

10 ANHANG

Anhang 1: Klärtechnische Berechnung

AdOx Köln
-
**Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR
Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination**

**Klärtechnische Berechnungen
KW Rodenkirchen
Inhaltsverzeichnis**

Nr.	Inhalt	Seite
1	Bemessungsdaten	2
2	GAK-Filter	4
3	Ozonung mit anschließender biologischer Nachbehandlung	6
4	Referenzfilter	10
5	Betrachtung der Spülwassermengen	11

Hydro-Ingenieure GmbH

AdOx Köln - AKW010 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
 Klärtechnische Berechnungen

1 Bemessungsdaten

1.1 Hydraulische Daten

Zulauf Kläranlage gesamt

Maximaler Regenwetterabfluss	Q_{M}	=	579 l/s
Mittlerer Trockenwetterabfluss	$Q_{T,d,M}$	=	107 l/s
Maximaler Trockenwetterabfluss (2h-Mittel)	$Q_{T,d,max}$	=	175 l/s
Minimaler Nachtzufluss (2h-Mittel)	$Q_{T,n,min}$	=	42 l/s

Teilstrom zur Spurenstoffelimination

Es wird der gesamte Trockenwetterabfluss zur Spurenstoffelimination weitergeleitet.
 Bei Regenwetter wird der Anteil des Abflusses $> Q_{T,d,max}$ abgeschlagen und nicht zur Spurenstoffelimination geleitet.

Maximaler Zufluss (2h-Mittel)	Q_{max}	=	175 l/s	entspricht $Q_{T,d,max}$
Mittlerer Zufluss	Q_{mittel}	=	107 l/s	entspricht $Q_{T,d,M}$
Minimaler Zufluss (2h-Mittel)	Q_{min}	=	42 l/s	entspricht $Q_{T,n,min}$

Die minimale Fördermenge der frequenzgereigten Rohwasserpumpen beträgt ca. 69 l/s (s. Punkt 1.2) und ist somit höher als der minimale Zufluss zur Filterstufe (ca. 42 l/s). Daher wird eine neue Rohwasserpumpe mit geringerer Fördermenge vorgesehen (s. Punkt 1.2).

Es werden insgesamt 3 Filterzellen für das Pilotprojekt umgerüstet.
 (1 GAK-Filter, 1 Ozonreaktor mit nachgeschaltetem Filter, 1 BIOFOR-Referenzfilter)

Anzahl Zellen	n	=	3
Maximaler Zufluss pro Zelle	Q_{max}	=	58 l/s
Mittlerer Zufluss pro Zelle	Q_{mittel}	=	36 l/s
Minimaler Zufluss pro Zelle	Q_{min}	=	14 l/s

Während der Spülung eines Filters wird diese Zelle nicht beschickt. Der Zufluss wird dann auf die anderen zwei Filterzellen verteilt, so dass sich hier kurzfristig (für die Dauer der Spülung, $< 1h$) höhere Zuflüsse einstellen können.

Anzahl Zellen	n	=	2
Maximaler Zufluss pro Zelle	Q_{max}^*	=	88 l/s
Mittlerer Zufluss pro Zelle	Q_{mittel}^*	=	54 l/s
Minimaler Zufluss pro Zelle	Q_{min}^*	=	21 l/s

Bei einer längeren Außerbetriebnahme einer Zelle oder bei Außerbetriebnahme von zwei Zellen kann über die Rohwasserpumpen der Zufluss begrenzt werden, so dass eine Zelle nicht hydraulisch überbelastet wird. Geht dann ein Filter in Rückspülung, sollte die Beschickung der anderen in Betrieb befindlichen Zelle ebenfalls für die Dauer der Spülung unterbrochen werden.

1.2 Maschinentechnische Ausrüstung

Rechenanlage (Trommelleib)

Im Zulauf der Filterstufe wird zum Schutz der Anlage eine neue, automatisch geräumte Rechenanlage in Form eines Trommelleib installiert.

Anzahl Trommelleibe	n	=	1
Trommeldurchmesser	D	=	ca. 1,4 m
Maschenweite	w	=	1 mm
min. Wasserspiegeldifferenz	Δh_{min}	=	0 cm
max. Wasserspiegeldifferenz	Δh_{max}	=	45 cm

Rohwasserpumpen

In dem Rohwasserpumpwerk der Filterstufe sind vier Pumpen mit identischer Förderleistung installiert.
 Die zwei FU-gereigten Pumpen werden weiter genutzt (1+1). Die anderen beiden Pumpen werden für den Betrieb der Versuchszellen nicht benötigt und nicht weiter betrieben (1 St.) bzw. demontiert (1 St.).
 Des Weiteren wird eine neue Pumpe mit geringerer Förderleistung installiert, um den minimalen Nachtzufluss zu fördern.

vorh. Pumpen:			
Anzahl Pumpen	n	=	1+1
Fördermenge je Pumpe	Q	=	250 bis 780 m³/h (frequenzgeregelt)

AdOx Köln - AKW010 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
Klärtechnische Berechnungen

neue Pumpe:		-	69 bis 217 l/s	
Anzahl Pumpen	n	-	1	
Fördermenge je Pumpe	Q	-	ca. 108 bis 324 m ³ /h	(frequenzgeregelt)
		-	ca. 30 bis 90 l/s	

AdOx Köln - AKW010 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
 Klärtechnische Berechnungen

Filterspülpumpen

Die drei vorhandenen Filterspülpumpen werden weiterhin genutzt.
 Zwei der drei Pumpen werden mit einem FU nachgerüstet.
 Dies ist erforderlich, um die erforderliche Spülgeschwindigkeit für den GAK-Filter variabel einstellen zu können.

vorh. Pumpe:

Anzahl Pumpen	n	-	1	
Fördermenge je Pumpe	Q	-	ca. 500 m³/h	(nicht frequenzgeregelt)
		-	ca. 139 l/s	

vorh. Pumpen (Nachrüstung mit FU):

Anzahl Pumpen	n	-	2	
Fördermenge je Pumpe	Q	-	ca. 180 bis 500 m³/h	(frequenzgeregelt)
		-	ca. 50 bis 139 l/s	

Spülluftgebläse

Die vorhandenen Spülluftgebläse sind für die Rückspülung des GAK-Filter zu groß ausgelegt.
 Da die Gebläse nicht regelbar und darüber hinaus in einem schlechten Zustand sind, wird ein neues, zusätzliches Gebläse installiert (FU-geregelt).

vorh. Gebläse

Anzahl Gebläse	n	-	1+1	
Ansaugvolumenstrom je Gebläse	Q	-	ca. 2.900 Nm³/h	

neues Gebläse:

Anzahl Gebläse	n	-	1	
Ansaugvolumenstrom je Gebläse	Q	-	ca. 500 - 1.500 Nm³/h	(frequenzgeregelt)

Prozessluftgebläse

Die Prozessluftgebläse dienen einer optionalen Nachnitrifikation in den BIOFOR-Filtern.
 Je einer Filterzelle ist ein Prozessluftgebläse zugeordnet.
 Für den regulären Betrieb der Versuchszellen ist ein Einsatz der Prozessluftgebläse nicht vorgesehen. Sie werden jedoch betriebsbereit gehalten und können bei Bedarf zugeschaltet werden (z.B. für eine Belüftung des Filters für die biologische Nachbehandlung nach der Ozonung oder für eine Belüftung des GAK-Filtern).

vorh. Gebläse:

Anzahl	n	-	6 (1 je Filterzelle)	
Ansaugvolumenstrom je Gebläse	Q	-	170 / 282 Nm³/h	(polumschaltbar)

AdOx Köln - AKW010 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
Klärtechnische Berechnungen

2 GAK-Filter

2.1 Hydraulische Daten

Maximaler Zufluss	Q_{max}	=	58 l/s
Mittlerer Zufluss	Q_{mittel}	=	36 l/s
Minimaler Zufluss	Q_{min}	=	14 l/s

Wenn nur zwei Zellen in Betrieb sind, kann sich der maximale Zufluss pro Zelle kurzfristig erhöhen (s. Punkt 1.1).
Maximaler Zufluss (bei 2 Zellen in Betrieb) Q_{max}^* = 88 l/s

2.2 Bemessung GAK-Filter

Da bei der Aktivkohlefiltration auf dem KW Rodenkirchen möglichst die gleichen Randbedingungen und Prozessparameter wie für eine potentielle Aktivkohlefiltration auf dem GWK Stammheim eingehalten werden sollen, ergeben sich folgende Vorgaben:

Vorgaben

Vorgabe Kontaktzeit (bei Q_{max})	t	=	18,7 min	analog zu GWK Stammheim
erf. Volumen	V	=	65,5 m ³	
Vorgabe Filterbetthöhe (inkl. Stützschrift)	H	=	2,50 m	analog zu GWK Stammheim
erf. Filterfläche	A	=	26,2 m ²	
vorh. Breite	B	=	5,00 m	
erf. Länge	L	=	5,24 m	

Gewählte Abmessungen

Länge	L	=	5,25 m
Breite	B	=	5,00 m
Filterbetthöhe (inkl. Stützschrift)	H	=	2,50 m
Filterfläche (Leerrohrfläche)	A	=	26,3 m ²
Filterbettvolumen	V	=	65,6 m ³

Resultierende Prozessparameter

Filtergeschwindigkeit (Leerrohrgeschwindigkeit)			
bei Q_{max}	v	=	8,0 m/h
bei Q_{mittel}	v	=	4,9 m/h
bei Q_{min}	v	=	1,9 m/h
Kontaktzeit (empty bed contact time)			
bei Q_{max}	t_c	=	18,8 min
bei Q_{mittel}	t_c	=	30,7 min
bei Q_{min}	t_c	=	78,1 min

Wenn nur zwei Zellen in Betrieb sind, kann sich der maximale Zufluss pro Zelle kurzfristig erhöhen (s. Punkt 2.1).
Filtergeschwindigkeit bei Q_{max}^* v = 12,0 m/h
Kontaktzeit bei Q_{max}^* t_c = 12,5 min

2.3 Spülprogramm

Das Spülprogramm für den GAK-Filter besteht aus mehreren Schritten (u.a. aus einer Luft- und Wasserspülung). Die genaue Gestaltung des Spülprogramms für den GAK-Filter muss auf die granulierten Aktivkohle abgestimmt werden. Die Dauer der Spülung und die Spülgeschwindigkeiten werden nach Einbau der Aktivkohle in der großtechnischen Versuchsanlage und Vor-Ort-Versuchen festgelegt.

Luftspülung

Basierend auf den Erfahrungen anderer Forschungsprojekte mit GAK-Filtern kann für die Spülgeschwindigkeit mit Luft folgender Richtwert angegeben werden:
Richtwert Spülgeschwindigkeit (Luft) für GAK 50 - 60 Nm/h

Mit dem neuen Spülluftgebläse kann dieser Bereich abgedeckt werden:

Anzahl Gebläse in Betrieb	n	=	1 (neues Spülluftgebläse, FU-geregt)
min. Ansaugvolumen je Gebläse	Q	=	500 Nm ³ /h
max. Ansaugvolumen je Gebläse	Q	=	1.500 Nm ³ /h
res. min. Spülgeschwindigkeit (Luft)	v	=	19 Nm/h (Leerrohrgeschwindigkeit)
res. max. Spülgeschwindigkeit (Luft)	v	=	57 Nm/h (Leerrohrgeschwindigkeit)

AdOx Köln - AKW010 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
 Klärtechnische Berechnungen

Wasserspülung

Basierend auf den Erfahrungen anderer Forschungsprojekte mit GAK-Filtern kann für die Spügeschwindigkeit mit Wasser folgender Richtwert angegeben werden:

Richtwert Spügeschwindigkeit (Wasser) für GAK 10 - 30 m/h

Mit den vorh. Filterspülpumpen, die mit FU nachgerüstet werden, kann dieser Bereich abgedeckt werden:

Anzahl Filterspülpumpen in Betrieb	n	=	1 (FU-geregelt)	
min. Fördermenge Filterspülpumpe	Q	=	180 m³/h	
max. Fördermenge Filterspülpumpe	Q	=	500 m³/h	
res. min. Spügeschwindigkeit (Wasser)	v	=	7 m/h	(Leerrohrgeschwindigkeit)
res. max. Spügeschwindigkeit (Wasser)	v	=	19 m/h	(Leerrohrgeschwindigkeit)

Anzahl Filterspülpumpen in Betrieb	n	=	2 (FU-geregelt)	
min. Fördermenge Filterspülpumpe	Q	=	360 m³/h	
max. Fördermenge Filterspülpumpe	Q	=	1.000 m³/h	
res. min. Spügeschwindigkeit (Wasser)	v	=	14 m/h	(Leerrohrgeschwindigkeit)
res. max. Spügeschwindigkeit (Wasser)	v	=	38 m/h	(Leerrohrgeschwindigkeit)

Die Dauer der Wasserspülung wird wie beschrieben nach Einbau der Aktivkohle in der großtechnischen Versuchsanlage und Vor-Ort-Versuchen festgelegt. Die erforderliche Spügeschwindigkeit und -dauer kann dabei je nach Laufzeit des Filters und Beladung der Kohle variieren. Nachfolgend wird beispielhaft mit einer angenommenen Spügeschwindigkeit und -dauer der Spülwasserbedarf überschlägig ermittelt.

angenommene Spügeschwindigkeit (Wasser)	v	=	25 m/h	(Leerrohrgeschwindigkeit)
angenommene Spüdauer (Wasserspülung)	t	=	30 min	
Spülwasserbedarf / Spülabwasseranfall	V	=	328 m³	

AdOx Köln - AKW010 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
 Klärtechnische Berechnungen

3 Ozonung mit anschließender biologischer Nachbehandlung (BIOFOR-Filter)

3.1 Hydraulische Daten

Maximaler Zufluss	Q_{max}	=	58 l/s
Mittlerer Zufluss	Q_{mittel}	=	36 l/s
Minimaler Zufluss	Q_{min}	=	14 l/s

Wenn nur zwei Zellen in Betrieb sind, kann sich der maximale Zufluss pro Zelle kurzfristig erhöhen (s. Punkt 1.1).

Maximaler Zufluss (bei 2 Zellen in Betrieb)	Q_{max}^*	=	88 l/s
---	-------------	---	--------

3.2 Bemessung Ozonreaktor

Da der Ozonreaktor auf dem KW Rodenkirchen in seiner Geometrie und den Prozessparametern mit den Randbedingungen für eine potentielle Ozonung auf dem GWK Stammheim möglichst vergleichbar sein soll, ergeben sich folgende Vorgaben:

Vorgaben

Vorgabe Reaktionszeit (bei Q_{max})	t_R	=	16,9 min	analog zu GWK Stammheim
erf. Volumen	V	=	59,2 m ³	
Vorgabe Wassertiefe	H	=	7,50 m	analog zu GWK Stammheim
erf. Oberfläche	A	=	7,89 m ²	
Vorgabe Verhältnis Länge/Breite	L/B	=	1,44	analog zu GWK Stammheim
erf. Breite	B	=	2,34 m	
erf. Länge	L	=	3,37 m	

Gewählte Abmessungen

Länge (Gesamtreaktor)	L	=	3,40 m
Breite (Gesamtreaktor)	B	=	2,40 m
Verhältnis Länge/Breite	L/B	=	1,42
Wassertiefe	H	=	7,40 m
Volumen (Gesamtreaktor)	V	=	60,4 m ³
Anzahl Kompartimente	n	=	4
Länge je Kompartiment	L	=	0,85 m
Breite je Kompartiment	B	=	2,40 m
Wassertiefe	H	=	7,40 m
Volumen je Kompartiment	V	=	15,1 m ³

Resultierende Prozessparameter

Hydraulische Aufenthaltszeit (Gesamtreaktor)			
bei Q_{max}	t_R	=	17,3 min
bei Q_{mittel}	t_R	=	28,2 min
bei Q_{min}	t_R	=	71,9 min
Hydraulische Aufenthaltszeit (je Kompartiment)			
bei Q_{max}	t_R	=	4,3 min
bei Q_{mittel}	t_R	=	7,1 min
bei Q_{min}	t_R	=	18,0 min

Wenn nur zwei Zellen in Betrieb sind, kann sich der maximale Zufluss pro Zelle kurzfristig erhöhen (s. Punkt 1.1).

Hydraul. Aufenthaltszeit (Gesamtreaktor) bei Q_{max}^*	t_R	=	11,5 min
Hydraul. Aufenthaltszeit (je Kompartiment) bei Q_{max}^*	t_R	=	2,9 min

AdOx Köln - AKW010 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
Klärtechnische Berechnungen

3.3 Bemessung Ozondosierung

Spez. Ozondosis bezogen auf DOC	0,7 g O ₂ /g DOC	
Mittlere Zulaufkonzentration DOC	9,8 mg DOC/l	
Erf. Ozondosis	6,9 mg O ₂ /l	
Gewählte Ozondosis		
Maximum	7,0 mg O ₂ /l	
Mittel	4,0 mg O ₂ /l	
Minimum	1,5 mg O ₂ /l	
Ozonbedarf		
Maximum	1.470 g O ₂ /h	(bei Q _{max} und maximaler Dosis)
Mittel	514 g O ₂ /h	(bei Q _{mittel} und mittlerer Dosis)
Minimum	76 g O ₂ /h	(bei Q _{min} und minimaler Dosis)
Gasfluss		
Maximum (bei 10 Gew%)	14,7 kg/h	
	9,9 Nm ³ /h	
Mittel (bei 10 Gew%)	5,1 kg/h	
	3,5 Nm ³ /h	
Minimum (bei 10 Gew%)	0,8 kg/h	
	0,5 Nm ³ /h	

3.4 Bemessung Ozoneintragungssystem (Diffusoren)

Für den Ozoneintrag werden Keramik-Diffusordome vorgesehen.
Um einen gleichmäßigen Eintrag des Ozongases und ein gleichmäßiges Blasenbild zu gewährleisten, sollte der Abstand zwischen den Diffusoren nicht mehr als ca. 55 cm betragen.
Mit den gewählten Abmessungen des Ozonreaktors bzw. der Kompartimente ergibt sich damit die folgende Anzahl an Diffusoren (s. auch Zeichnungsunterlagen):

gewählte Anzahl Diffusoren pro Kompartiment	8
Abstand zwischen den Diffusoren eines Stranges	0,53 m
Abstand zwischen den Diffusoren zweier Stränge	0,41 m
Anzahl Kompartimente mit Diffusoren	3
Anzahl Diffusoren gesamt	24

Gemäß Herstellerangaben beträgt der Bereich für den spez. Durchsatz der Diffusoren wie folgt:
Minstdurchsatz pro Diffusor 0,2 Nm³/h/Diffusor
Maximaler Durchsatz pro Diffusor 2,0 Nm³/h/Diffusor

Mit der gewählten Auslegung ergeben sich die folgenden spez. Durchsätze für die Diffusoren:

Durchsatz pro Diffusor bei Begasung eines Kompartiments	
Anzahl begaste Diffusoren	8
beim maximalem Gasfluss	1,2 Nm ³ /h/Diffusor
beim mittlerem Gasfluss	0,4 Nm ³ /h/Diffusor
beim minimalem Gasfluss	0,1 Nm ³ /h/Diffusor
Durchsatz pro Diffusor bei Begasung zweier Kompartimente	
Anzahl begaste Diffusoren	16
beim maximalem Gasfluss	0,6 Nm ³ /h/Diffusor
beim mittlerem Gasfluss	0,2 Nm ³ /h/Diffusor
beim minimalem Gasfluss	0,0 Nm ³ /h/Diffusor
Durchsatz pro Diffusor bei Begasung dreier Kompartimente	
Anzahl begaste Diffusoren	24
beim maximalem Gasfluss	0,4 Nm ³ /h/Diffusor
beim mittlerem Gasfluss	0,1 Nm ³ /h/Diffusor
beim minimalem Gasfluss	0,0 Nm ³ /h/Diffusor

Die Anzahl und Anordnung der Diffusoren ergibt sich wie beschrieben über die Geometrie des Ozonreaktors und um einen gleichmäßigen Ozonertrag zu erzielen und sollte daher nicht verändert werden.
Bei minimaler Ozondosis und gleichzeitigem minimalem Zufluss kann der Fall auftreten, dass die Mindestbeaufschlagung der Diffusoren unterschritten wird. Daher kann es in diesem Fall sinnvoll sein, die Ozonkonzentration im Produktgas zu reduzieren, um so den Gasfluss zu erhöhen und die Mindestbeaufschlagung pro Diffusor zu gewährleisten. Dies ist in der Regelung des Ozonerzeugers entsprechend zu hinterlegen.
Die Ozonkonzentration im Produktgas müsste damit wie folgt angepasst werden:

AdOx Köln - AKW10 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
Klärtechnische Berechnungen

Bei Begasung eines Kompartiments:

Anzahl begaste Diffusoren	8	
Minstdurchsatz pro Diffusor	0,2 Nm ³ /h/Diffusor	
erf. Gasfluss	1,6 Nm ³ /h	
Dichte Ozongas	1,5 kg/Nm ³	
erf. Gasfluss (Masse)	2,4 kg/h	
Ozonbedarf	75,6 g O ₂ /h	(bei Q _{min} und minimaler Dosis)
res. Ozonkonzentration im Produktgas	3% (Gew%)	

3.5 Sauerstoffbedarf

spez. Sauerstoffbedarf zur Ozonproduktion	10,0 mg O ₂ /mg O ₃
erf. Sauerstoffmenge	
Maximum	14,7 kg O ₂ /h
	353 kg O ₂ /d
Mittel	5,1 kg O ₂ /h
	123 kg O ₂ /d
Minimum	0,8 kg O ₂ /h
	18 kg O ₂ /d

Zur Vorhaltung des (flüssig-)Sauerstoffs wird ein Sauerstofftank vorgesehen.
Speicherkapazität Sauerstofftank (ungefähre Angabe) 3.500 kg O₂
Speichervolumen Sauerstofftank (ungefähre Angabe) 3.250 l

Bei mittlerer Ozonproduktion ergibt sich damit etwa folgende Vorhaltezeit.
Vorhaltezeit (bei mittlerer Ozonproduktion) 28 d

Wenn über einen längeren Zeitraum kein Sauerstoff entnommen wird, steigt durch Temperaturzunahme des tiefgekühlten Tankinhalts (-186°C) der Druck in dem Behälter. Ab einem Druck von ca. 18 bar springt ein Überdruckventil an und bläst zur Druckreduzierung einen Teil des Tankinhalts in die Atmosphäre. Gemäß Herstellerangaben beträgt der Zeitraum bis dieser Druck erreicht wird ca. 3 bis 4 Wochen (wenn kein Sauerstoff entnommen wird). Die Eigenverdampfungsrate beträgt dann bei der gewählten Tankgröße ca. 0,45% im vorliegenden Fall entspricht das in etwa:
Eigenverdampfungsrate 0,45 %/d
15,8 kg/d

Auch bei minimaler Ozonproduktion ist die Entnahme größer als die Eigenverdampfungsrate, so dass bei regulärem Betrieb des Ozonreaktors ohne längere Stillstandszeiten (in Summe ca. 3 bis 4 Wochen) kein Tankinhalt abgeblasen wird.

3.6 Biologische Nachbehandlung (BIOFOR-Filter)

Für die biologische Nachbehandlung des ozonierten Wassers wird ein BIOFOR-Filter vorgesehen.
Auch hier soll ein möglichst direkter Vergleich mit den Randbedingungen auf dem GWK Stammheim hergestellt werden. Dadurch ergeben sich folgende Vorgaben:

Vorgaben

Vorgabe Filtergeschwindigkeit (bei Q _{max})	v	=	12,8 m/h
erf. Fläche	A	=	16,4 m ²
vorh. Breite	B	=	5,00 m
erf. Länge	L	=	3,28 m

Gewählte Abmessungen

Der Filter für die biologische Nachbehandlung wird in der gleichen Zeile wie der Ozonreaktor integriert.
Dadurch ist die Wahl der Abmessungen beschränkt.

Länge	L	=	3,38 m
Breite	B	=	5,00 m
Filterbetthöhe (inkl. Stützsicht)	H	=	3,20 m
Filterfläche (Leerrohrfläche)	A	=	16,9 m ²
Filterbettvolumen	V	=	54,1 m ³

AdOx Köln - AKW10 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
Klärtechnische Berechnungen

Resultierende Prozessparameter

Filtergeschwindigkeit (Leerrohrgeschwindigkeit)

bel Q_{max}	v	=	12,4 m/h
bel Q_{max1}	v	=	7,6 m/h
bel Q_{max2}	v	=	3,0 m/h

Kontaktzeit (empty bed contact time)

bel Q_{max}	t_n	=	15,5 min
bel Q_{max1}	t_n	=	25,3 min
bel Q_{max2}	t_n	=	64,4 min

Wenn nur zwei Zellen in Betrieb sind, kann sich der maximale Zufluss pro Zelle kurzfristig erhöhen (s. Punkt 1.1).

Filtergeschwindigkeit bel Q_{max}^*	v	=	18,6 m/h (Leerrohrgeschwindigkeit)
Kontaktzeit bel Q_{max}^*	t_n	=	10,3 min

3.7 Spülprogramm Filter

Das Spülprogramm für den BIOFOR-Filter zur biologischen Nachbehandlung besteht aus mehreren Schritten. Die Spüldauern und Spülgeschwindigkeiten werden analog zu zum BIOFOR-Referenzfilter gewählt.

Luftspülung

Die Spülgeschwindigkeit mit Luft beträgt im BIOFOR-Referenzfilter ca. 70 Nm/h. Dies wird auch als Grundlage für den BIOFOR-Filter für die biologische Nachbehandlung angesetzt.

Spülgeschwindigkeit (Luft)	v	=	70 Nm/h (Leerrohrgeschwindigkeit)
erf. Luftvolumenstrom	Q	=	1.153 Nm³/h

Der erforderliche Luftvolumenstrom kann über das neue FU-geregelte Spülluftgebläse abgedeckt werden (Q ca. 500 bis 1.500 Nm³/h).

Wasserspülung

Die Spülgeschwindigkeit mit Wasser beträgt im BIOFOR-Referenzfilter zunächst ca. 12 m/h und anschließend ca. 24 m/h. Dies wird auch als Grundlage für den BIOFOR-Filter für die biologische Nachbehandlung angesetzt.

Spülgeschwindigkeit (Wasser)	v	=	12 m/h (Leerrohrgeschwindigkeit)
erf. Fördermenge	Q	=	207 m³/h
Spülgeschwindigkeit (Wasser)	v	=	24 m/h (Leerrohrgeschwindigkeit)
erf. Fördermenge	Q	=	413 m³/h

Der erforderliche Fördermenge kann über die vorh. Filterspülpumpen, die mit FU-nachgerüstet werden, abgedeckt werden.

Anzahl Filterspülpumpen in Betrieb	n	=	1 (FU-geregelt)
min. Fördermenge Filterspülpumpe	Q	=	180 m³/h
max. Fördermenge Filterspülpumpe	Q	=	500 m³/h

Die Dauern der Wasserspülung bzw. kombinierten Luft-Wasser-Spülung des Filters sind nachfolgend aufgeführt und auf dieser Basis der Spülwasserbedarf bzw. Spülwasseranfall ermittelt.

	Dauer [min]	Spülgeschw. (Wasser) [m/h]	Spülwasseranfall [m³]
Wasser-/Luftspülung (1. Phase)	3	12	10
Wasser-/Luftspülung (2. Phase)	11	24	76
Entlüftung Dösenboden	2	24	14
Wasserspülung	12	24	83
Summe			183

AdOx Köln – AKW010 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR FlockungsfILTER auf Spurenstoffelimination
Klärtechnische Berechnungen

4 Referenzfilter

4.1 Hydraulische Daten

Maximaler Zufluss	Q_{max}	=	58 l/s
Mittlerer Zufluss	Q_{mittel}	=	35 l/s
Minimaler Zufluss	Q_{min}	=	14 l/s

Wenn nur zwei Zellen in Betrieb sind, kann sich der maximale Zufluss pro Zelle kurzfristig erhöhen (s. Punkt 1.1).
Maximaler Zufluss (bei 2 Zellen in Betrieb) Q_{max}^* = 88 l/s

4.2 Abmessungen Referenzfilter

Es wird eine komplette BIOFOR-Filterzelle als Referenzfilter genutzt

Länge	L	=	8,18 m
Breite	B	=	5,00 m
Füllertiefe (inkl. Stützschiebe)	H	=	3,20 m
Filterfläche (Leerrohrfläche)	A	=	40,9 m ²
Filterbettvolumen	V	=	130,9 m ³

4.3 Prozessparameter

Filtergeschwindigkeit (Leerrohrgeschwindigkeit)			
bei Q_{max}	v	=	5,1 m/h
bei Q_{mittel}	v	=	3,1 m/h
bei Q_{min}	v	=	1,2 m/h

Kontaktzeit (empty bed contact time)			
bei Q_{max}	t_n	=	37,4 min
bei Q_{mittel}	t_n	=	61,2 min
bei Q_{min}	t_n	=	155,8 min

Wenn nur zwei Zellen in Betrieb sind, kann sich der maximale Zufluss pro Zelle kurzfristig erhöhen (s. Punkt 1.1).
Filtergeschwindigkeit bei Q_{max}^* v = 7,7 m/h (Leerrohrgeschwindigkeit)
Kontaktzeit bei Q_{max}^* t_n = 24,9 min

4.4 Spülprogramm

Es wird das bestehende Spülprogramm für den BIOFOR-Referenzfilter weiter angewendet unter Verwendung der vorh. Maschinenteknik.

Luftspülung

Das vorhandene Spülluftgebläse wird für die Spülung des BIOFOR-Referenzfilters weiter verwendet.

Anzahl Gebläse (betrieben während Spülung)	n	=	1 (vorh. Spülluftgebläse)
Ansaugvolumen je Gebläse	Q	=	2.900 Nm ³ /h
res. Spülgeschwindigkeit (Luft)		=	71 Nm ³ /h (Leerrohrgeschwindigkeit)

Wasserspülung

Die vorhandenen Filterspülpumpen werden für die Spülung des BIOFOR-Referenzfilters weiter verwendet.

Anzahl Pumpen (betrieben während Spülung)	n	=	1 (vorh. Filterspülpumpe)
Fördermenge	Q	=	500 m ³ /h
res. Spülgeschwindigkeit (Wasser)		=	12 m/h (Leerrohrgeschwindigkeit)

Anzahl Pumpen (betrieben während Spülung)	n	=	2 (vorh. Filterspülpumpe)
Fördermenge	Q	=	1.000 m ³ /h
res. Spülgeschwindigkeit (Wasser)		=	24 m/h (Leerrohrgeschwindigkeit)

Die Dauern der Wasserspülung bzw. kombinierten Luft-Wasser-Spülung des Filters sind nachfolgend aufgeführt und auf dieser Basis der Spülwasserbedarf bzw. Spülwasseranfall ermittelt.

	Dauer [min]	Spülgeschw. (Wasser) [m/h]	Spülwasser- anfall [m ³]
Wasser-/Luftspülung (1. Phase)	3	12	25
Wasser-/Luftspülung (2. Phase)	11	24	183
Entlüftung Düsenboden	2	24	33
Wasserspülung	12	24	200
Summe			442

AdOx Köln - AKW010 - Pilotprojekt zur Umrüstung der Kölner BIOFOR Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination
Klärtechnische Berechnungen

5 Betrachtung der Spülwassermengen

5.1 Spülwasserbedarf bzw. Spülwasseranfall

Der in den vorherigen Berechnungen ermittelte Spülwasserbedarf bzw. Spülwasseranfall ist nachfolgend zusammengefasst:

GAK-Filter	328 m³
Filter für die biologische Nachbehandlung	182 m³
Referenzfilter	442 m³

Wie ersichtlich ist, weisen die beiden umgerüsteten Filterzellen (GAK-Filter und Filter für biol. Nachbehandlung) einen geringeren Spülwasserbedarf als der vorhandene BIOFOR-Referenzfilter auf.

5.2 Nutzvolumen Klarwasserbecken

Als Vortage für das Filterspülwasser dient das Klarwasserbecken, in dem der Ablauf der Filterzellen gesammelt wird. Das Nutzvolumen des Beckens ist nachfolgend aufgeführt (dabei ist zu beachten, dass das Nutzvolumen des Beckens geringer ist als das komplette umbaute Volumen, da durch die Anordnung der Pumpen das Becken nicht vollständig entleert werden kann und somit nicht das gesamte umbaute Volumen zur Nutzung zur Verfügung steht).

Nutzvolumen Klarwasserbecken	204 m³
------------------------------	--------

Das Nutzvolumen reicht damit aus, um genügend Wasser für die Spülung des Filters zur biol. Nachbehandlung zur Verfügung zu stellen.

Der Spülwasserbedarf für den GAK-Filter bzw. den Referenzfilter ist hingegen größer als das Nutzvolumen des Klarwasserbeckens. Daher kann eine Spülung dieser beiden Filter nur dann erfolgen, wenn gleichzeitig das Klarwasserbecken während der Filterspülung mit dem Ablauf aus den Filterzellen gespeist wird.

Die erforderliche Beschickung des Klarwasserbeckens ergibt sich rechnerisch zu:

GAK-Filter:	
Spülwasserbedarf	328 m³
Nutzvolumen Klarwasserbecken	204 m³
Differenz	124 m³
Dauer Wasserspülung (Annahme)	30 min
erf. Zufluss zu Klarwasserbecken während Filterspülung	69 l/s
Referenzfilter:	
Spülwasserbedarf	442 m³
Nutzvolumen Klarwasserbecken	204 m³
Differenz	237 m³
Dauer Wasserspülung (Annahme)	28 min
erf. Zufluss zu Klarwasserbecken während Filterspülung	141 l/s

Anhang 2: Ergebnisse der halbtechnischen Untersuchungen

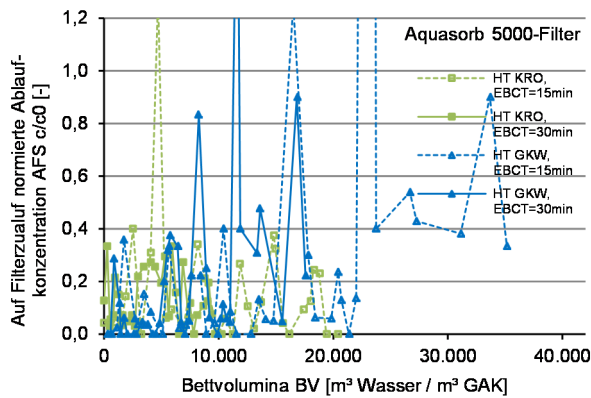


Bild 183: Auf Filterzulauf normierte Ablaufkonzentration AFS für den Aquasorb 5000-Filter

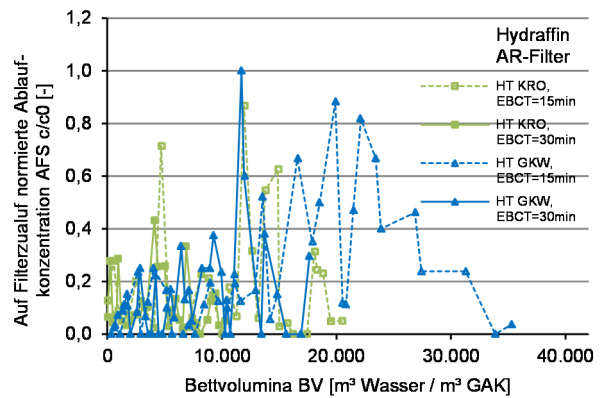


Bild 184: Auf Filterzulauf normierte Ablaufkonzentration AFS für den Hydraffin AR-Filter

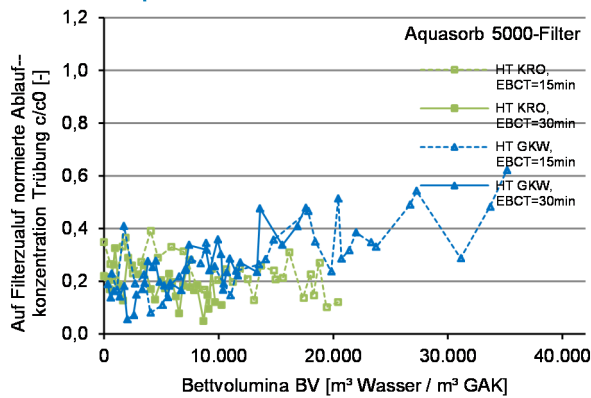


Bild 185: Auf Filterzulauf normierte Ablauftrübung für den Aquasorb 5000-Filter

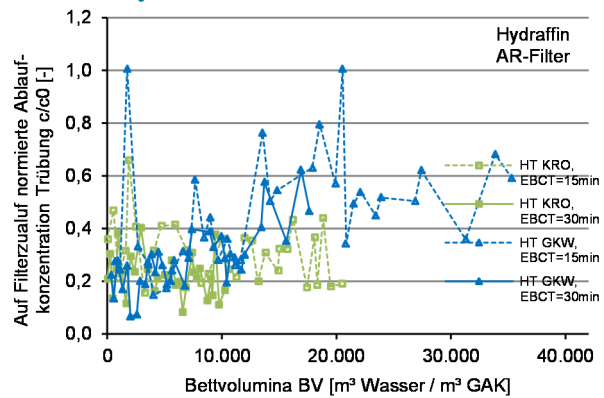


Bild 186: Auf den Filterzulauf normierte Ablauftrübung für den Hydraffin AR-Filter

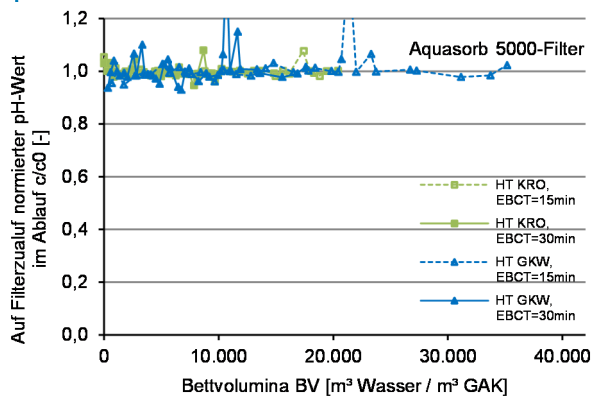


Bild 187: Auf Filterzulauf normierter pH-Wert im Ablauf für den Aquasorb 5000-Filter

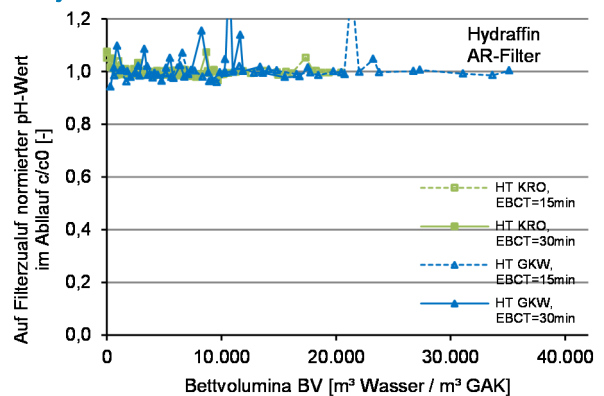


Bild 188: Auf den Filterzulauf normierter pH-Wert im Ablauf für den Hydraffin AR-Filter

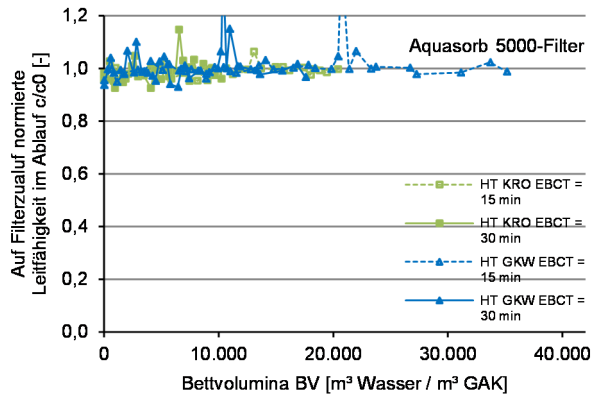


Bild 189: Auf den Filterzulauf normierte elektrische Leitfähigkeit im Ablauf für den Aquasorb 5000-Filter

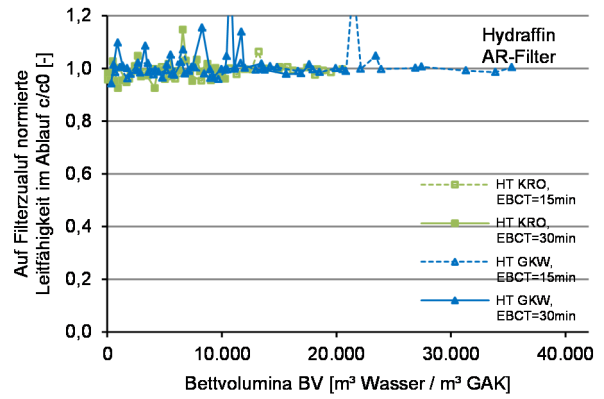


Bild 190: Auf den Filterzulauf normierte elektrische Leitfähigkeit im Ablauf für den Hydriffin AR-Filter

Anhang 3: Wirkungsgrad des Klärwerkes

Tabelle 75: Elimination von Standardparametern und Spurenstoffen in der mechanisch-biologischen Stufe der Kläranlage Köln Rodenkirchen

	Einheit	Mittel	Median	25%-Quantil	Max	Min	75%-Quantil	n
pH-Wert	-	0,4	0,3	0,1	7,5	-3,5	0,5	75
Elektrische Leitfähigkeit	mS/m	45,3	49,5	21,8	134,4	-70,7	71,8	75
AFS	mg/l	334,9	339,0	269,4	652,7	27,6	396,3	66
Trübung	NTU	145,6	173,7	126,6	189,0	56,0	182,5	5
SAK ₂₅₄	l/m	155,6	164,7	135,4	251,2	-12,0	182,3	73
SAK ₃₆₆	l/m	80,6	84,3	70,7	140,0	-2,8	94,4	74
CSB _{gesamt}	mg/l	605,6	636,6	508,5	1.082,5	-10,7	747,8	74
CSB _{filtriert}	mg/l	133,9	135,9	94,3	359,5	-10,7	168,1	74
TOC	mg/l	190,5	185,8	154,2	469,0	-7,2	231,8	74
DOC	mg/l	46,5	46,4	32,5	116,5	-5,9	60,0	74
TN _b	mg/l	61,8	64,5	47,3	113,1	-2,3	76,9	64
P _{ges}	mg/l	9,7	10,1	7,4	19,5	0,0	11,8	65
Carbamazepin	ng/l	344,1	142,0	-220,0	4.360,0	- 1.370,0	793,0	33
Diclofenac	ng/l	1.274,6	445,0	-300,0	9.990,0	- 3.400,0	2.600,0	34
Metoprolol	ng/l	1.950,5	1.980,0	1.145,5	6.330,0	- 1.760,0	2.582,5	36
Sulfamethoxazol	ng/l	624,8	600,0	88,0	1.902,0	-892,0	1.297,5	30
N-Acetyl-Sulfamethoxazol	ng/l	237,9	0,0	0,0	1.340,0	0,0	462,0	13
Atenolol	ng/l	784,3	758,0	504,0	2.297,0	-38,0	1.058,5	35
Sotalol	ng/l	184,8	130,0	52,0	1.071,0	-67,0	234,0	33
Clarithromycin	ng/l	234,8	138,6	3,0	1.221,0	-107,0	303,0	21
Ibuprofen	ng/l	47.140,1	31.399,0	21.398,0	360.960,0	9.175,0	5.721,5	35
Naproxen	ng/l	788,5	788,5	-	814,0	763,0	-	2
Methyl-Benzotriazol	ng/l	1.488,1	1.400,0	-90,0	11.910,0	- 6870,0	3.041,0	33
1-H-Benzotriazol	ng/l	17.460,0	10.520,0	6.060,0	104.400,0	- 5.210,0	15.200,0	33

Tabelle 76: Prozentuale Elimination von Standardparametern und Spurenstoffen in der mechanisch-biologischen Stufe der Kläranlage Köln Rodenkirchen

	Einheit	Mittel	Median	Max	Min	n	Standard-abweichung
pH-Wert	%	4,5%	3,3%	100,0%	-55,6%	75	13,7%
Elektrische Leitfähigkeit	%	23,2%	25,8%	100,0%	-71,6%	75	30,3%
AFS	%	99,2%	99,5%	100,0%	89,0%	66	1,4%
Trübung	%	99,2%	99,5%	99,6%	98,2%	5	0,6%
SAK ₂₅₄	%	85,9%	89,7%	94,0%	-118,8%	73	24,8%
SAK ₃₆₆	%	92,2%	95,9%	100,0%	-140,0%	74	27,5%
CSB _{gesamt}	%	93,0%	95,9%	100,0%	-63,3%	74	18,8%
CSB _{filtriert}	%	81,4%	85,7%	100,0%	-63,3%	74	19,3%
TOC	%	91,1%	94,7%	100,0%	-94,7%	74	22,4%
DOC	%	77,6%	83,1%	100,0%	-79,4%	74	21,5%
TN _b	%	83,3%	87,4%	94,6%	-30,2%	64	16,9%
P _{ges}	%	95,4%	98,0%	99,4%	-50,0%	65	18,4%
Carbamazepin	%	10,2%	13,6%	77,6%	-145,6%	32	55,0%
Diclofenac	%	18,8%	15,0%	83,3%	-55,0%	33	38,0%
Metoprolol	%	47,5%	53,0%	83,8%	-59,6%	35	29,1%
Sulfamethoxazol	%	56,9%	67,0%	94,7%	-46,9%	25	33,3%
N-Acetyl-Sulfamethoxazol	%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	4	0,0%
Atenolol	%	60,3%	69,9%	86,9%	-8,7%	35	23,7%
Sotalol	%	36,6%	46,9%	78,1%	-57,3%	33	30,5%
Clarithromycin	%	31,4%	56,6%	87,5%	-91,5%	21	52,4%
Ibuprofen	%	98,8%	99,1%	99,9%	96,1%	35	0,9%
Naproxen	%	78,8%	78,8%	82,3%	75,4%	2	4,9%
Methyl-Benzotriazol	%	21,2%	36,2%	87,6%	-110,3%	33	51,8%
1-H-Benzotriazol	%	53,5%	59,2%	88,0%	-60,7%	33	29,0%

	Elimination im Mittel > 80 %
	Elimination im Mittel 50 – 80 %
	Elimination < 50 %

Anhang 4: Betriebsdaten der Filtration im gesamten Versuchszeitraum

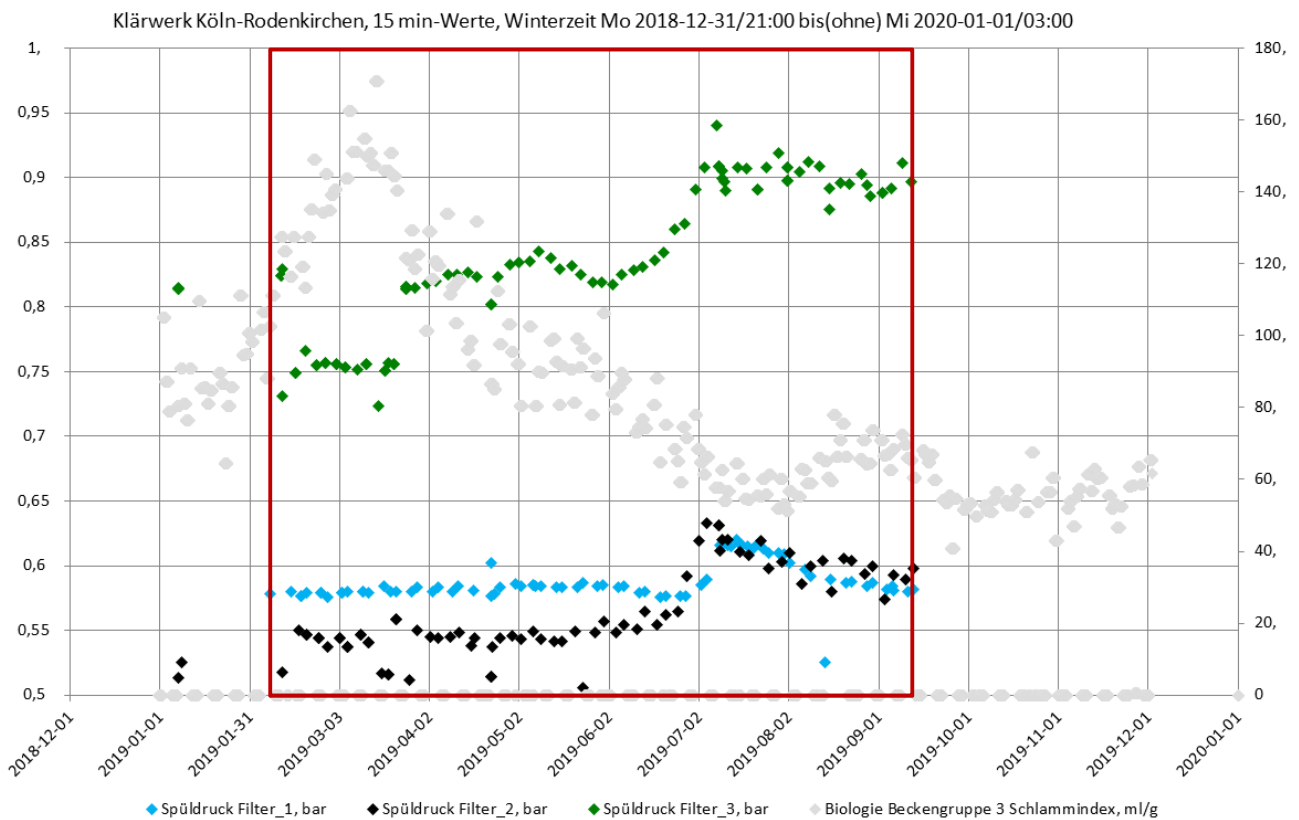
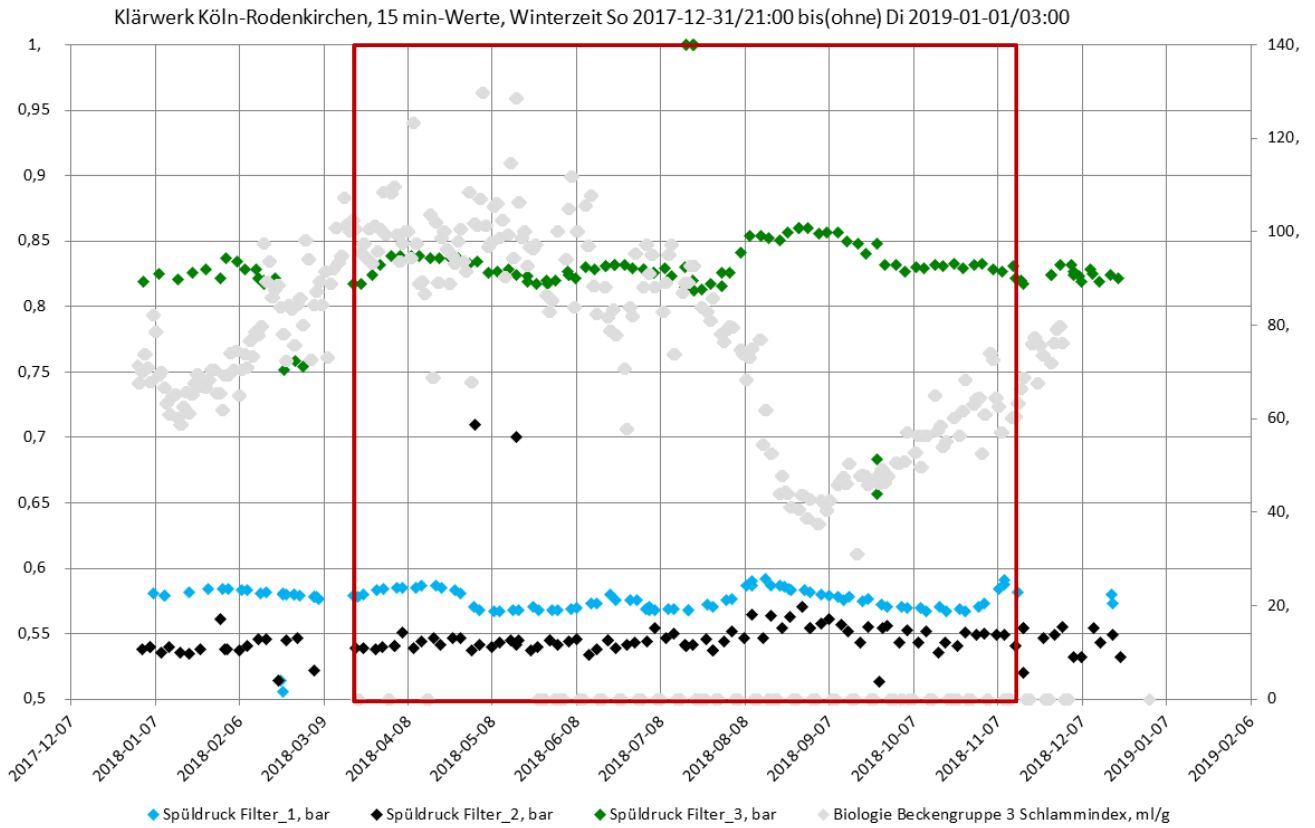


Bild 191 und Bild 192 Spüldruck Filter 1 bis 3 für „2018“ und „2019“, ISV auf der rechten Y-Achse

Tabelle 77: Betriebsdaten für die Filtration, „2018“

Betriebsjahr		„2018“		
Start	Winterzeit	2018-03-20_00:00		
Ende	Winterzeit	2018-11-14_23:45		
Anzahl Versuchstage	gerundet	240,		
Ablauf KA Su(Q), m3	15minSUM	145,69		
Zulauf AdOx Su(Q), m3	15minSUM	104,36		
Ablauf Probeschacht LF, mS/m	Min	14,49		
Ablauf Probeschacht LF, mS/m	15minAVG	127,29		
Ablauf Probeschacht LF	VK	27,8%		
ISV Beckengruppe 3, ml/g	15minAVG	78,52		
ISV Beckengruppe 3	VK	28,6%		
Filtration := (AdOx-Ozonung)				
Arbeit, kWh	15minSUM	4,8		
spezifischer Energiebedarf Filtration, Wh/m3	gerechnet	46,		
aufgelaufene Anteile:				
Rechen Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	75,		
Bypass-Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	2.530,		
Rohwasser-Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	76.794,		
Spülw.Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	1.767,		
Spülabw.Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	5.254,		
Prozessluftgebl Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	0		
Spülluftgebl Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	1.903,		
Steuerluft Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	13.674,		
Kellerentw.Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	43,		
Filter				
Filterschicht		Filter-1	Filter-2	Filter-3
Stützschicht		Blähton, gebrochen	Aktivkohle	Biolit (Basalt)
Filter Su(Q), m3	15minSUM	Kies	Aktivkohle	Kies
Anzahl Spülungen	Summe	34,54	34,29	32,31
Filter Absenkezeit, sek	15minMAX	76	80	89
Filter Absenkezeit	VK	87	113	193
Filtrationsdruck, mbar	15minAVG	15,7%	22,1 %	28,%
Filtrationsdruck	VK	518	504	535
Spülndruck Filter, mbar	MAX[2h]	3,7%	2,1%	5,9%
Spülndruck Filter	VK	576	550	836
delta-p Spülung Filter, mbar	DIFF[-3h; +3h]	1,3%	4,8%	5,4%
delta-p Spülung Filter	VK	23	14	59
Spülwasser Filter, %_Zulauf	gerechnet	51,2%	95,8%	65,6%
Spülabwasser Filter, %_Zulauf	gerechnet	2,02%	0,61%	3,23%
Spülluft Filter, Nm3/m3	gerechnet	3,13%	2,25%	4,41%
		0,7 %	1,03%	n.v.

Tabelle 78: Betriebsdaten für die Filtration, „2019“

Betriebsjahr		„2019“
Start	Winterzeit	2019-02-08_00:00
Ende	Winterzeit	2019-09-12_23:45
Anzahl Versuchstage	gerundet	217,
Ablauf KA Su(Q), m3	15minSUM	150,34
Zulauf AdOx Su(Q), m3	15minSUM	109,67
Ablauf Probeschacht LF, mS/m	Min	10,75
Ablauf Probeschacht LF, mS/m	15minAVG	115,04
Ablauf Probeschacht LF	VK	30,6%
ISV Beckengruppe 3, ml/g	15minAVG	92,36
ISV Beckengruppe 3	VK	33,6%

Filtration := (AdOx-Ozonung)

Arbeit, kWh	15minSUM	4,88
spezifischer Energiebedarf Filtration, Wh/m3	gerechnet	44,5,

aufgelaufene Anteile:

Rechen Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	25,
Bypass-Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	3.026,
Rohwasser-Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	74.211,
Spülw.Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	1.103,
Spülabw.Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	3.556,
Prozessluftgebl Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	0
Spülluftgebl Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	722,
Steuerluft Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	12.266,
Kellerentw.Pp Arbeit, kWh	Summe(15minSUM)	45,

Filter

		Filter-1	Filter-2	Filter-3
Filterschicht		Blähton, gebrochen	Aktivkohle	Biolit (Basalt)
Stüttschicht		Kies	Aktivkohle	Kies
Filter Su(Q), m3	15minSUM	39,63	37,62	34,68
Anzahl Spülungen	Summe	76	74	93
Filter Absenkezeit, sek	15minMAX	89	118	191
Filter Absenkezeit	VK	27,3%	20,%	29,2%
Filtrationsdruck, mbar	15minAVG	525	506	537
Filtrationsdruck	VK	3,7%	2,7%	7,6%
Spülndruck Filter, mbar	MAX[2h]	588	563	834
Spülndruck Filter	VK	2,6, %	6, %	8,5%
delta-p Spülung Filter, mbar	DIFF[-3h; +3h]	22	16	63
delta-p Spülung Filter	VK	56,1%	50,%	72,8%
Spülwasser Filter, %_Zulauf	gerechnet	0,82%	0,68%	2,43%
Spülabwasser Filter, %_Zulauf	gerechnet	1,4 %	2,14%	3,88%
Spülluft Filter, Nm3/m3	gerechnet	0,66%	0,87%	0,66%

„2019“; Ergänzende Betriebsergebnisse aus 2019, nach Abschluß des Projektes AdOx Köln

Anhang 5: Betriebsdaten der Ozonanlage im gesamten Versuchszeitraum

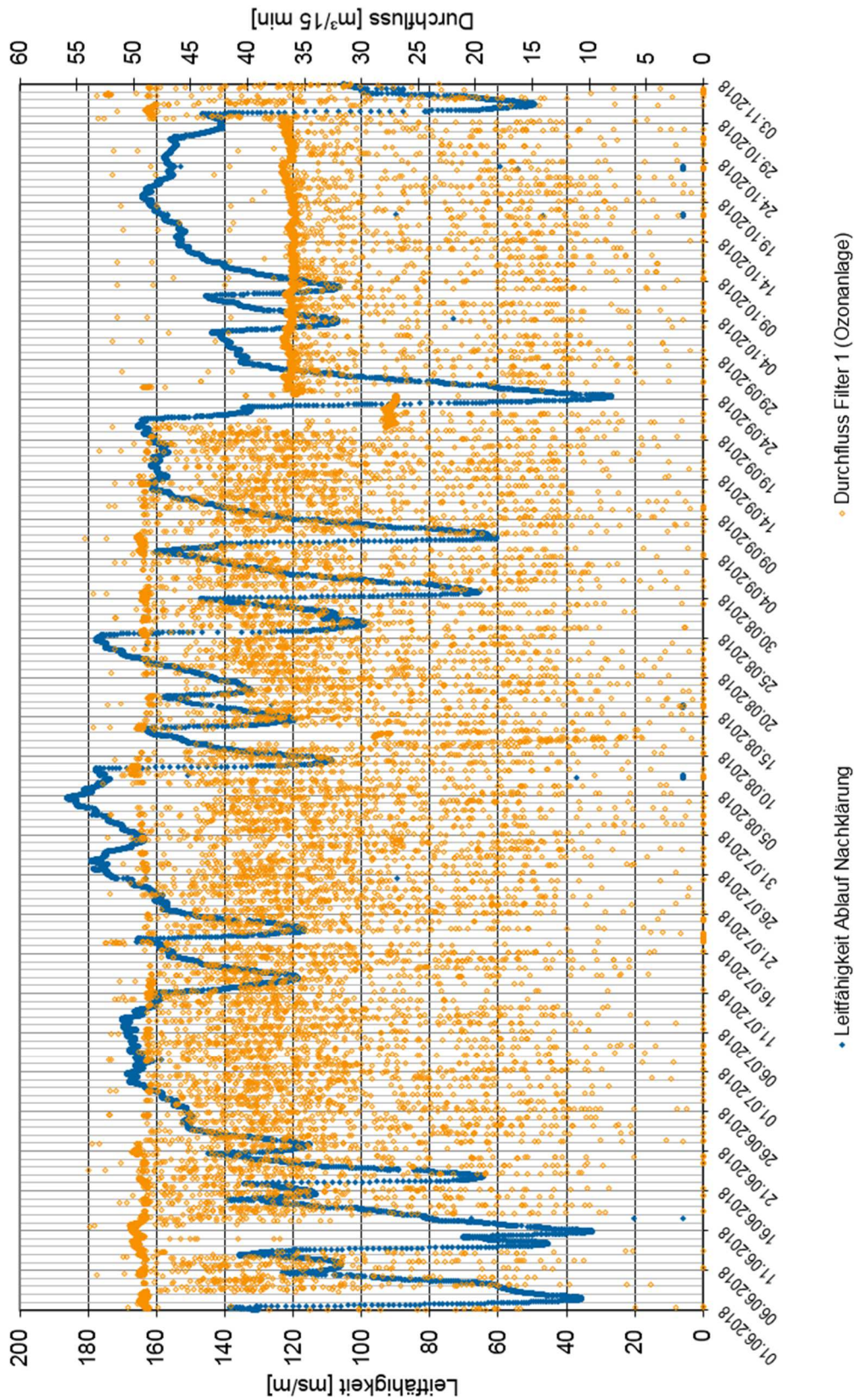


Bild 193: Leitfähigkeit im Zulauf und Durchfluss durch die Ozonanlage über den gesamten Versuchszeitraum

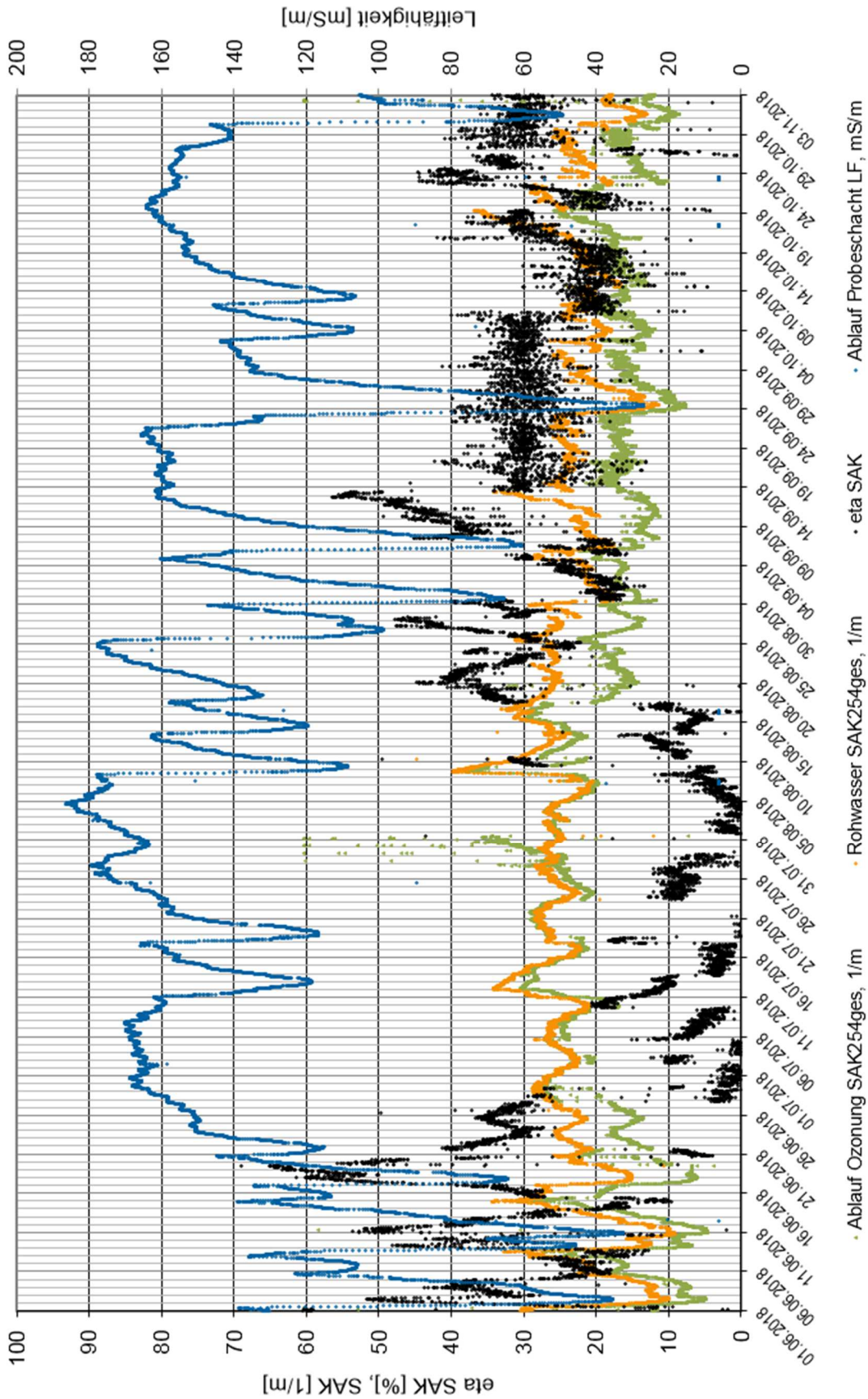


Bild 194: Leitfähigkeit, eta SAK₂₅₄ und SAK₂₅₄ im Zu- und Ablauf der Ozonanlage während des gesamten Versuchszeitraumes

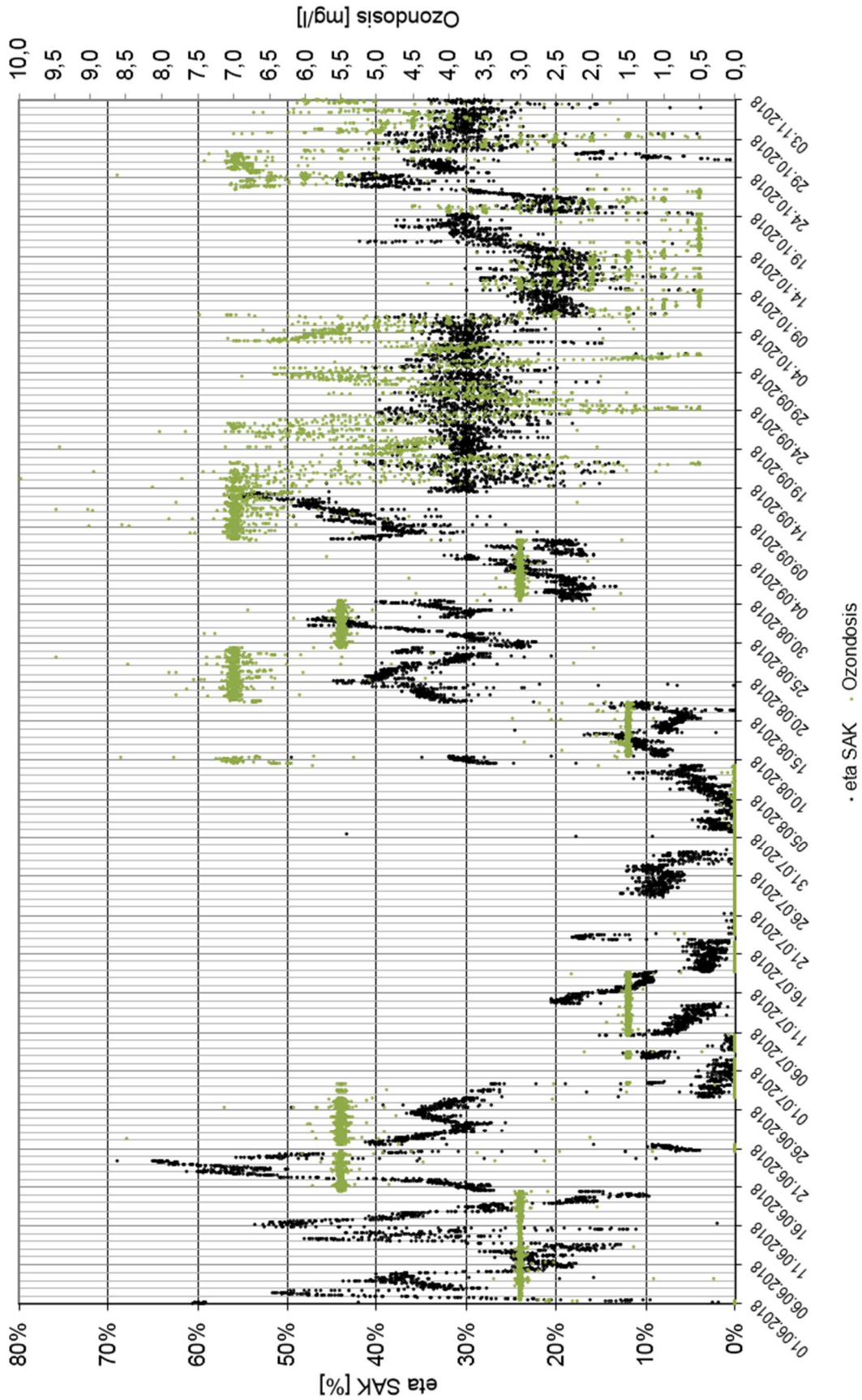


Bild 195: eta SAK₂₅₄ und Ozondosis während des gesamten Versuchszeitraums

Tabelle 79: Betriebsdaten für beispielhafte Betriebsphasen der Ozonung, Teil 1

Betriebsjahr		2018	2018	2018	2018	2019	2019
Betriebsphase		3a	1,	2a	7,	n.n.	n.n.
Start	Winterzeit	2018-07-05 14:00	2018-06-01 12:30	2018-06-15 10:30	2018-09-07 12:00	2019-08-06 00:00	2019-08-19 09:15
Ende	Winterzeit	2018-07-13 16:00	2018-06-15 09:30	2018-06-20 15:00	2018-09-13 06:00	2019-08-14 23:30	2019-09-11 23:45
Sollwert		1,5 mgO3/l	3 mgO3/l	5,5 mgO3/l	7 mgO3/l	25 % eta SAK254	25 % eta SAK254
begastes Kompartiment		1-0-0	1-0-0	1-0-0	1-0-0	korr	korr
SAK-Sonde O3zu, Fabrikat_Pfadlänge		WTW _5mm	WTW _5mm	WTW _5mm	WTW _5mm	Hach _50mm	Hach _50mm
SAK-Sonde O3ab, Fabrikat_Pfadlänge		WTW _5mm	WTW _5mm	WTW _5mm	WTW _5mm	Hach _50mm	Hach _50mm
Regelung		Ozon-Dosis	Ozon-Dosis	Ozon-Dosis	Ozon-Dosis	etaSAK254 korr	etaSAK254 korr
Sonderheit		für GWK nicht skalierbar				Begasung im Gleichstrom	Begasung im Gleichstrom
Anzahl Versuchstage	gerundet	8,	14,	5,	6,	9,	24,
Ablauf Klärwerk Su(Q), m3	15minSUM	120,75	243,33	153,03	96,78	160,55	132,66
Zulauf Pilotanlage AdOx Köln Su(Q), m3	15minSUM	110,84	132,53	115,81	96,1	105,28	105,35
Filter_1 Ozonung Su(Q), m3	15minSUM	36,05	42,58	37,78	31,82	44,72	43,38
"Teilstrombehandlung"		91,8%	54,5%	75,7%	99,3%	65,6%	79,4%
Anteil Ozonung an AdOx		32,5%	32,1%	32,6%	33,1%	42,5%	41,2%
Ablauf Probeschacht LF, mS/m	15minAVG	154,	83,	106,	133,	101,3	126,8
Anzahl RW Tage (LF < 100 mS/m)		nur TW	ca. 8	ca. 2	ca. 1		
Produktgas Konz., gO3/Nm3	15minAVG VK	129,1	170,9	179,5	176,4	161,0	171,4
		25,4%	10,5%	14,1%	17,8%	31,3%	20,2%
Rohwasser SAK254 (ges, komp), 1/m	15minAVG	26,8	18,08	21,36	23,2	19,69	21,66
Ablauf Ozonung SAK254 (WTW:ges, Hach: komp), 1/m	15minAVG	24,21	13,27	12,07	13,05	14,97	17,07
Ablauf Ozonung eta_SAK254 (WTW:254ges, Hach: 254komp), %_Zulauf							
	15minAVG VK	9,76	29,95	45,84	43,15	24,39	24,57
		51,5%	35,0%	27,4%	13,9%	28,2%	12,6%
Ablauf Ozonung Konz., mgO3/l	Mittelwert					0,08	0,06
zum Restozonv. Konz., gO3/Nm3	Mittelwert VK					0,77	0,78
						60,5%	54,6%

Anmerkung zu den schattiert ausgewiesenen Zellen bzw. Spaltenüberschriften:

SAK254ges, WTW_5mm: Signal der Sonde driftet

2019: Ergänzende Betriebsergebnisse aus 2019, nach Abschluß des Projektes AdOx Köln

Tabelle 80: Betriebsdaten für beispielhafte Betriebsphasen der Ozonung, Teil 2

Betriebsjahr		2018	2018	2018	2018	2019	2019
Betriebsphase		3a	1,	2a	7,	n.n.	n.n.
Start	Winterzeit	2018-07-05 14:00	2018-06-01 12:30	2018-06-15 10:30	2018-09-07 12:00	2019-08-06 00:00	2019-08-19 09:15
Ende	Winterzeit	2018-07-13 16:00	2018-06-15 09:30	2018-06-20 15:00	2018-09-13 06:00	2019-08-14 23:30	2019-09-11 23:45
Aussenluft TI, °C	15minAVG	22,4	22,2	21,6	20,2	21,3	20,9
Kühlmittel Su(Q), m3/h	15minAVG	/	3,04	4,55	/	3,69	3,7
Kühler Vorlauf TI, °C	manuellAVG	11,	10,91	10,81	/	17,05	/
Kühler Rücklauf TI, °C	15minAVG	13,63	14,1	14,8	/	20,64	18,83
Ozonung Arbeit, kWh	15minSUM	1,69	2,74	3,96	4,67	3,22	3,5
Erzeugung Arbeit, kWh	15minSUM	0,55	1,39	2,41	3,03	1,98	2,2
Kühlung Arbeit, kWh	15minSUM	0,72	0,92	1,13	1,26	0,9	0,94
Restozonv. Arbeit, kWh	15minSUM	0,47	0,47	0,48	0,44	0,34	0,35
Messtechnik und Begleitheizung, kWh	15minSUM	/	/	/	/	/	/
Ablauf Ozonung eta_SAK254 (WTW:ges, Hach: komp), %_Zulauf	15minAVG	9,7%	29,9%	45,8%	43,1%	24,3%	24,5%
Produktgas Fracht, kgO3/h	15minAVG	0,216	0,51	0,826	0,873	0,616	0,656
Ozonung spezif. Energ.bedarf, kWh/kgO3	15minAVG	33,38	22,34	20,15	23,16	22,2	22,22
Erzeugung Ozon kWh/kgO3	berechnet	10,14	10,88	11,68	13,86	12,85	13,4
Ozonung Dosis, gO3/m3	15minAVG	1,5	2,99	5,47	6,94	3,42	3,74
Produktgas m_Anteil, kgO3/kgO2	15minAVG	9,1%	/	12,9%	12,5%	12,1%	12,4%
Kühler delta_Temp., K	15minAVG	2,67	3,15	3,99	/	3,68	/
Kühllast Leistung, kW	15minAVG	/	9,19	16,18	/	13,45	/
Ozon Ablauf Fracht, gO3/h	15minAVG	/	/	/	/	13,3	7,64
Ozon Abgas Fracht, gO3/h, abgeschätzt	15minAVG	/	/	/	/	37,18	39,44
Ozon Ablauf m_Anteil, %_Produkt	15minAVG	/	/	/	/	/	1,3%
Ozon Abgas m_Anteil, %_Produkt, abgeschätzt	15minAVG	/	/	/	/	5,9%	5,7%
Kühllast thermisch / elektrisch, kW/(4 * kWh / 15min)	berechnet	/	2,49	3,58	/	3,75	/

Legende

15minAVG

Mittelwert über alle 15-minütigen Mittelwerte der Betriebsphase

15minSUM

Mittelwert über alle 15-minütigen Summen der Betriebsphase

manuellAVG

Mittelwert über alle manuell aufgenommenen Werte der Betriebsphase

VK

Variationskoeffizient als „Standardabweichung der Stichprobe / Mittelwert“

Anhang 6: Betriebsdaten der Ozonanlage an den Probenahmetagen

Angaben der Uhrzeit erfolgen in den nachfolgenden Diagrammen immer in Winterzeit, was bei Probenahmen während der Sommerzeit zu Verschiebungen um eine Stunde führt.

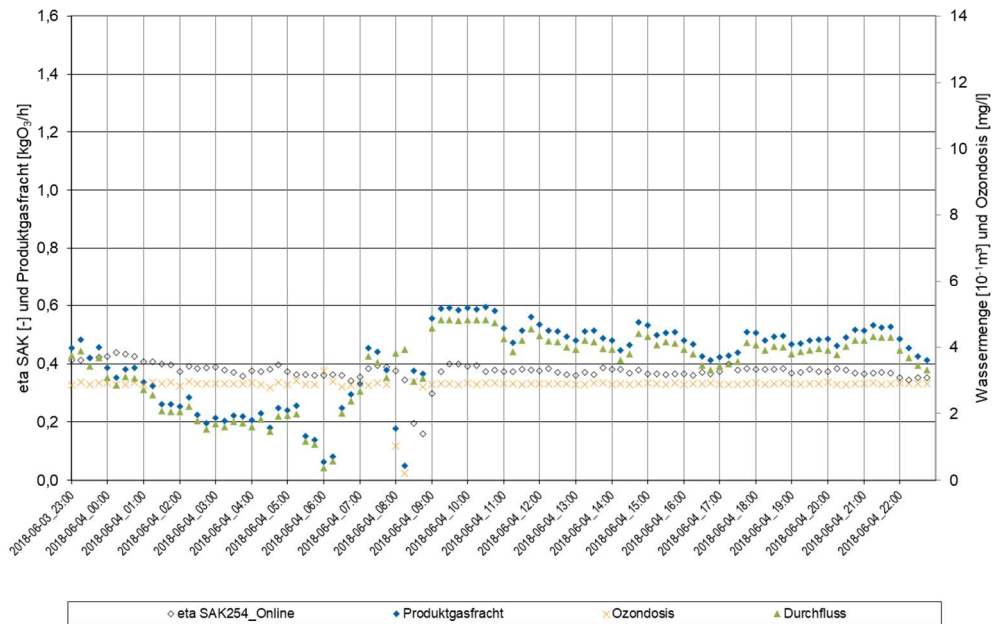


Bild 196: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 04. Juni 2018, Sollwert: 3 mgO₃/l

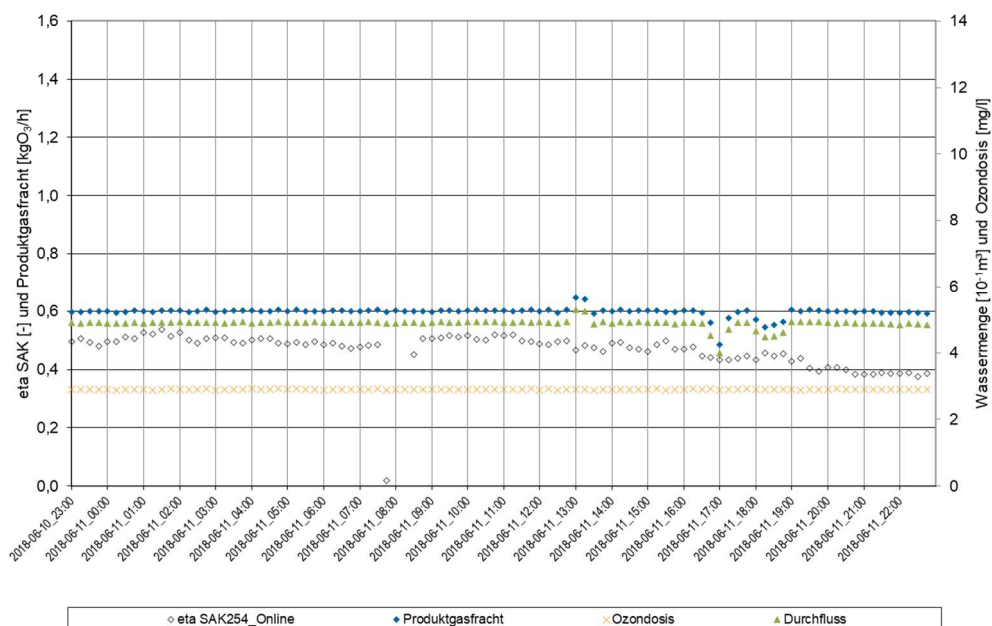


Bild 197: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 11. Juni 2018, Sollwert: 3 mgO₃/l

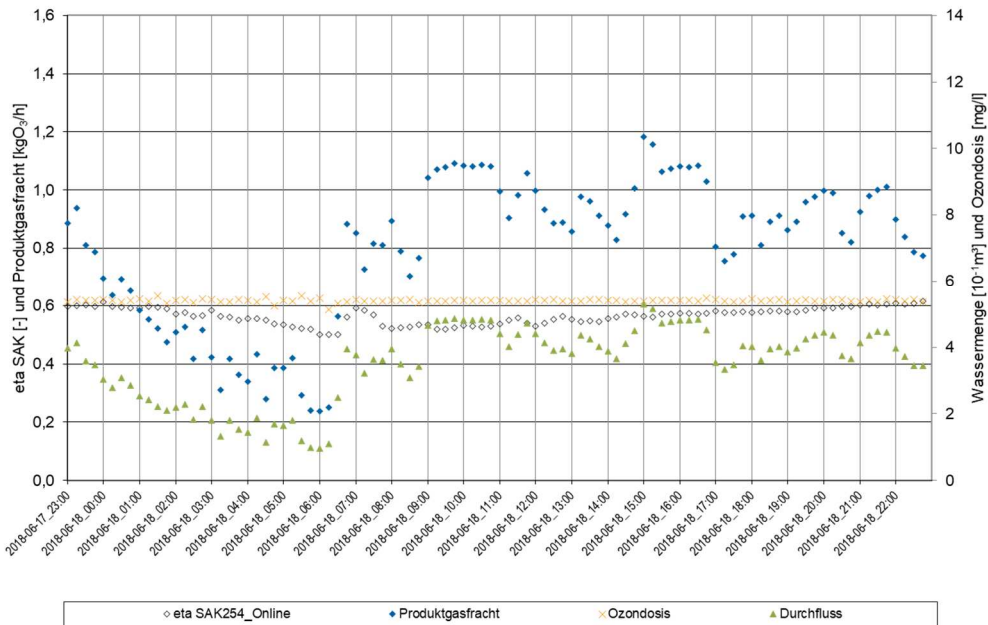


Bild 198: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 18. Juni 2018, Sollwert: 5,5 mgO₃/l

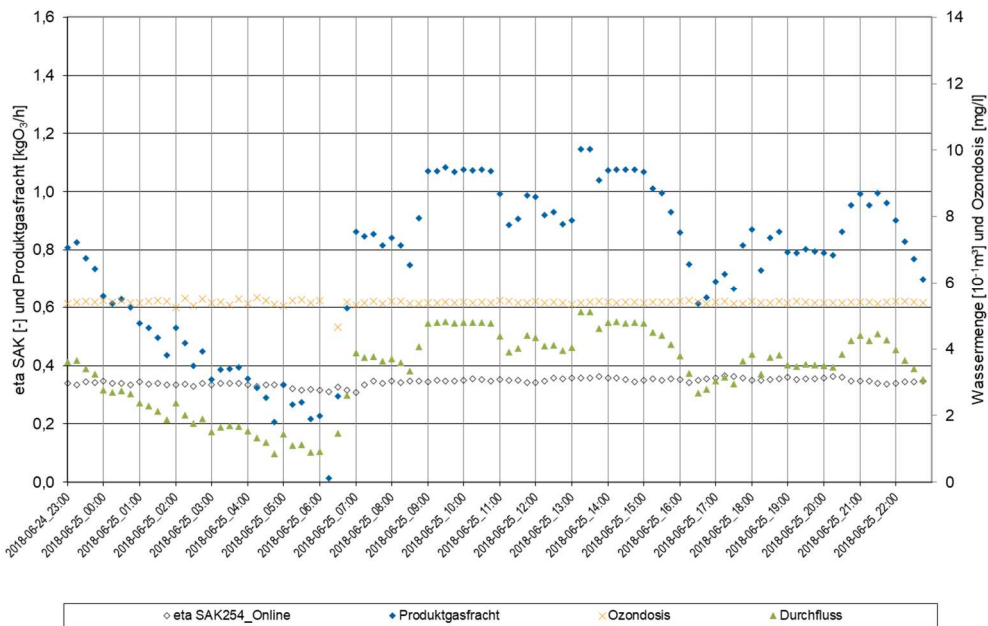


Bild 199: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 25. Juni 2018, Sollwert: 5,5 mgO₃/l

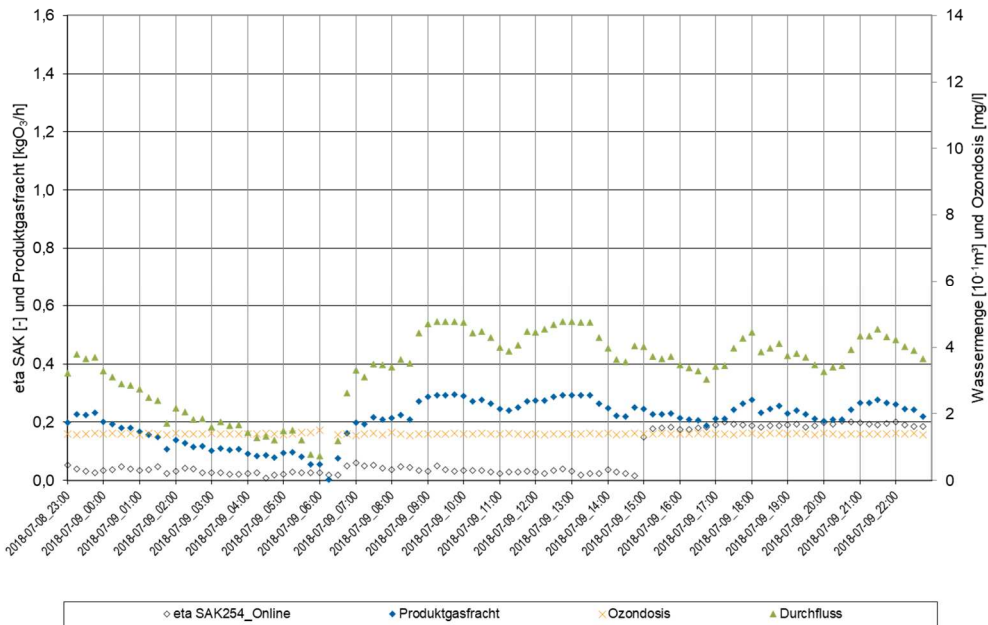


Bild 200: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 09. Juli 2018, Sollwert: 1,5 mgO₃/l

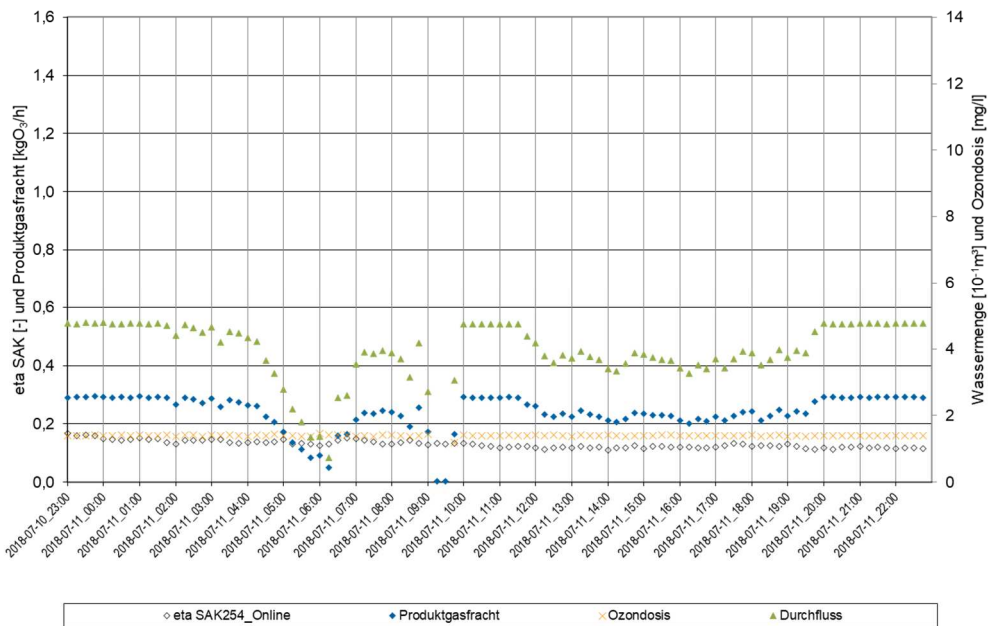


Bild 201: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 11. Juli 2018, Sollwert: 1,5 mgO₃/l

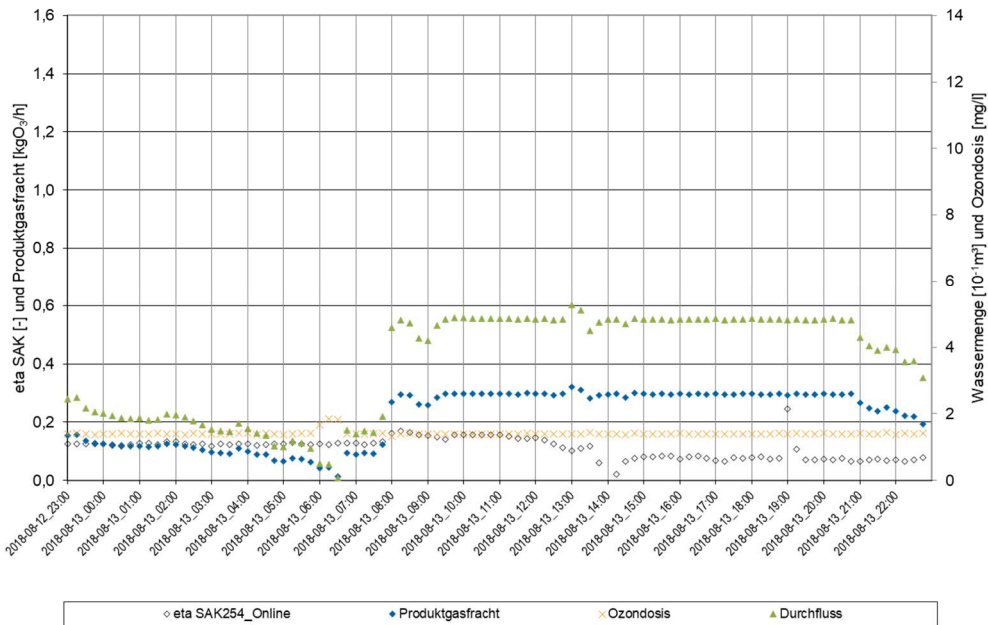


Bild 202: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 13. August 2018, Sollwert: 1,5 mgO₃/l

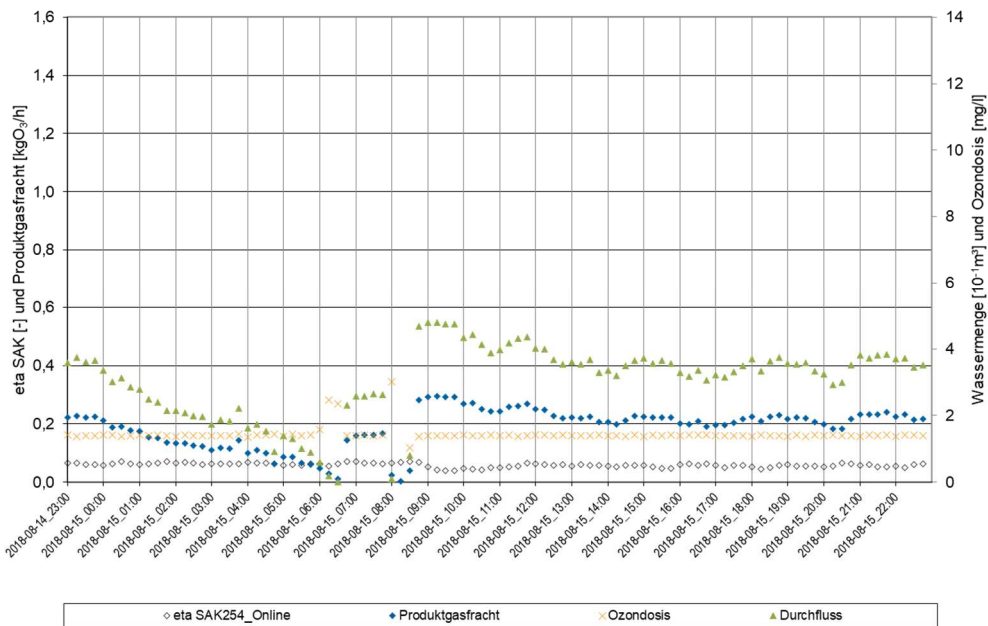


Bild 203: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 15. August 2018, Sollwert: 1,5 mgO₃/l

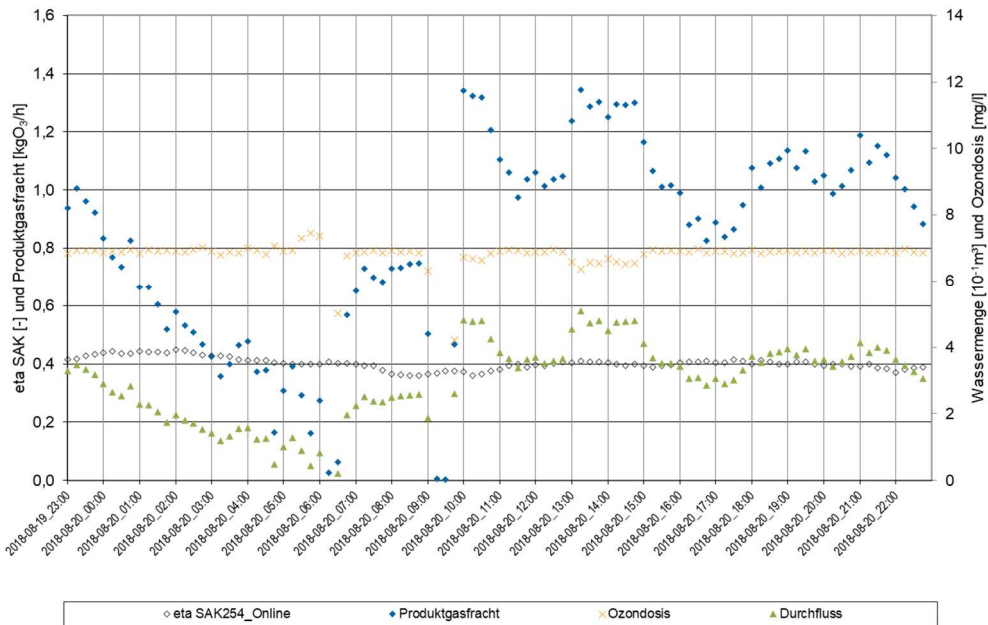


Bild 204: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 20. August 2018, Sollwert: 7 mgO₃/l

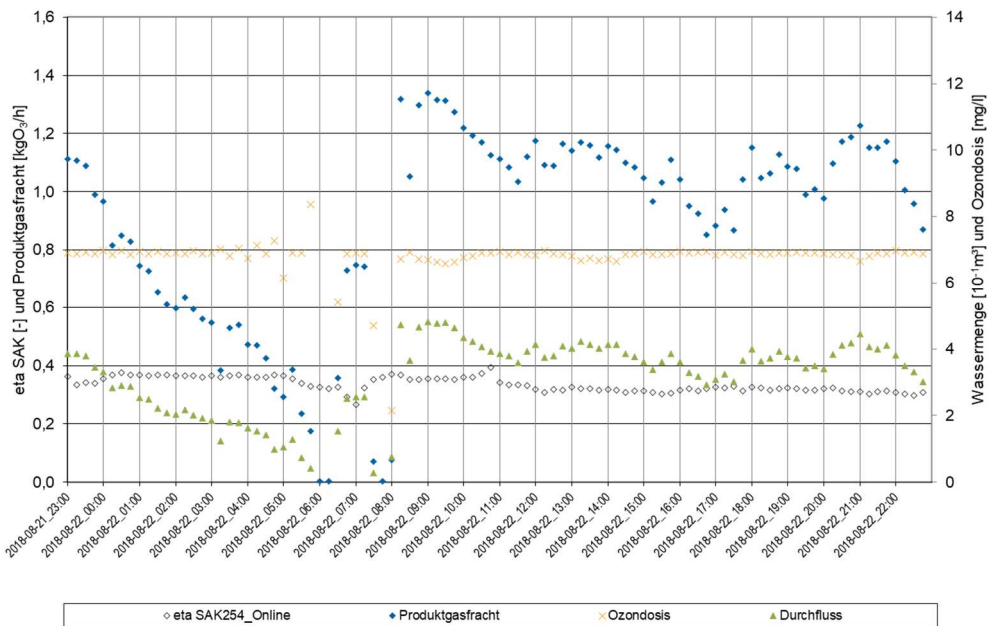


Bild 205: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 22. August 2018, Sollwert: 7 mgO₃/l

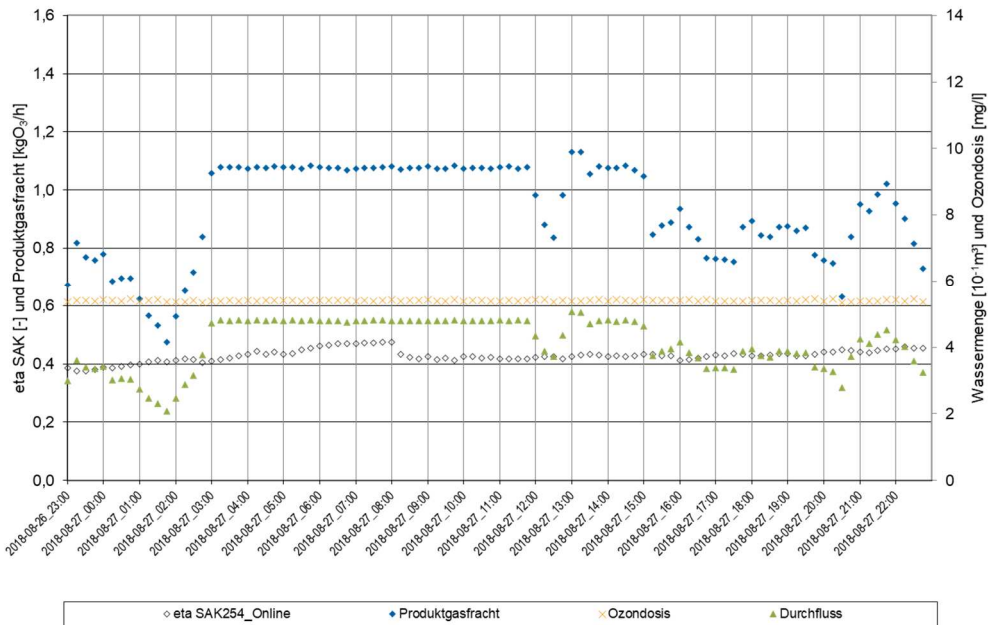


Bild 206: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 27. August 2018, Sollwert: 7 mgO₃/l

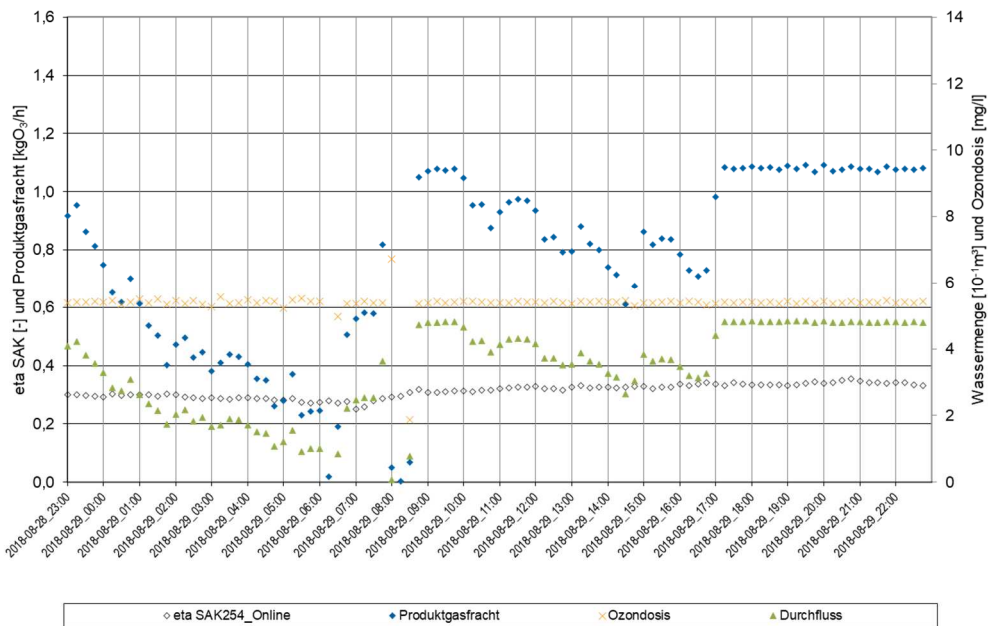


Bild 207: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 20. August 2018, Sollwert: 5,5 mgO₃/l

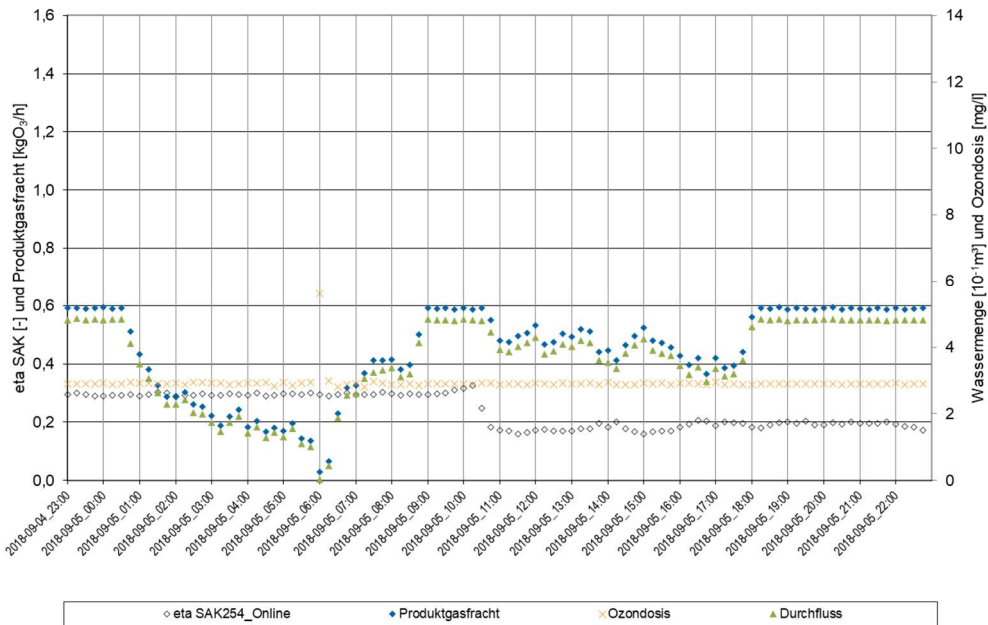


Bild 208: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 05. September 2018, Sollwert: 3 mgO₃/l

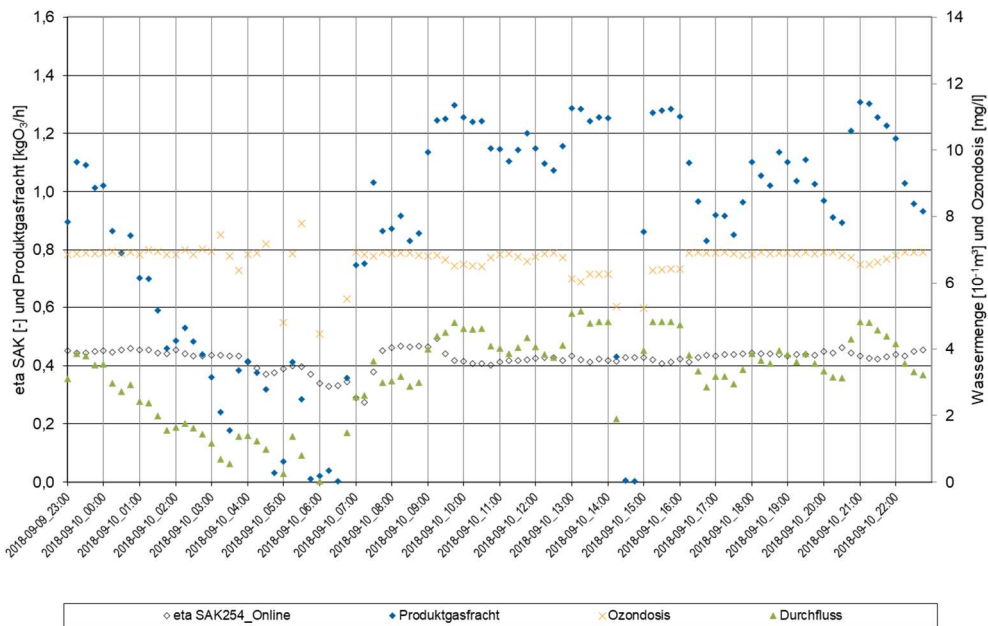


Bild 209: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 10. September 2018, Sollwert: 7 mgO₃/l

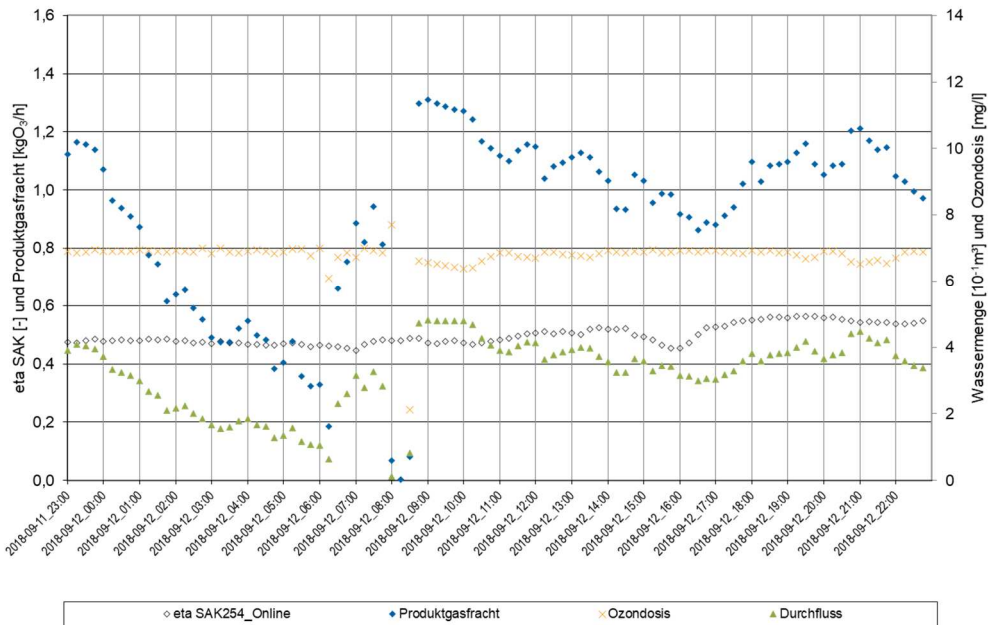


Bild 210: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 12. September 2018, Sollwert: 7 mgO₃/l

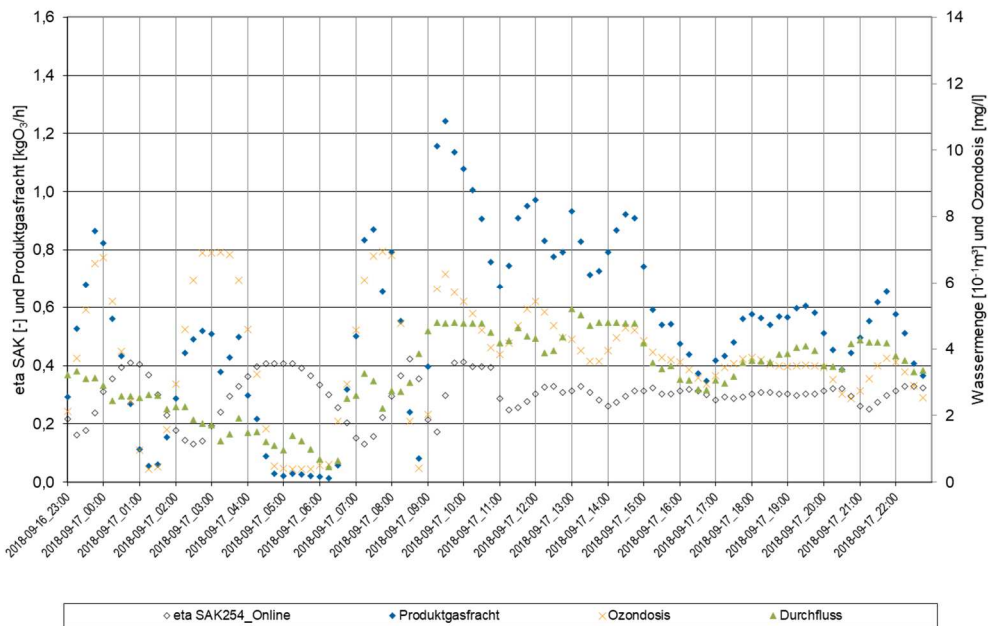


Bild 211: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 17. September 2018, Sollwert: 30 % eta SAK₂₅₄

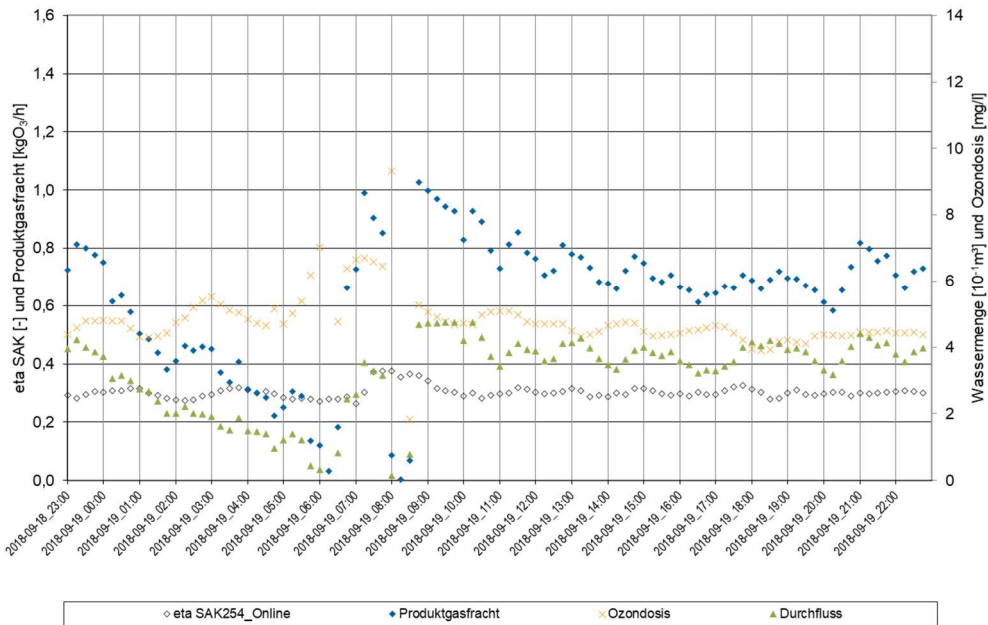


Bild 212: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 19. September 2018, Sollwert: 30 % eta SAK254

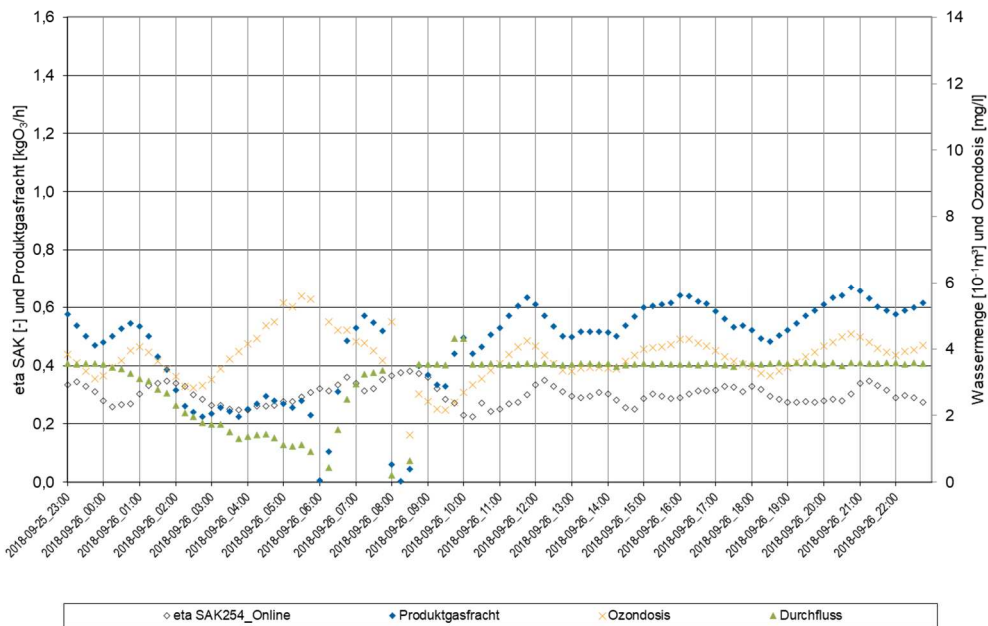


Bild 213: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 26. September 2018, Sollwert: 30 % eta SAK254

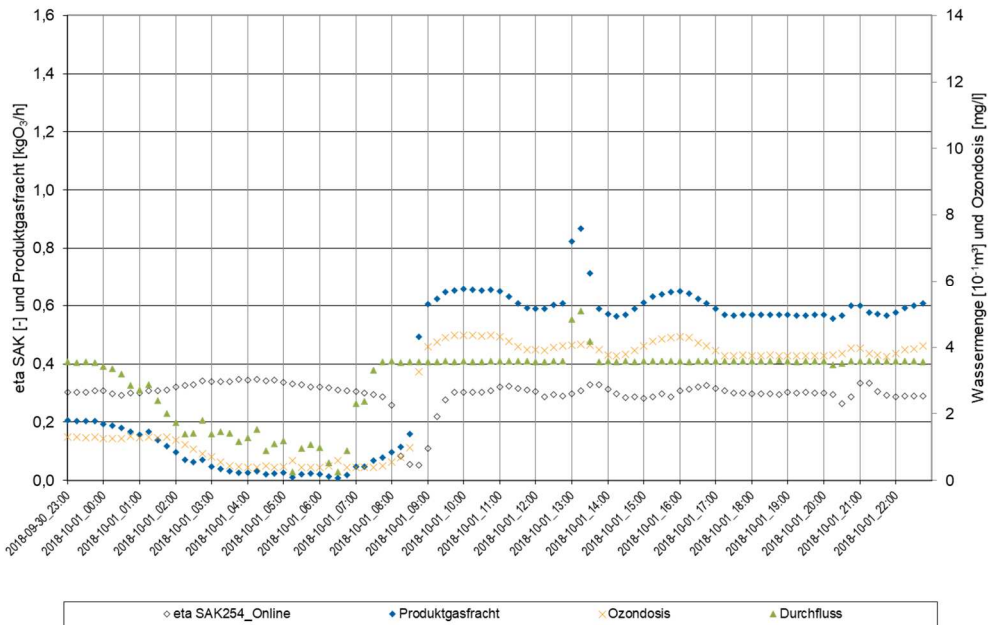


Bild 214: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 01. Oktober 2018, Sollwert: 30 % eta SAK₂₅₄

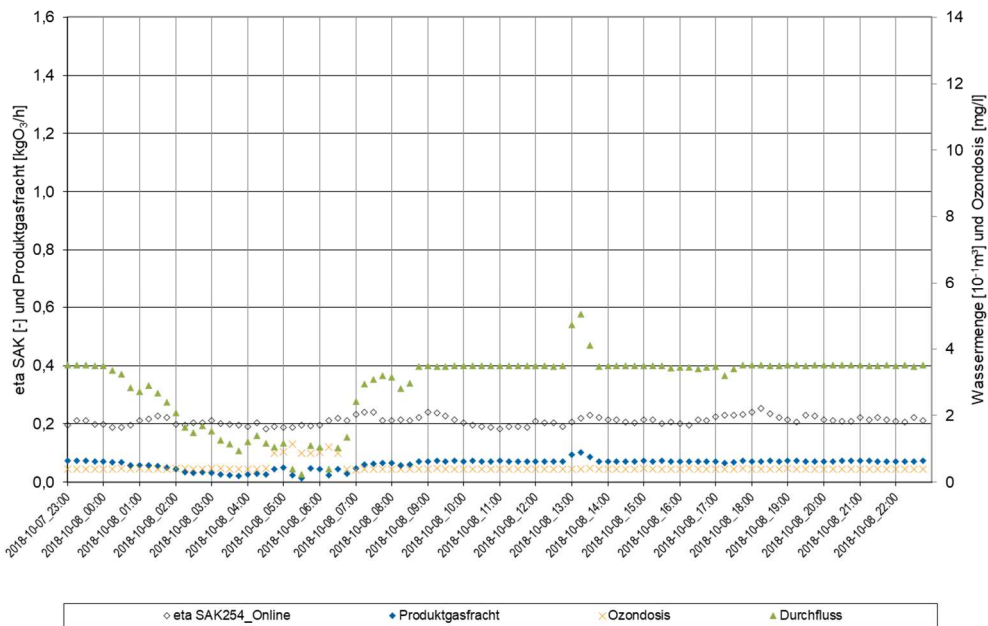


Bild 215: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 08. Oktober 2018, Sollwert: 20 % eta SAK₂₅₄

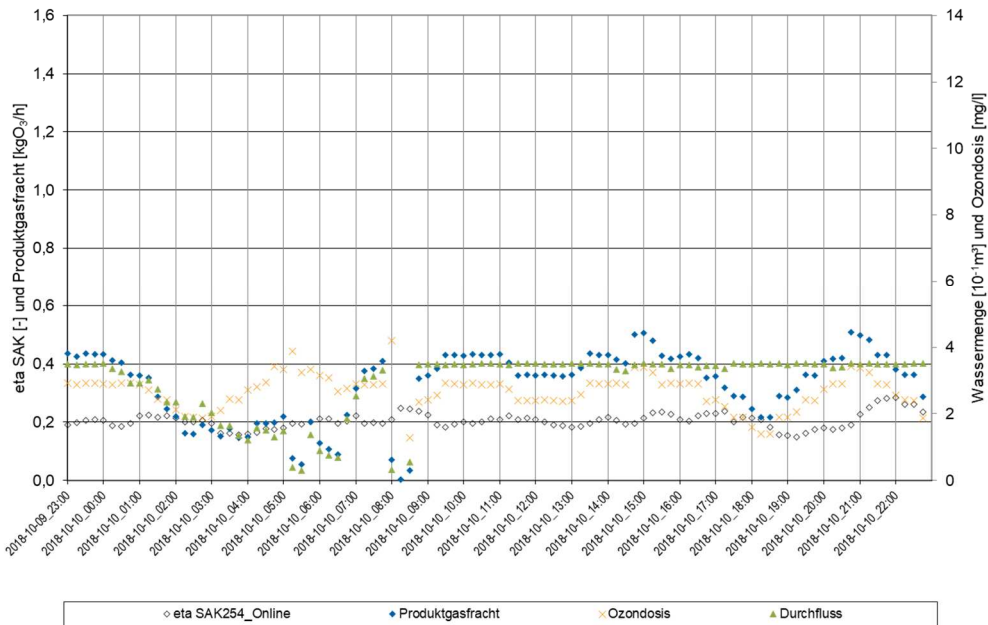


Bild 216: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 10. Oktober 2018, Sollwert: 20 % eta SAK₂₅₄

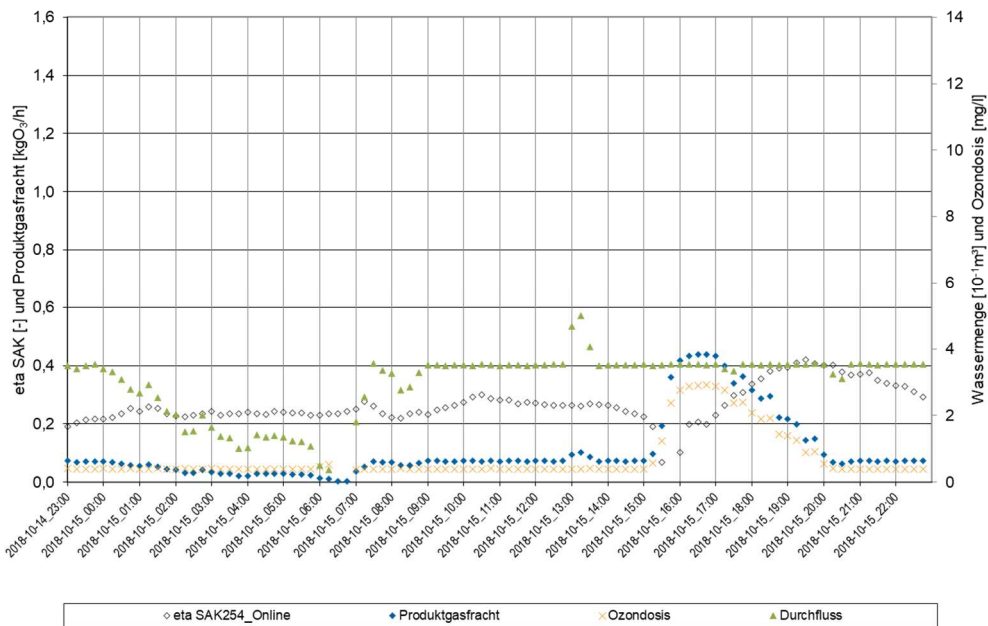


Bild 217: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 15. Oktober 2018, Sollwert: 40 % eta SAK₂₅₄

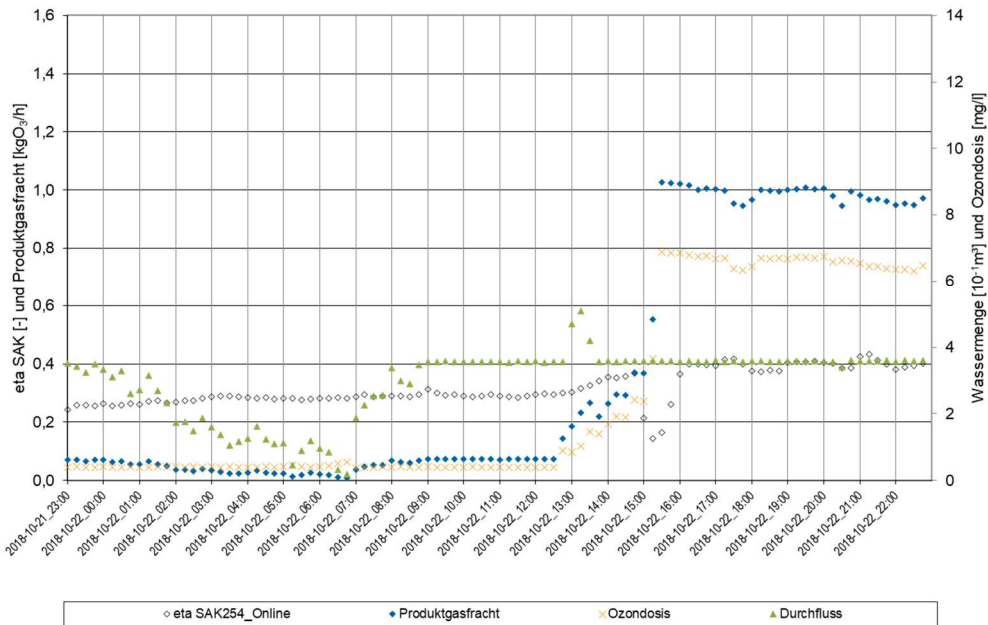


Bild 218: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 22. Oktober 2018, Sollwert: 40 % eta SAK₂₅₄

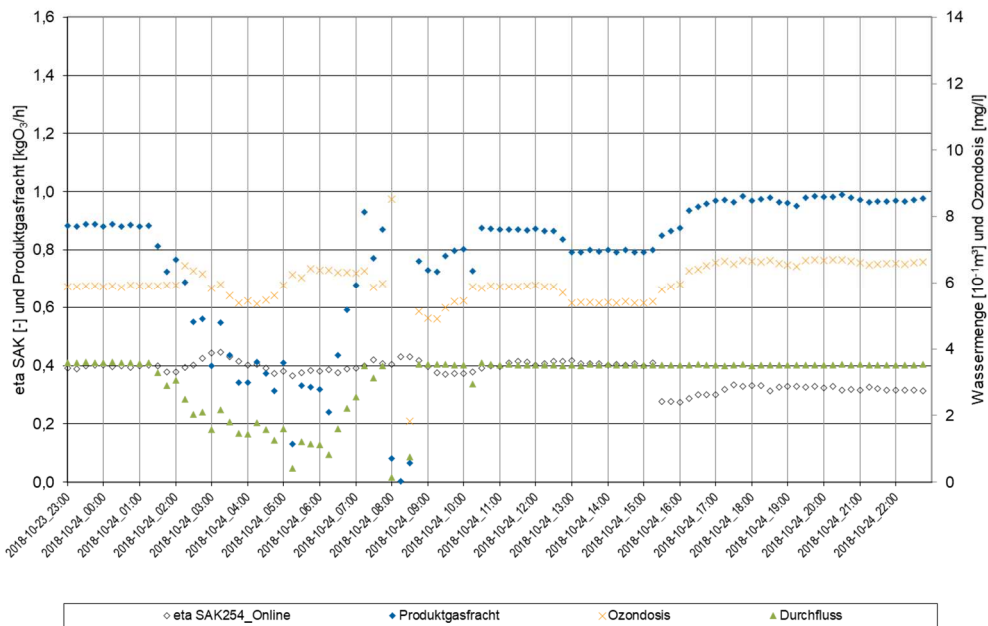


Bild 219: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 24. Oktober 2018, Sollwert: 40 % eta SAK₂₅₄

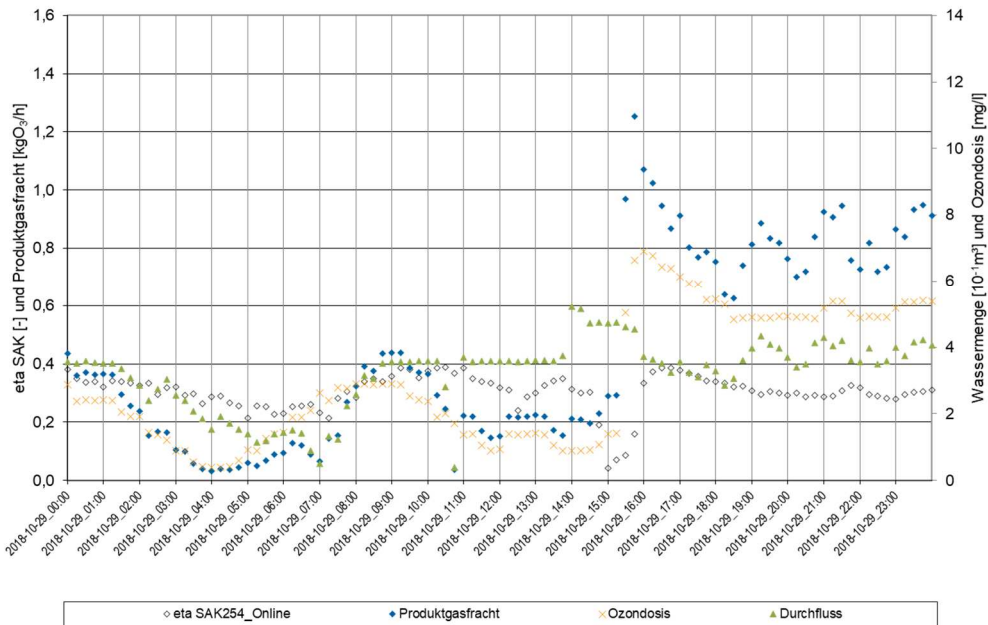


Bild 220: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 29. Oktober 2018, Sollwert: 30 % eta SAK₂₅₄

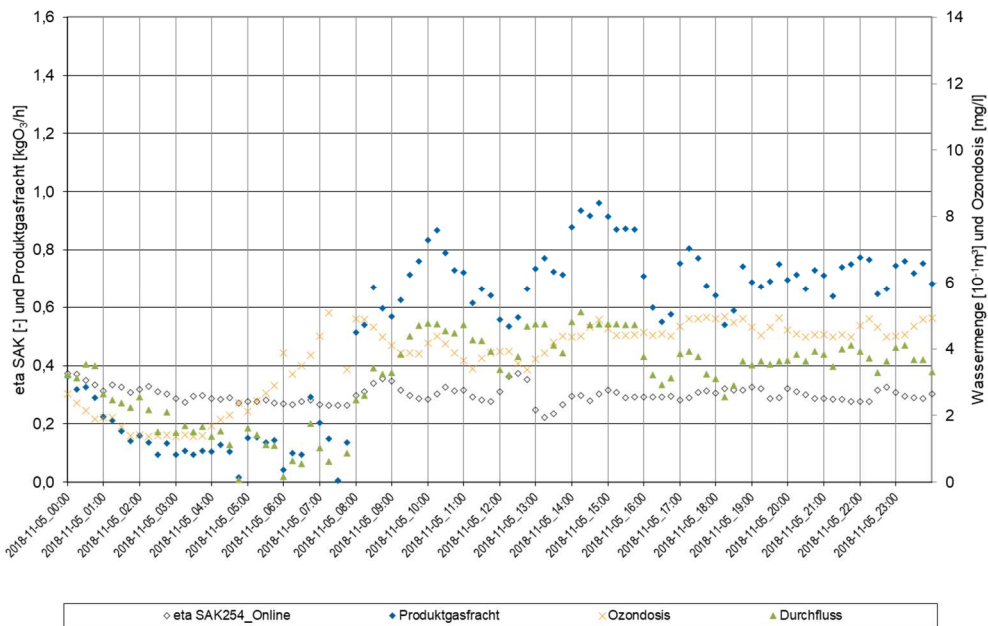


Bild 221: Betriebsdaten der Ozonanlage (15-Minuten-Werte) am 05. November 2018, Sollwert: 30 % eta SAK₂₅₄

Anhang 7: Ergebnisse der Standardparameter der großtechnischen Untersuchungen an der Ozonanlage und biologischen Nachbehandlung

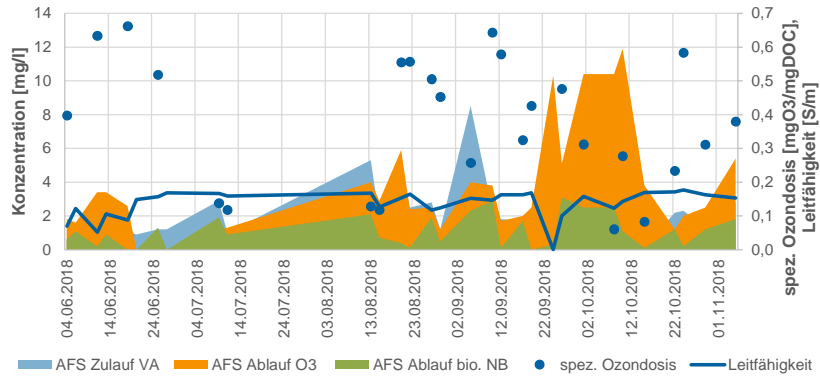


Bild 222: Konzentration von AFS im Zulauf der Versuchsanlage, Ablauf der Ozonanlage und Ablauf der biologischen Nachbehandlung,, ebenfalls dargestellt sind die spezifische Ozondosis und de Leitfähigkeit

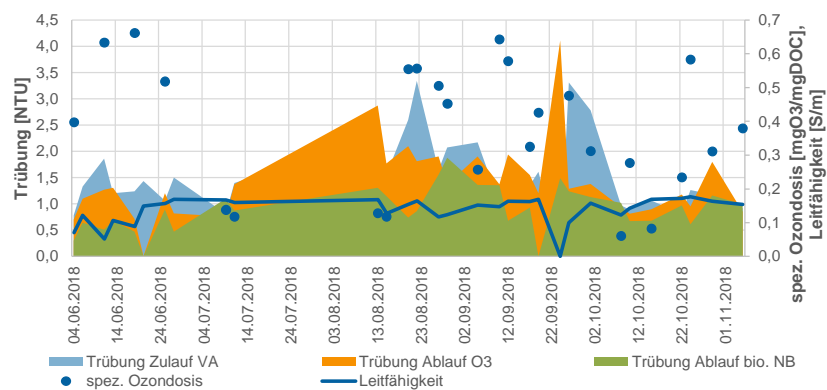


Bild 223: Trübung im Zulauf der Versuchsanlage, Ablauf der Ozonanlage und Ablauf der biologischen Nachbehandlung,, ebenfalls dargestellt sind die spezifische Ozondosis und de Leitfähigkeit

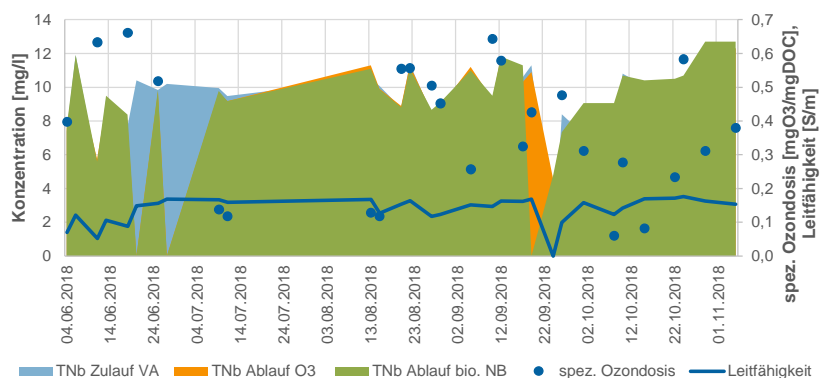


Bild 224: Konzentration von TNb im Zulauf der Versuchsanlage, Ablauf der Ozonanlage und Ablauf der biologischen Nachbehandlung,, ebenfalls dargestellt sind die spezifische Ozondosis und de Leitfähigkeit

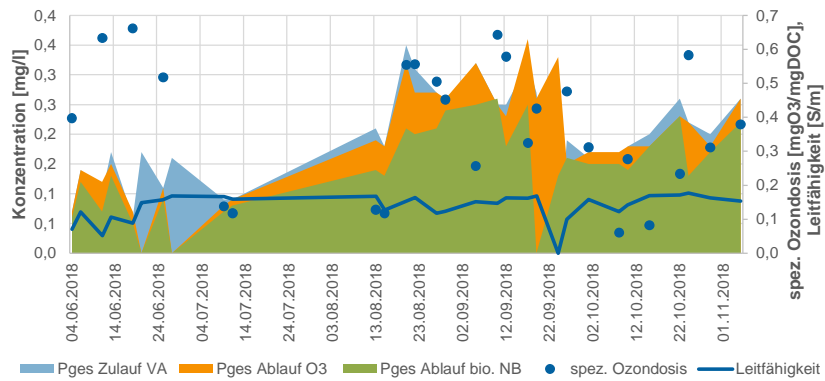


Bild 225: Konzentration von Pges im Zulauf der Versuchsanlage, Ablauf der Ozonanlage und Ablauf der biologischen Nachbehandlung,, ebenfalls dargestellt sind die spezifische Ozondosis und de Leitfähigkeit

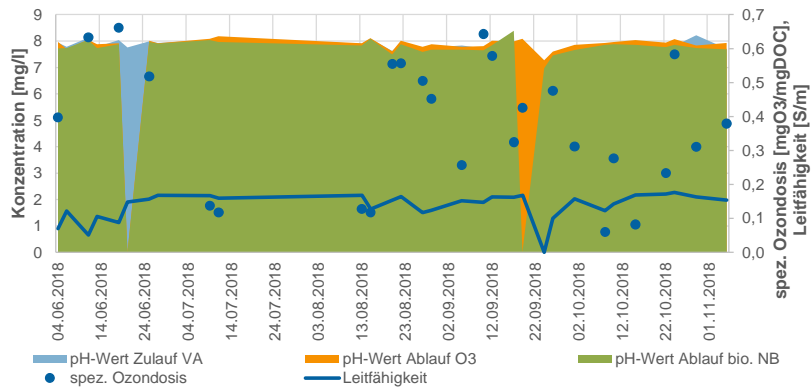


Bild 226: pH-Wert im Zulauf der Versuchsanlage, Ablauf der Ozonanlage und Ablauf der biologischen Nachbehandlung,, ebenfalls dargestellt sind die spezifische Ozondosis und de Leitfähigkeit

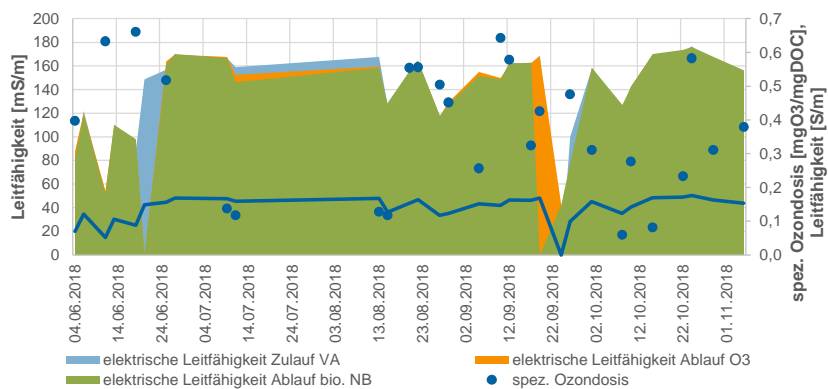


Bild 227: elektrische Leitfähigkeit im Zulauf der Versuchsanlage, Ablauf der Ozonanlage und Ablauf der biologischen Nachbehandlung,, ebenfalls dargestellt sind die spezifische Ozondosis und de Leitfähigkeit

Anhang 8: Ergebnisse der Standardparameter der großtechnischen Untersuchungen im GAK-Filter

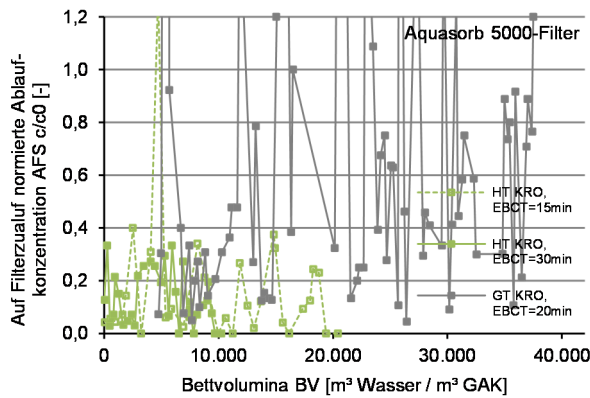


Bild 228: Auf Filterzulauf normierte Ablaufkonzentration AFS

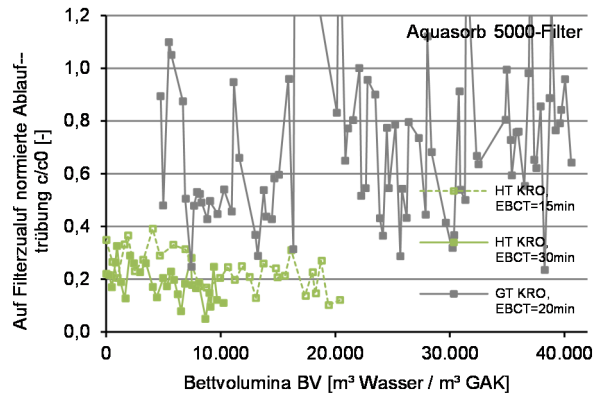


Bild 229: Auf Filterzulauf normierte Trübung im Ablauf

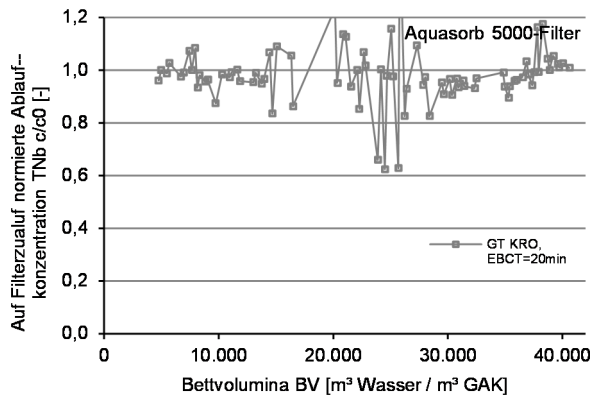


Bild 230: Auf Filterzulauf normierte Ablaufkonzentration TN_b

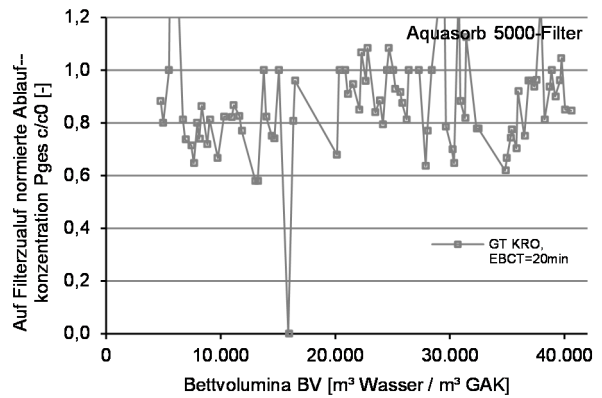


Bild 231: Auf Filterzulauf normierte Ablaufkonzentration P_{ges}

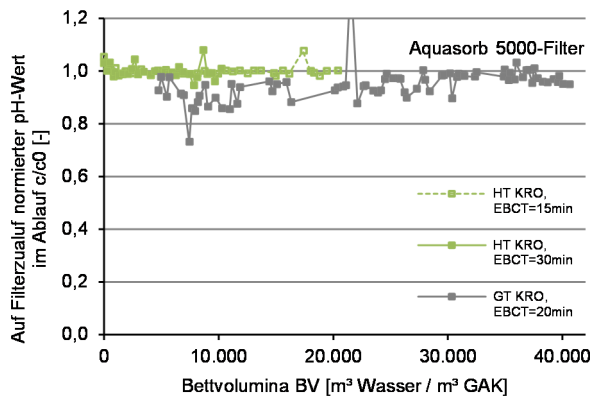


Bild 232: Auf Filterzulauf normierter pH-Wert im Ablauf

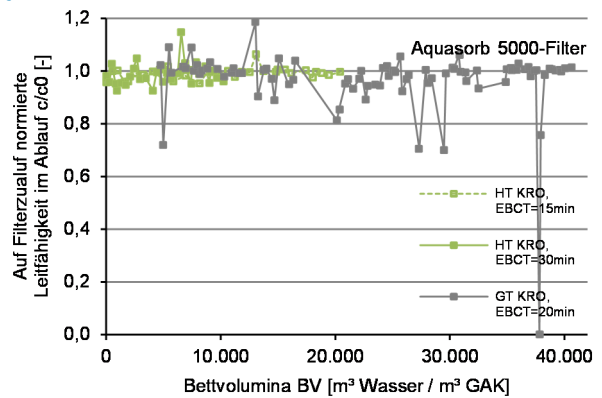


Bild 233: Auf Filterzulauf normierte elektrische Leitfähigkeit im Ablauf

Anhang 9: Ergebnisse der Standardparameter der Referenzfilteruntersuchungen

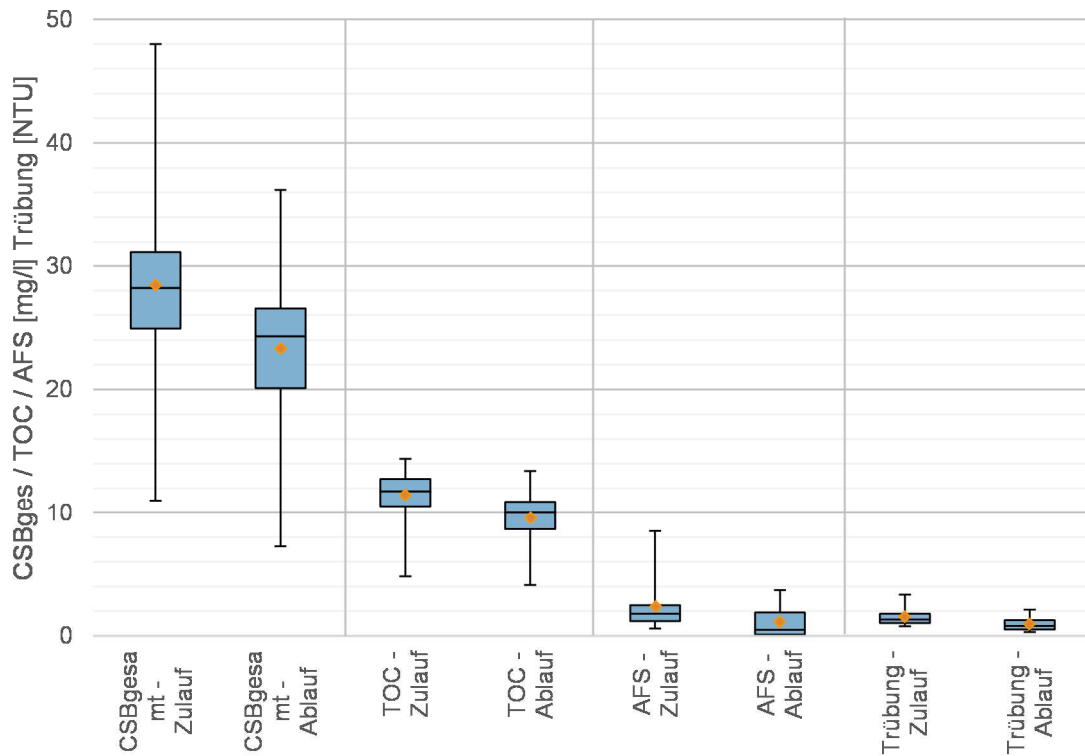


Bild 234: Auf Filterzulauf normierte Ablaufkonzentrationen für CSBgesamt, TOC, AFS und Trübung

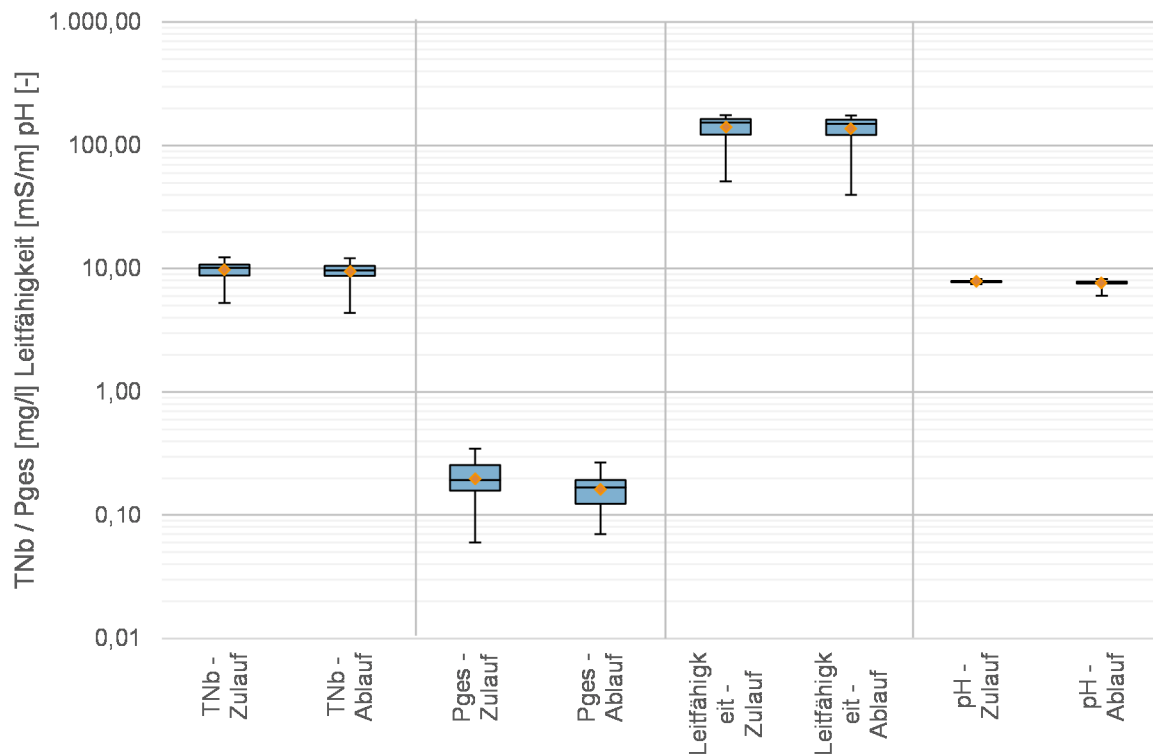


Bild 235: Auf Filterzulauf normierte Ablaufkonzentrationen für TNb, Pgesamt, Leitfähigkeit und pH-Wert

Anhang 10: Spurenstoffelimination für unterschiedliche Steuer- und Regelstrategien

Volumenproportionale Steuerung

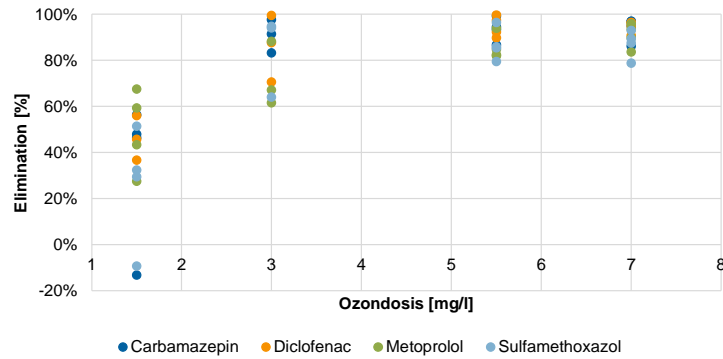


Bild 236: Elimination gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die Ozondosis

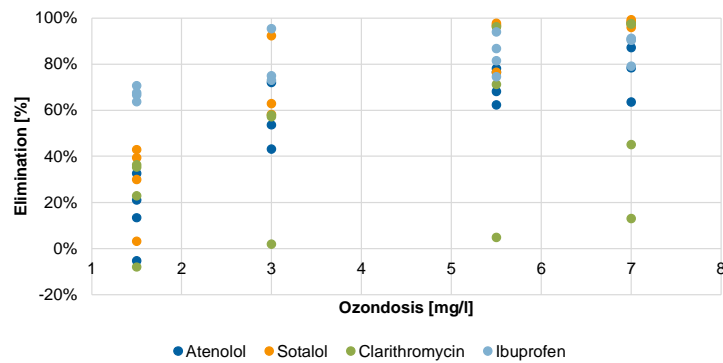


Bild 237: Elimination mäßig bis gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die Ozondosis

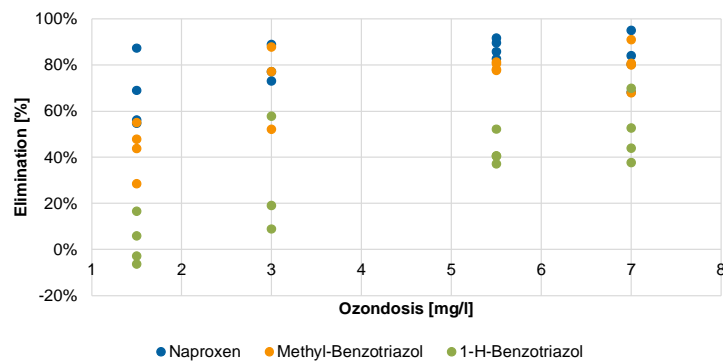


Bild 238: Elimination mäßig bis gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die Ozondosis

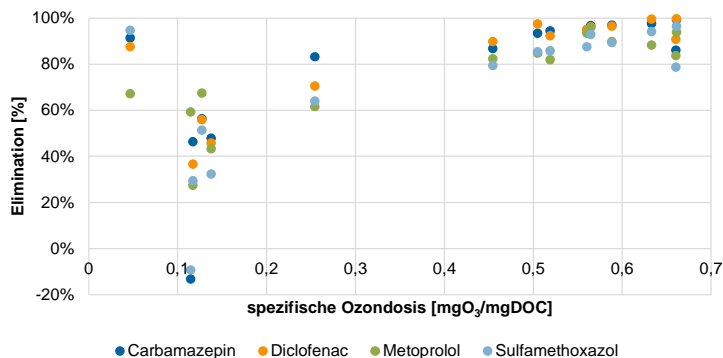


Bild 239: Elimination gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die spezifische Ozondosis

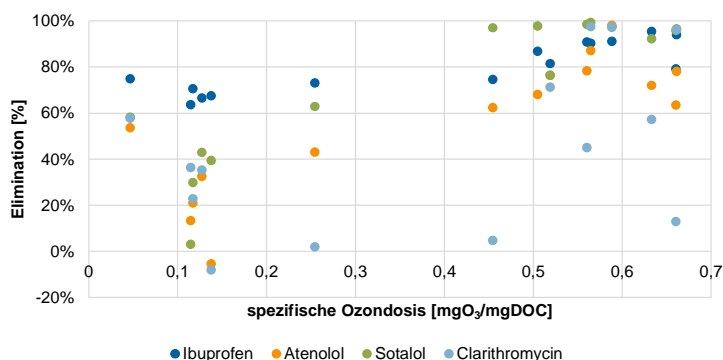


Bild 240: Elimination mäßig bis gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die spezifische Ozondosis

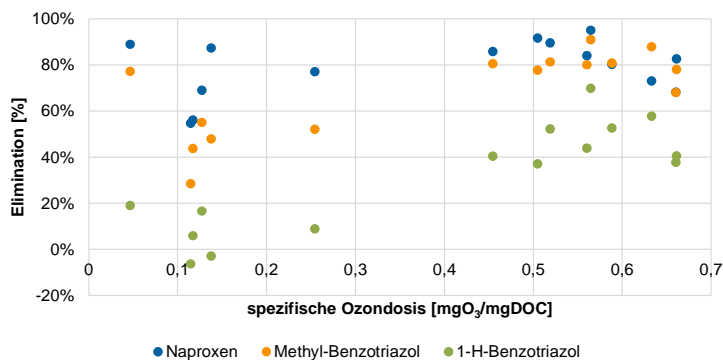


Bild 241: Elimination mäßig bis gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die spezifische Ozondosis

Regelung nach dem eta SAK₂₅₄

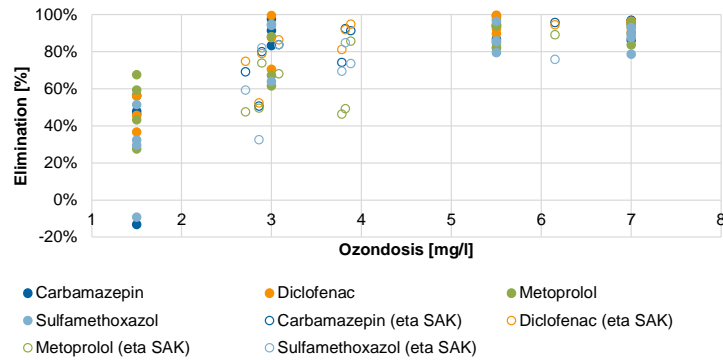


Bild 242: Elimination gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die Ozondosis erweitertet um die Ergebnisse der Versuchsreihe 2 (Regelung nach eta SAK₂₅₄)

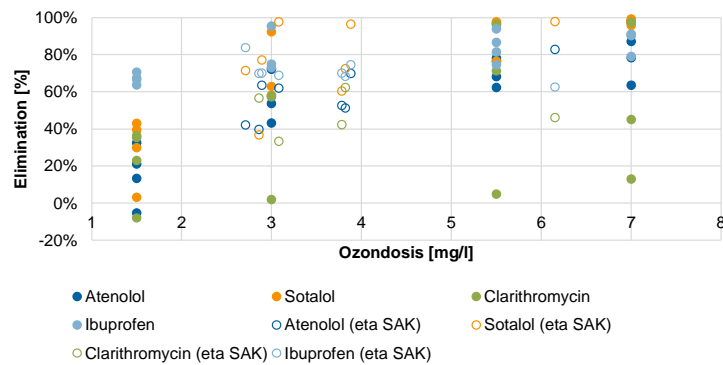


Bild 243: Elimination mäßig bis gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die Ozondosis erweitertet um die Ergebnisse der Versuchsreihe 2 (Regelung nach eta SAK₂₅₄)

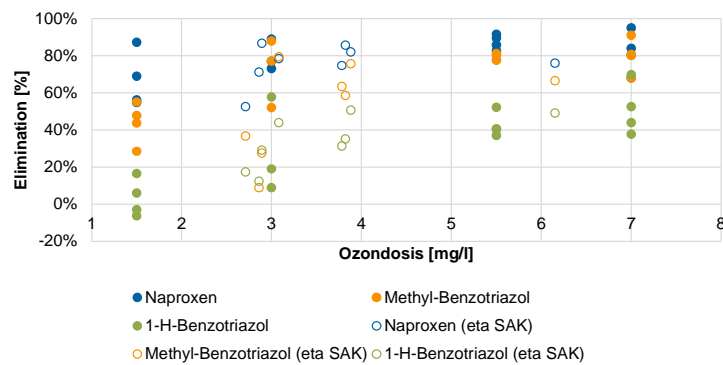


Bild 244: Elimination mäßig bis gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die Ozondosis erweitertet um die Ergebnisse der Versuchsreihe 2 (Regelung nach eta SAK₂₅₄)

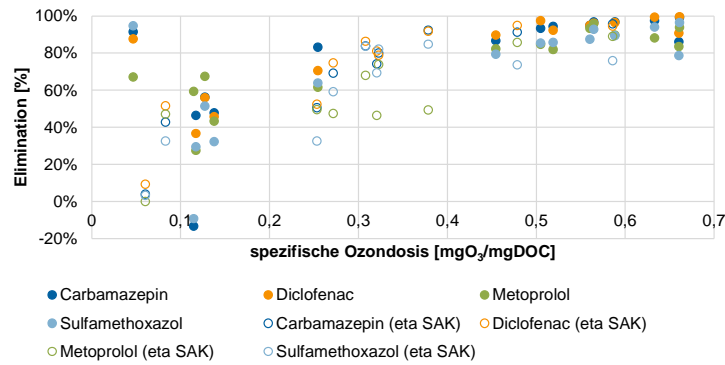


Bild 245: Elimination gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die spezifische Ozondosis erweitert um die Ergebnisse der Versuchsreihe 2 (Regelung nach eta SAK₂₅₄)

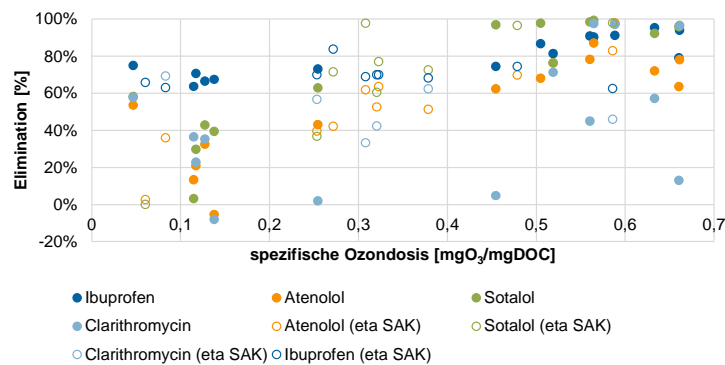


Bild 246: Elimination mäßig bis gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die spezifische Ozondosis erweitert um die Ergebnisse der Versuchsreihe 2 (Regelung nach eta SAK₂₅₄)

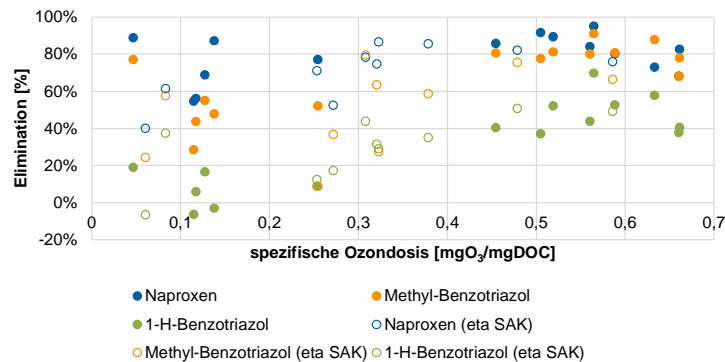
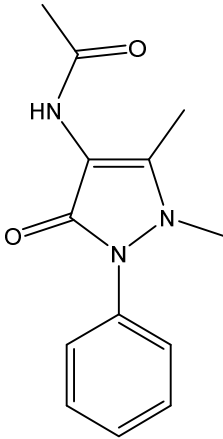
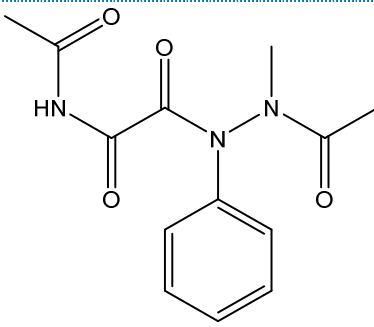
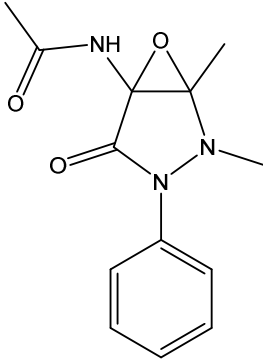


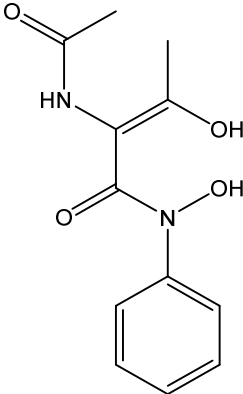
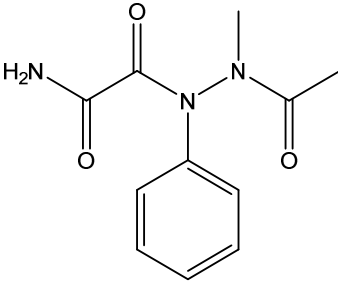
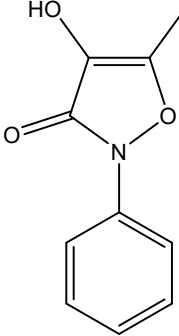
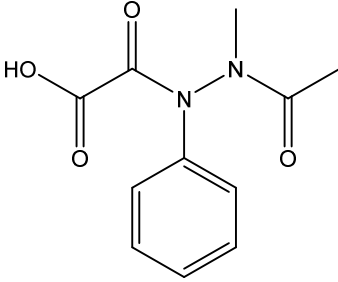
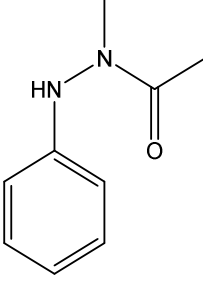
Bild 247: Elimination mäßig bis gut eliminierbarer Spurenstoffe aufgetragen über die spezifische Ozondosis erweitert um die Ergebnisse der Versuchsreihe 2 (Regelung nach eta SAK₂₅₄)

Anhang 11: Suspected Target Screening

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Transformationsprodukte, die im Rahmen von Laborversuchen bei der Ozonung von Einzelsubstanzen detektiert und identifiziert wurden und nach denen im Rahmen des Suspected Target Screenings in diesem Projekt gesucht wurde. In manchen Fällen sind für eine Struktur mehrere Isomere möglich. Diese wurden einzeln aufgeführt bzw. gestrichelte Bindungen zeigen die möglichen Positionen der entsprechenden funktionellen Gruppe an.

Tabelle 81: Transformationsprodukte von 4-Acetamidoantipyrin (Aaa)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
4-Acetamidoantipyrin (Aaa)	C ₁₃ H ₁₅ N ₃ O ₂		
Aaa-01	C ₁₃ H ₁₅ N ₃ O ₄		(Favier, et al., 2015)
Aaa-02	C ₁₃ H ₁₅ N ₃ O ₃		(Favier, et al., 2015)

Aaa-03	C12H14N2O4		(Favier, et al., 2015)
Aaa-04	C11H13N3O3		(Favier, et al., 2015)
Aaa-05	C10H9NO3		(Favier, et al., 2015)
Aaa-06	C11H12N2O4		(Favier, et al., 2015)
Aaa-07	C9H12N2O		(Favier, et al., 2015)

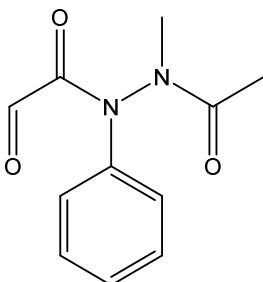
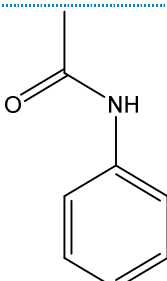
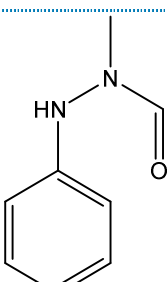
Aaa-08	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₃		(Favier, et al., 2015)
Aaa-09	C ₈ H ₉ N ₁ O		(Favier, et al., 2015)
Aaa-10	C ₈ H ₁₀ N ₂ O		(Favier, et al., 2015)

Tabelle 82: Transformationsprodukte von Acesulfam (Ace)

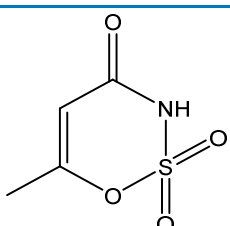
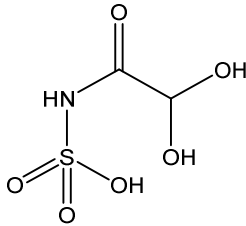
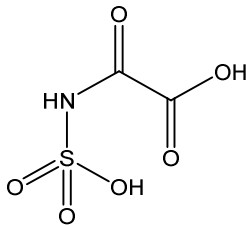
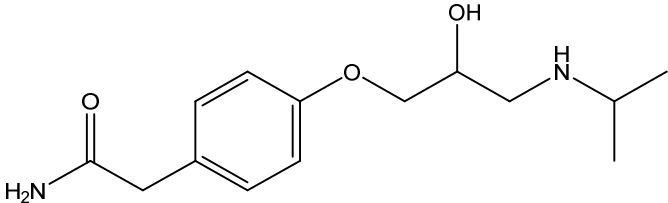
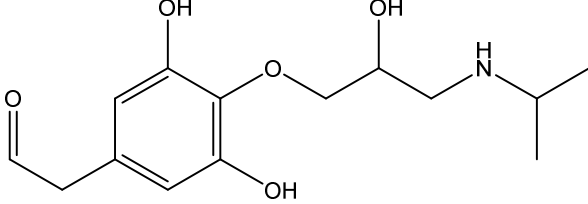
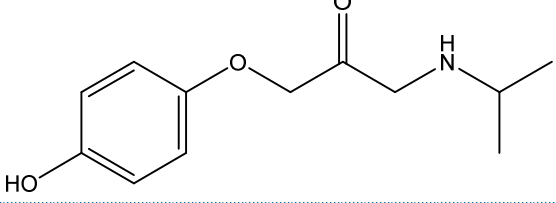
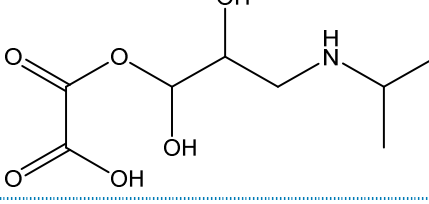
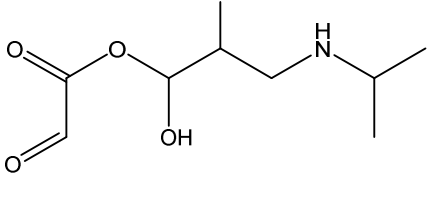
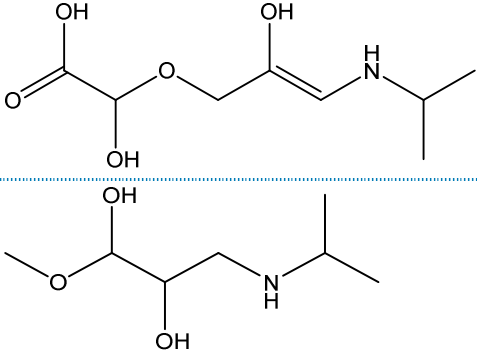
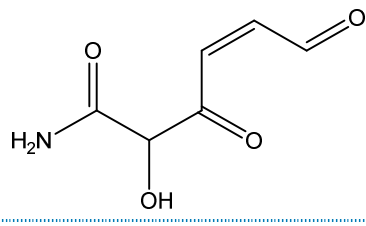
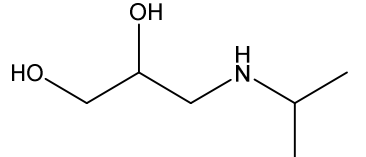
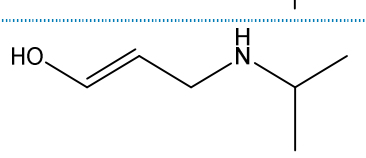
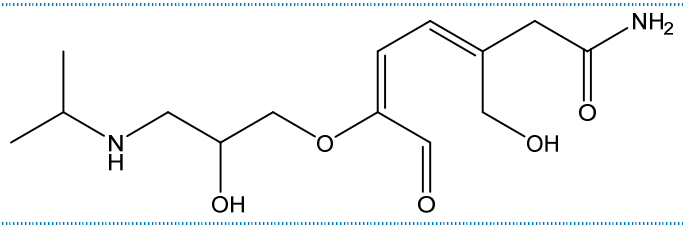
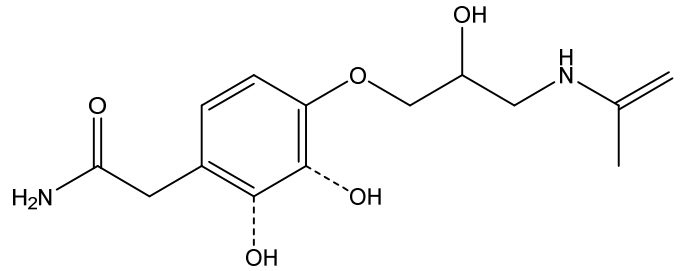
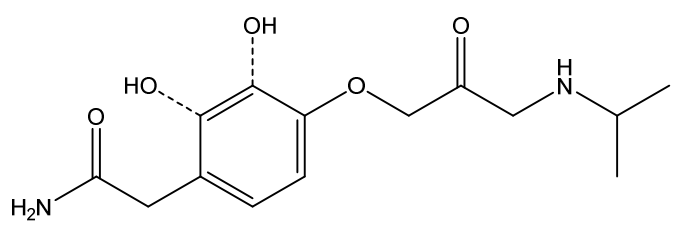
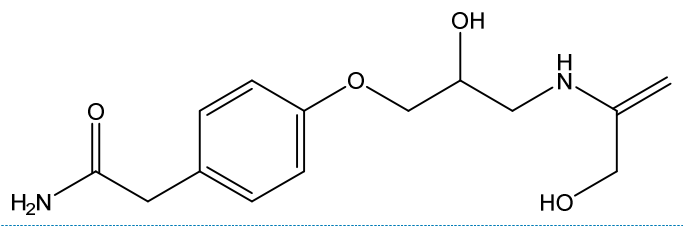
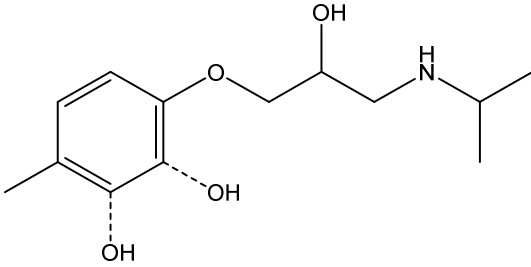
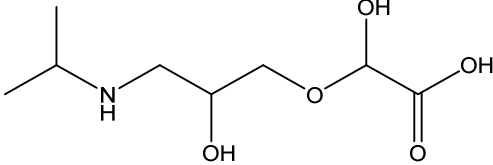
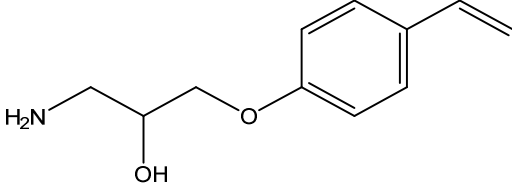
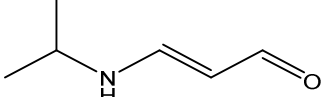
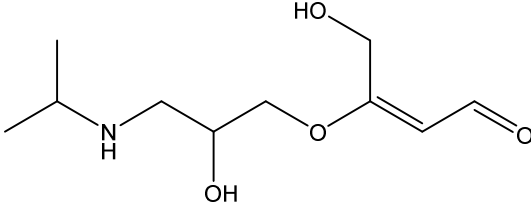
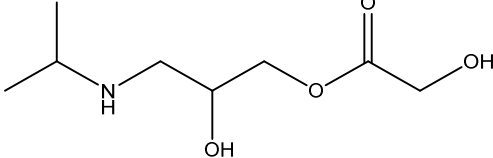
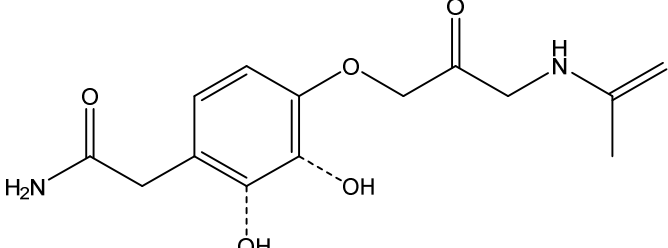
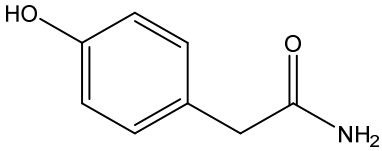
Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Acesulfam (Ace)	C ₄ H ₅ N ₁ O ₄ S		
Ace-01	C ₂ H ₅ N ₁ O ₆ S		(Scheurer, et al., 2012)
Ace-02	C ₂ H ₃ N ₁ O ₆ S		(Scheurer, et al., 2012)

Tabelle 83: Transformationsprodukte von Atenolol (Ate)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Atenolol (Ate)	C ₁₄ H ₂₂ N ₂ O ₃		
Ate-01	C ₁₄ H ₂₁ N ₂ O ₅		(Quispe, et al., 2011)
Ate-02	C ₁₂ H ₁₇ N ₂ O ₃		(Quispe, et al., 2011)
Ate-03	C ₈ H ₁₅ N ₂ O ₆		(Quispe, et al., 2011)
Ate-04	C ₈ H ₁₅ N ₂ O ₅		(Quispe, et al., 2011; Tay, et al., 2011)
Ate-05	C ₇ H ₁₇ N ₂ O ₃		(Quispe, et al., 2011)

Ate-06	C ₆ H ₇ N ₀ ₄		(Quispe, et al., 2011)
Ate-07	C ₆ H ₁₅ N ₀ ₂		(Quispe, et al., 2011; Tay, et al., 2011)
Ate-08	C ₆ H ₁₃ N ₀		(Quispe, et al., 2011)
Ate-09	C ₁₄ H ₂₄ N ₂ O ₅		(Tay, et al., 2011; Wilde, et al., 2014)
Ate-10	C ₁₄ H ₂₀ N ₂ O ₅		(Tay, et al., 2011; Wilde, et al., 2014)
			
			

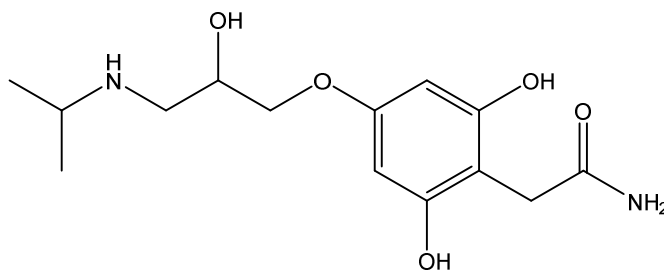
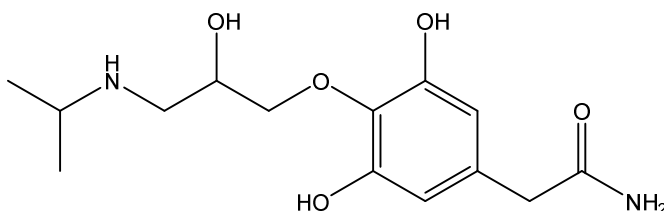
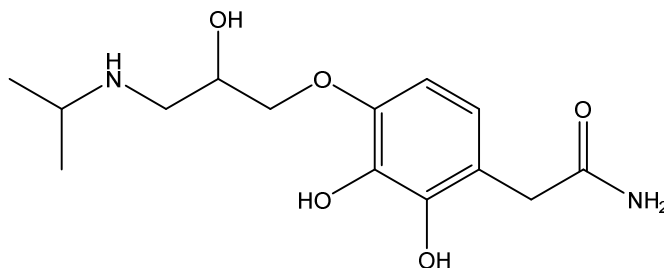
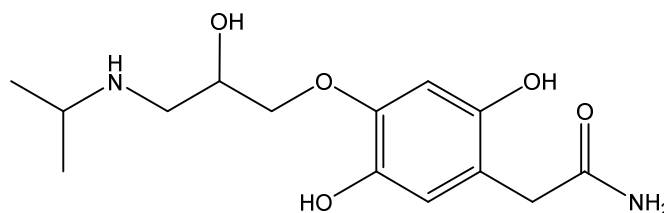
Ate-11	C ₁₃ H ₂₁ N ₀₃		(Wilde, et al., 2014)
Ate-12	C ₈ H ₁₇ N ₀₅		(Wilde, et al., 2014)
Ate-13	C ₁₁ H ₁₅ N ₀₂		(Wilde, et al., 2014)
Ate-14	C ₆ H ₁₁ N ₀		(Wilde, et al., 2014)
Ate-15	C ₁₀ H ₁₉ N ₀₄		(Wilde, et al., 2014)
Ate-16	C ₈ H ₁₇ N ₀₄		(Wilde, et al., 2014)
Ate-17	C ₁₄ H ₁₈ N ₂ O ₄		(Tay, et al., 2011; Wilde, et al., 2014)
Ate-18	C ₈ H ₉ N ₀₂		(Tay, et al., 2011)

Ate-19	C ₁₁ H ₁₆ N ₂ O ₃		(Tay, et al., 2011)
Ate-20	C ₁₃ H ₁₉ N ₂ O ₃		(Tay, et al., 2011)
Ate-21	C ₁₂ H ₂₀ N ₂ O ₅		(Tay, et al., 2011)
Ate-22	C ₁₄ H ₂₂ N ₂ O ₄		(Tay, et al., 2011)

Ate-23

C₁₄H₂₂N₂O₅

(Tay, et al.,
2011)



Ate-24

C₁₄H₂₂N₂O₆

(Tay, et al.,
2011)

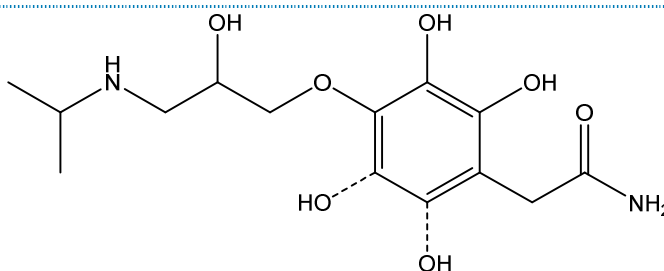
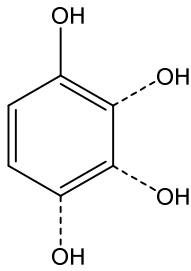
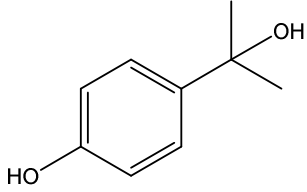
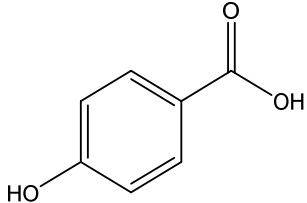
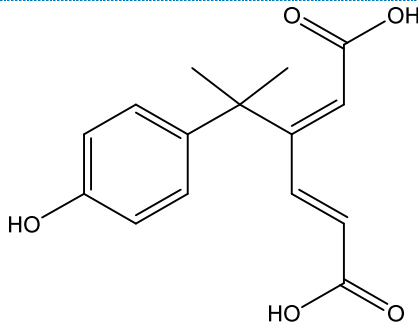
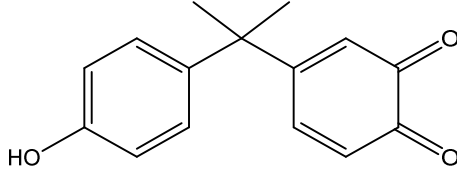
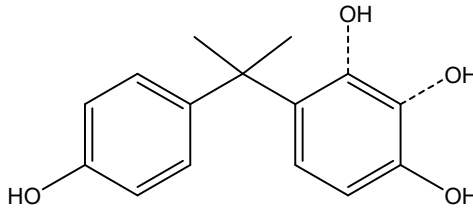
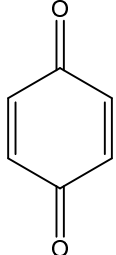
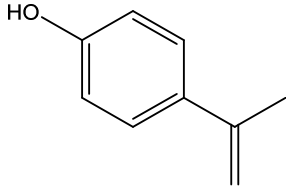
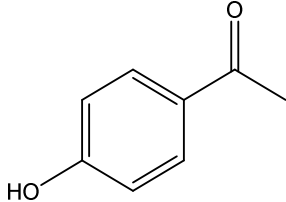
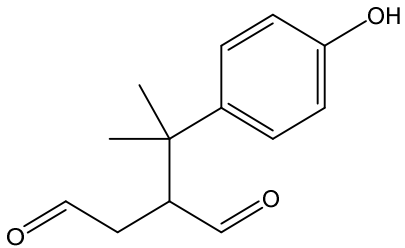
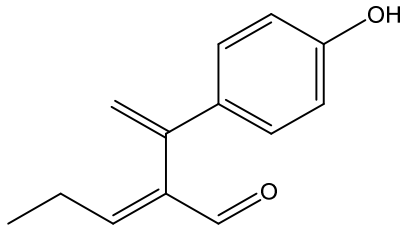
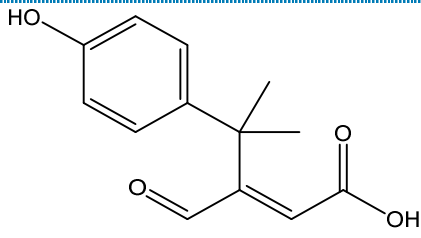


Tabelle 84: Transformationsprodukte von Bisphenol A (Bpa)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Bisphenol A (Bpa)	C ₁₅ H ₁₆ O ₂		

Bpa-01	C ₆ H ₆ O ₂		(Garoma, et al., 2010; Kusvuran, et al., 2013; Tay, et al., 2012),
Bpa-02	C ₉ H ₁₂ O ₂		(Deborde, et al., 2008; Kusvuran, et al., 2013)
Bpa-03	C ₇ H ₆ O ₃		(Kusvuran, et al., 2013)
Bpa-04	C ₁₅ H ₁₆ O ₅		(Deborde, et al., 2008; Kusvuran, et al., 2013)
Bpa-05	C ₁₅ H ₁₄ O ₃		(Deborde, et al., 2008; Kusvuran, et al., 2013)
Bpa-06	C ₁₅ H ₁₆ O ₃		(Deborde, et al., 2008; Tay, et al., 2012)
Bpa-07	C ₆ H ₄ O ₂		(Deborde, et al., 2008)

Bpa-08	C ₉ H ₁₀ O		(Tay, et al., 2012)
Bpa-09	C ₈ H ₈ O ₂		(Tay, et al., 2012)
Bpa-10	C ₁₃ H ₁₆ O ₃		(Tay, et al., 2012)
Bpa-11	C ₁₃ H ₁₄ O ₂		(Tay, et al., 2012)
Bpa-12	C ₁₃ H ₁₄ O ₄		(Tay, et al., 2012)

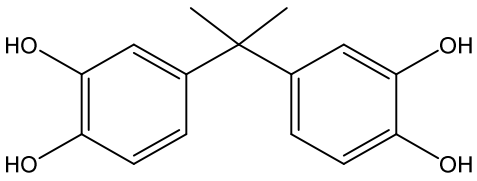
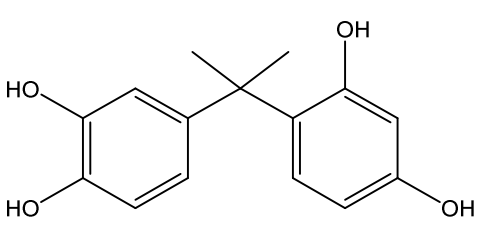
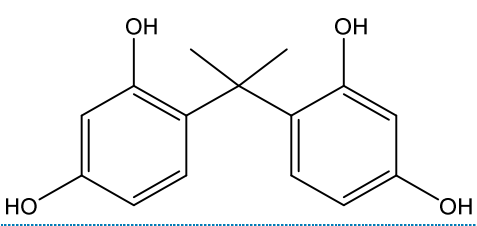
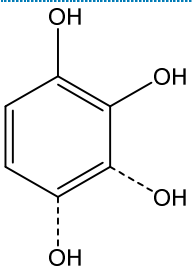
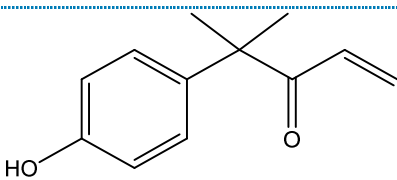
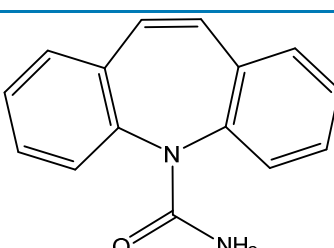
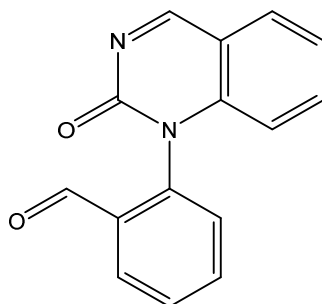
Bpa-13	C ₁₅ H ₁₆ O ₄		(Tay, et al., 2012)
			
			
Bpa-14	C ₆ H ₆ O ₃		(Kusvuran, et al., 2013)
Bpa-15	C ₁₂ H ₁₄ O ₂		(Kusvuran, et al., 2013)

Tabelle 85: Transformationsprodukte von Carbamazepin (Cbz)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Carbamazepin (Cbz)	C ₁₅ H ₁₂ N ₂ O		

Cbz-01

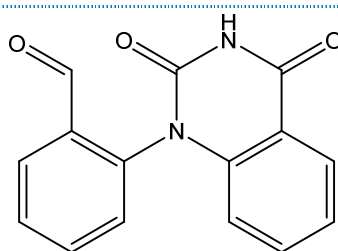
C₁₅H₁₀N₂O₂



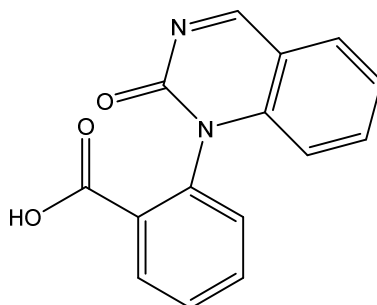
(Hübner, et al., 2014; McDowell, et al., 2005; Tootchi, et al., 2013)

Cbz-02

C₁₅H₁₀N₂O₃

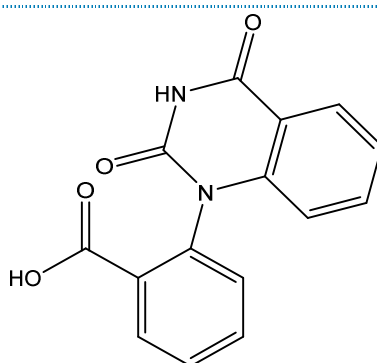


(Hübner, et al., 2014; McDowell, et al., 2005; Tootchi, et al., 2013)



Cbz-03

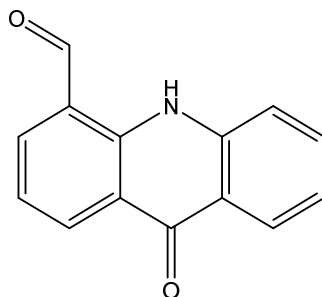
C₁₅H₁₀N₂O₄



(Hübner, et al., 2014; McDowell, et al., 2005)

Cbz-04

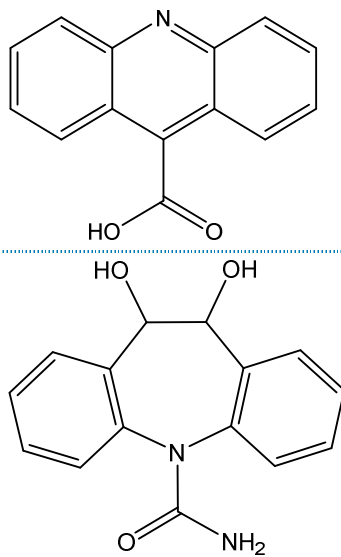
C₁₄H₉N₂O₂



(Hübner,
et al.,
2014)

Cbz-05

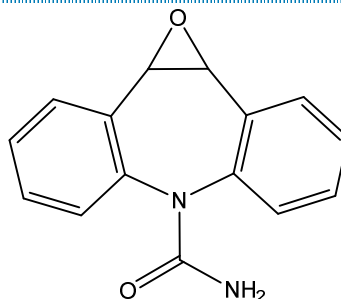
C₁₅H₁₄N₂O₃



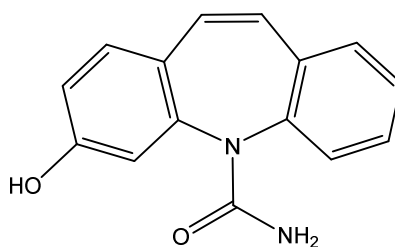
(Hübner,
et al.,
2014)

Cbz-06

C₁₅H₁₂N₂O₂

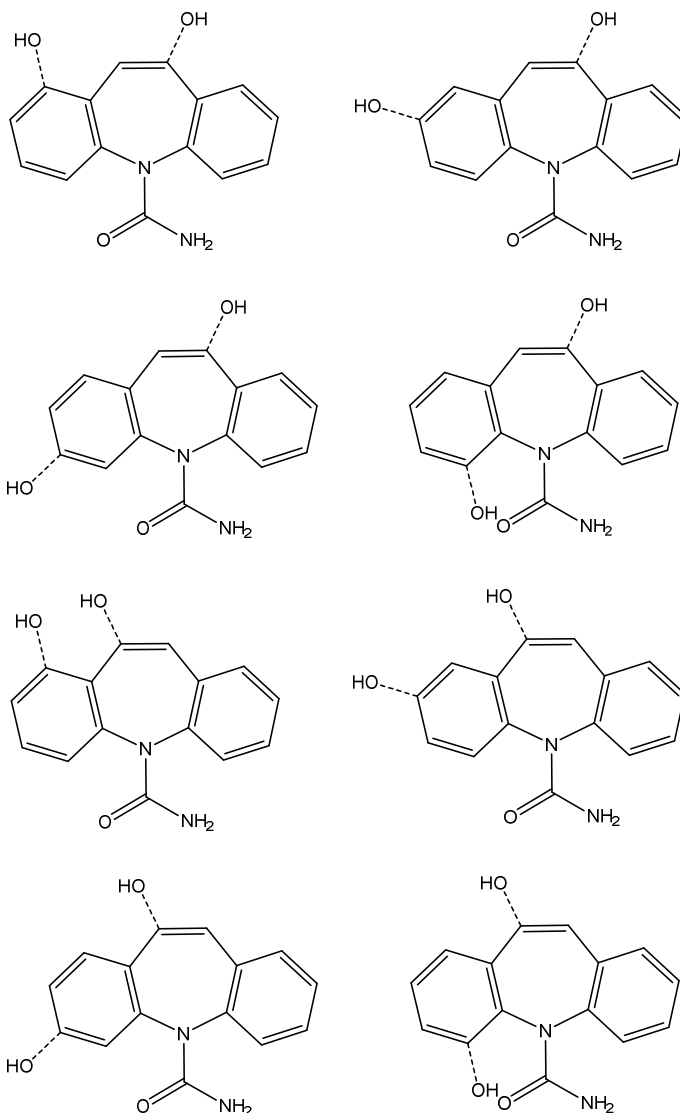


(Hübner,
et al.,
2014)



Cbz-07

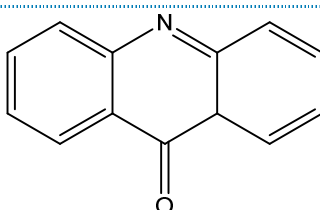
C₁₅H₁₂N₂O₃



(Hübner,
et al.,
2014)

Cbz-08

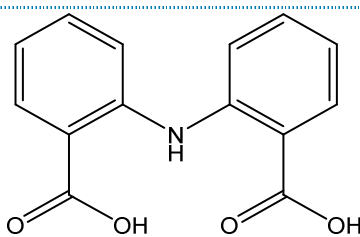
C₁₃H₉NO



(Hübner,
et al.,
2014)

Cbz-09

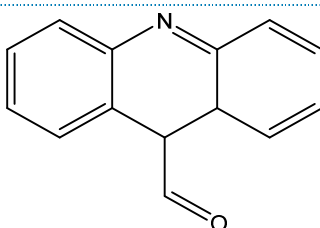
C₁₄H₁₁NO₄



(Hübner,
et al.,
2014)

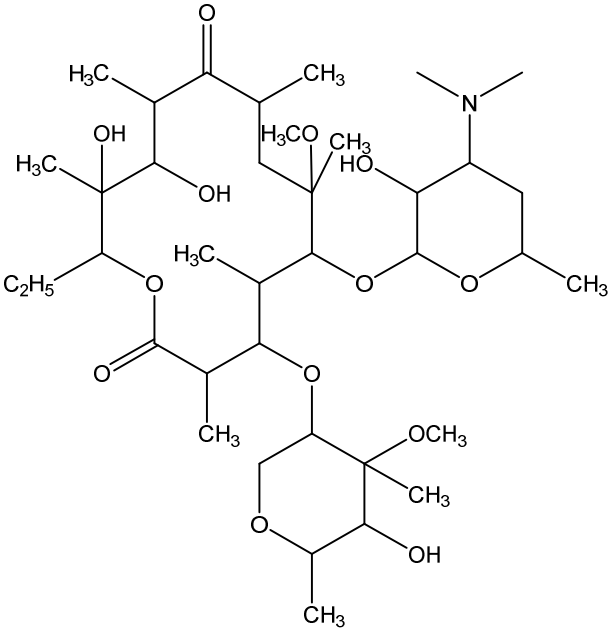
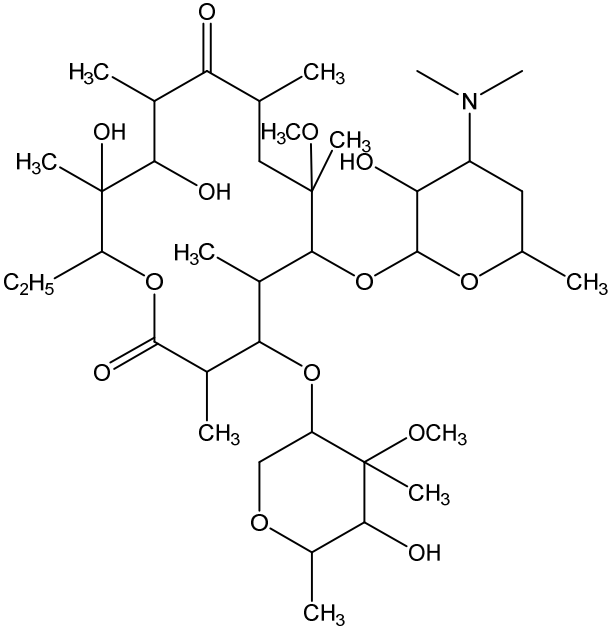
Cbz-10

C₁₄H₁₁NO



(Hübner,
et al.,
2014)

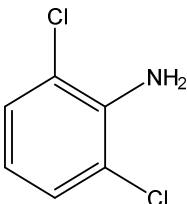
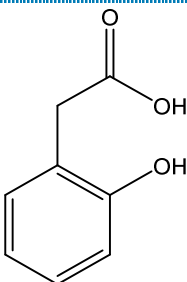
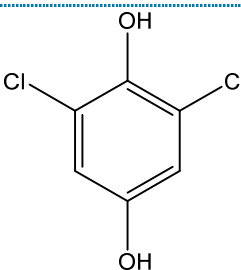
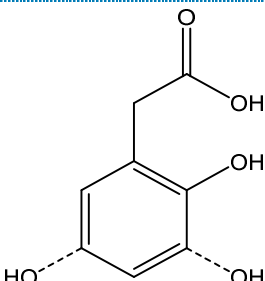
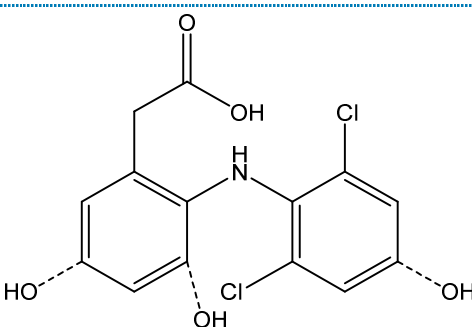
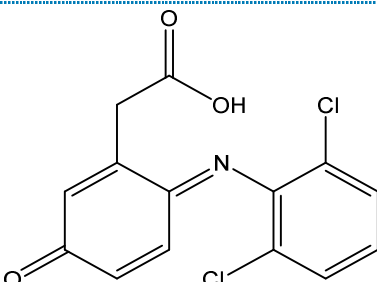
Tabelle 86: Transformationsprodukte von Clarithromycin (Cla)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Clarithromycin (Cla)	C ₃₈ H ₆₉ N ₀ O ₁₃		
Cla-01	C ₃₈ H ₆₉ N ₀ O ₁₄		(Lange, et al., 2006)

Cof-03	C7H10N4O3		(Rosal, et al., 2009)
Cof-04	C5H8N2O3		(Rosal, et al., 2009)
Cof-05	C6H9N3O4		(Rosal, et al., 2009)
Cof-06	C8H10N4O4		(Rosal, et al., 2009)

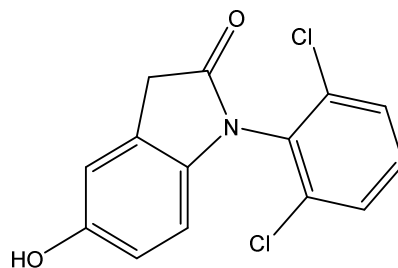
Tabelle 88: Transformationsprodukte von Diclofenac (Dic)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Diclofenac (Dic)	C14H11Cl2NO2		

Dic-01	C ₆ H ₅ Cl ₂ N		(Coelho, et al., 2009; Sein, et al., 2008; Vogna, et al., 2004)
Dic-02	C ₈ H ₈ O ₃		(Vogna, et al., 2004)
Dic-03	C ₆ H ₄ Cl ₂ O ₂		(Vogna, et al., 2004)
Dic-04	C ₈ H ₈ O ₄		(Vogna, et al., 2004)
Dic-05	C ₁₄ H ₁₁ Cl ₂ N ₃		(Sein, et al., 2008; Vogna, et al., 2004)
Dic-06	C ₁₄ H ₉ Cl ₂ N ₃		(Coelho, et al., 2009; Sein, et al., 2008)

Dic-07

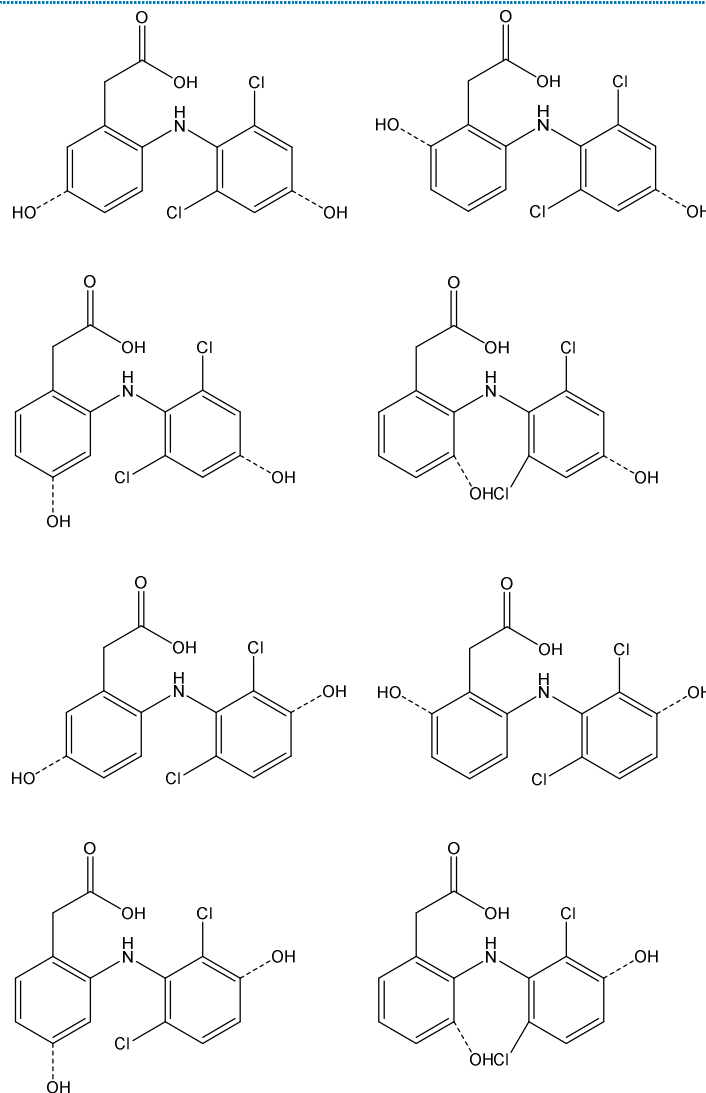
C₁₄H₉Cl₂N₂O₂



(Coelho,
et al.,
2009)

Dic-08

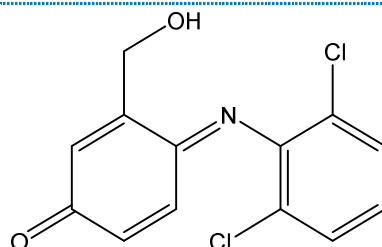
C₁₄H₁₁Cl₂N₂O₄



(Coelho,
et al.,
2009)

Dic-09

C₁₃H₉Cl₂N₂O₂



(Coelho,
et al.,
2009)

Dic-10

C₆H₅Cl₂NO

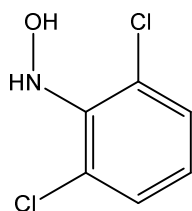
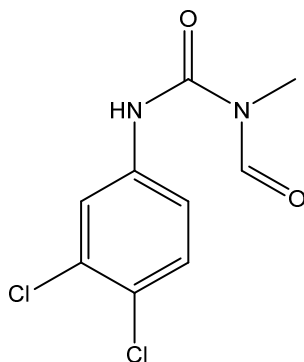


Tabelle 89: Transformationsprodukte von Diuron (Diu)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Diuron (Diu)	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O		
Diu-01	C ₉ H ₁₁ ClN ₂ O ₂		(Feng, et al., 2008)

Diu-02

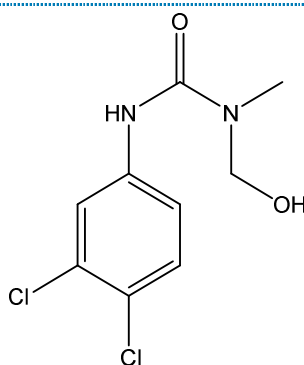
C₉H₈Cl₂N₂O₂



(Feng, et al.,
2008)

Diu-03

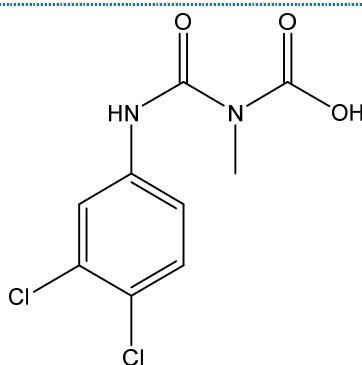
C₉H₁₀Cl₂N₂O₂



(Feng, et al.,
2008)

Diu-04

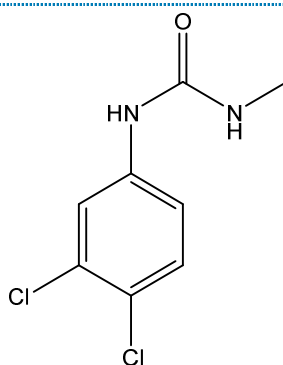
C₉H₈Cl₂N₂O₃



(Feng, et al.,
2008)

Diu-05

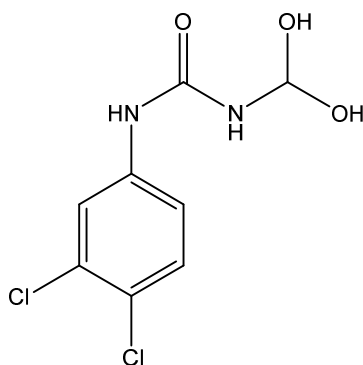
C₈H₈Cl₂N₂O



(Feng, et al.,
2008)

Diu-06

C₈H₈Cl₂N₂O₃



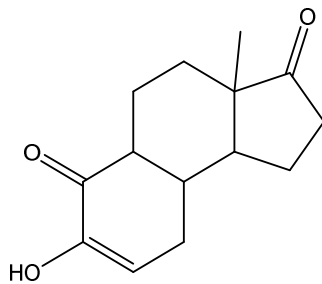
(Feng, et al.,
2008)

Tabelle 90: Transformationsprodukte von Estron (Est)

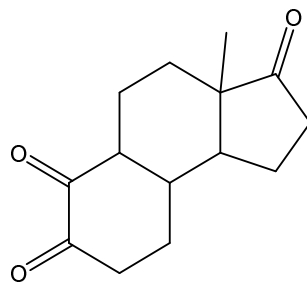
Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Estron (Est)	C ₁₈ H ₂₂ O ₂		
Est-01	C ₁₄ H ₂₀ O ₅		(Huber, et al., 2004)
Est-02	C ₁₄ H ₂₀ O ₄		(Huber, et al., 2004)

Est-03

C14H18O3

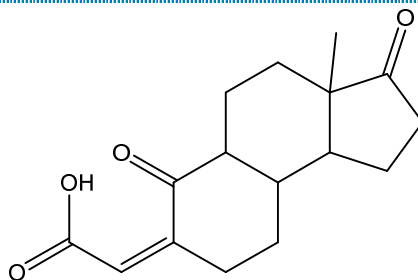


(Huber, et al.,
2004)

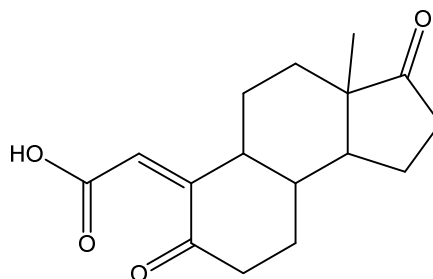


Est-04

C16H20O4

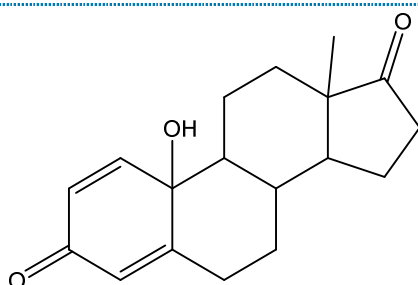


(Pereira, et al.,
2011; Segura,
et al., 2013)



Est-05

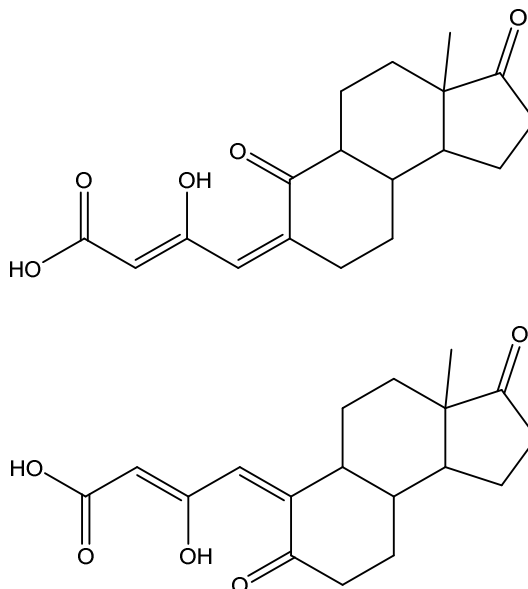
C18H22O3



(Pereira, et al.,
2011)

Est-06a

C₁₈H₂₂O₅



(Segura, et al., 2013)

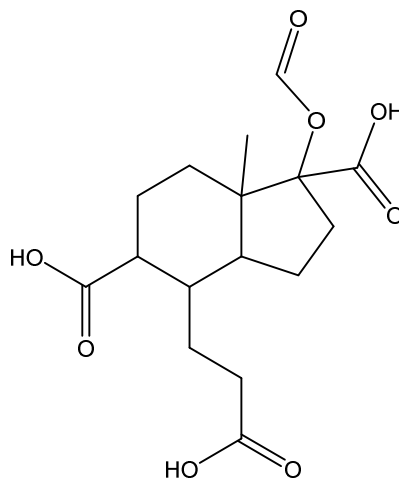
Tabelle 91: Transformationsprodukte von 17 α -Ethinylestradiol (Eth)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
17 α - Ethinylestradiol (Eth)	C ₂₀ H ₂₄ O ₂		
Eth-01	C ₁₄ H ₂₀ O ₅		(Huber, et al., 2004)
Eth-02	C ₁₅ H ₂₂ O ₇		(Huber, et al., 2004)

Eth-03

C₁₆H₂₂O₈

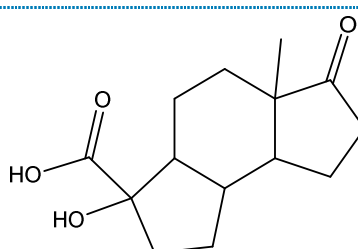
(Huber, et al.,
2004)



Eth-04

C₁₄H₂₀O₄

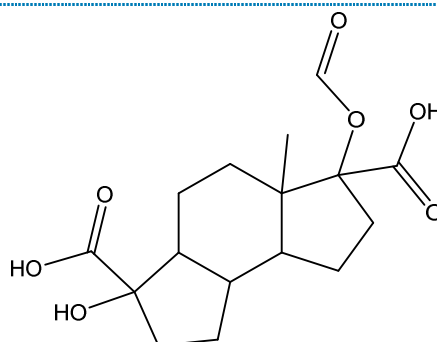
(Huber, et al.,
2004)



Eth-05

C₁₆H₂₂O₇

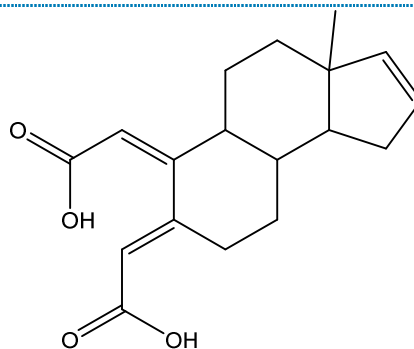
(Huber, et al.,
2004)



Eth-06

C₁₈H₂₂O₄

(Larcher, et al.,
2012; Vieira,
et al., 2010)



Eth-07	C ₂₀ H ₂₄ O ₅		(Larcher, et al., 2012; Vieira, et al., 2010)
Eth-08	C ₂₀ H ₂₄ O ₃		(Vieira, et al., 2010)
Eth-09	C ₂₀ H ₂₄ O ₆		(Vieira, et al., 2010)
Eth-10	C ₂₀ H ₂₂ O ₄		(Vieira, et al., 2010)

Eth-11

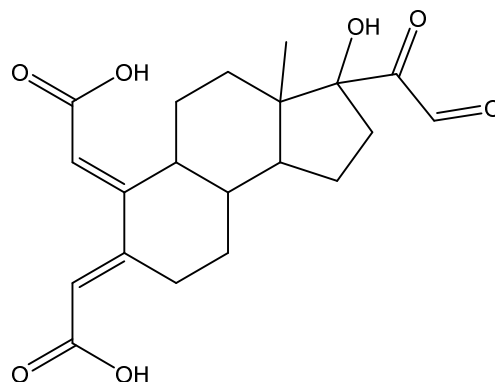
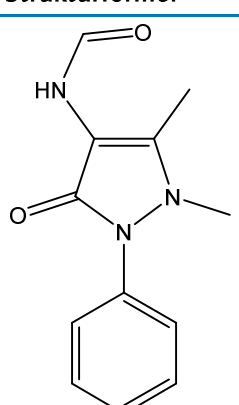
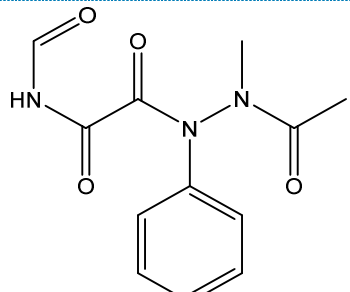
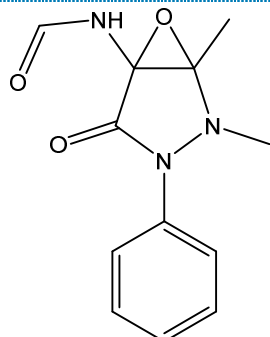
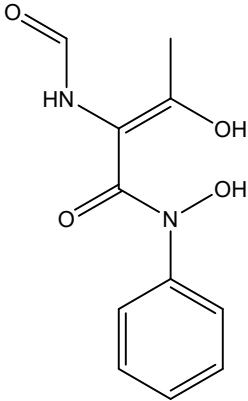
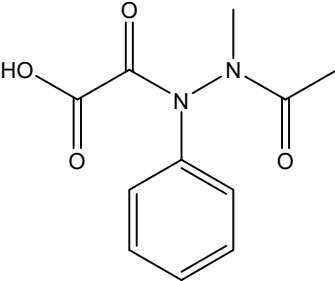
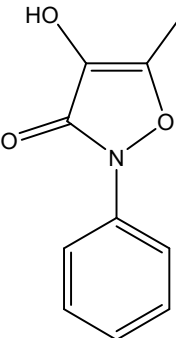
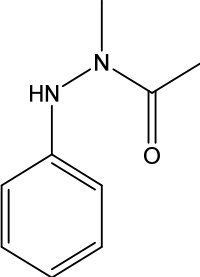
C₂₀H₂₄O₇(Vieira, et al.,
2010)

Tabelle 92: Transformationsprodukte von Formyl-4-aminoantipyrin (Faa)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Formyl-4-aminoantipyrin (Faa)	C ₁₂ H ₁₃ N ₃ O ₂		
Faa-01	C ₁₂ H ₁₃ N ₃ O ₄		(Favier, et al., 2015)
Faa-02	C ₁₂ H ₁₃ N ₃ O ₃		(Favier, et al., 2015)

Faa-03	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₄		(Favier, et al., 2015)
Faa-04	C ₁₁ H ₁₃ N ₃ O ₃		(Favier, et al., 2015)
Faa-05	C ₁₀ H ₉ N ₃ O ₃		(Favier, et al., 2015)
Faa-06	C ₉ H ₁₂ N ₂ O		(Favier, et al., 2015)

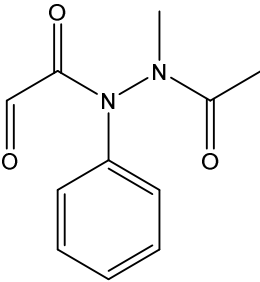
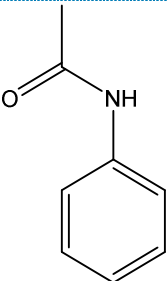
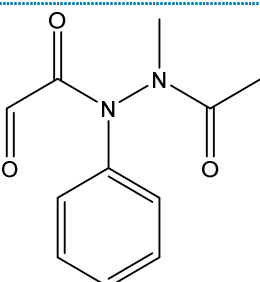
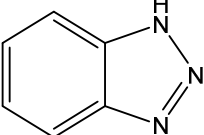
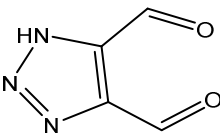
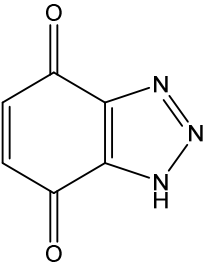
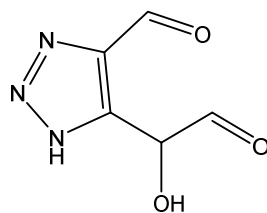
Faa-07	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₃		(Favier, et al., 2015)
Faa-08	C ₈ H ₉ NO		(Favier, et al., 2015)
Faa-09	C ₈ H ₁₀ N ₂ O		(Favier, et al., 2015)

Tabelle 93: Transformationsprodukte von 1H-Benzotriazol (Hbt)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
1H-Benzotriazol (Hbt)	C ₆ H ₅ N ₃		
Hbt-01	C ₄ H ₃ N ₃ O ₂		(Mawhinney, et al., 2012; Müller, et al., 2012)
Hbt-02	C ₆ H ₃ N ₃ O ₂		(Mawhinney, et al., 2012)

Hbt-03

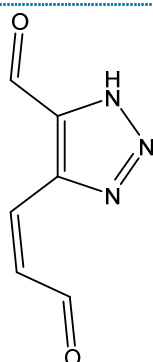
C₅H₅N₃O₃



(Mawhinney,
et al., 2012)

Hbt-04

C₆H₅N₃O₂



(Mawhinney,
et al., 2012)

Tabelle 94: Transformationsprodukte von lomeprol (lom)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
lomeprol (lom)	C ₁₇ H ₂₂ I ₃ N ₃ O ₈		

lom-01

C17H20I3N3O8

(Seitz, et al., 2008)

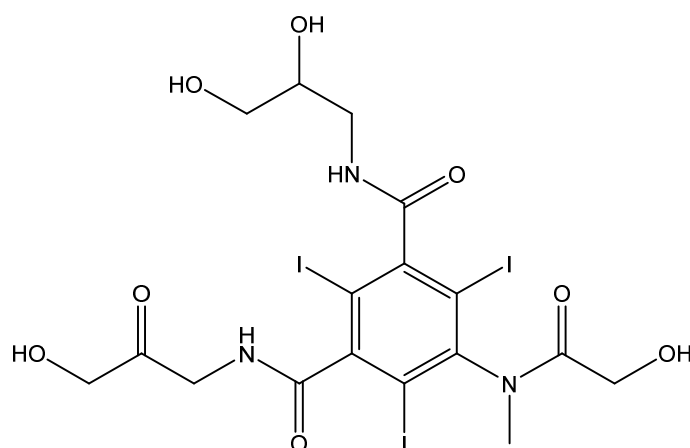
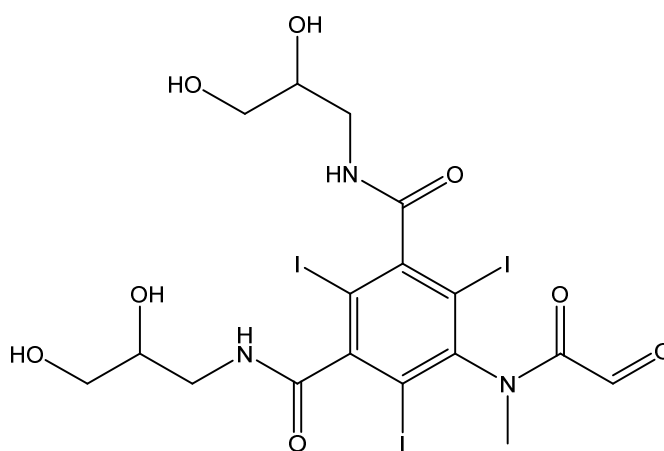
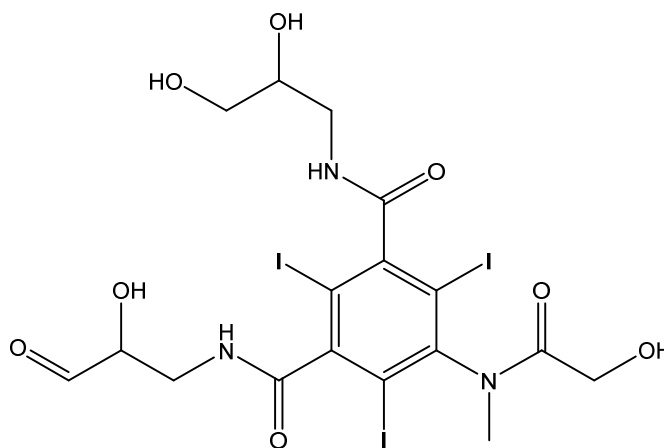
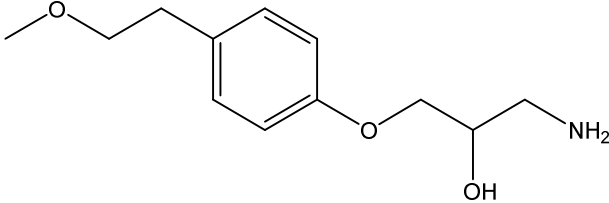
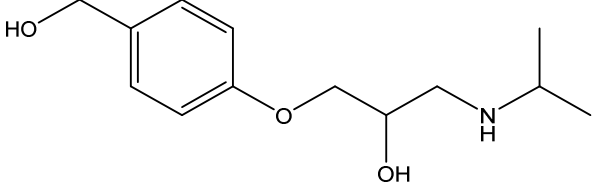
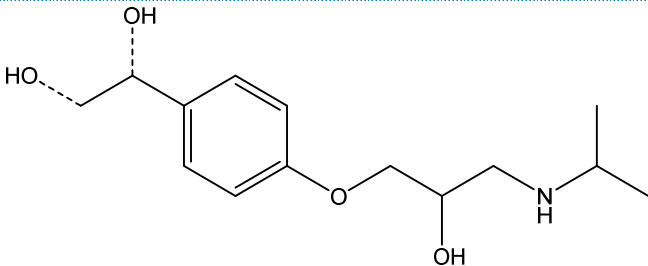
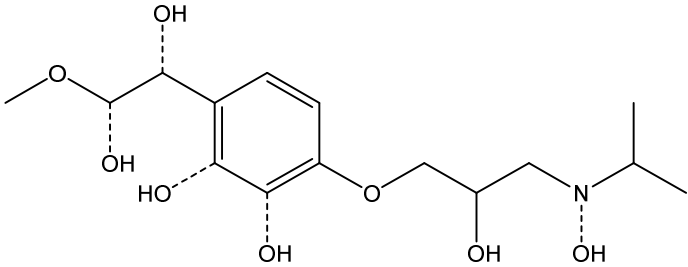
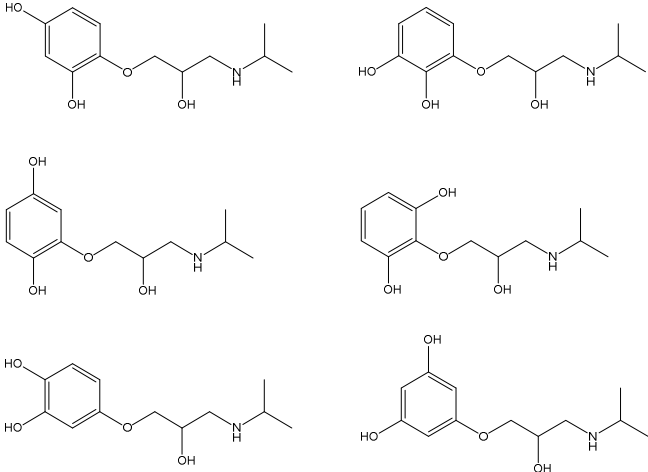
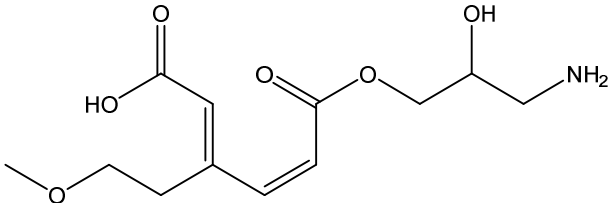
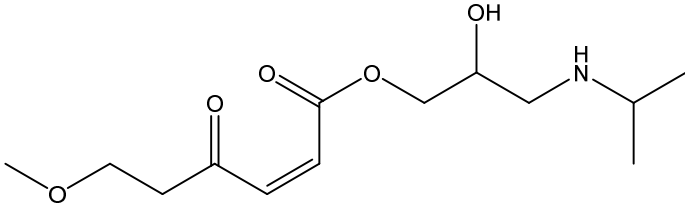
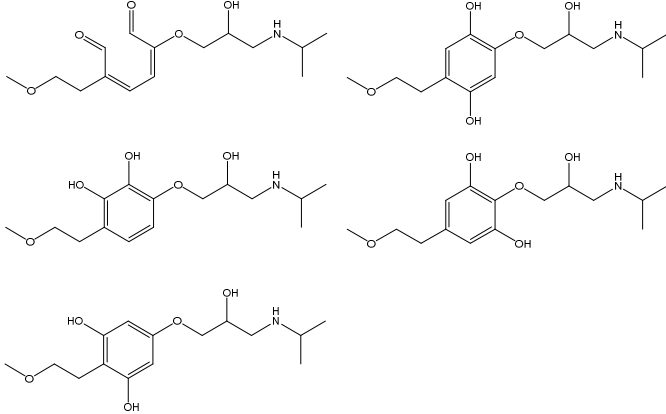
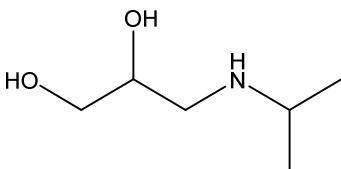
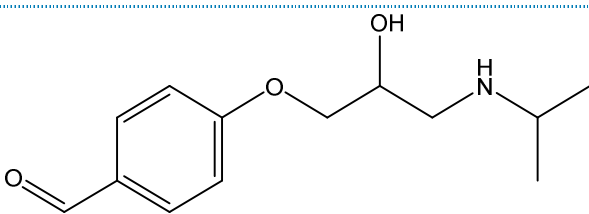
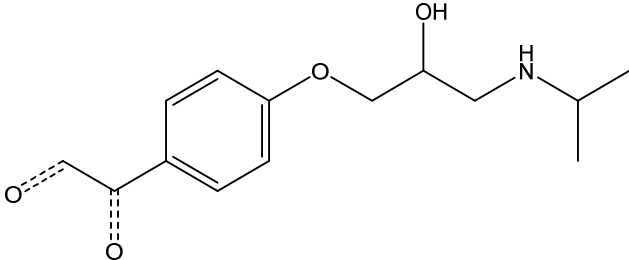
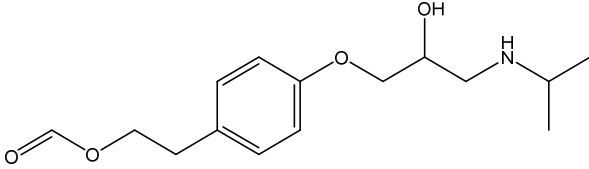
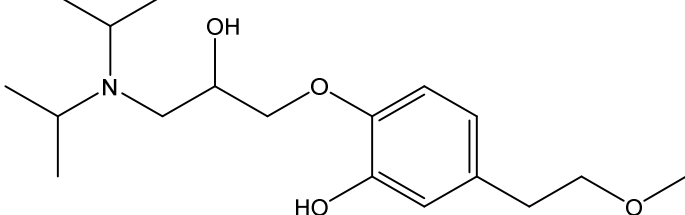


Tabelle 95: Transformationsprodukte von Metoprolol (Met)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Metoprolol (Met)	C15H25NO3		

Met-01	C12H19NO3		(Benner, et al., 2009; Faber, et al., 2014; Tay, et al., 2013; Wilde, et al., 2014)
Met-02	C13H21NO3		(Benner, et al., 2009; Šojić, et al., 2012; Wilde, et al., 2014)
Met-03	C14H23NO3		(Benner, et al., 2009; Šojić, et al., 2012; Wilde, et al., 2014)
Met-04	C15H25NO4		(Benner, et al., 2009; Tay, et al., 2013)
Met-05	C12H19NO4		(Benner, et al., 2009)
Met-06	C12H19NO6		(Benner, et al., 2009)

Met-07	C ₁₃ H ₂₃ N ₀ O ₅		(Benner, et al., 2009; Tay, et al., 2013)
Met-08	C ₁₅ H ₂₅ N ₀ O ₅		(Benner, et al., 2009; Tay, et al., 2013; Wilde, et al., 2014)
Met-09	C ₆ H ₁₅ N ₀ O ₂		(Šojić, et al., 2012; Tay, et al., 2013; Wilde, et al., 2014)
Met-10	C ₁₃ H ₁₉ N ₀ O ₃		(Faber, et al., 2014; Šojić, et al., 2012)
Met-11	C ₁₄ H ₂₁ N ₀ O ₃		(Šojić, et al., 2012)
Met-12	C ₁₅ H ₂₃ N ₀ O ₄		(Faber, et al., 2014; Šojić, et al., 2012)
Met-13	C ₁₈ H ₃₁ N ₀ O ₄		(Šojić, et al., 2012)

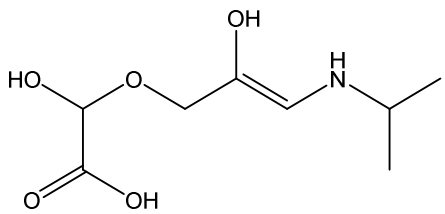
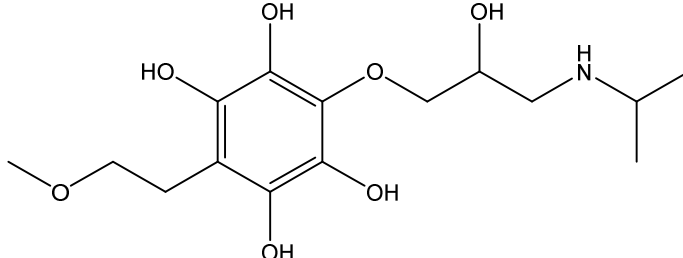
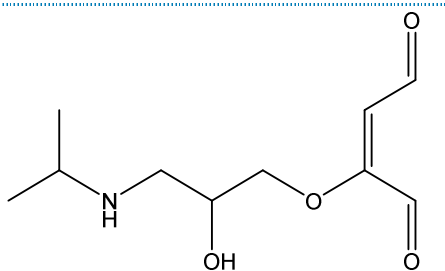
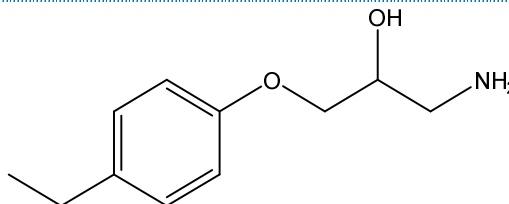
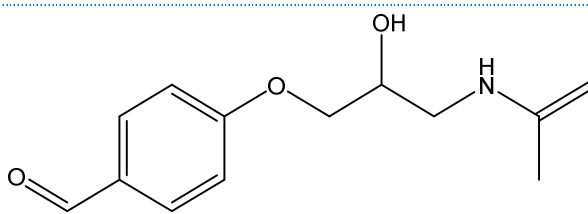
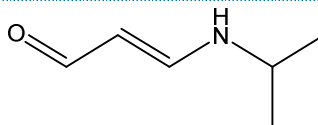
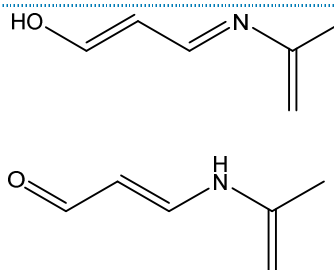
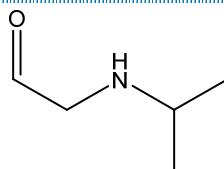
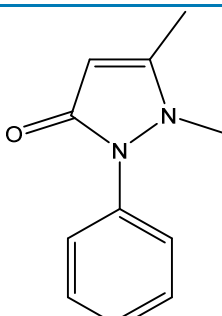
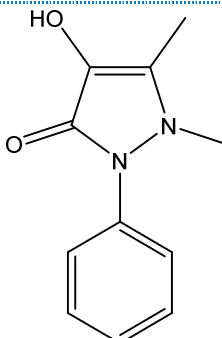
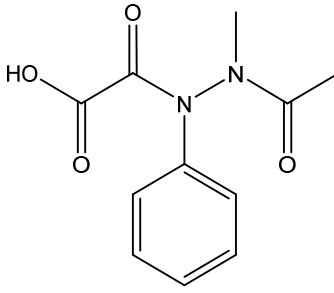
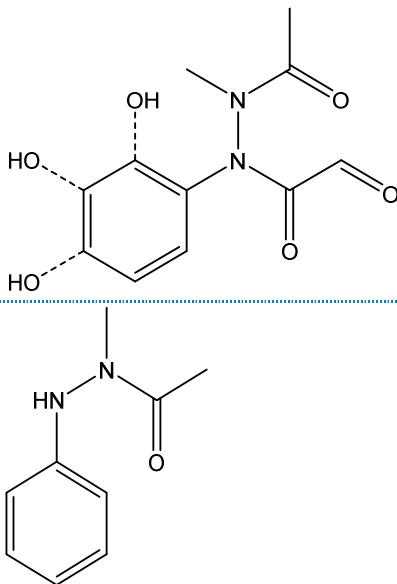
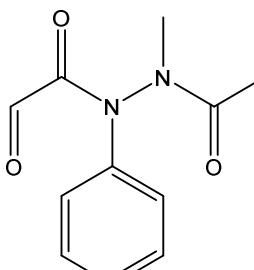
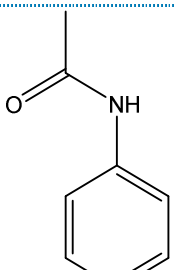
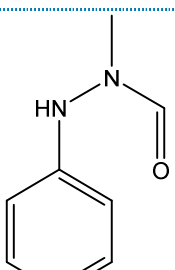
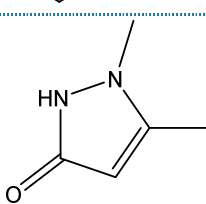
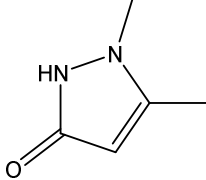
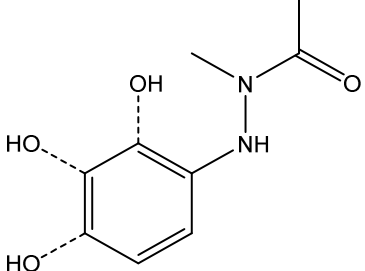
Met-14	C ₈ H ₁₅ N ₀ O ₅		(Tay, et al., 2013)
Met-15	C ₁₅ H ₂₅ N ₀ O ₇		(Tay, et al., 2013)
Met-16	C ₁₀ H ₁₇ N ₀ O ₄		(Wilde, et al., 2014)
Met-17	C ₁₁ H ₁₇ N ₀ O ₂		(Wilde, et al., 2014)
Met-18	C ₁₃ H ₁₇ N ₀ O ₃		(Wilde, et al., 2014)
Met-19	C ₆ H ₁₁ N ₀ O		(Wilde, et al., 2014)
Met-20	C ₆ H ₉ N ₀ O		(Wilde, et al., 2014)
Met-21	C ₅ H ₁₁ N ₀ O		(Wilde, et al., 2014)

Tabelle 96: Transformationsprodukte von Phenazon (Phe)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Phenazon (Phe)	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O		
Phe-01	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₂		(Favier, et al., 2015)
Phe-02	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₄		MIAO ET AL. (2015)
Phe-03	C ₉ H ₁₂ N ₂ O		MIAO ET AL. (2015)

Phe-04	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₃		MIAO ET AL. (2015)
Phe-05	C ₈ H ₉ NO		MIAO ET AL. (2015)
Phe-06	C ₈ H ₁₀ N ₂ O		MIAO ET AL. (2015)
Phe-07	C ₅ H ₈ N ₂ O		MIAO ET AL. (2015)
Phe-08	C ₅ H ₈ N ₂ O ₃		MIAO ET AL. (2015)
Phe-09	C ₉ H ₁₂ N ₂ O ₂		MIAO ET AL. (2015)

Phe-10

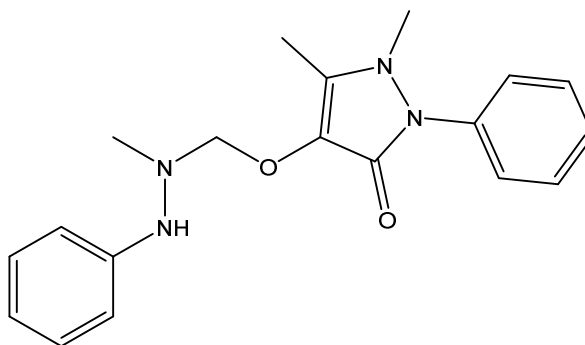
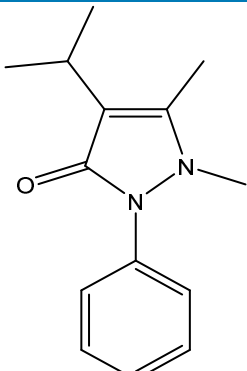
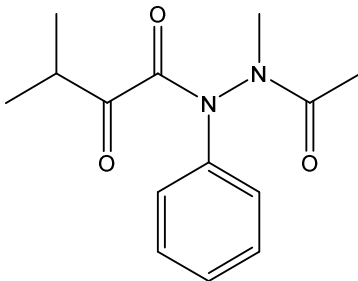
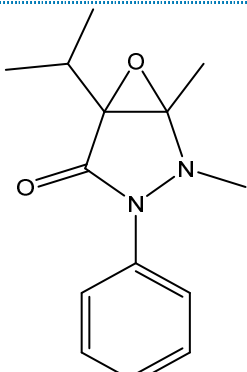
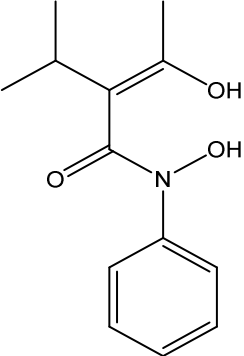
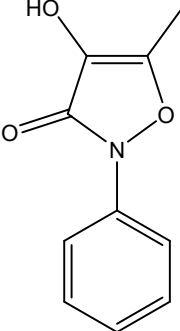
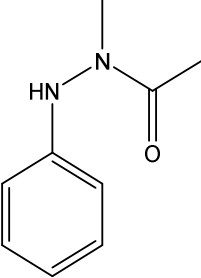
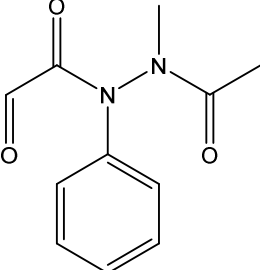
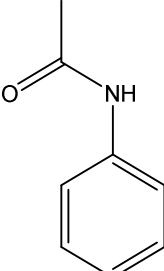
C₁₉H₂₂N₄O₂MIAO ET AL.
(2015)

Tabelle 97: Transformationsprodukte von Propyphenazon (Pph)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Propyphenazon (Pph)	C ₁₄ H ₁₈ N ₂ O		
Pph-01	C ₁₄ H ₁₈ N ₂ O ₃		(Favier, et al., 2015)
Pph-02	C ₁₄ H ₁₈ N ₂ O ₂		(Favier, et al., 2015)

Pph-03	C ₁₃ H ₁₇ N ₃ O ₃		(Favier, et al., 2015)
Pph-04	C ₁₀ H ₉ N ₃ O ₃		(Favier, et al., 2015)
Pph-05	C ₉ H ₁₂ N ₂ O		(Favier, et al., 2015)
Pph-06	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₃		(Favier, et al., 2015)
Pph-07	C ₈ H ₉ N ₃ O		(Favier, et al., 2015)

Pph-08

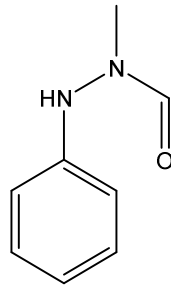
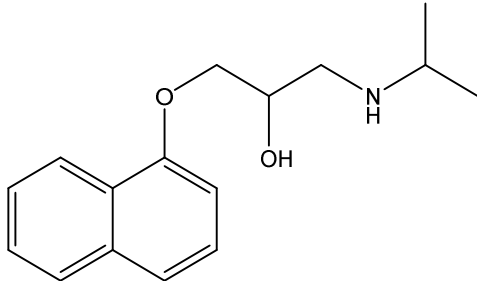
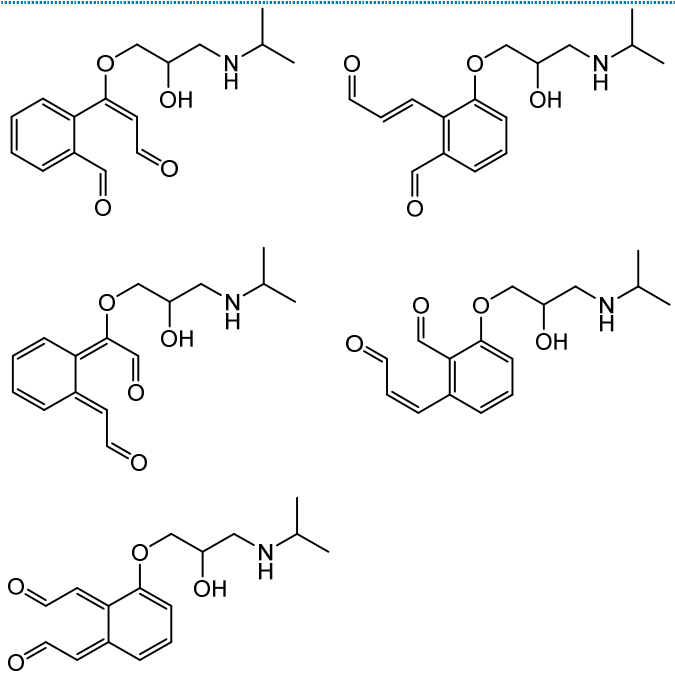
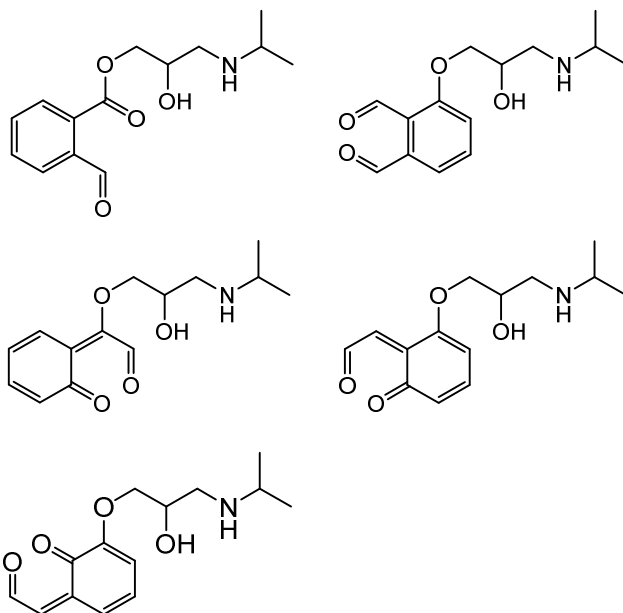
C₈H₁₀N₂O(Favier, et al.,
2015)

Tabelle 98: Transformationsprodukte von Propranolol (Pro)

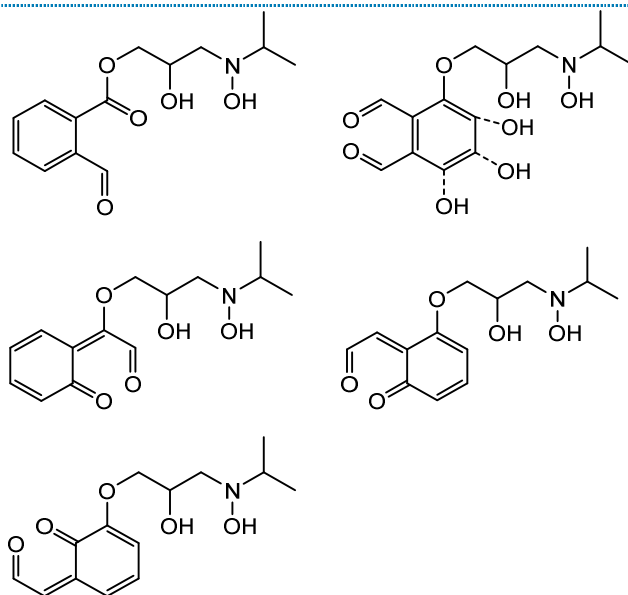
Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Propranolol (Pro)	C ₁₆ H ₂₁ NO ₂		
Pro-01	C ₁₆ H ₂₁ NO ₄		(Benner, et al., 2009; Dantas, et al., 2011)

Pro-02 C14H19NO4



(Benner, et al., 2009; Dantas, et al., 2011)

Pro-03 C14H19NO5



(Benner, et al., 2009; Dantas, et al., 2011)

Tabelle 99: Transformationsprodukte von Sulfamethoxazol (Smx)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Sulfamethoxazol (Smx)	C10H11N3O3S		
Smx-01	C10H13N3O5S		(Gao, et al., 2014; Gómez-Ramos, et al., 2011)

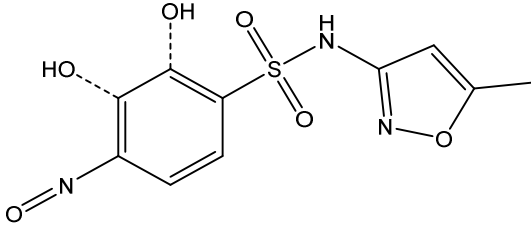
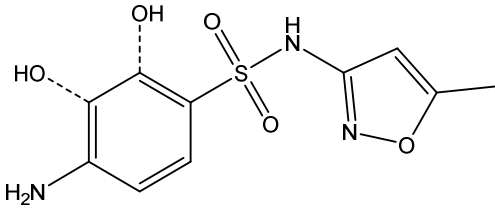
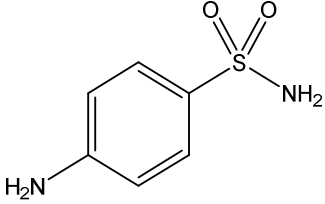
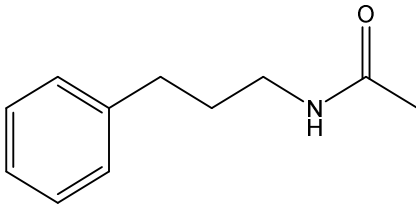
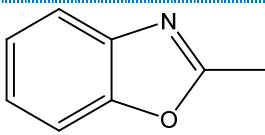
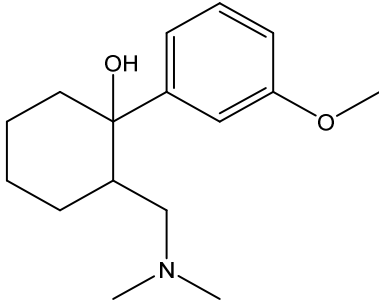
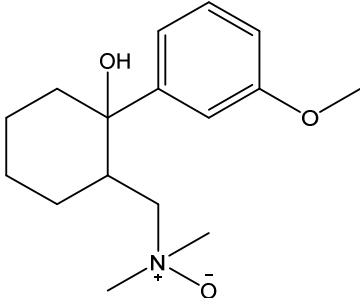
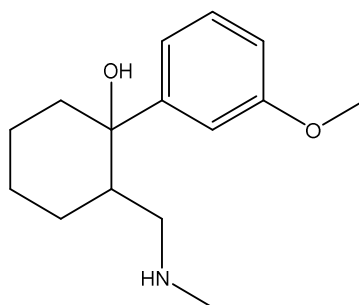
Smx-02	C10H9N3O5S		(Abellán, et al., 2008; Gao, et al., 2014; Gómez-Ramos, et al., 2011)
Smx-03	C10H11N3O4S		(Gao, et al., 2014; Gómez-Ramos, et al., 2011)
Smx-04	C6H8N2O2S		(Rodayan, et al., 2010)
Smx-05	C11H15NO		(Abellán, et al., 2008)
Smx-06	C8H7NO		(Rodayan, et al., 2010)

Tabelle 100: Transformationsprodukte von Tramadol (Tra)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Tramadol (Tra)	C16H25NO2		
Tra-01	C16H25NO3		(Zimmermann, et al., 2012)

Tra-02

C₁₅H₂₃N₀₂

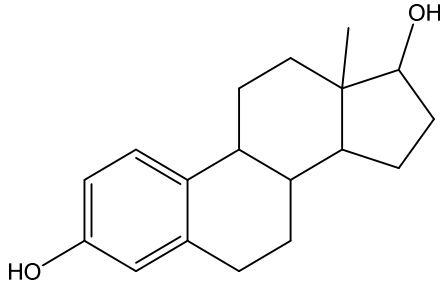
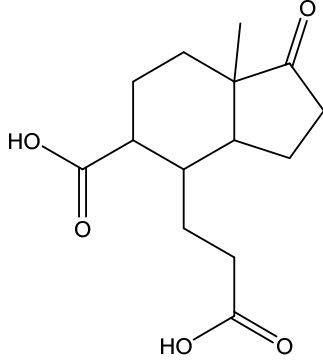
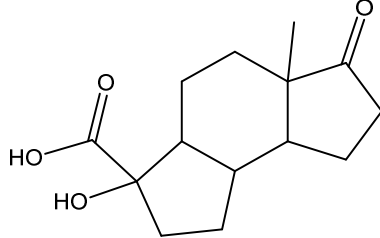
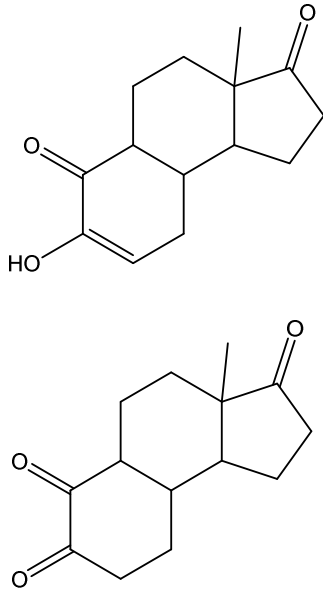


(Zimmermann, et al., 2012)

Tabelle 101: Transformationsprodukte von Triclosan (Tri)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
Triclosan (Tri)	C ₁₃ H ₉ Cl ₃ O		
Tri-01	C ₆ H ₄ Cl ₂ O		(Chen, et al., 2012)
Tri-02	C ₆ H ₅ Cl ₂ O ₂		(Chen, et al., 2012)
Tri-03	C ₁₃ H ₉ Cl ₃ O ₂		(Chen, et al., 2012)
Tri-04	C ₁₃ H ₉ Cl ₃ O ₃		(Chen, et al., 2012)

Tabelle 102: Transformationsprodukte von 17β-Estradiol (βEs)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
17β-Estradiol (βEs)	C ₁₈ H ₂₄ O ₂		
βEs-01	C ₁₄ H ₂₀ O ₅		(Huber, et al., 2004)
βEs-02	C ₁₄ H ₂₀ O ₄		(Huber, et al., 2004)
βEs-03	C ₁₄ H ₁₈ O ₃		(Huber, et al., 2004)

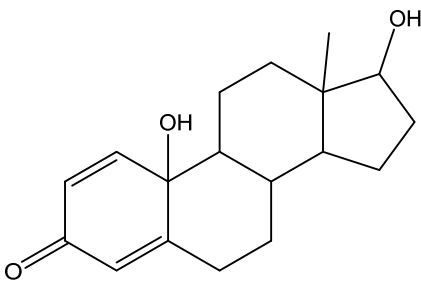
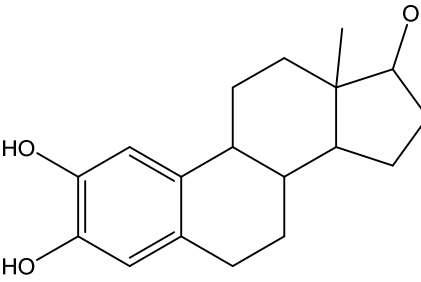
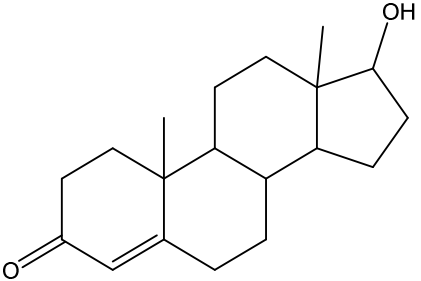
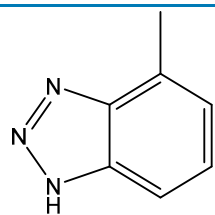
βEs-04	C18H24O3		(Bila, et al., 2007; Pereira, et al., 2011)
βEs-05	C19H28O2		(Bila, et al., 2007)
βEs-06	C16H22O4		(Pereira, et al., 2011)

Tabelle 103: Transformationsprodukte von 4-Methylbenzotriazol (4Mb)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
4-Methylbenzotriazol (4Mb)	C7H7N3		

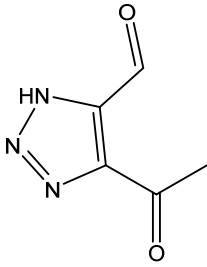
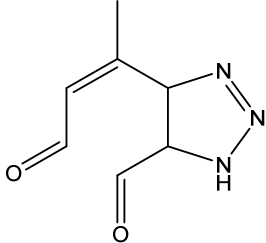
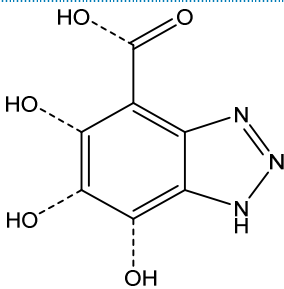
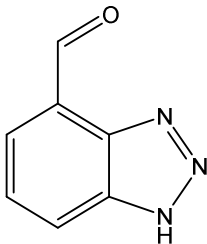
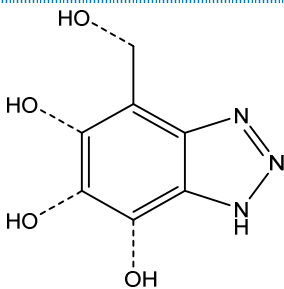
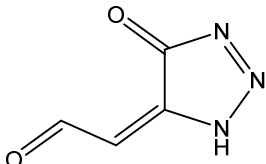
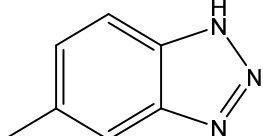
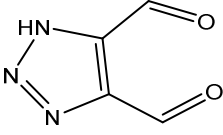
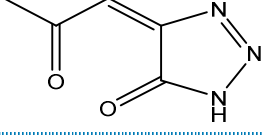
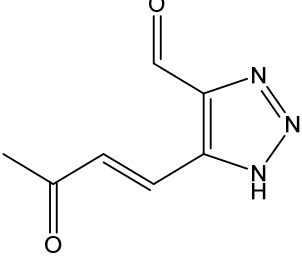
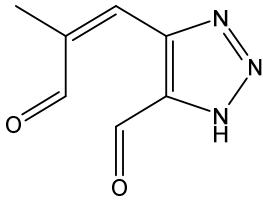
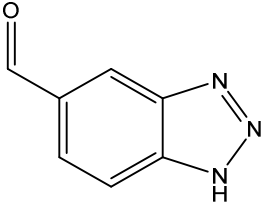
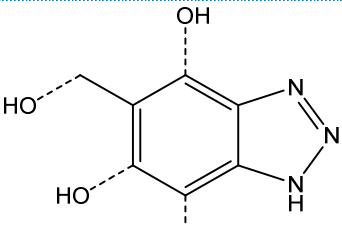
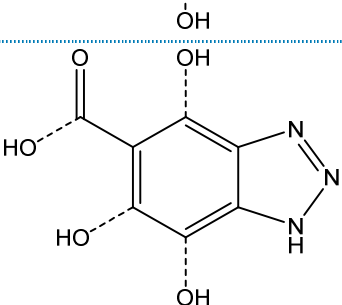
4Mb-01	C ₅ H ₅ N ₃ O ₂		(Müller, et al., 2012)
4Mb-02	C ₇ H ₇ N ₃ O ₂		(Müller, et al., 2012)
4Mb-03	C ₇ H ₅ N ₃ O ₂		(Müller, et al., 2012)
4Mb-04	C ₇ H ₅ N ₃ O		(Müller, et al., 2012)
4Mb-05	C ₇ H ₇ N ₃ O		(Müller, et al., 2012)
4Mb-06	C ₄ H ₃ N ₃ O ₂		(Müller, et al., 2012)

Tabelle 104: Transformationsprodukte von 5-Methylbenzotriazol (5Mb)

Bezeichnung	Summenformel	Strukturformel	Quelle
-------------	--------------	----------------	--------

5-Methylbenzotriazol (5Mb)	C7H7N3		
4Mb-01	C4H3N3O2		(Müller, et al., 2012)
5Mb-02	C5H5N3O2		(Müller, et al., 2012)
5Mb-03	C7H7N3O2		(Müller, et al., 2012)
			
5Mb-04	C7H5N3O		(Müller, et al., 2012)
5Mb-05	C7H7N3O		(Müller, et al., 2012)
5Mb-06	C7H5N3O2		(Müller, et al., 2012)

11 LITERATURVERZEICHNIS

- Abegglen C. [et al.]** Erfahrungen mit UV/VIS-Sonden zur Überwachung der Spurenstoffelimination auf Kläranlagen [Journal]. - 2018.
- Abegglen C. [et al.]** Ozonung von gereinigtem Abwasser: Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf - Studie der Eawag im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU und des AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, in enger Zusammenarbeit mit BMG Engineering AG [Journal]. - 2009.
- Abegglen C. und Siegrist H.** Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214: 210 S. [Journal]. - 2012.
- Abellán M. N., Gebhardt W. und Schröder H. Fr.** Detection and identification of degradation products of sulfamethoxazole by means of LC/MS and -MSn after ozone treatment [Artikel] // Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research. - 2008. - 9 : Bd. 58. - S. 1803-1812.
- Altmann J. [et al.]** Direct comparison of ozonation and adsorption onto powdered activated carbon for micropollutant removal in advanced wastewater treatment. In: Water research 55, S. 185–193. DOI: 10.1016/j.watres.2014.02.025. [Journal]. - 2014.
- ARGE** Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben "Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht zur Phase 2 der "Arbeitsgemeinschaft Spurenstoffe NRW, Teilprojekt 6" (ARGE)" (gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwel [Journal]. - 2014.
- Austermann-Haun U. [et al.]** Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Detmold mittels der Kombination von Ozon mit nachgeschalteter Aktivkohlefiltration. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes N [Journal]. - 2017.
- Bade R. [et al.]** Critical evaluation of a simple retention time predictor based on LogKow as a complementary tool in the identification of emerging contaminants in water [Artikel] // Talanta. - 2015. - Bd. 139. - S. 143–149.
- Bayer P. und Heuer E. Karl, U. Finkel, M.** Economical and ecological comparison of granular activated carbon (GAC) adsorber refill strategies [Artikel] // Water research. - 2005. - 9 : Bd. 39. - S. 1719-1728.
- Beier S.** Elimination von Arzneimitteln aus Krankenhausabwasser - Dissertation (RWTH Aachen). - 2010.
- Benner J. und Ternes T. A.** Ozonation of Metoprolol - Elucidation of oxidation pathways and major oxidation products [Artikel] // Environmental Science & Technology. - 2009. - 43 : Bd. 14. - S. 5472–5480.
- Benstöm F. [et al.]** Umrüstung der Kölner BIOFOR-Flockungsfilter auf Spurenstoffelimination (AdOx Köln). Abschlussbericht Phase 1, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). [Journal]. - 2013.
- Benstöm F. [et al.]** Untersuchung einer bestehenden Filterstufe mit dem Einsatz von Aktivkohle zur Entfernung organischer Restverschmutzung auf der Kläranlage Düren-Merken - Abschlussbericht [Journal]. - 2014.
- Benstöm F.** Granulierte Aktivkohle zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser - Dissertation (RWTH Aachen). - 2017.
- Bila D. [et al.]** Estrogenic activity removal of 17beta-estradiol by ozonation and identification of by-products [Journal] // Chemosphere. - 2007. - 5 : Bd. 69. - S. 736-746.
- BLAK** Einheitliche Berechnungsmethode zur Frachtermittlung im Abwasser im Rahmen internationaler Berichtspflichten. - 2008.
- Böckmann D.** Darstellung der Aufenthaltszeiverteilung von Mikroverunreinigungen am Beispiel der Kläranlage Schwerte und der Versuchskläranlage Düsseldorf, Masterarbeit Ruhr-Universität Bochum [Buch]. - Bochum : [s.n.], 2013.

- Böhler M. [et al.]** Biologische Nachbehandlung von kommunalem Abwasser nach Ozonung - ReTREAT Abschlussbericht für das Bundesamt für Umwelt (Bafu) im Rahmen eines Projektes der Technologieförderung. Eawag, Dübendorf. [Journal]. - 2017.
- Böhler M. [et al.]** Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der Ara Neugut. Bafu, Bern [Journal]. - 2013.
- Bolle F.-W. [et al.]** Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen - Phase I [Journal]. - 2011.
- Bornemann C. [et al.]** Abschlussbericht zum Projekt Nr. 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle (MIKROflock) [Journal]. - 2012.
- Bornemann C. [et al.]** FilterAK+ - Technische Erprobung des Aktivkohleeinsatzes zur Elimination von Spurenstoffen in Verbindung mit vorhandenen Filteranlagen. Wuppertal [Journal]. - 2015.
- Bourgin M. [et al.]** Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant upgraded with ozonation and biological post-treatments: Abatement of micropollutants, formation of transformation products and oxidation by-products. In: Water research 129, S. 486–498. DOI: 10.1016/j. [Journal]. - 2018.
- Bu Q. [et al.]** Pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment in China: A Review [Artikel] // Journal of hazardous materials. - 2013. - Bd. 262. - S. 189-211.
- Buffle M. O. [et al.]** Ozonation and Advanced Oxidation of Wastewater: Effect of O₃ Dose, pH, DOM and HO•-Scavengers on Ozone Decomposition and HO• Generation, Ozone: Science & Engineering, 28:4, 247-259, DOI: 10.1080/01919510600718825 [Journal]. - 2006.
- Chen X. [et al.]** Ozonation products of triclosan in advanced wastewater treatment [Journal] // Water research. - 2012. - 7 : Bd. 46. - S. 2247-2256.
- Coelho A. D. [et al.]** Effects of ozone pre-treatment on diclofenac: intermediates, biodegradability and toxicity assessment [Journal] // Science of the Total Environment. - 2009. - 11 : Bd. 407. - S. 3572-3578.
- Croley T. R. [et al.]** The chromatographic role in high resolution mass spectrometry for non-targeted analysis [Journal] // Journal of the American Society for Mass Spectrometry. - 2012. - 9 : Bd. 23. - S. 1569-1578.
- Dantas R. F., Sans C. und Esplugas S.** Ozonation of Propranolol - Transformation, Biodegradability, and Toxicity Assessment [Artikel] // Journal of Environmental Engineering. - 2011. - 8 : Bd. 137. - S. 754–759.
- Deborde M. [et al.]** Oxidation of bisphenol A by ozone in aqueous solution [Journal] // Water research. - 2008. - 16 : Bd. 42.
- DEV H 12** - Berechnung des Gesamtstickstoffs [Artikel]. - ???.
- Díaz R. [et al.]** Target and non-target screening strategies for organic contaminants, residues and illicit substances in food, environmental and human biological samples by UHPLC-QTOF-MS [Artikel] // Analytical Methods. - 2012. - 1 : Bd. 4. - S. 196-209.
- DIN 38406-5:1983-10** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Kationen (Gruppe E); Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs (E 5) [Artikel]. - 1983.
- DIN 38409-2:1987-03** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes (H 2) [Artikel]. - 1987.
- DIN 38409-41:1980-12** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) im Bereich über 15 mg/l (H 41) [Artikel]. - 1980.
- DIN 38409-9:1980-07** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Bestimmung des Volumenanteils der absetzbaren Stoffe in Wasser und Abwasser (H 9) [Artikel]. - 1980.

- DIN 38412-33:1991-03** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L); Bestimmung der nicht giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Grünalgen (Scenedesmus-Chlorophyll-Fluoreszenztest) über Verdünnungsstuf [Artikel]. - 1991.
- DIN 38415-3:1996-12** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Suborganismische Testverfahren (Gruppe T) - Teil 3: Bestimmung des erbgutverändernden Potentials von Wasser mit dem umu-Test (T 3) [Artikel]. - 1996.
- DIN EN 12260:2003-12** Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Stickstoff - Bestimmung von gebundenem Stickstoff (TNb) nach Oxidation zu Stickstoffoxiden [Artikel]. - 2003.
- DIN EN 1484:2019-04** Wasseranalytik - Anleitungen zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) [Artikel]. - 2019.
- DIN EN 27888:1993-11** Wasserbeschaffenheit; Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit (ISO 7888:1985) [Artikel]. - 1993.
- DIN EN ISO 10523:2012-04** Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des pH-Werts [Artikel]. - 2012.
- DIN EN ISO 11348-1:2009** Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Hemmwirkung von Wasserproben auf die Lichtemission von *Vibrio fischeri* (Leuchtbakterientest) - Teil 1: Verfahren mit frisch gezüchteten Bakterien [Artikel]. - 2009.
- DIN EN ISO 6341:2013-01** Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Hemmung der Beweglichkeit von *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) - Akuter Toxizitäts-Test [Artikel]. - 2013.
- DIN EN ISO 7027** Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Trübung [Artikel]. - 2000.
- DIN EN ISO 8692:2012-06** Wasserbeschaffenheit - Süßwasseralgen-Wachstumshemmtest mit einzelligen Grünalgen [Artikel]. - 2012.
- DIN EN ISO 15088:2009-06** Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der akuten Toxizität von Abwasser auf Zebrafisch-Eier (*Danio rerio*) [Artikel]. - 2009.
- Drewes J. E. und Letzel T.** Assessing Transformation Products of Chemicals by Non-Target and Suspect Screening – Strategies and Workflows Volume 2 [Buch]. - Washington DC: American Chemical Society, 2016. - 0-8412-3195-8.
- DWA A 203** - Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung [Journal]. - 2019.
- Envilab** Mikroschadstoffe aus kommunalen Abwasser, Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nordrhein-Westfalen, Envilab AG, 08. Oktober 2012 [Journal]. - 2012.
- EU-Richtlinie** Richtlinie (EU) 2015/1787 der Kommission vom 6. Oktober 2015 zur Änderung der Anhänge II und III der Richtlinie 98/83/EG des Rates über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. im Amtsblatt der Europäischen Union 260/6 [Journal]. - 2015.
- Faber H. [et al.]** Liquid chromatography/mass spectrometry to study oxidative degradation of environmentally relevant pharmaceuticals by electrochemistry and ozonation [Journal] // Journal of chromatography A.. - 2014. - Bd. 1343. - S. 152-159.
- Fahlenkamp H. [et al.]** Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen - Abschlussbericht Phase 3 gefördert vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen [Journal]. - 2008.
- Favier M. [et al.]** High-resolution MS and MS(n) investigation of ozone oxidation products from phenazone-type pharmaceuticals and metabolites [Journal] // Chemosphere. - 2015. - Bd. 136. - S. 32-41.
- Feng J. [et al.]** Degradation of diuron in aqueous solution by ozonation [Journal] // Journal of Environmental Science and Health, Part B. - 2008. - 7 : Bd. 43. - S. 576-587.
- Fleiner J. [et al.]** Ozonung ARA Neugut, Dübendorf - Großtechnische Optimierung der Ozondosierung - Schlussbericht BAFU [Journal]. - 2015.
- Freundlich H.** Über die Adsorption in Lösungen [Journal] // Zeitschrift für physikalische Chemie. - 1906. - Bd. 57. - S. 385-470.

- Frick B.** Adsorptionsgleichgewichte zwischen Aktivkohle und organischen Wasserinhaltsstoffen in Mehrstoffgemischen bekannter und unbekannter Zusammensetzung - Dissertation (Universität Karlsruhe) [Journal]. - 1980.
- Gao S. [et al.]** Oxidation of sulfamethoxazole (SMX) by chlorine, ozone and permanganate - a comparative study [Journal] // Journal of hazardous materials. - 2014. - Bd. 274. - S. 258-269.
- Garoma T. [et al.]** Removal of Bisphenol A and its Reaction-Intermediates from Aqueous Solution by Ozonation [Journal] // Ozone: Science & Engineering. - 2010. - 5 : Bd. 32. - S. 338-343.
- Göbel A. [et al.]** Occurrence and Sorption Behavior of Sulfonamides, Macrolides, and Trimethoprim in Activated Sludge Treatment [Journal] // Environmental Science & Technology. - 2005. - 11 : Bd. 39. - S. 3981-3989.
- Godejohann M., Berset J.-D. und Muff D.** Non-targeted analysis of wastewater treatment plant effluents by high performance liquid chromatography-time slice-solid phase extraction-nuclear magnetic resonance/time-of-flight-mass spectrometry [Journal] // Journal of chromatography. A. - 2011. - 51 : Bd. 1218. - S. 9202-9209.
- Gómez M. J. [et al.]** Rapid automated screening, identification and quantification of organic micro-contaminants and their main transformation products in wastewater and river waters using liquid chromatography-quadrupole-time-of-flight mass spectrometry with an accurate-mass [Journal] // Journal of chromatography. A. - 2010. - 45 : Bd. 1217. - S. 7038-7054.
- Gómez-Ramos M. [et al.]** Use of an accurate-mass database for the systematic identification of transformation products of organic contaminants in wastewater effluents [Journal] // Journal of chromatography. A. - 2011. - 44 : Bd. 1218. - S. 8002-8012.
- González-Mariño I. [et al.]** Screening new psychoactive substances in urban wastewater using high resolution mass spectrometry [Journal] // Analytical and bioanalytical chemistry. - 2016. - 16 : Bd. 408. - S. 4297–4309.
- Heathcote G.R. und Drage B.E.** Development of an Ozone Disinfection Contactor using a Physical Scale Model [Konferenz]. - Berlin : International Ozone Association Inc., 1993. - Bde. Wasser Berlin, V4.1.
- Hernández F. [et al.]** Advancing towards universal screening for organic pollutants in waters [Journal] // Journal of hazardous materials. - 2015. - Bd. 282. - S. 86-95.
- Hobby R.** Entfernung organischer Störstoffe im Spurenbereich mit pulverförmiger Aktivkohle - Dissertation (Gerhard-Mercator-Universität Duisburg) [Journal]. - 1995.
- Hollender J. [et al.]** Elimination of organic micropollutants in a municipal wastewater treatment plant upgraded with a full-scale post-ozonation followed by sand filtration. In: Environmental science & technology 43 (20), S. 7862–7869. DOI: 10.1021/es9014629. [Journal]. - 2009.
- Hubaux N., Schachtler M. und Götz C. W.** Eignung von UV/VIS-Sonden zur Überwachung der Spurenstoffelimination. In KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 10 (64), S. 899-904 [Journal]. - 2017.
- Huber M. [et al.]** Oxidation of Pharmaceuticals during Ozonation of Municipal Wastewater Effluents [Journal] // Environmental Science & Technology. - 2005. - 11 : Bd. 39. - S. 4209-4299.
- Huber M. M., Ternes Th. A. und von Gunten U.** Removal of Estrogenic Activity and Formation of Oxidation Products during Ozonation of 17 α -Ethinylestradiol [Journal] // Environmental Science & Technology. - 2004. - 19 : Bd. 38. - S. 5177-5186.
- Hübner U. [et al.]** Ozonation products of carbamazepine and their removal from secondary effluents by soil aquifer treatment--indications from column experiments [Journal] // Water research. - 2014. - Bd. 49. - S. 34-43.
- Hug C. [et al.]** Identification of novel micropollutants in wastewater by a combination of suspect and nontarget screening [Journal] // Environmental pollution. - 2014. - Bd. 184. - S. 25-32.
- Jekel M. [et al.]** Anthropogene Spurenstoffe und Krankheitserreger im urbanen Wasserkreislauf [Journal]. - 2016.
- Johannsen E. und Worch E.** Eine mathematische Methode zur Durchführung von Adsorptionsanalysen [Journal] // Acta hydrochimica et hydrobiologica. - 1994. - 5 : Bd. 22. - S. 225-230.
- Klaer K. [et al.]** Pilotierung einer Ozonung zur Realisierung der großtechnischen Demonstrationsanlage Aachen-Soers. GWA – Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 245, 54/1–54/14. ISSN 0342-6068. [Journal]. - 2017.

- Klaer K.** Dimensionierung und Betriebsoptimierung von Anlagen zur Ozonung kommunaler Abwässer zur Spurenstoffelimination und Desinfektion. Dissertation an der RWTH Aachen [Journal]. - 2019.
- KomS NRW** Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination [Bericht]. - [s.l.] : Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016.
- KomS NRW** Fachbrief Bromat – Bromat als Nebenprodukt der Ozonung bei der Abwasserreinigung – Was bei der Auslegung von Aufbereitungsprozessen und deren Betrieb zu beachten ist [Journal]. - 2018.
- KomS NRW** Mikroschadstoffentfernung machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination mit aktualisierter Stoffliste vom 01.09.2016 [Journal]. - 2016.
- Krauss M., Singer H. und Hollender J.** LC-high resolution MS in environmental analysis: from target screening to the identification of unknowns [Journal] // Analytical and bioanalytical chemistry. - 2010. - 3 : Bd. 398. - S. 943-951.
- Kreuzinger N. [et al.]** KOMOZAK Endbericht - Weitergehende Reinigung kommunaler Abwässer mit Ozon sowie Aktivkohle für die Entfernung organischer Spurenstoffe [Journal]. - 2015.
- Kusvuran E. und Yildirim D.** Degradation of bisphenol A by ozonation and determination of degradation intermediates by gas chromatography–mass spectrometry and liquid chromatography–mass spectrometry [Journal] // Chemical Engineering Journal. - 2013. - Bd. 220. - S. 6-14.
- Lange F. [et al.]** Degradation of macrolide antibiotics by ozone - A mechanistic case study with clarithromycin [Journal] // Chemosphere. - 2006. - 1 : Bd. 65. - S. 17-23.
- LANUV** E-Mail des LANUV an StEB Köln vom 04.12.2018 im Anhang Jahresfrachtabschätzung Bad Honnef.xlsx [Journal]. - 2018.
- Larcher S. [et al.]** Degradation of 17 α -ethinylestradiol by ozonation--identification of the by-products and assessment of their estrogenicity and toxicity [Journal] // Environment international. - 2012. - 1 : Bd. 39. - S. 66-72.
- Lee Y. [et al.]** Prediction of micropollutant elimination during ozonation of a hospital wastewater effluent. In Water research 64, S. 134-148 [Journal]. - 2014.
- Lee Y. [et al.]** Prediction of micropollutant elimination during ozonation of municipal wastewater effluents: use of kinetic and water specific information. In: Environmental science & technology 47 (11), S. 5872–5881. DOI: 10.1021/es400781r. [Journal]. - 2013.
- Lee Y. und von Gunten U.** Advances in predicting organic contaminant abatement during ozonation of municipal wastewater effluent: reaction kinetics, transformation products, and changes of biological effects, Environmental Science, Water Reserach & Technology [Buch]. - 2016.
- Lester Y. [et al.]** Treating wastewater from a pharmaceutical formulation facility by biological process and ozone. In: Water research 47 (13), S. 4349–4356. DOI: 10.1016/j.watres.2013.04.059. [Journal]. - 2013.
- M. Jekel [et al.]** TestTools – Entwicklung und Validierung von schnellen Testmethoden zum Spurenstoffverhalten in technischen und natürlichen Barrieren des urbanen Wasserkreislaufs [Journal]. - 2018.
- Margot J. [et al.]** Treatment of micropollutants in municipal wastewater - Ozone or powdered activated carbon [Journal] // The Science of the total environment. - 2013. - Bd. 461. - S. 480-489.
- Matamoros V. [et al.]** Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from urban wastewater in a pilot vertical flow constructed wetland and a sand filter [Journal] // Environmental Science & Technology. - 2007. - 23 : Bd. 41. - S. 8171–8177.
- Mawhinney D. B., Vanderford B. J. und Snyder S. A.** Transformation of 1H-benzotriazole by ozone in aqueous solution [Journal] // Environmental Science & Technology. - 2012. - 13 : Bd. 46. - S. 7102-7111.
- McDowell D. C. [et al.]** Ozonation of Carbamazepine in Drinking Water - Identification and Kinetic Study of Major Oxidation Products [Journal] // Environmental Science & Technology. - 2005. - 20 : Bd. 39. - S. 8014–8022.
- Merel S. und Zwiener C.** Accurate Mass Screening and Data Evaluation Approaches for Ozonation By-Products in Wastewater Treatment Plant Effluents [Buchabschnitt] // Assessing Transformation Products of Chemicals by

Non-Target and Suspect Screening – Strategies and Workflows Volume 2. - Washington DC : American Chemical Society, 2016.

Miehe U. Wirksamkeit technischer Barrieren zur Entfernung von anthropogenen Spurenstoffen - Kläranlagen und Raumfilter - Dissertation (Technische Universität Berlin [Journal]). - 2010.

Miehe U., Stapf M. und Schumann P. Studie über Effekte und Nebeneffekte bei der Behandlung von kommunalem Abwasser mit Ozon. Kompetenzzentrum Wasser Berlin. [Journal]. - 2017.

Moschet C. [et al.] LC- and GC-QTOF-MS as Complementary Tools for a Comprehensive Micropollutant Analysis in Aquatic Systems [Journal] // Environmental science & technology. - 2017. - 3 : Bd. 51. - S. 1553–1561.

Müller A. [et al.] A new approach to data evaluation in the non-target screening of organic trace substances in water analysis [Journal] // Chemosphere. - 2011. - 8 : Bd. 85. - S. 1211-1219.

Müller A. [et al.] Identification of ozonation by-products of 4- and 5-methyl-1H-benzotriazole during the treatment of surface water to drinking water [Journal] // Water research. - 2012. - 3 : Bd. 46. - S. 679-690.

Nahrstedt A. [et al.] Einsatz granulierter Aktivkohle auf dem Verbandsklärwerk "Obere Lutter" [Journal] // KA Korrespondenz Abwasser, Abfall. - 2014. - 61 : Bd. 5. - S. 408-426.

Nahrstedt A. [et al.] Mikroschadstoffelimination mittels granulierter Aktivkohle im Ablauf der Kläranlage Gütersloh-Putzhagen - Abschlussbericht [Journal]. - 2016.

Nakada N. [et al.] Removal of selected pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and endocrine-disrupting chemicals (EDCs) during sand filtration and ozonation at a municipal sewage treatment plant [Journal] // Water research. - 2007. - 19 : Bd. 41. - S. 4373–4382.

Nöthe T. Zur Ozonung von Spurenstoffen in mechanisch-biologisch gereinigten Abwässern, Shaker Verlag, zugleich Dissertation der TU Dortmund [Buch]. - 2009.

Nowotny N. Zur Bestimmung und Berechnung des Adsorptionsverhaltens von Spurenstoffen an Aktivkohle in biologisch gereinigten Abwässern - Dissertation (Universität Dortmund) [Journal]. - 2009.

Ökotoxzentrum Proposals for Acute and Chronic Quality Standards. Online verfügbar unter <https://www.ecotoxcentre.ch/expert-service/quality-standards/proposals-for-acute-and-chronic-quality-standards/>. Zuletzt aufgerufen am 12.13.2019 [Journal]. - 2019.

Pereira R. de O. [et al.] Identification of new ozonation disinfection byproducts of 17 β -estradiol and estrone in water [Journal] // Chemosphere. - 2011. - 11 : Bd. 84. - S. 1535–1541.

Pinnekamp J. und Merkel W. Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungstufen auf kommunalen Kläranlagen - Güte- und Kostenbetrachtungen - Abschlussbericht gerichtet an das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW [Journal]. - 2008.

Quispe C. [et al.] Monitoring of β -blockers ozone degradation via electrospray ionization mass spectrometry [Journal] // Journal of the Brazilian Chemical Society. - 2011. - 5 : Bd. 22. - S. 919-928.

Radke C. J. und Prausnitz J. M. Thermodynamics of Multi-Solute Adsorption from Dilute Liquid Solutions [Journal] // American Institute of Chemical Engineers Journals. - 1972. - 4 : Bd. 18. - S. 761-768.

Rodayan A., Roy R. und Yargeau V. Oxidation products of sulfamethoxazole in ozonated secondary effluent [Journal] // Journal of hazardous materials. - 2010. - 1-3 : Bd. 177. - S. 237-243.

Rolfs T. Konzeption, Planung und Bau einer Ozonungsanlage zur Vollstrombehandlung auf der Kläranlage Aachen-Soers [Konferenz] // Demo3Ac. - Aachen : WVER, 2017.

Rosal R. [et al.] Degradation of caffeine and identification of the transformation products generated by ozonation [Journal] // Chemosphere. - 2009. - 6 : Bd. 74. - S. 825-831.

Schaar H. Ozonung von Kläranlagenablauf zur weitergehenden Abwasserreinigung. Dissertation an der Technischen Universität Wien [Journal]. - 2015.

Schachtler M. und Hubaux N. BEAR: Innovative Regelstrategie der Ozonung. Aqua und Gas (Nr. 5) [Journal]. - 2016.

- Scheurer M. [et al.]** Structural elucidation of main ozonation products of the artificial sweeteners cyclamate and acesulfame [Journal] // Environmental science and pollution research international. - 2012. - 4 : Bd. 19. - S. 1107-1118.
- Schilling H. [et al.]** Neues mathematisches Verfahren zur Charakterisierung unbekannter organischer Vielstoffgemische durch die Adsorptionsanalyse [Journal] // Acta hydrochimica et hydrobiologica. - 1989. - 6 : Bd. 17. - S. 701–706.
- Schuhmacher J.** Ozonung zur weitergehenden Aufbereitung kommunaler Kläranlagenabläufe. Dissertation an der Technischen Universität Berlin [Journal]. - 2006.
- Schymanski E. L. [et al.]** Non-target screening with high-resolution mass spectrometry: critical review using a collaborative trial on water analysis [Journal] // Analytical and bioanalytical chemistry. - 2015. - 21 : Bd. 407. - S. 6237–6255.
- Schymanski E. L. [et al.]** Strategies to characterize polar organic contamination in wastewater: exploring the capability of high resolution mass spectrometry [Journal] // Environmental Science & Technology. - 2014. - 3 : Bd. 48. - S. 1811-1818.
- Segura P. A., Kaplan P. und Yargeau V.** Identification and structural elucidation of ozonation transformation products of estrone [Journal] // Chemistry Central journal. - 2013. - 1 : Bd. 7. - S. 74.
- Sein M. [et al.]** Oxidation of Diclofenac with Ozone in Aqueous Solution [Journal] // Environmental Science & Technology. - 2008. - 17 : Bd. 42. - S. 6656–6662.
- Seitz W. [et al.]** Formation of oxidation by-products of the iodinated X-ray contrast medium iomeprol during ozonation [Journal] // Chemosphere. - 2008. - 7 : Bd. 70. - S. 1238–1246.
- Sjerps R. M. A. [et al.]** Data-driven prioritization of chemicals for various water types using suspect screening LC-HRMS [Journal] // Water research. - 2016. - Bd. 93. - S. 254-264.
- Šojić D. [et al.]** Degradation of thiamethoxam and metoprolol by UV, O₃ and UV/O₃ hybrid processes [Journal] // Journal of Hydrology. - 2012. - Bde. 472-473. - S. 314–327.
- Soltermann F. [et al.]** Bromid im Abwasser – Bromatbildung bei der Ozonung – Einschätzung und zukünftige Situation in Aqua & Gas 96 (10), S. 64-71 [Journal]. - 2016.
- Sontheimer H.** Activated carbon for water treatment [Buch]. - Karlsruhe : DVGW-Forschungsstelle Engler-Bunte-Inst. Universität Karlsruhe (TH), 1988. - 3-922671-20-9.
- Stalter D., Magdeburg A. und Oehlmann J.** Comparative toxicity assessment of ozone and activated carbon treated sewage effluents using an in vivo test battery [Journal] // Water research. - 2010. - 8 : Bd. 44. - S. 2610–2620.
- STOWA** Actievekoolfiltratie op Afloop nabezinktank Demonstratieonderzoek op vier rwzi's ISBN 978.90.5773.497.7 [Journal]. - 2010.
- Tay K. S., Rahman N. A. und Abas M. R. B.** Characterization of atenolol transformation products in ozonation by using rapid resolution high-performance liquid chromatography/quadrupole-time-of-flight mass spectrometry [Journal] // Microchemical Journal. - 2011. - 2 : Bd. 99. - S. 312-326.
- Tay K. S., Rahman N. A. und Abas M. R. B.** Degradation of bisphenol A by ozonation: rate constants, influence of inorganic anions, and by-products [Journal] // Maejo International Journal of Science and Technology. - 2012. - 1 : Bd. 6. - S. 77–94.
- Tay K. S., Rahman N. A. und Abas M. R. B.** Ozonation of metoprolol in aqueous solution: ozonation by-products and mechanisms of degradation [Journal] // Environmental science and pollution research international. - 2013. - 5 : Bd. 20. - S. 3115–3121.
- Tootchi L. [et al.]** Transformation products of pharmaceutically active compounds during drinking water ozonation [Journal] // Water Science & Technology. - 2013. - 6 : Bd. 13. - S. 1576-1582.
- UBA** Prioritäre Stoffe in kommunalen Kläranlagen, Ein deutschlandweit harmonisiertes Vorgehen [Buch]. - Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, 2020. - Bde. UBA Texte 173, Oktober 2020.

- Vieira K. M., Nascentes C. C. und Augusti R.** Ozonation of Ethinylestradiol in Aqueous-Methanolic Solution: Direct Monitoring by Electrospray Ionization Mass Spectrometry [Journal] // Journal of the Brazilian Chemical Society. - 2010. - 5 : Bd. 21. - S. 787-794.
- Vogna D. [et al.]** Advanced oxidation of the pharmaceutical drug diclofenac with UV/H₂O₂ and ozone [Journal] // Water research. - 2004. - 2 : Bd. 38. - S. 414-422.
- Wagner M.** Sauerstoffeintrag und Sauerstofftrag von Belüftungssystemen und deren Bestimmung mit modernen Messmethoden [Buchabschnitt]. - Darmstadt : WAR, 1997. - Bd. 100.
- Wilde M. L., Montipó S. und Martins A. F.** Degradation of β -blockers in hospital wastewater by means of ozonation and Fe²⁺/ozonation [Journal] // Water research. - 2014. - S. 280-295.
- Wittmer A. [et al.]** Decreased Uv Adsorbance as an indicator of micropollutant removal efficiency in wastewater treated with ozone. In: Water Science and Technology 71 (7), S. 980-985. DOI: 10.2166/wst2015.053 [Journal]. - 2015.
- Wittmer A. [et al.]** UV-Messung zur Regelung der Ozondosis und Überwachung der Reinigungsleistung Labor- und halbtechnische Pilotversuche im Auftrag des BAFU. Dübendorf [Journal]. - 2013.
- Wode F. [et al.]** Search for over 2000 current and legacy micropollutants on a wastewater infiltration site with a UPLC-high resolution MS target screening method [Journal] // Water research. - 2015. - S. 274-283.
- Worch E.** Adsorption Technology in Water Treatment. Fundamentals, Processes, and Modeling [Buch] / Hrsg. Co.KG Walter de Gruyter GmbH. - 2012.
- WRRL Bestand** Ergebnisbericht Rheingraben Nord zur Wasserrahmenrichtlinie in NRW - Bestandsaufnahme, Juni 2005 [Journal]. - 2009 - 2015.
- Wunderlin P. [et al.]** Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung [Journal]. - 2017.
- Wunderlin P. [et al.]** Behandelbarkeit von Abwasser mit Ozon. Testverfahren zur Beurteilung. In Aqua & Gas 95 (7-8) S.28-38 [Journal]. - 2015.
- Zietschmann F. [et al.]** TestTools - Entwicklung und Validierung von schnellen Testmethoden zum Spurenstoffverhalten in technischen und natürlichen Barrieren des urbanen Wasserkreislaufs. Universitätsverlag der TU Berlin [Journal]. - 2018.
- Zimmermann S. G. [et al.]** Kinetic and mechanistic investigations of the oxidation of tramadol by ferrate and ozone [Journal] // Environmental science & technology. - 2012. - 2 : Bd. 46. - S. 876-884.