 1.5 Q_{TW,16h}$ kaum mehr eine Verbesserung.

Tabelle 10: Modellrechnung Ergebnisse

	ohne EMV-Stufe	Auslegung EMV-Stufe		
		$1 Q_{TW,16h}$	$1.5 Q_{TW,16h}$	$2 Q_{TW,16h}$
Mittlerer Abwasseranteil im Vorfluter ¹⁾	6.8%	1.7%	1.0%	0.8%
Behandelter Abwasseranteil		82%	94%	98%
Reinigungsleistung (Ammoniumansatz)		69%	82%	87%
Anteil Tage mit Abwasseranteil > 10%	16%	0.3%	0.0%	0.0%
Anteil Tage mit Diclofenac ≥ 50 ng/l	81%	5.6%	0.5%	0.0%

¹⁾ Damit ist jener Abwasseranteil gemeint, der entweder nicht über eine EMV-Stufe geleitet wurde oder durch die EMV-Stufe nicht von Spurenstoffen befreit wurde ($1 - \eta_{EMV}$).

4.5 Messungen

Im Rahmen einer Messkampagne wurden die Fließgewässer und ARA Ausläufe auf Spurenstoffe untersucht.

Probenahme

- 4 Wochensammelproben bei allen ARA jeweils oberhalb und unterhalb der Einleitstelle sowie des ARA-Auslaufs (Kalenderwochen 7 - 10, 2014)
- Zusätzliche Beprobung der Lauche bei Matzingen (keine ARA im Einzugsgebiet)

Analysierte Verbindungen

Tabelle 11 gibt einen Überblick über die analysierten Verbindungen.

Tabelle 11: Analytierte Verbindungen (Fett: vorgeschlagene Indikatorsubstanzen des BAFU)

Wirkstoff	Stoffgruppe	Wirkstoff	Stoffgruppe
<i>Atenolol</i>	Betablocker	Diuron	Herbizid
Atrazin	Herbizid	Isoproturon	Herbizid
Benzotriazol	Korrosionssinhibitor	Mecoprop	Herbizid
Carbamazepin	Antiepileptikum	Methylbenzotriazol	Korrosionssinhibitor
Carbendazim	Fungizid	Metolachlor	Herbizid
Clarithromycin	Antibiotikum	Metoprolol	Betablocker
Desethylatrazin	Metabolit	Sulfamethoxazol	Antibiotikum
Diazinon	Insektizid	Acetylsulfamethoxazol	Metabolit
Diclofenac	Analgetikum	Venlafloxin	Antidepressivum

Die Laboranalysen erfolgten durch das AWEL Zürich.

Die Messungen zeigen, dass das chronische Qualitätskriterium (CQK, sh. [3]) im Vorfluter für Diclofenac bei allen Anlagen beim Bemessungsabfluss Q_{347} deutlich überschritten wird (Abbildung 9). Für die anderen Indikatorsubstanzen wird das CQK nicht erreicht.

Die aus den Messungen berechneten einwohnerspezifischen Frachten ergeben folgendes Bild (Abbildung 9):

- Diclofenac und Carbamazepin weisen eine relativ geringe Streuung auf. Die spezifischen Werte sind bei allen ARA vergleichbar. Die spezifischen Frachten für Diclofenac sind allerdings um den Faktor 4 höher als Erfahrungswerte aus der Literatur ($180 \mu\text{g}/\text{E}/\text{d}$ aus [3]). Gründe dafür sind nicht bekannt. Die gemessenen Diclofenac-Konzentrationen in den ARA Abläufen bewegen sich im üblichen Bereich (ca. $1.5 \mu\text{g}/\text{l}$).
- Die spezifische Fracht von Benzotriazol ist bei der ARA Frauenfeld tiefer als bei den anderen ARA.
- Die spezifische Fracht von Sulfamethoxazol ist bei der ARA Frauenfeld deutlich höher als bei den anderen ARA. Obschon aus früheren Untersuchungen der Anteil Sulfamethoxazol aus dem Spital Frauenfeld auf lediglich ca. 15-20% geschätzt wurde, ist der Einfluss des Spitalabwassers eine mögliche Begründung.
- Die spezifische Fracht von Mecoprop ist bei der ARA Aadorf aufgrund einer hohen Wochensammelprobe (KW 9) stark erhöht. $150 \mu\text{g}/\text{E}/\text{d}$ entsprechen allerdings einer Tagesfracht von lediglich rund $2 \text{ g}/\text{d}$.

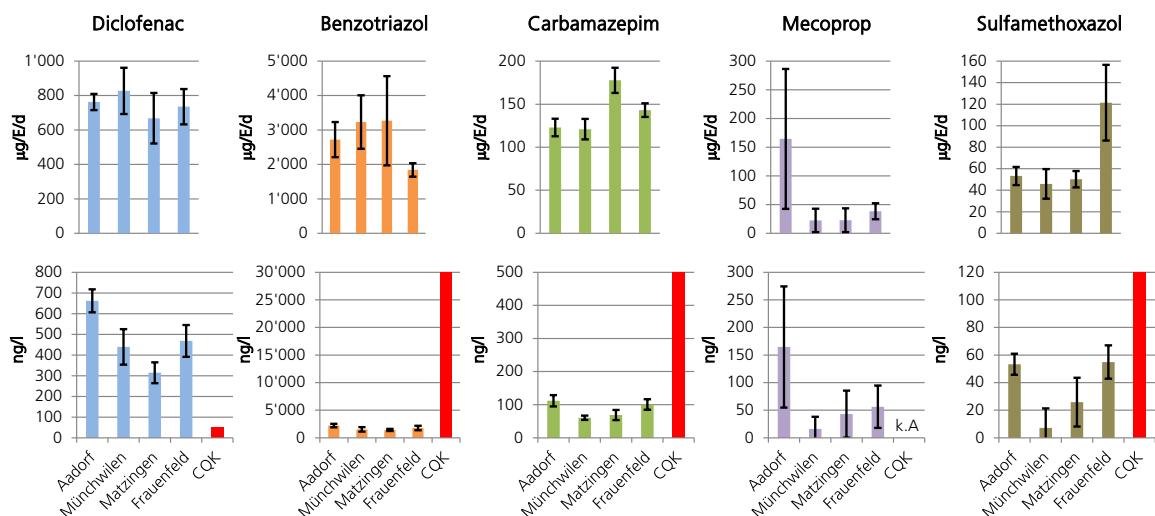


Abbildung 9: Spezifische Frachten (obere Reihe) und berechnete Konzentrationen im Vorfluter beim Abfluss Q₃₄₇ (untere Reihe) für die fünf Indikatorsubstanzen. Die Fehlerindikatoren bezeichnen ± eine Standardabweichung (4 Analysewerte). CQK = Chronisches Qualitätskriterium aus [3].

Die Messungen zeigen weiter, dass auch bei den während der Messkampagne im Vergleich zum Q₃₄₇ höheren Abflüssen in den Fließgewässern das chronische Qualitätskriterium für Diclofenac auch bei Abwasseranteilen unter 10% immer noch überschritten wird (Abbildung 10).

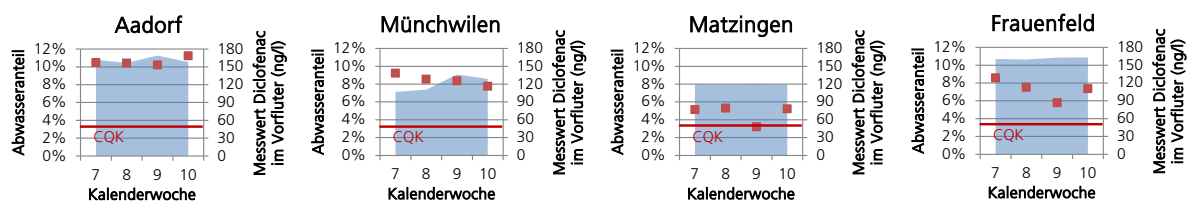


Abbildung 10: Gemessene Diclofenac-Konzentrationen unterhalb der ARA Einleitstellen in Relation zum (kumulierten) Abwasseranteil

Anhand von Bilanzen kann abgeschätzt werden, wie sich die untersuchten Stoffe im Vorfluter verhalten. Die unterhalb der ARA Matzingen gemessenen Frachten werden stromabwärts bei der ARA Frauenfeld wieder gefunden (Tabelle 12). Hingegen sind bei der Einleitstelle der ARA Matzingen die gemessenen Ablauffrachten deutlich geringer als die Summe der oberhalb eingeleiteten Frachten. Signifikante Exfiltrationen der Lützelburg oder Murg ins Grundwasser sind nicht bekannt⁴.

Tabelle 12: Massenbilanzen an den Einleitstellen der ARA Matzingen und Frauenfeld

	Diclofenac			Benzotriazol			Carbamazepin			Mecoprop			Sulfamethoxazol		
	F _{zu}	F _{ab}	Delta	F _{zu}	F _{ab}	Delta	F _{zu}	F _{ab}	Delta	F _{zu}	F _{ab}	Delta	F _{zu}	F _{ab}	Delta
	g/d	g/d		g/d	g/d		g/d	g/d		g/d	g/d		g/d	g/d	
Matzingen	39	24	-40%	149	107	-28%	7.1	5.2	-27%	3.9	3.2	-17%	2.0	2.0	-2%
Frauenfeld	48	44	-8%	168	168	0%	9.9	9.5	-4%	4.5	5.3	17%	6.0	5.2	-13%

Die vollständigen Analyseresultate sind in der Beilage 3 zu finden.

⁴ Mündliche Aussage AfU TG vom 14.5.2014

5 Diskussion

5.1 Sensitivitätsbetrachtungen und offene Fragen

Bei der Bestimmung des Abwasseranteils im Gewässer treten verschiedene Faktoren auf, die mit Unsicherheiten behaftet sind:

- Für die Bestimmung des Q_{347} stehen oft keine oder nicht ausreichende Messwerte zur Verfügung. In diesen Fällen müssen Abschätzungen gemacht werden.
- Der Fremdwasseranteil der ARA wurde rechnerisch abgeschätzt. Er wirkt sich zwar nicht auf die Spurenstofffracht aus, jedoch auf den Abwasseranteil (reine Mengenbetrachtung).
- Der massgebliche Abwasseranteil hängt von der Basis zur Berechnung ab: Die gemachten Betrachtungen gehen davon aus, dass auch nach einer Ausrüstung einer ARA mit einer EMV-Stufe im Mittel 20% des Abwassers ohne Elimination von Spurenstoffen in den Vorfluter gelangen und damit eine Vorbelastung des Vorfluters für unterliegende ARA darstellen. Geht man von der behandelten Abwassermenge aus (100 %), ohne den Wirkungsgrad zu berücksichtigen, wird der berechnete Abwasseranteil etwas kleiner. Bei den ARA Frauenfeld, Aadorf und Münchwilen spielen diese Unterscheidungen keine Rolle, bei der ARA Matzingen allerdings schon. Sie stellt bezüglich des Abwasseranteils einen Grenzfall dar.

Für die Elimination von Spurenstoffen stehen in erster Linie zwei Verfahren zur Verfügung: Behandlung mit Ozon (Ozonung) oder mit Pulveraktivkohle (PAK). Die Wahl des Verfahrens hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Investitionskosten (75 % werden subventioniert)
- Betriebskosten (keine Subventionen)
- Platzbedarf
- Filtration (für die Ozonung nicht unbedingt erforderlich⁵)

Bei der Ozonung kommt als zusätzlicher Effekt die Entkeimung des Abwassers hinzu. Dies ist vor allem in der Umgebung von Badeplätzen interessant.

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Dimensionierungswassermenge: Wieviel Abwasser soll über die EMV-Stufe geleitet oder wie soll die Aufenthaltszeit in den Kontaktreaktoren den Abwassermengen angepasst werden? Das heisst, dass bei Regenwetter nicht das gesamte Abwasser über die zusätzliche Verfahrensstufe geführt würde. Die Arbeiten zu diesen Abklärungen werden demnächst abgeschlossen [3].

5.2 Fazit

Aussagekraft

Die Berechnungen und Modellierungen sowie die Messungen in den Gewässern und ARA-Abläufen erlauben es, das System 'Einzugsgebiet Lützelburg / Murg / Thur' bezüglich Spurenstoffe qualitativ zu beurteilen. Die verschiedenen Massnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität konnten aufgezeigt und anhand einfacher Kriterien beurteilt werden.

⁵ Auf der ARA Neugut in Dübendorf werden aktuell verschiedene Verfahren für den Einsatz als bioaktive Stufen getestet. Erste Resultate sind im Frühjahr 2015 zu erwarten.

ARA-Zusammenschlüsse

Gemeinsame Lösungen durch Zusammenschlüsse von Anlagen sind aus heutiger Sicht nicht möglich, da einerseits die Platzreserven bei der ARA Matzingen zu gering sind und bei der Leitungsführung bis zur ARA Frauenfeld mit hohen Kosten und allenfalls mit Geruchsproblemen zu rechnen ist.

Einleitung in grösseres Gewässer

Als weitere Massnahme bei ungenügendem Verdünnungsverhältnis kommt die Ableitung in ein Gewässer mit ausreichender Verdünnung in Frage. Diese Option besteht aus geographischen Überlegungen lediglich für die ARA Frauenfeld. Die Distanz der ARA zur Thur beträgt rund 1 km. Folgende Gründe sprechen gegen eine solche Lösung:

- Die ARA Frauenfeld ist die grösste Anlage im Einzugsgebiet (Oberliegerverantwortung).
- Das Kantonsspital ist an die ARA angeschlossen.
- Direkt unterhalb der Murgmündung liegt ein Grundwasserpumpwerk (PW Wuhr) der Trinkwasserversorgung für die Region Frauenfeld (Vorsorgeprinzip).
- Direkt unterhalb der Murgmündung liegt ein beliebter Badeplatz.

Abwasseranteil

Bei den ARA Frauenfeld, Aadorf und Münchwilen liegt der massgebliche Abwasseranteil deutlich über 10 %. Diese ARA müssen mit einer EMV-Stufe ausgerüstet werden.

Bei der ARA Matzingen liegt der Abwasseranteil je nach Situation (Ausbau der anderen ARA sowie Berechnungsbasis) knapp unter oder über 10 %. Im Rahmen einer Gesamtbetrachtung des Einzugsgebietes kann in einem ersten Schritt auf die Ausrüstung mit einer EMV-Stufe verzichtet werden. Nach Ausbau der anderen drei ARA muss die Situation neu beurteilt werden.

Hygiene

Mit der Verfahrenswahl Ozonung könnte neben der Elimination von Spurenstoffen eine deutliche hygienische Verbesserung der Wasserqualität unterhalb der ARA erreicht werden. Unterhalb der ARA Frauenfeld befindet sich z.B. ein beliebter Badeplatz (nach dem Einleitungsbereich der Murg in die Thur am linken Ufer, noch vor der vollständigen Durchmischung).

Dimensionierungswassermenge

Mit den Modellrechnungen konnte gezeigt werden, dass für Diclofenac die geforderte Reinigungsleistung von 80% bezogen auf das Rohabwasser bereits bei einer Dimensionierungswassermenge von $1.5 Q_{TW,16h}$ erreicht werden kann. Um die definitive Dimensionierungswassermenge festlegen zu können, müssen aber noch weitere Indikatorstoffe berücksichtigt werden [11].

Messkampagne AfU

Die erhobenen Daten sind mit vier Wochensammelproben aussagekräftig. Zudem kann ein relevanter Einfluss durch die Landwirtschaft ausgeschlossen werden, da die Messungen von Februar bis Anfang März durchgeführt wurden. Von den gemessenen Parametern werden in der revidierten GSchV fünf als Indikatorsubstanzen vorgeschlagen. Die Konzentrationen von Benzotriazol, Carbamazepin, Mecoprop und Sulfamethoxazol liegen dabei deutlich unter dem für den Einzelstoff definierten Qualitätskriterium (CQK). Die Konzentration von Diclofenac, umgerechnet auf Q_{347} , liegt bei allen Messstellen um ein Vielfaches über dem CQK. Auch bei der gemessenen Wasserführung wird das CQK deutlich überschritten. Die geringsten Überschreitungen wurden unterhalb der ARA Matzingen gemessen.

6 Ausblick

Das Verdünnungsverhältnis bzw. der Abwasseranteil ist bei den ARA Frauenfeld, Aadorf und Münchwilen ungünstig. Das Kriterium gemäss revidierter GSchV zum Ausbau der ARA mit einer EMV-Stufe ist bei allen drei erfüllt. Die ARA Matzingen stellt einen Grenzfall dar, indem der Abwasseranteil je nach Berechnungsart knapp unter oder über 10 % liegt.

Von den technischen Verfahren zur Elimination der Spurenstoffe steht aus heutiger Sicht die Ozonung im Vordergrund: Das Abwasser wird zusätzlich entkeimt, der Platzbedarf ist geringer und die Investitions- und Betriebskosten sind tiefer als beim PAK-Verfahren.

Bei der Umsetzung der Massnahmen sollen gemäss aktuellem Vorschlag der Gewässerschutzverordnung die Sanierungs- und Erneuerungszyklen der ARA, die Grösse der ARA, die Höhe des Abwasseranteils und die Länge der aufgewerteten Fliessstrecke berücksichtigt werden.

Die ARA Frauenfeld ist die grösste ARA im Einzugsgebiet. Der Abwasseranteil wiederum ist bei der ARA Aadorf am höchsten, dafür ist die aufgewertete Gewässerstrecke kürzer als diejenige von Münchwilen und Matzingen (Tabelle 1). Die ARA Münchwilen und Aadorf sind an ihre Kapazitätsgrenzen gelangt. Ihre Ausrüstung mit einer EMV-Stufe wird zweckmässigerweise mit dem Ausbau der biologischen Stufe (und allenfalls weiteren Stufen) koordiniert.

Aus Kostenüberlegungen ist ein rascher Ausbau der Anlagen nicht vorteilhaft, da die Abgabe (Tabelle 10) deutlich tiefer ist als die Betriebs- und Werterhaltungskosten für die neue Stufe. Damit kann von den Erfahrungen anderer Schweizer ARA mit EMV-Stufen profitiert werden. Aus Sicht des Gewässerschutzes und in der Wahrnehmung der Oberliegerverantwortung ist es aber angezeigt, die Ausbauten in den nächsten Jahren zu planen und danach zu realisieren.

Für die ARA im Einzugsgebiet der Lützelmurg, Murg und Thur ist daher folgendes Vorgehen geplant (Tabelle 13):

Tabelle 13: Zeitliche Priorisierung

Zeitraum	ARA	Gründe für Priorisierung	Inv. ¹⁾
2018 / 19	Frauenfeld	grösste ARA im Einzugsgebiet (Frachtreduktion), Spital, Badeplatz, Trinkwasserfassung	2.3
bis 2020	Aadorf	Gewässer ist durch ARA stark belastet => Studie Ausbau Biologie / EMV ²⁾	1.5
um 2020	Münchwilen	längste aufgewertete Gewässerstrecke infolge EMV => Studie Ausbau Biologie / EMV ²⁾	1.5
ab 2020	Matzingen	Grenzfall (Abwasseranteil, Kosten/Nutzenverhältnis) => Neubeurteilung nach Ausbau der anderen ARA	0.0

¹⁾ Budgetierung EMV: ¼ der Investitionskosten (Ozonung) in Mio. CHF, sehr grobe Schätzung

²⁾ ARA an Kapazitätsgrenze → Studie soll zweckmässiges Vorgehen aufzeigen (Gesamtausbau / Etappierung)

Die ARA Frauenfeld als grösste ARA im Einzugsgebiet sollte als erste die zusätzliche Stufe realisieren. Mit dem Ausbau der ARA Frauenfeld nimmt der Kanton Thurgau zudem seine Oberliegerverantwortung im Einzugsgebiet der Thur wahr.

Die ARA Aadorf und Münchwilen haben ihre Kapazitätsgrenze erreicht. Die biologische Stufe muss in den nächsten Jahren erweitert werden. Studien sollen aufzeigen, wie die Erweiterung Biologie und der Ausbau EMV optimal koordiniert werden können. Dabei stellt sich die Frage, was zweckmässiger ist, ein Gesamtausbau oder ein etappenweiser Ausbau.

Bei der ARA Matzingen spricht das Kosten-/Nutzenverhältnis nach aktueller Einschätzung nicht für einen EMV-Ausbau. Die Situation dieser ARA wird nach dem Ausbau der drei anderen ARA neu beurteilt.

Die Studie mit allenfalls erweiterter Modellierung wird in Form eines Artikels in der Fachzeitschrift *aqua&gas* publiziert (Co-Autorenschaft AfU / HBT). Damit kann die Methodik aus [3] auf ein konkretes Fallbeispiel mit gutem Datenmaterial angewendet werden und wichtige Hinweise für andere Einzugsgebiete und allgemein zur EMV-Thematik geben.

7 Datengrundlagen und Literatur

- [1] Abegglen C., Siegrist H., 2012: Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214: 210 S
- [2] BG, 2012: Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser, im Auftrag des BAFU, Bern, 2012
- [3] Holinger/Hunziker (in Bearbeitung): Dimensionierung, Redundanzen, Anforderungen, im Auftrag des VSA
- [4] Staatskanzlei Kanton Thurgau, Dienststelle Statistik, 2012: Bevölkerungsszenarien, Bevölkerungsentwicklung 2010-2030 im Kanton Thurgau, Statistische Mitteilungen – Nr. 9/2012, Thurgau, 2012
- [5] BAFU (in Bearbeitung): Aktueller Entwurf des geänderten Gewässerschutzgesetzes
- [6] BAFU (in Bearbeitung): Aktueller Entwurf der geänderten Gewässerschutzverordnung
- [7] VSA/KI, 2006: Definition und Standardisierung von Kennzahlen für die Abwasserentsorgung
- [8] Eawag, 2010: Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser, Abschlussbericht, im Auftrag des BAFU
- [9] Eawag, 2009: Ozonung von gereinigtem Abwasser, Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf, im Auftrag des BAFU und des AWEL
- [10] BAFU, 2013: Botschaft zur Änderung des Gewässerschutzgesetzes, 13.059, Bern, 2013
- [11] BAFU, 2013: Erläuterungen zur Änderung der GSchV – Elimination von Spurenstoffen im Abwasser, Bern, 2.7.2013

Weitere Grundlagen

AfU, 2014: ARA-Daten (Zulauf- und Ablaufwerte der letzten Jahre)

AfU, 2014: Messkampagne Spurenstoffe im Einzugsgebiet Lützelburg, Murg und Thur, 4 Wochensammelpuben (ARA-Ablauf und Gewässer, ober- und unterhalb ARA)

AfU, 2014: Q₃₄₇ im Gewässer bei Einleitstellen der ARA, Hydrologische Daten, Abteilung Wasserwirtschaft/Wasserbau

8 Beilagen

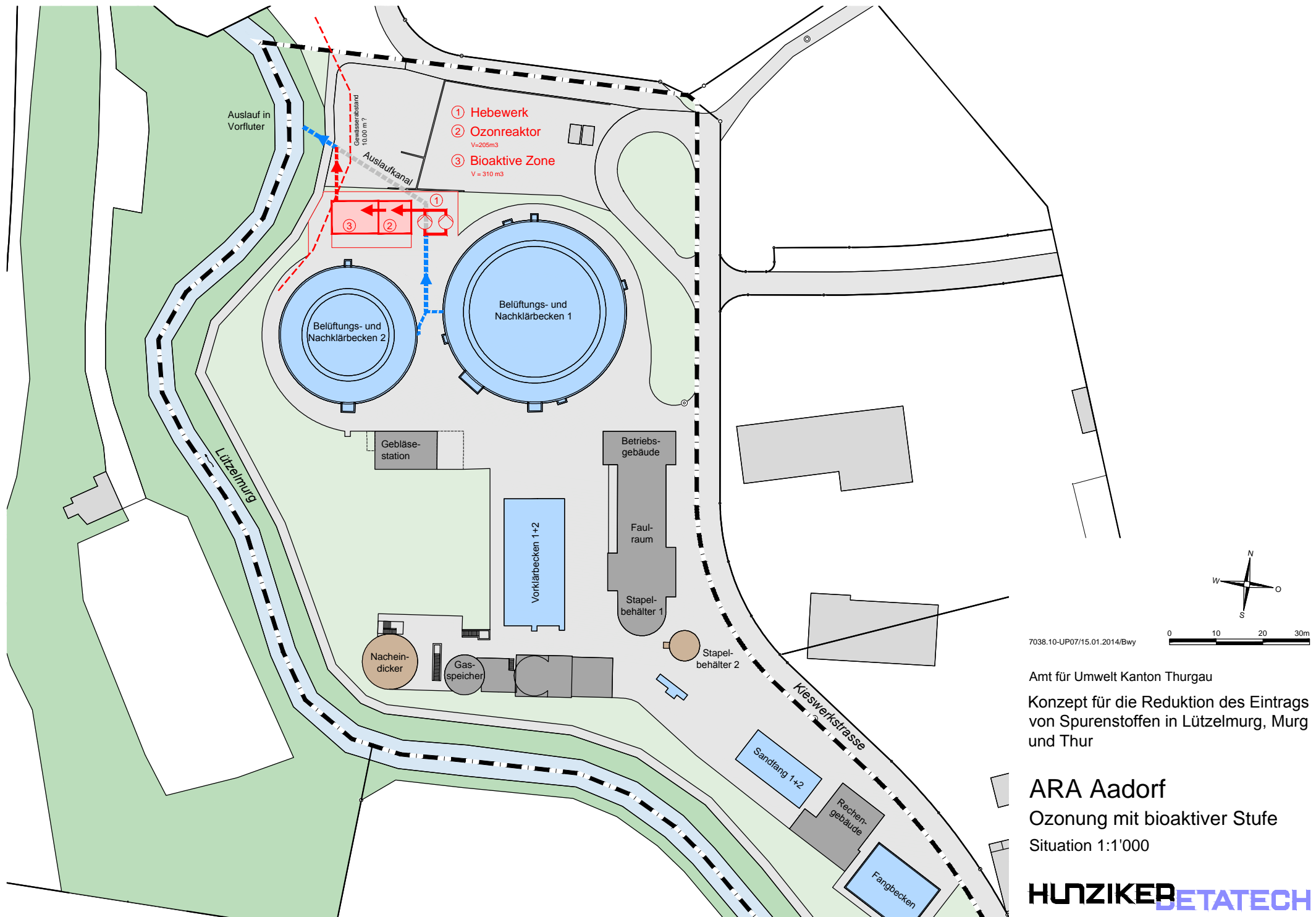
1. Pläne der ARA für den Platzbedarf der Ozonung mit bioaktiver Stufe und dem Ulmer-Verfahren
2. Berechnungsgrundlagen für den Platzbedarf und die Kosten
3. Resultate Messkampagne



Amt für Umwelt – Kanton Thurgau

Pläne der ARA für den Platzbedarf
der Ozonung mit bioaktiver Stufe
und dem Ulmer-Verfahren

Beilage 1



7038.10-UP07/15.01.2014/Bwy

Amt für Umwelt Kanton Thurgau

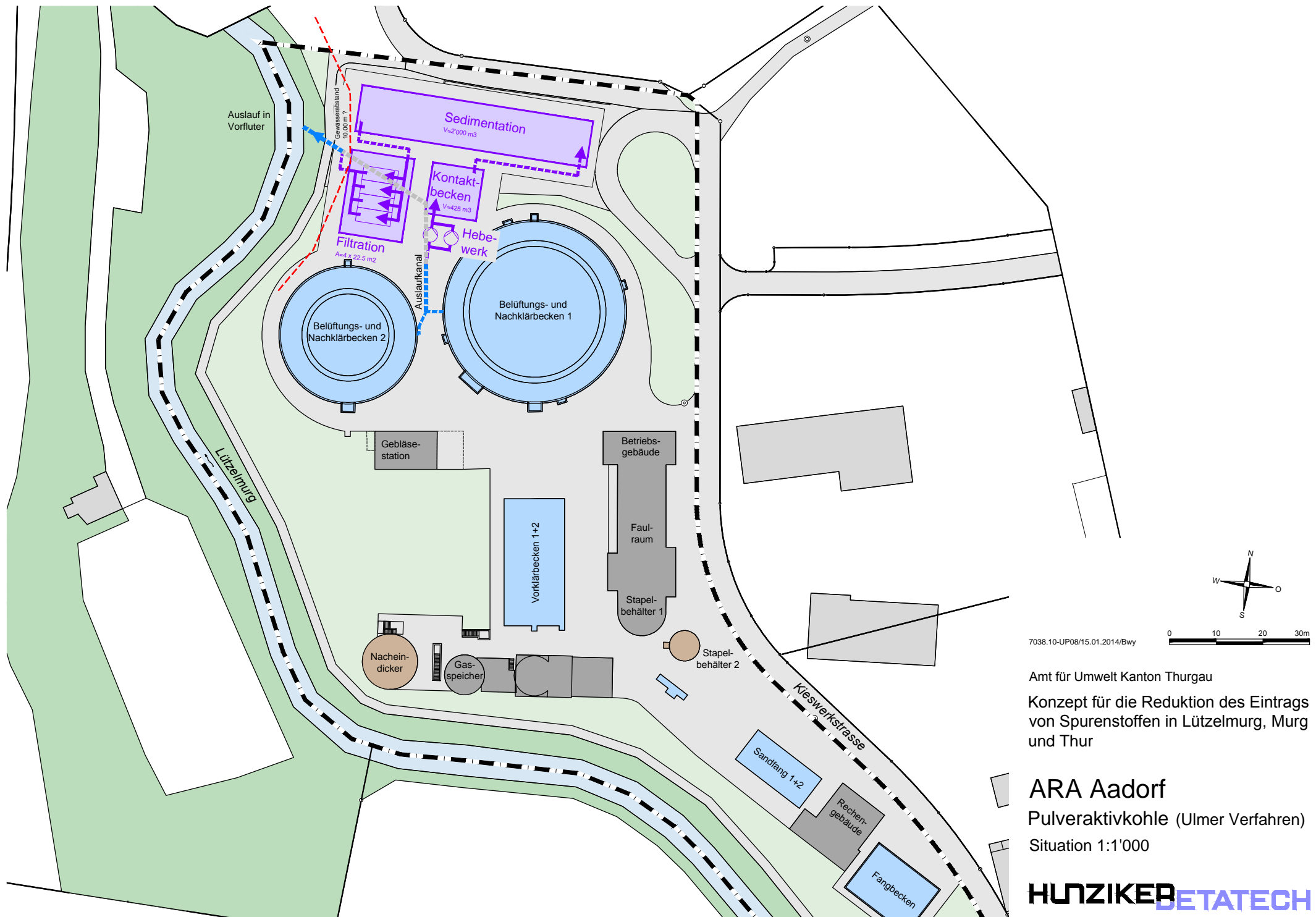
Konzept für die Reduktion des Eintrags
von Spurenstoffen in Lützel-murg, Murg
und Thur

ARA Aadorf

Ozonung mit bioaktiver Stufe

Situation 1:1'000

HUNZIKERBETATECH



7038.10-UP08/15.01.2014/Bwy

Amt für Umwelt Kanton Thurgau

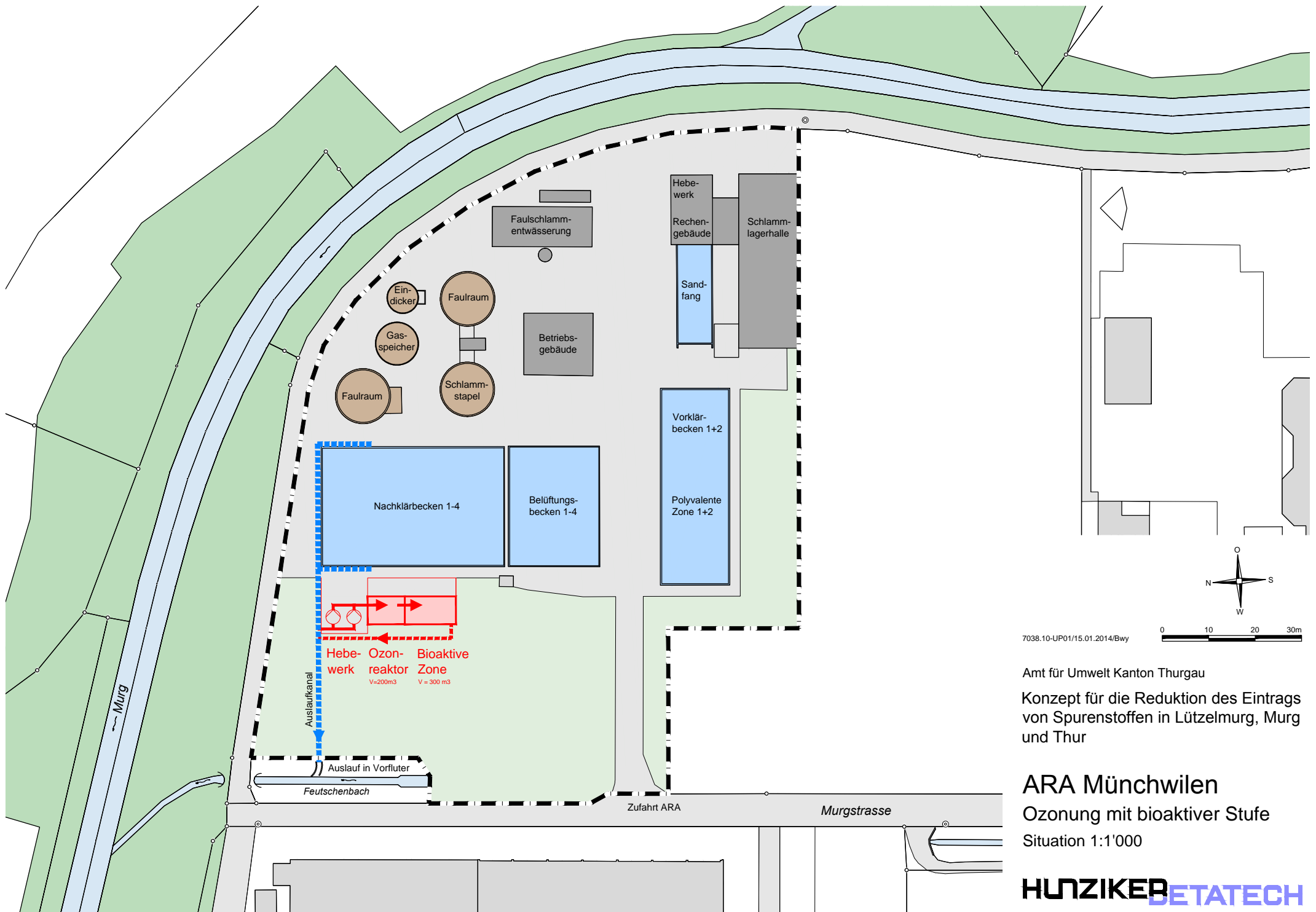
Konzept für die Reduktion des Eintrags
von Spurenstoffen in Lützel-murg, Murg
und Thur

ARA Aadorf

Pulveraktivkohle (Ulmer Verfahren)

Situation 1:1'000

HUNZIKERBETATECH



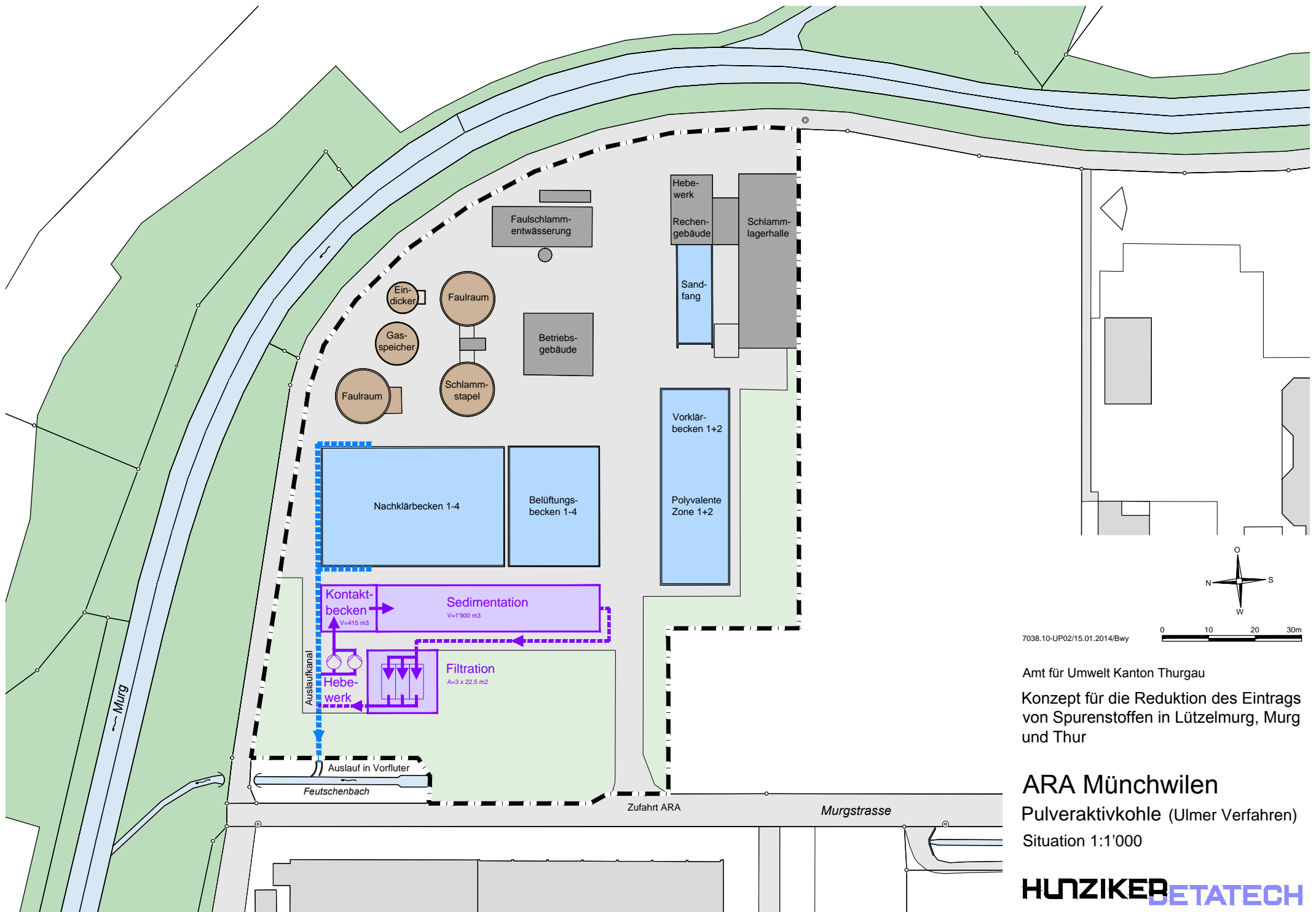
7038.10-UP01/15.01.2014/Bwy

Amt für Umwelt Kanton Thurgau

Konzept für die Reduktion des Eintrags
von Spurenstoffen in Lützel-murg, Murg
und Thur

ARA Münchwilen
Ozonung mit bioaktiver Stufe
Situation 1:1'000

HUNZIKER **BETATECH**



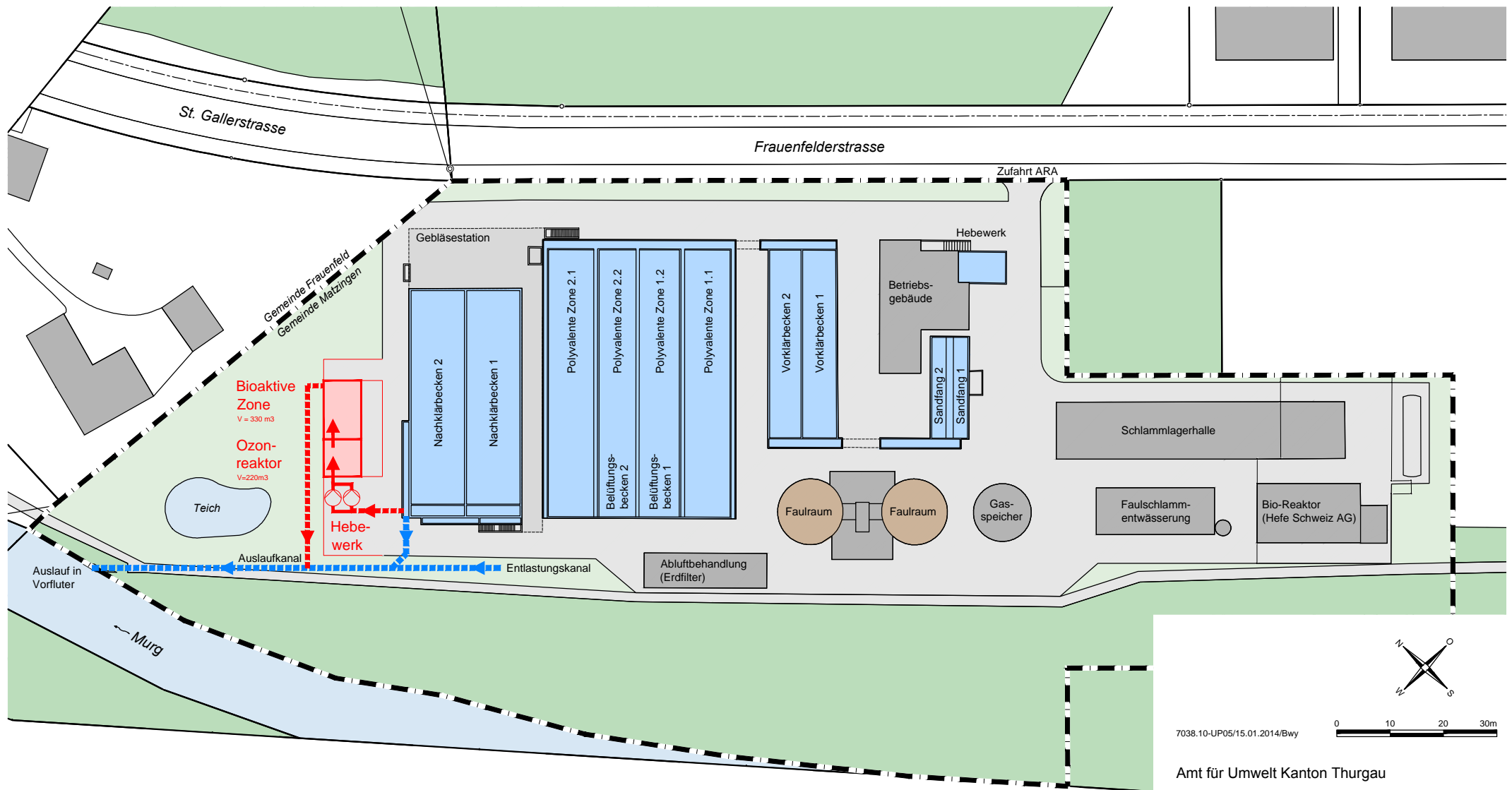
7038.10-UP02/15.01.2014/Bwy

Amt für Umwelt Kanton Thurgau

Konzept für die Reduktion des Eintrags von Spurenstoffen in Lützelmurg, Murg und Thur

ARA Münchwilen
Pulveraktivkohle (Ulmer Verfahren)
Situation 1:1'000

HUNZIKER **BETATECH**



0 10 20 30m

7038.10-UP05/15.01.2014/Bwy

Amt für Umwelt Kanton Thurgau

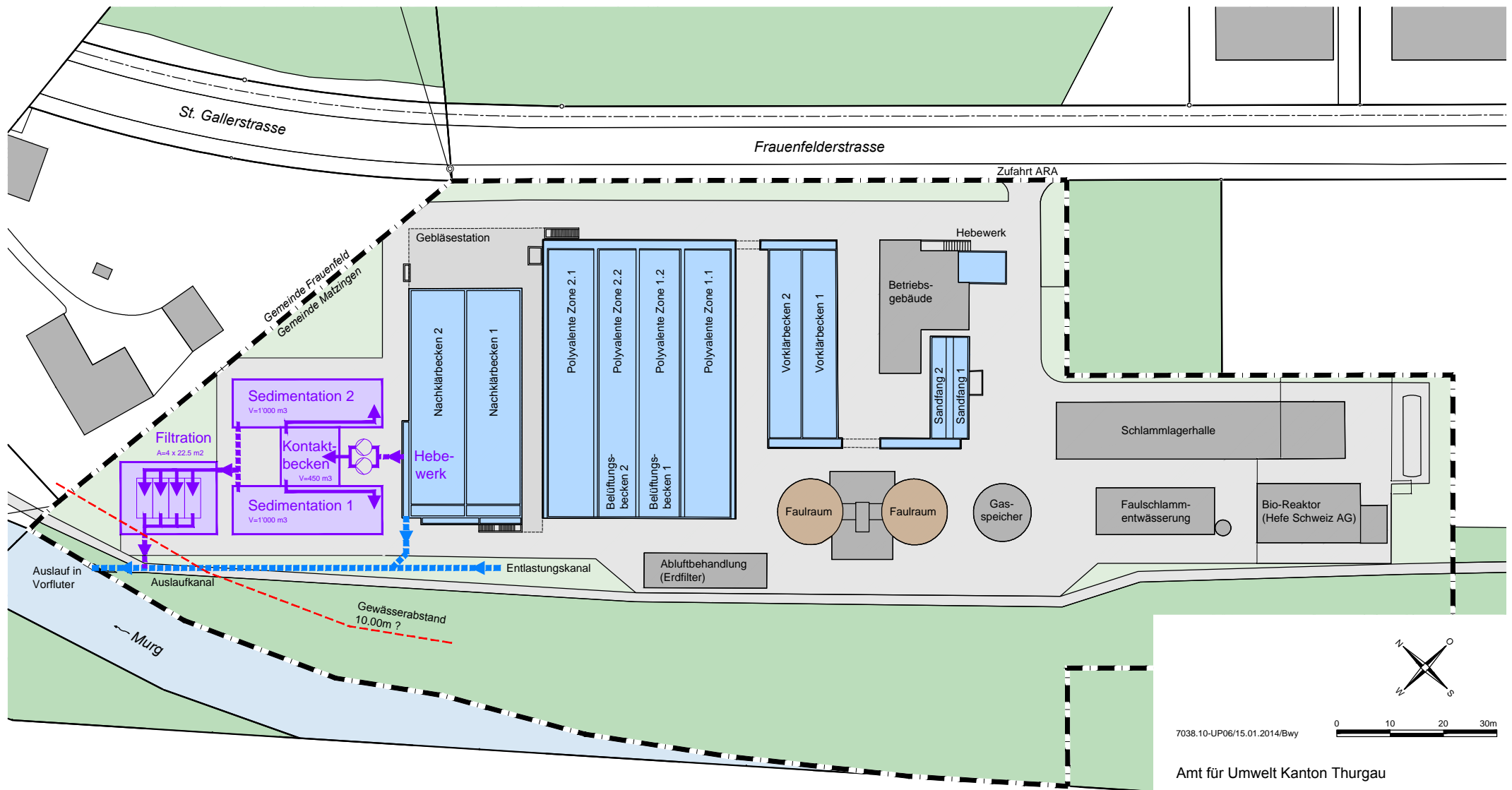
Konzept für die Reduktion des Eintrags von Spurenstoffen in Lützelmurg, Murg und Thur

ARA Matzingen

Ozonung mit bioaktiver Stufe

Situation 1:1'000

HUNZIKER **BETATECH**



0 10 20 30m

7038.10-UP06/15.01.2014/Bwy

Amt für Umwelt Kanton Thurgau

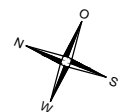
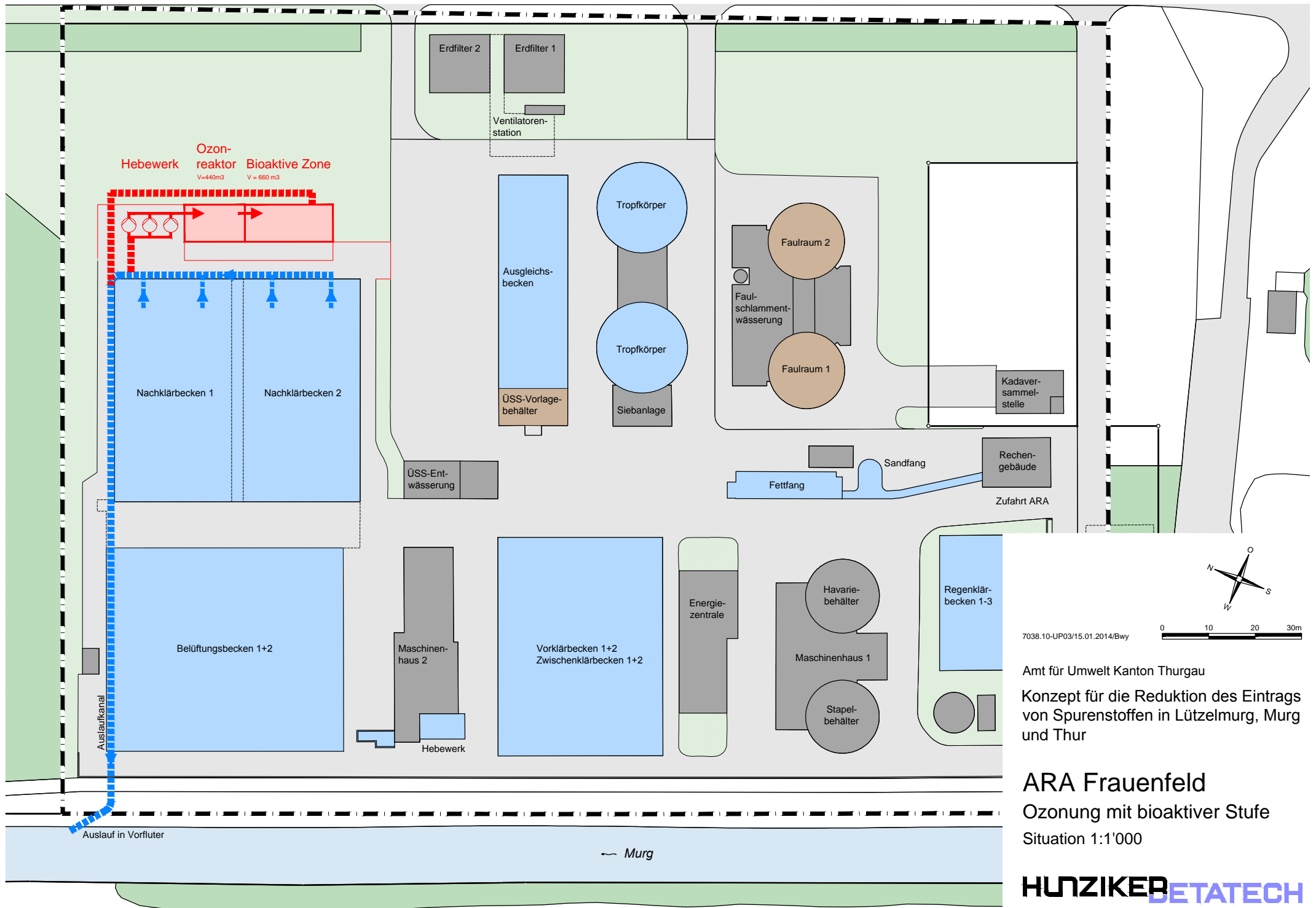
Konzept für die Reduktion des Eintrags von Spurenstoffen in Lützel-murg, Murg und Thur

ARA Matzingen

Pulveraktivkohle (Ulmer Verfahren)

Situation 1:1'000

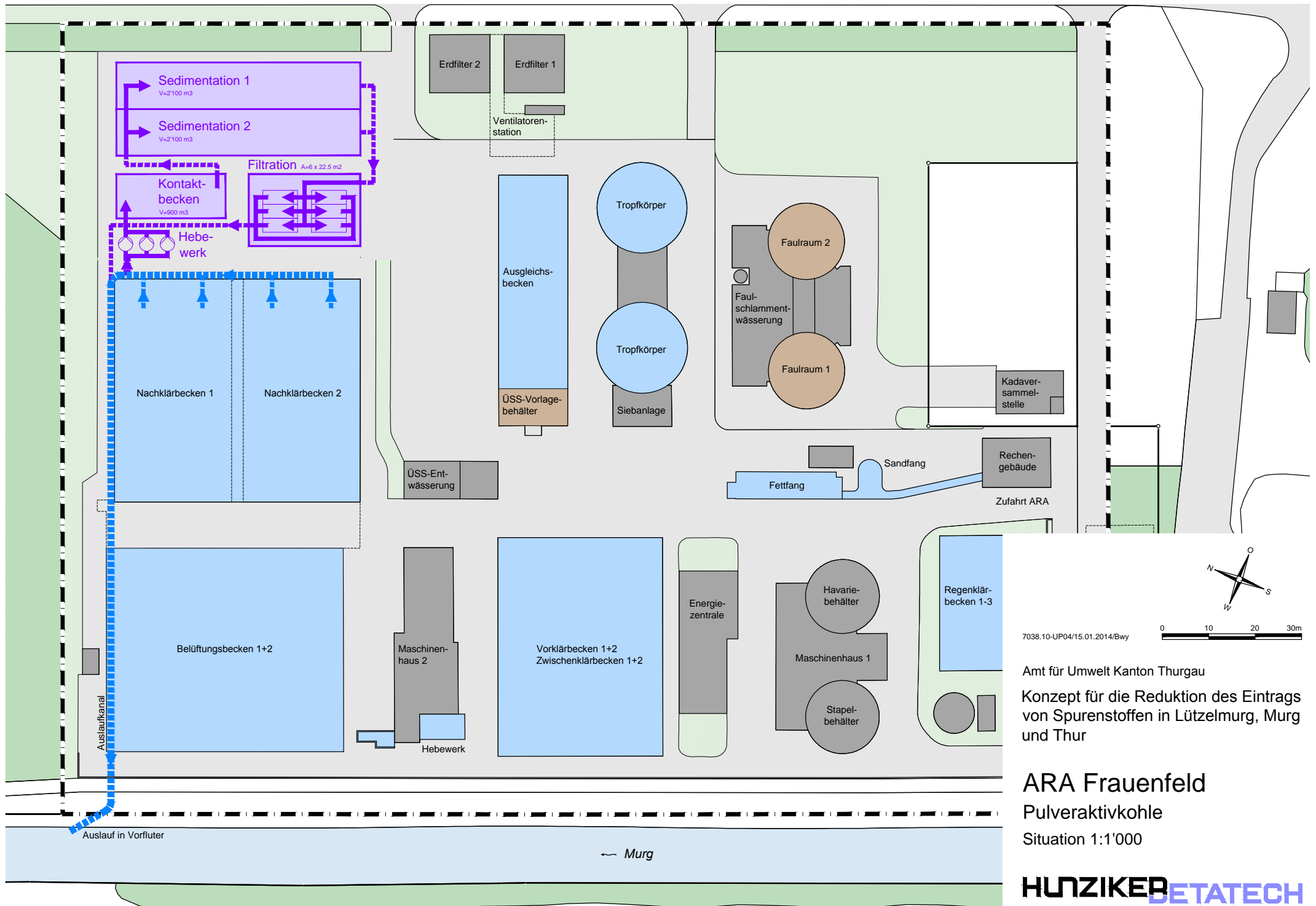
HUNZIKER **BETATECH**



7038.10-UP03/15.01.2014/Bwy

Amt für Umwelt Kanton Thurgau
 Konzept für die Reduktion des Eintrags von Spurenstoffen in Lützelburg, Murg und Thur

ARA Frauenfeld
 Ozonung mit bioaktiver Stufe
 Situation 1:1'000



7038.10-UP04/15.01.2014/Bwy

Amt für Umwelt Kanton Thurgau

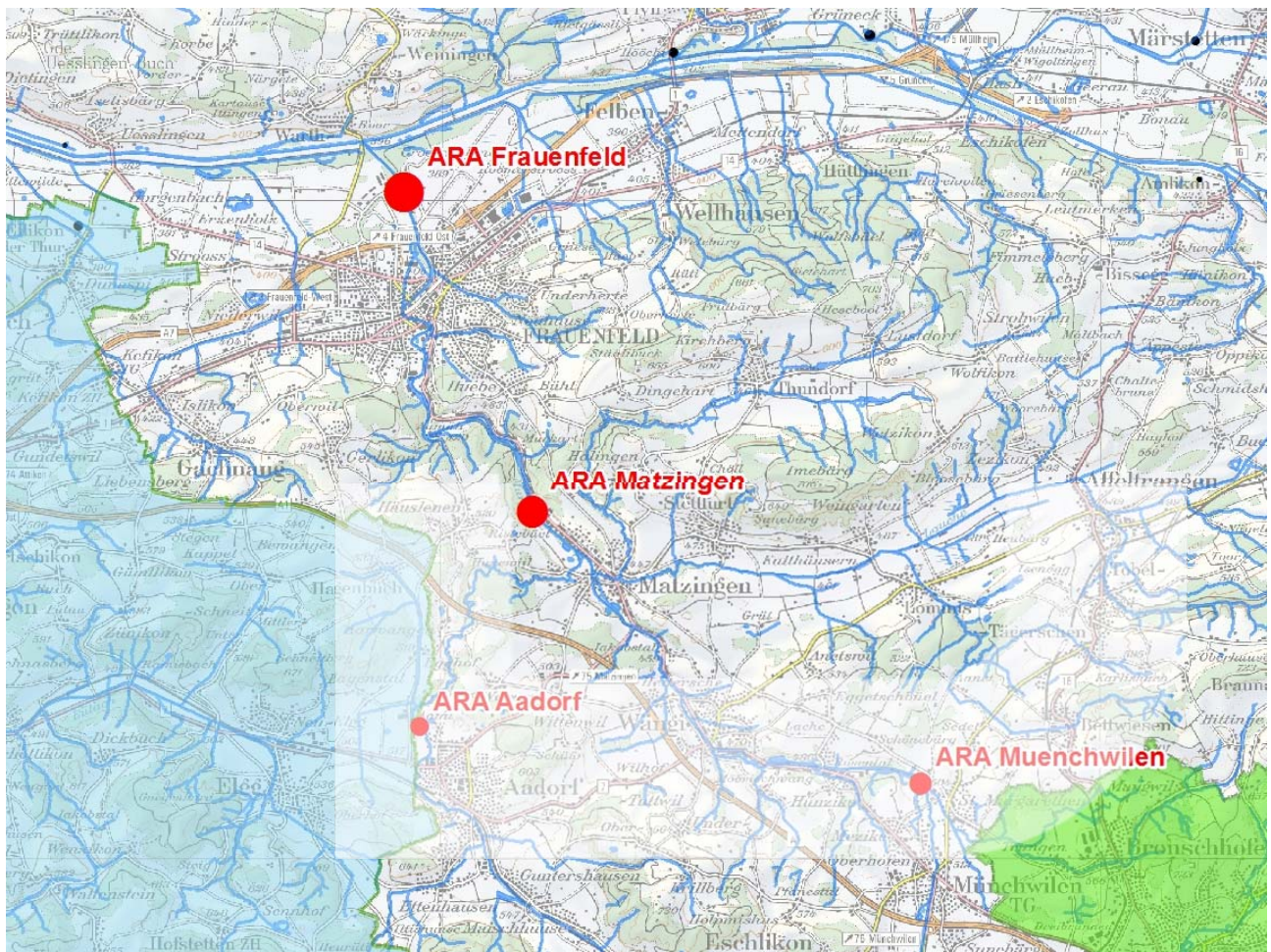
Konzept für die Reduktion des Eintrags
 von Spurenstoffen in Lützel-murg, Murg
 und Thur

ARA Frauenfeld

Pulveraktivkohle

Situation 1:1'000

HUNZIKER BETATECH



Amt für Umwelt
Kanton Thurgau

Beilage 2 Platzbedarf und Kosten

Technischer Bericht

Objekt Nr. 7038.10
Aadorf, 15. Mai 2014

HUNZIKERBETATECH

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.



Inhaltsverzeichnis

1	Platzbedarf	3
2	Kosten	4
2.1	Grundlagen	4
2.2	Investitionskosten	4
2.3	Betriebskosten	8

1 Platzbedarf

Der Platzbedarf wurde für die Auslegung auf die Dimensionierungswassermenge von $1.5 Q_{TW,max}$ abgeschätzt. Die verwendeten Datengrundlagen und Berechnungen sind in der Tabelle 1 dargestellt. Zusätzlich zum berechneten Platzbedarf wird Platz für die Sauerstofftanks bzw. für die PAK-Silos benötigt.

Tabelle 1: Grundlagen und Berechnungen zur Abschätzung des Platzbedarfs

		ARA Aadorf	ARA Münchwilen	ARA Matzingen	ARA Frauenfeld
Hydraulische Rahmenbedingungen					
1.5 Q_TW_max (2010)	(l/s)	159	154	167	338
	(m3/h)	573	556	602	1217
1.5 Q_TW_max (2030: + 7.5%)	(m3/h)	616	597	647	1308
Auslegung Ozonung mit bioaktiver Stufe					
<i>Kontaktbecken Ozonung (Wasserspiegel = 4.5 m); hydraulische Aufenthaltszeit: 20 min</i>					
V_Kontakt	(m3)	205	200	220	440
A_Kontakt	(m2)	46	44	49	98
<i>Bioaktive Stufe Ozonung (Wasserspiegel = 4.5 m); hydraulische Aufenthaltszeit: 30 min</i>					
V_bioaktSt	(m3)	310	300	330	660
A_bioaktSt	(m2)	69	67	73	147
Fläche Ozonung	(m2)	110	110	120	240
Auslegung Behandlung mit Pulveraktivkohle (Ulmer-Verfahren)					
<i>Kontaktbecken PAK (Wasserspiegel = 4 m); PAK-Schlammalter: 2 Tage</i>					
V_Kontakt	(m3)	425	415	450	900
A_Kontakt	(m2)	106	104	113	225
L_Kontakt	(m)	10.3	10.2	10.6	11.3
B_Kontakt	(m)	10.3	10.2	10.6	20.0
<i>Sedimentation PAK (Wasserspiegel = 4 m)</i>					
V_Sedimentation	(m3)	2000	1900	2000	4200
A_Sedimentation	(m2)	493	478	518	1046
L_Sedimentation	(m)	49.3	47.8	51.8	52.3
B_Sedimentation	(m)	10.0	10.0	10.0	10.0
Anzahl Becken	-	1	1	1	2
<i>Sandfilter</i>					
Anzahl Filterzellen	#	4	3	4	6
A_SF	(m2)	90	67.5	90	135
Fläche PAK	(m2)	690	650	720	1410

2 Kosten

2.1 Grundlagen

Für die Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten wurden die Kostenkurven aus dem Bericht „Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser“ [2] und das Kostenmodell des Projekts „Dimensionierung, Redundanz, Anforderungen“ [3] verwendet.

Erste Erfahrungen aufgrund von Vorprojekten deuten darauf hin, dass die anhand der Kostenkurven und des Kostenmodells geschätzten Werte auf der sicheren Seite, d.h. eher eine obere Kostengrenze bezeichnen. Die Kostengenauigkeit liegt bei $\pm 30\%$.

2.2 Investitionskosten

Inputdaten

Die Investitionskosten können anhand der Kostenkurven in Abhängigkeit der ARA-Grösse (in EW) bestimmt werden. Die Grösse der betrachteten Verfahrensvarianten hängt jedoch von der hydraulischen Belastung ab. Die hydraulische Belastung bestimmt somit im Wesentlichen die Höhe der Investitionskosten. Bei den vier betrachteten ARA unterscheiden sich die biologische und hydraulische Belastung zum Teil stark.

Bei der ARA Frauenfeld und der ARA Matzingen ist die biologische Belastung gegenüber der hydraulischen Belastung durch Industrien im Einzugsgebiet stark erhöht. Bei der ARA Aadorf ist die hydraulische Belastung wegen des relativ hohen Fremdwasserfalls hoch im Vergleich zur biologischen Belastung. Bei der ARA Münchwilen sind die hydraulische und biologische Belastung vergleichbar und entsprechen am besten den Belastungen einer durchschnittlichen Anlage. Deshalb wurde die ARA Münchwilen als Referenzanlage verwendet, um die Investitionskosten zu ermitteln (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bestimmung der "hydraulischen ARA-Grösse". Die ARA Münchwilen wurde dabei als Referenzanlage verwendet, da ihre hydraulische und biologische Belastung am besten einer durchschnittlichen ARA entspricht.

	Ang. Einwohner 2010 (¹ E)	Dimensionierung heute (EW)	Dimensionierung 2030 (Annahme) (EW)
ARA Aadorf	13'600	18'000	
ARA Münchwilen	24'000	24'000	30'000
ARA Matzingen	15'000	50'000	
ARA Frauenfeld	32'000	80'000	

	Dimensionierungs- wassermenge 2030 (m ³ /h)	hydraulische Belastung (%)	ARA-Grösse (hydraulische Belastung) EW
ARA Aadorf	616	103%	
ARA Münchwilen	597	100%	30'000
ARA Matzingen	647	108%	
ARA Frauenfeld	1'308	219%	66'000

Ozonung mit bioaktiver Stufe

Die Investitionskosten für eine Ozonung mit bioaktiver Stufe wurden anhand folgender Kostenkurve [2] abgeschätzt (Abbildung 1).

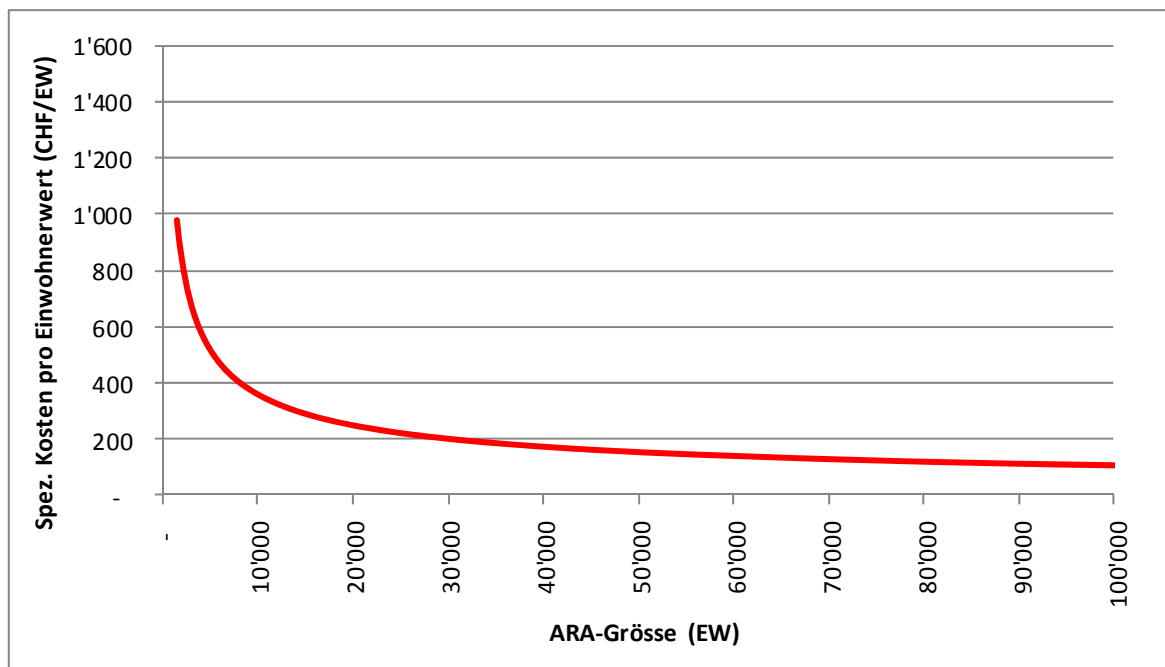


Abbildung 1: Investitionskostenkurve für eine Ozonung mit bioaktiver Stufe [2]

Der Ozonreaktor und die bioaktive Stufe der ARA Aadorf, Münchwilen und Matzingen sind ungefähr gleich gross und kosten grob geschätzt 6 Mio. CHF. Die Reaktoren auf der ARA Frauenfeld sind ungefähr doppelt so gross und kosten ungefähr 9 Mio. CHF. In der Tabelle 3 sind die verwendeten Berechnungsgrundlagen aufgeführt.

Tabelle 3: Investitionskostenberechnung für die Ozonung mit bioaktiver Stufe anhand [2]

	ARA-Grösse (hydraulische Belastung) EW	Spezifische Investitionskosten (CHF/EW)	Investitionskosten Ozon + bioakt. S. (CHF)
ARA Aadorf			
ARA Münchwilen	30'000	201	6'000'000
ARA Matzingen			
ARA Frauenfeld	66'000	133	8'800'000

Ozonung mit Sandfilter

Die Investitionskosten für die Ozonung mit Sandfilter wurden anhand des Kostenmodells des Projekts „Dimensionierung, Redundanz, Anforderungen“ [3] abgeschätzt (Tabelle 3), da im Bericht „Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser“ [2] keine Kostenkurve zu dieser Verfahrensvariante vorliegt.

Die Ozonung mit Sandfilter kostet für die ARA Aadorf, Münchwilen und Matzingen grob geschätzt 7 Mio. CHF und für die ARA Frauenfeld rund 10 Mio. CHF.

Tabelle 4: Investitionskosten für die Ozonung mit Sandfilter abgeschätzt anhand [3]

	ARA-Grösse (hydraulische Belastung) EW	Investitionskosten Ozon mit Sandfilter (CHF)	davon Allgemein (CHF)	Bau (CHF)	EMT (CHF)
ARA Aadorf					
ARA Münchwilen	30'000	7'000'000	1'000'000	2'000'000	4'000'000
ARA Matzingen					
ARA Frauenfeld	66'000	10'000'000	1'500'000	3'500'000	5'000'000

Ulmer-Verfahren

Die Investitionskosten für das Ulmer-Verfahren wurden anhand folgender Kostenkurve [2] abgeschätzt (Abbildung 2).

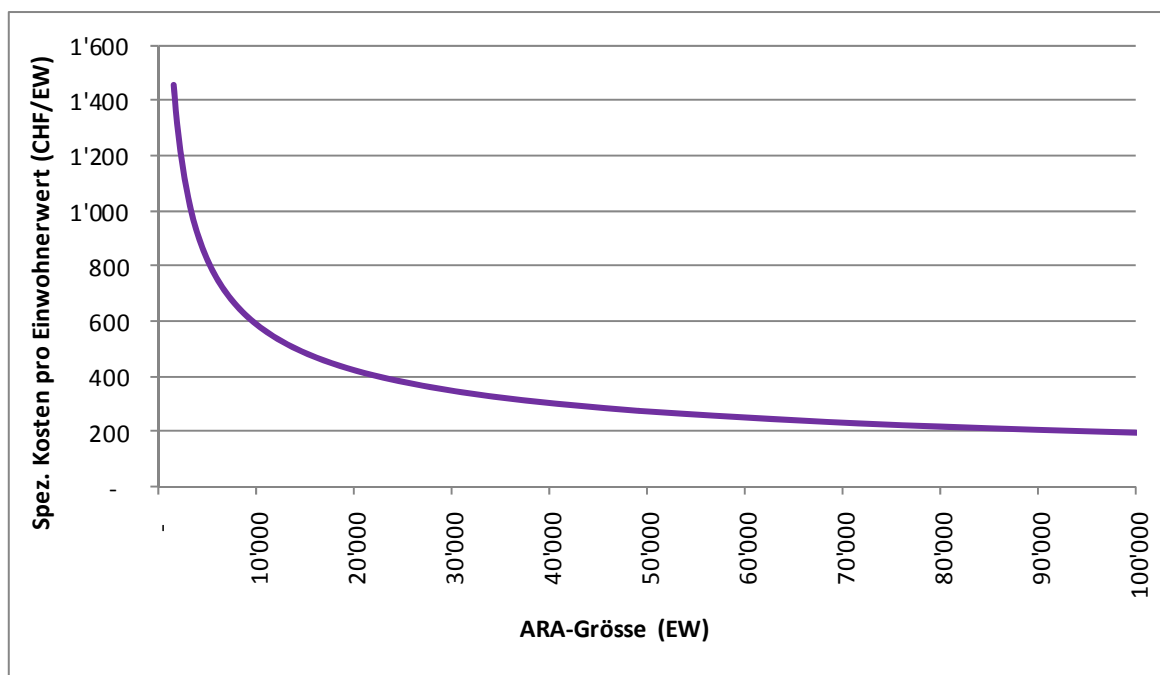


Abbildung 2: Investitionskostenkurve für das Ulmer-Verfahren [2]



Die Investitionskosten für die ARA Aadorf, Münchwilen und Matzingen betragen rund 10 Mio. CHF und für die ARA Frauenfeld rund 16 Mio. CHF. In der Tabelle 5 sind die verwendeten Berechnungsgrundlagen aufgeführt.

Tabelle 5: Investitionskostenberechnung für das Ulmer-Verfahren anhand [2]

	ARA-Grösse (hydraulische Belastung) EW	Spezifische Investitionskosten (CHF/EW)	Investitionskosten Ulmer-Verfahren (CHF)
ARA Aadorf			
ARA Münchwilen	30'000	347	10'400'000
ARA Matzingen			
ARA Frauenfeld	66'000	238	15'700'000

2.3 Betriebskosten

Inputdaten

Die Betriebskosten hängen bei der Ozonung neben dem Personal stark vom Strom- und Sauerstoffbedarf ab. Bei der Behandlung mit PAK sind die erforderliche PAK-Menge und der höhere Schlammanfall massgebend für die Betriebskosten. Die Ozon- und PAK-Dosierung (Ulmer-Verfahren) sind direkt an die Konzentration, resp. Fracht an organischen Verbindungen im Ablauf der biologischen Stufe der ARA gebunden.

Die Konzentration der organischen Verbindungen (DOC) im Ablauf der ARA ist abhängig von der biologischen Reinigung und von der Charakteristik des Zulaufs. Erhöhte DOC-Ablaufkonzentrationen können neben der unvollständigen biologischen Reinigung auch durch schlecht abbaubare Verbindungen aus industriellen Einleitern verursacht werden. Die ARA Matzingen hat wegen der Hefe Schweiz im Einzugsgebiet erhöhte DOC-Werte im Ablauf. Aus diesem Grund wurden die Einleitbedingungen für die ARA Matzingen von 10 auf 15 mg/l erhöht. Bei der ARA Matzingen wird angenommen, dass auf Grund der ca. 50% höheren DOC-Konzentrationen auch der Betriebsmittelbedarf 50% höher ist. Dies ist vor einer Realisierung anhand von Versuchen zu überprüfen.

Für die anderen ARA wird in erster Näherung angenommen, dass sie eine gleich hohe DOC-Ablaufkonzentrationen aufweisen.

Für diese grobe Schätzung der Betriebskosten werden dieselben EW-Werte für die hydraulische Belastung verwendet, welche auch für die Investitionskosten verwendet wurde, obwohl die aktuelle ARA-Belastung etwas tiefer liegt als die hydraulische ARA-Grösse.

Ozonung mit bioaktiver Stufe

Die Betriebskosten für eine Ozonung mit bioaktiver Stufe wurden anhand folgender Kostenkurve [2] abgeschätzt (Abbildung 3).

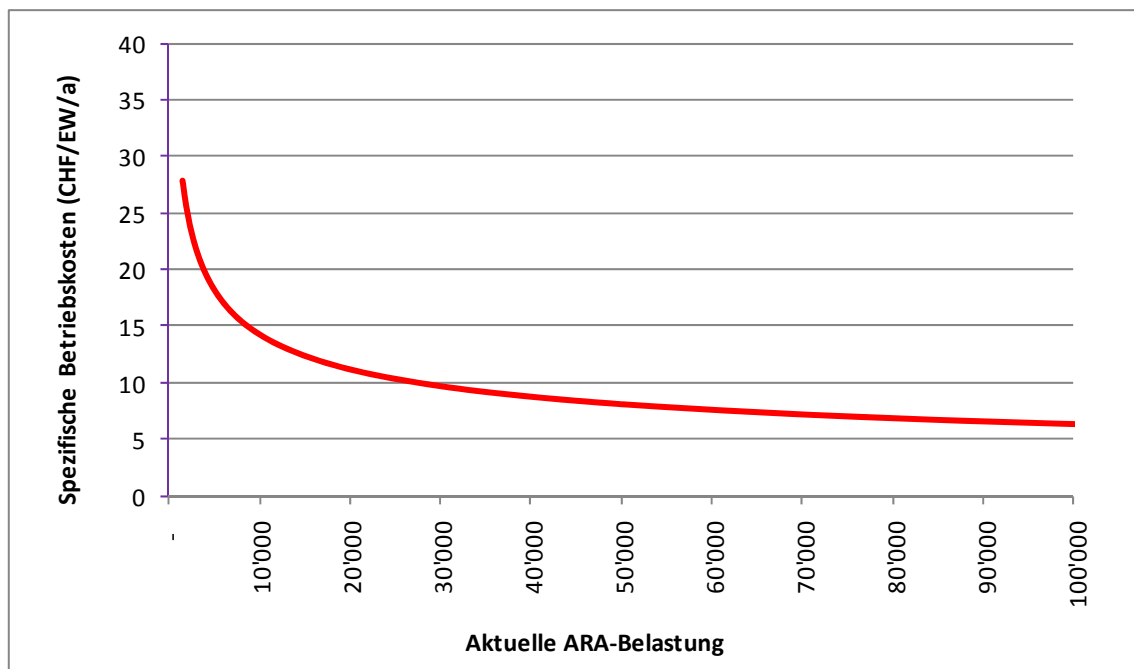


Abbildung 3: Betriebskostenkurve für eine Ozonung mit bioaktiver Stufe [2]

Die Betriebskosten der Ozonung mit bioaktiver Stufe der ARA Aadorf und Münchwilen liegen bei ungefähr 300'000 CHF/a. Voraussichtlich sind die Betriebskosten bei der ARA Aadorf tendenziell geringer, da aufgrund des hohen Fremdwasseranteils die DOC-Konzentration im gereinigten Abwasser eher tief ist (Mittelwert 2008-2012: ca. 6 mg_{DOC}/l). Bei der ARA Matzingen hingegen, bei welcher das Abwasser wegen der Hefefabrik ca. 50% höhere DOC-Konzentrationen aufweist, werden die Betriebskosten auf rund 380'000 CHF/a geschätzt. In diesem Fall muss mehr Ozon zudosiert werden, dadurch steigen die Stromkosten und die Kosten für den Sauerstoff. Diese Kosten machen zusammen rund 50% der Betriebskosten aus. Die Betriebskosten sind somit rund 25 % höher gegenüber denjenigen der ARA Münchwilen.

Die Betriebskosten der ARA Frauenfeld werden grob geschätzt bei rund 500'000 CHF/a liegen. In der Tabelle 6 sind die verwendeten Berechnungsgrundlagen aufgeführt.

Tabelle 6: Betriebskostenberechnung für die Ozonung mit bioaktiver Stufe anhand [2]

	Hydraulische Belastung	Spezifische Betriebskosten	Betriebskosten
	EW	(CHF/EW/a)	Ozon + bioakt. S. (CHF/a)
ARA Aadorf			
ARA Münchwilen	30'000	10	300'000
ARA Matzingen*		12	380'000
ARA Frauenfeld	66'000	7	500'000

*Die ARA Matzingen hat höhere spezifische Betriebskosten wegen den höheren DOC-Konzentrationen im Ablauf

Ozonung mit Sandfilter

Die Betriebskosten für die Ozonung mit Sandfilter wurden anhand des Kostenmodells des Projekts „Dimensionierung, Redundanz, Anforderungen“ [3] abgeschätzt (Tabelle 7), da im Bericht „Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser“ [2] keine Kostenkurve zu dieser Verfahrensvariante vorliegt.

Die Ozonung mit Sandfilter kostet für die ARA Aadorf und Münchwilen grob geschätzt 300'000 CHF/a. Hier werden wiederum aus den oben genannten Gründen bei der ARA Aadorf tendenziell tiefere Betriebskosten erwartet. Bei der ARA Matzingen liegen die Betriebskosten rund 25% höher bei rund 380 000 CHF/a.

Bei der ARA Frauenfeld betragen die Betriebskosten rund 500'000 CHF/a.

Tabelle 7: Betriebskosten für eine Ozonung mit Sandfilter abgeschätzt anhand [3]

	Hydraulische Belastung	Betriebskosten
	(EW)	Ozon mit SF (CHF/a)
ARA Aadorf		
ARA Münchwilen	30'000	300'000
ARA Matzingen*		380'000
ARA Frauenfeld	66'000	500'000

*Die ARA Matzingen hat höhere spezifische Betriebskosten wegen den höheren DOC-Konzentrationen im Ablauf

Ulmer-Verfahren

Die Betriebskosten für das Ulmer-Verfahren wurden anhand folgender Kostenkurve [2] abgeschätzt (Abbildung 4).

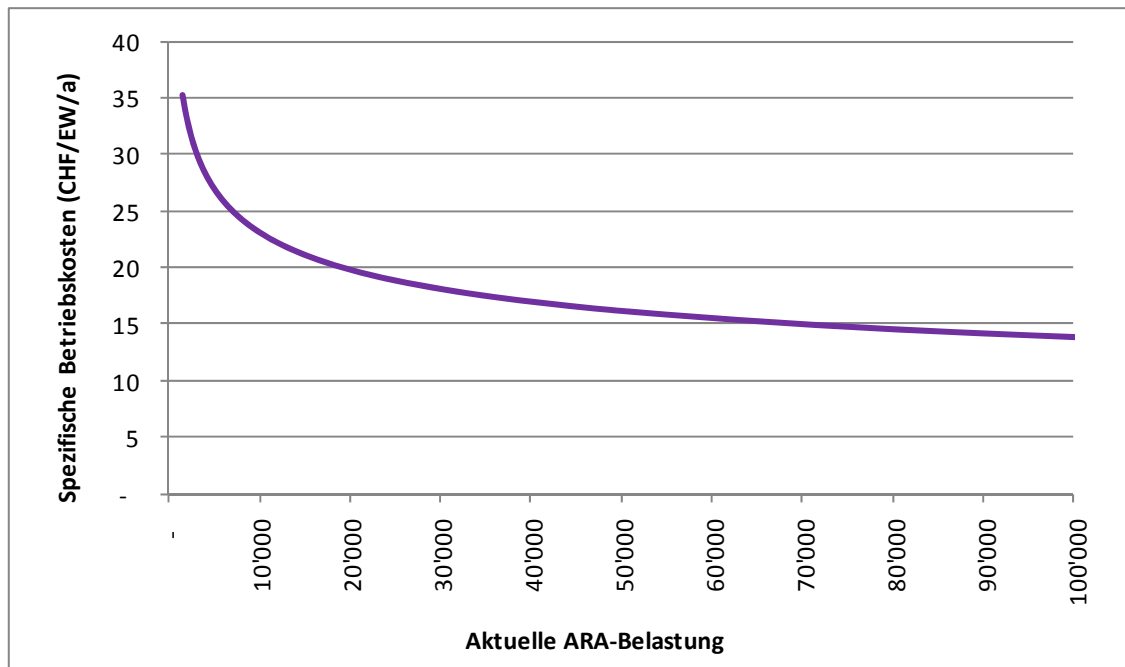


Abbildung 4: Betriebskostenkurve für das Ulmer-Verfahren [2]

Das Ulmer-Verfahren kostet für die ARA Aadorf und Münchwilen grob geschätzt 500'000 CHF/a. Hier werden wiederum aus den oben genannten Gründen (siehe Ozonung mit bioaktiver Stufe) bei der ARA Aadorf etwas tiefere Betriebskosten erwartet als bei der ARA Münchwilen. Die Betriebskosten für die ARA Matzingen werden wegen dem rund 50% höheren PAK-, Fäll- und Flockmittelbedarf und den entsprechend höheren Schlamm Entsorgungskosten auf rund 700'000 CHF/a geschätzt.

Bei der ARA Frauenfeld betragen die Betriebskosten rund 1'000'000 CHF/a.

Tabelle 8: Betriebskostenberechnung für das Ulmer-Verfahren anhand [2]

	Hydraulische Belastung (EW)	Spezifische Betriebskosten (CHF/EW/a)	Betriebskosten Ulmer-Verfahren (CHF/a)
ARA Aadorf			
ARA Münchwilen	30'000	18	500'000
ARA Matzingen		23	700'000
ARA Frauenfeld	66'000	15	1'000'000



Amt für Umwelt – Kanton Thurgau

Reduktion von Mikroverunreinigungen Lützelmurg, Murg, Thur

Beilage 3

Resultate Messkampagne



ARA	KW	Mittelwerte Abfluss		Abwasser- anteil	Diclofenac		Benzotriazol		Carbamazepin		Mecoprop		Sulfamethoxazol		Clarithromycin	
		ARA	Vorfluter ¹⁾		Ablauf ARA	unterhalb ARA	Ablauf ARA	unterhalb ARA	Ablauf ARA	unterhalb ARA	Ablauf ARA	unterhalb ARA	Ablauf ARA	unterhalb ARA	Ablauf ARA	unterhalb ARA
		l/s	l/s		g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d
Aadorf	7	117	966	11%	10.8	13.1	51	47	1.8	2.2	1.5	1.8	0.82	1.11	1.5	1.5
	8	93	796	10%	10.9	10.8	37	34	1.7	1.6	1.5	2.0	0.63	0.84	2.5	2.5
	9	112	884	11%	12.1	11.7	33	39	1.9	2.0	5.2	5.9	0.82	0.84	2.0	1.6
	10	93	792	11%	12.0	11.5	42	38	2.0	2.2	1.6	2.1	0.93	1.01	3.2	3.2
	Mittel	104	860	11%	11.4	11.8	41	39	1.8	2.0	2.5	2.9	0.80	0.95	2.3	2.2
	Q ₃₄₇	134 l/s			spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇
	Q _{TW}	72 l/s			µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l
	Q ₃₄₇ +Q _{TW}	206 l/s			763	662	2'722	2'212	123	112	165	165	53	53	153	126
	E _{ana}	15'010		CQK ²⁾		50		30'000		500				120		60
Münchwilen	7	133	1860	7%	18.0	22.2	81	85	2.3	2.7	0.0	0.0	0.94	0.00	2.9	3.8
	8	107	1443	7%	13.6	16.0	50	51	2.3	2.4	0.3	0.7	0.61	0.00	1.3	1.8
	9	148	1626	9%	16.8	17.6	51	53	2.5	2.5	0.9	1.8	0.68	0.00	1.7	1.5
	10	122	1420	9%	12.8	14.3	57	53	1.9	2.1	0.4	0.0	1.16	1.14	2.5	2.9
	Mittel	127	1'587	8%	15.3	17.5	60	60	2.2	2.4	0.4	0.6	0.85	0.28	2.1	2.5
	Q ₃₄₇	393 l/s			spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇
	Q _{TW}	69 l/s			µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l
	Q ₃₄₇ +Q _{TW}	462 l/s			827	439	3'232	1'514	121	61	22	16	46	7	114	62
	E _{ana}	18'510		CQK		50		30'000		500				120		60
Matzingen	7	116	4214	3%	11.4	28.0	48	116	2.9	6.1	0.0	0.0	0.69	2.42	0.9	4.0
	8	91	3361	3%	7.8	23.1	36	91	2.5	5.2	0.3	2.5	0.72	2.33	0.8	4.0
	9	137	4558	3%	12.4	19.0	77	121	2.8	3.5	0.7	7.7	0.92	0.00	1.4	2.5
	10	104	3704	3%	8.5	25.1	36	100	2.5	5.9	0.4	2.8	0.68	3.05	1.0	4.7
	Mittel	112	3'959	3%	10.0	23.8	49	107	2.7	5.2	0.3	3.2	0.75	1.95	1.0	3.8
	Q ₃₄₇	800 l/s			spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇
	Q _{TW}	75 l/s			µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l
	Q ₃₄₇ +Q _{TW}	875 l/s			668	315	3'270	1'415	178	69	23	43	50	26	67	50
	E _{ana}	15'000		CQK		50		30'000		500				120		60
Frauenfeld	7	227	4945	5%	27.4	54.9	67	176	4.6	11.4	1.4	3.7	4.32	6.66	2.3	5.8
	8	192	4046	5%	20.6	39.4	51	139	4.6	8.9	0.9	3.2	2.67	4.32	1.6	4.9
	9	270	5471	5%	26.9	41.0	62	219	4.6	7.9	1.9	10.7	5.42	4.26	2.2	3.9
	10	207	4316	5%	22.2	41.2	63	136	5.1	9.7	0.9	3.6	3.60	5.47	2.7	7.3
	Mittel	224	4'695	5%	24.3	44.1	61	168	4.7	9.5	1.3	5.3	4.00	5.18	2.2	5.5
	Q ₃₄₇	940 l/s			spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇	spez. Fracht	Konz. bei Q ₃₄₇
	Q _{TW}	151 l/s			µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l	µg/E/d	ng/l
	Q ₃₄₇ +Q _{TW}	1'091 l/s			736	468	1'840	1'778	143	100	38	56	121	55	67	58
	E _{ana}	33'000		CQK		50		30'000		500				120		60
Bilanzen					Fracht zu	Fracht ab	Fracht zu	Fracht ab	Fracht zu	Fracht ab	Fracht zu	Fracht ab	Fracht zu	Fracht ab	Fracht zu	Fracht ab
					g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d	g/d
Aadorf + Münchwilen -> Matzingen					39	24	149	107	7.1	5.2	3.9	3.2	2.0	2.0	5.7	3.8
Matzingen -> Frauenfeld					48	44	168	168	9.9	9.5	4.5	5.3	6.0	5.2	6.0	5.5

¹⁾ Abfluss jeweils unterhalb Einleitstelle ARA:

Abfluss Vorfluter Aadorf: Summe Messwerte Station Lützelburg Aadorf und Abfluss ARA Aadorf

Abfluss Vorfluter Münchwilen: Messwerte Station Murg-Wängi multipliziert mit Q₃₄₇(Münchwilen)/Q₃₄₇(Murg-Wängi)

Abfluss Vorfluter Matzingen: Summe Messwerte Stationen Murg-Wängi, Lützelburg Aadorf und Lauche Matzingen sowie Abfluss ARA Aadorf und Matzingen

Abfluss Vorfluter Frauenfeld: Summe Messwerte Stationen Murg-Frauenfeld und Abfluss ARA Frauenfeld

²⁾ Chronisches Qualitätskriterium, aus [3]

Untersuchung von ARA Indikatorsubstanzen für Amt für Umwelt Kanton Thurgau Aadorf

Probenbezeichnung:

Probe Nr. 1 Lützelmurg oberhab ARA Auwiese (Nr.75469)
 Probe Nr. 2 Lützelmurg unterhalb ARA Auwiese (Nr. 75470)
 Probe Nr. 3 ARA Auwiese Ablauf NK (Nr.75471)
 Probe Nr. 13 Lauche (Nr.75481)

Probenbezeichnung gemäss Probentabelle

Analysenresultate

	Woche 7			Woche 8			Woche 9			Woche 10			Mittelwerte			Lauche
	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	ARA Abfluss	unterhalb	
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 1	Nr. 3	Nr. 2	
	75469	75470	75471	75482	75483	75484	75482	75483	75484	75482	75483	75484	75482	75484	75483	
	Woche 7	Woche 7	Woche 7	Woche 8	Woche 8	Woche 8	Woche 9	Woche 9	Woche 9	Woche 10	Woche 10	Woche 10	oberhalb	ARA Abfluss	unterhalb	
Atenolol		0.04	0.13		0.05	0.28		0.04	0.22		0.04	0.25		0.22		
Atrazin		0.01			0.08	0.52		0.02	0.15		0.03	0.16		0.22		
Benzotriazol	0.03	0.56	5.06	0.02	0.49	4.60	0.01	0.51	3.44	0.02	0.55	5.21		4.58	0.53	0.02
Carbamazepin		0.03	0.18		0.02	0.21		0.03	0.19		0.03	0.25		0.21		
Carbendazim		0.02	0.10		0.16	1.37		0.04	0.35		0.02	0.17		0.50	0.06	
Clarithromycin		0.02	0.15		0.04	0.31		0.02	0.21		0.05	0.39		0.26		
Desethylatrazin	0.01	0.02						0.02		0.02	0.02					0.02
Diazinon		0.01	0.08			0.07					0.02	0.23		0.09		
Diclofenac		0.16	1.07		0.16	1.36		0.15	1.25		0.17	1.49		1.29	0.16	
Diuron		0.11	0.65		0.35	3.01		0.09	0.72		0.07	0.44		1.21	0.15	
Isoproturon		0.01	0.09													
Mecoprop		0.02	0.15		0.03	0.19	0.01	0.08	0.54		0.03	0.20		0.27		
Methylbenzotriazol	0.02	0.43	3.27	0.01	0.46	3.40		0.82	4.07	0.01	0.29	2.22		3.24	0.50	0.02
Metolachlor																
Metoprolol		0.04	0.28		0.03	0.30		0.04	0.27		0.02	0.21		0.26		
Sulfamethoxazol		0.01	0.08		0.01	0.08		0.01	0.08		0.01	0.12		0.09		
Acetylsulfamethoxazol		0.04	0.19		0.04	0.20		0.04	0.23		0.04	0.29		0.23		
Venlafaxin		0.03	0.18		0.03	0.29		0.04	0.24		0.04	0.30		0.25		

keine Angabe bedeutet Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze für ARA-Proben von 0.05 µg/l und für Fließgewässer 0.01 µg/l

Untersuchung von ARA Indikatorsubstanzen für Amt für Umwelt Kanton Thurgau Münchwilen

Probenbezeichnung:

Probe Nr. 4 Murg oberhalb ARA Münchwilen (Nr.75472)
 Probe Nr. 5 Murg unterhalb ARA Münchwilen (Nr.75473)
 Probe Nr. 6 ARA Münchwilen Ablauf NK (Nr.75474)
 Probe Nr. 13 Lauche (Nr.75481)

Probenbezeichnung gemäss Probentabelle

Analysenresultate

		Woche 7			Woche 8			Woche 9			Woche 10			Mittelwerte			Lauche
		oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	ARA Abfluss	unterhalb	
		Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 4	Nr. 6	Nr. 5	Nr. 13
		75472	75473	75474	75485	75486	75487	75485	75486	75487	75485	75486	75487	75485	75487	75486	75481
		Woche 7	Woche 7	Woche 7	Woche 8	Woche 8	Woche 8	Woche 9	Woche 9	Woche 9	Woche 10	Woche 10	Woche 10	oberhalb	ARA Abfluss	unterhalb	Woche 7
Atenolol	µg/l		0.04	0.59		0.06	0.62		0.07	0.50		0.07	0.63		0.58	0.06	
Atrazin	µg/l											0.01	0.20				
Benzotriazol	µg/l	0.02	0.53	7.06		0.41	5.43	0.02	0.38	4.04	0.02	0.43	5.40		5.48	0.44	0.02
Carbamazepin	µg/l		0.02	0.20		0.02	0.25		0.02	0.19		0.02	0.18		0.21		
Carbendazim	µg/l																
Clarithromycin	µg/l		0.02	0.26		0.01	0.14		0.01	0.13		0.02	0.24		0.19		
Desethylatrazin	µg/l											0.01					0.02
Diazinon	µg/l																
Diclofenac	µg/l		0.14	1.57		0.13	1.48		0.13	1.32		0.12	1.22		1.40	0.13	
Diuron	µg/l																
Isoproturon	µg/l																
Mecoprop	µg/l								0.01	0.07							
Methylbenzotriazol	µg/l	0.02	0.24	2.39		0.19	2.30	0.01	0.19	1.64		0.25	2.07		2.10	0.22	0.02
Metolachlor	µg/l																
Metoprolol	µg/l		0.02	0.22		0.02	0.22		0.02	0.17		0.01	0.14		0.19		
Sulfamethoxazol	µg/l			0.08			0.07			0.05			0.11		0.08		
Acetylsulfamethoxazol	µg/l		0.04	0.38		0.03	0.32		0.02	0.28		0.04	0.49		0.37		
Venlafaxin	µg/l			0.18		0.02	0.20		0.02	0.17		0.02	0.20		0.19		

keine Angabe bedeutet Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze für ARA-Proben von 0.05 µg/l und für Fließgewässer 0.01 µg/l

Untersuchung von ARA Indikatorsubstanzen für Amt für Umwelt Kanton Thurgau Matzingen

Probenbezeichnung:

Probe Nr. 7 Murg oberhalb ARA Matzingen (Nr.75475)
 Probe Nr. 8 Murg unterhalb ARA Matzingen (Nr.75476)
 Probe Nr. 9 ARA Matzingen Ablauf NK (Nr.75477)
 Probe Nr. 13 Lauche (Nr.75481)

Probenbezeichnung gemäss Probentabelle

Analysenresultate

Woche 7			Woche 8			Woche 9			Woche 10			Mittelwerte			Lauche
oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	ARA Abfluss	unterhalb	
Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 7	Nr. 9	Nr. 8	Nr. 13
75475	75476	75477	75488	75489	75490	75488	75489	75490	75488	75489	75490	75488	75490	75489	75481
Woche 7	Woche 7	Woche 7	Woche 8	Woche 8	Woche 8	Woche 9	Woche 9	Woche 9	Woche 10	Woche 10	Woche 10	oberhalb	ARA Abfluss	unterhalb	Woche 7
		0.18			0.34	0.02	0.01	0.26	0.02	0.03	0.35		0.28		
			0.02	0.02					0.01	0.01					
0.23	0.32	4.74	0.24	0.31	4.62	0.19	0.31	6.52	0.21	0.31	3.95	0.22	4.96	0.31	0.02
	0.02	0.29		0.02	0.31			0.24	0.01	0.02	0.28		0.28		
		0.07	0.03	0.03	0.10								0.06		
	0.01	0.09	0.01	0.01	0.10			0.12	0.01	0.01	0.11		0.10		
0.01	0.02			0.01		0.01	0.01		0.02	0.02					0.02
0.06	0.08	1.14	0.06	0.08	1.00	0.05	0.05	1.05	0.05	0.08	0.95	0.05	1.03	0.07	
0.01	0.02	0.07	0.06	0.05		0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.06		0.05		
						0.02	0.02	0.06							
0.16	0.24	2.09	0.14	0.21	1.68	0.13	0.27	2.00	0.13	0.18	1.75	0.14	1.88	0.23	0.02
	0.01	0.35		0.02	0.33			0.23		0.01	0.21		0.28		
		0.07			0.09			0.08			0.08		0.08		
0.02	0.02	0.17	0.02	0.02	0.20		0.01	0.27	0.02	0.02	0.24		0.22		
		0.17	0.01	0.02	0.23	0.01	0.01	0.20	0.01	0.02	0.21		0.20		

keine Angabe bedeutet Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze für ARA-Proben von 0.05 µg/l und für Fließgewässer 0.01 µg/l

Untersuchung von ARA Indikatorsubstanzen für Amt für Umwelt Kanton Thurgau Frauenfeld

Probenbezeichnung:

Probe Nr. 10 Murg oberhalb ARA Frauenfeld (Nr.75478)
 Probe Nr. 11 Murg unterhalb ARA Frauenfeld (Nr.75479)
 Probe Nr. 12 ARA Frauenfeld Ablauf NK (Nr.75480)
 Probe Nr. 13 Lauche (Nr.75481)

Probenbezeichnung gemäss Probentabelle

Analysenresultate

		Woche 7			Woche 8			Woche 9			Woche 10			Mittelwerte			Lauche
		oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	unterhalb	ARA Abfluss	oberhalb	ARA Abfluss	unterhalb	
		Nr. 10	Nr. 11	Nr. 12	Nr. 10	Nr. 11	Nr. 12	Nr. 10	Nr. 11	Nr. 12	Nr. 10	Nr. 11	Nr. 12	Nr. 10	Nr. 12	Nr. 11	Nr. 13
		75478	75479	75480	75491	75492	75493	75491	75492	75493	75491	75492	75493	75491	75493	75492	75481
		Woche 7	Woche 7	Woche 7	Woche 8	Woche 8	Woche 8	Woche 9	Woche 9	Woche 9	Woche 10	Woche 10	Woche 10	oberhalb	ARA Abfluss	unterhalb	Woche 7
Atenolol	µg/l		0.02	0.15	0.02	0.04	0.24	0.02	0.03	0.21	0.02		0.25		0.21		
Atrazin	µg/l				0.02	0.02					0.01	0.01					
Benzotriazol	µg/l	0.34	0.41	3.39	0.33	0.40	3.10	0.47	0.46	2.68	0.31	0.37	3.49	0.36	3.17	0.41	0.02
Carbamazepin	µg/l	0.02	0.03	0.24	0.02	0.03	0.28	0.02	0.02	0.20	0.02	0.03	0.29		0.25		
Carbendazim	µg/l				0.03	0.04							0.06				
Clarithromycin	µg/l		0.01	0.12	0.01	0.01	0.10			0.10	0.01	0.02	0.15		0.11		
Desethylatrazin	µg/l	0.02	0.02			0.01		0.01	0.01		0.02	0.02					0.02
Diazinon	µg/l			0.05									0.07				
Diclofenac	µg/l	0.08	0.13	1.40	0.08	0.11	1.24	0.10	0.09	1.15	0.08	0.11	1.24	0.08	1.26	0.11	
Diuron	µg/l	0.02	0.03	0.06	0.06	0.06	0.23	0.02	0.02	0.12	0.01	0.02	0.05		0.12		
Isoproturon	µg/l																
Mecoprop	µg/l			0.07			0.05	0.02	0.02	0.08			0.05		0.06		
Methylbenzotriazol	µg/l	0.21	0.28	1.77	0.19	0.26	2.12	0.28	0.26	1.64	0.17	0.20	1.67	0.21	1.80	0.25	0.02
Metolachlor	µg/l																
Metoprolol	µg/l	0.01	0.03	0.31	0.02	0.03	0.33	0.02	0.01	0.24	0.01	0.02	0.23		0.28		
Sulfamethoxazol	µg/l		0.02	0.22		0.01	0.16	0.01		0.23	0.01	0.01	0.20		0.20		
Acetylsulfamethoxazol	µg/l	0.02	0.02	0.09	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02		0.03	0.02			0.06		
Venlafaxin	µg/l		0.02	0.17	0.02	0.02	0.22	0.02	0.02	0.20	0.02	0.02	0.21		0.20		

keine Angabe bedeutet Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze für ARA-Proben von 0.05 µg/l und für Fließsgewässer 0.01 µg/l