

Optimierung des Korrosionsschutzes in Rauchgasreinigungs- anlagen durch Struktur- bauteile aus chemisch resistentem Kunststoff

Dr. Thorge Brünic
R&D Engineer bei Technoform

Vorwort

Die Entsorgung von Klärschlamm aus der kommunalen Abwasserreinigung erfolgt in Deutschland derzeit in erster Linie durch thermische Behandlung (Verbrennung), Verwertung in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau. Mit zunehmendem Fokus auf Hygienisierung, Bodenschutz und Phosphorrückgewinnung gewinnen Verfahren der thermischen Verwertung an Bedeutung. 2019 wurden drei Viertel des kommunalen Klärschlammes verbrannt, nur ein Viertel wurde stofflich in Landwirtschaft, Landschaftsbau und sonstigen Bereichen verwertet [3].

Mit steigendem Volumen des thermisch zu verwertenden Klärschlammes bei gleichzeitig wachsenden Anforderungen an die Verfahren hinsichtlich Hygiene und Nachhaltigkeit verändern sich auch die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und Konstruktion von Anlagen zur thermischen Klärschlammbehandlung. Dies betrifft insbesondere Anlagen zur Behandlung von Rauchgasen aus der Verbrennung von Klärschlamm, die den zunehmenden chemischen, mechanischen und thermischen Belastungen im Rauchgas standhalten müssen. Der Korrosionsschutz bleibt eine zentrale Herausforderung für Ingenieure und Betreiber.

Inhalt

1. Korrosion in der Rauchgasbehandlung	3
2. Kunststoff als korrosionsbeständiger Konstruktionswerkstoff	4
3. Auswahl eines thermoplastischen Werkstoffes	5
3.1. Chemische Beständigkeit	6
3.2. Weitere mechanische Anforderungen an den Werkstoff	10
3.2.1 Kriechverhalten	10
3.2.2. Zugfestigkeit	11
3.3. Fazit aus Labortests und Literatur	12
4. Feldtests in einer Klärschlammverbrennungsanlage	12
4.1. Chemische Beständigkeit	13
4.2. Oberflächenbeschaffenheit	14
4.3. Chemische Beschaffenheit	15
4.4. Fazit aus dem Feldtest	16
5. Vom Feldtest zur Kunststofflösung	16
5.1. Beispiel Quecksilberfilter von W. L. Gore & Associates	16
5.2. Profile aus PPS	17
5.3. Verbindungselemente	19
6. Zusammenfassung	20
7. Literatur	21
8. Technoform – Massgefertigte Profile aus technischen Kunststoffen	23

Optimierung des Korrosionsschutzes in Rauchgasreinigungsanlagen durch Strukturbauteile aus chemisch resistentem Kunststoff

Dr. Thorge Brüning
R&D Engineer bei Technoform

Für Fragen zu ihrem Projekt stehen wir Ihnen jederzeit gerne persönlich zur Verfügung.

1. Korrosion in der Rauchgasbehandlung

Korrosionsschäden sind für die Betreiber von Industrieanlagen und Kraftwerken ein ernstzunehmendes Problem. Zersetzende chemische Prozesse bedrohen Stahlkonstruktionen und Rohrleitungen und können hohe Kosten verursachen. Die World Corrosion Organization (WCO) schätzt den Schaden durch Korrosion auf weltweit 2,5 Billionen US-Dollar pro Jahr. Dies entspricht 3 bis 4% des BIP der Industrieländer [6]. DIN EN ISO 8044 definiert Korrosion als „die Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffs bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines mechanischen Bauteiles oder eines ganzen Systems führen kann. In den meisten Fällen ist diese Reaktion elektrochemischer Natur, in einigen Fällen kann sie jedoch auch chemischer oder metallphysikalischer Natur sein.“

Die Ursachen für Korrosion sind vielfältig und meist spielen mehrere Faktoren eine Rolle: Chemische, mechanische und thermische Einflüsse können sich überlagern und wechselwirkend verstärken. Korrosion ist in der Regel die summative oder potenzierte Wirkung von Einflussgrößen, die für sich genommen oft nicht kritisch sind.

Was bedeutet das für die Auswahl von geeigneten Werkstoffen für die Anwendung in aggressiven Umgebungen, wie sie in der thermischen Klärschlammverwertung auftreten?

Um korrosionsbeständig zu sein, müssen konstruktive Elemente für den konkreten Anwendungsfall, also für eine spezifische Kombinationen von Einflussgrößen und Belastungen, ausgelegt sein. Diese sind keineswegs statisch, sondern können im Betrieb, beispielsweise in der mehrstufigen Behandlung von Rauchgasen aus der Klärschlammverbrennung, erheblich variieren.

Für Anwendungen in aggressiven Umgebungen kommen grundsätzlich zwei Arten von Werkstoffsystemen in Betracht: Das sind zum einen Vollmaterialien von hoher Güte, die ohne weitere Beschichtung zum Schutz vor Chemikalien auskommen. Dazu zählen beispielsweise hochwertige Nickelbasislegierungen, aber auch Kunststoffe wie der Thermoplast Polyphenylensulfid (PPS). Zum anderen sind dies Materialien von niedrigerer Güte, die jedoch mit hochwertiger Beschichtung gegen chemische Belastungen geschützt werden müssen. Als Beschichtungen haben sich duroplastische Materialien wie Vinylesterharze etabliert. Hochlegierte Metalle galten lange als Werkstoff der Wahl für Anwendungen in aggressiven Umgebungen. Jedoch stehen Thermoplaste wie Polyphenylensulfid (PPS) bei Anwendungen unter hohen chemischen und mechanischen Belastungen den gängigen Metallen in nichts nach, was in umfassenden Labor- und Feldtests nachgewiesen werden konnte. PPS erweist sich in vielen Anwendungen als eine leistungsfähige Alternative zu sehr hochwertigen Metallen und den resistentesten Duroplasten.

2. Kunststoff als korrosionsbeständiger Konstruktionswerkstoff

Die Problematik der Korrosion betrifft nicht nur Stahlkonstruktionen. Auch Kunststoffe können unter chemischer Belastung im Sinne der DIN EN ISO 8044 korrodieren. Hierbei kommt es jedoch, im Vergleich zu Metallen, häufig nicht zu einer direkten Auflösung des Werkstoffs, sondern die Korrosion tritt durch Quellung, Verfärbung, Gewichtsänderung, Blasenbildung, Versprödung, Rissbildung oder einer direkten chemischen Reaktion in Erscheinung. In seltenen Fällen kann es zu einer Depolymerisation und damit zu einem Abbau des Kunststoffs kommen. Um in aggressiver Umgebung korrosionsbeständig zu sein, müssen konstruktive Elemente aus Kunststoff

einer spezifischen Kombination von chemischen, mechanischen und thermischen Belastungen standhalten.

Die chemische Belastung hängt im Wesentlichen von der Zusammensetzung des Rauchgases ab. Je nach Zusammensetzung des thermisch behandelten Klärschlammes findet sich hier eine Mischung von verschiedenen Gasen (CO, NO_x, CO_x, SO_x) und den daraus resultierenden sowie zusätzlich vorhandenen Säuren (H₂SO₄, HNO₃, HCl, HF). Darüber hinaus sorgen vorhandene Partikel für eine stetige Abrasion von Werkstoffen.

Parameter	Einheit	Grenzwerte (Halbstunden-/ Tagesmittelwert)	mittlerer Betriebswert	Ausschöpfung Grenzwert (Tagesmittelwert)
Schwefeloxide	mg/m ³	200 / 50	3,8	7,7 %
Stickoxide	mg/m ³	400 / 200	161	81 %
Kohlenmonoxid	mg/m ³	100 / 50	6,6	13 %
Gesamtkohlenstoff	mg/m ³	20 / 10	0,60	6 %
Staub	mg/m ³	30 / 10	0,70	7 %
Salzsäure	mg/m ³	60 / 10	0,78	7,8 %
Ammoniak	mg/m ³	15 / 10	0,13	1,3 %
Quecksilber	mg/m ³	0,05 / 0,03	0,0019	6,3 %
Dioxine/Furane	ng TE/M ³	0,1	0,0022	2,2 %

Bild 1: Beispiel für die Rauchgaszusammensetzung in der thermischen Klärschlammverwertung (Stadtentwässerung Frankfurt am Main) [2]

3. Auswahl eines thermoplastischen Werkstoffes

Die Herausforderung besteht darin, den für die Auslegung von Strukturbauteilen in Rauchgasfilteranlagen passenden Kunststoff auszuwählen.

In der Praxis erfolgt die Auswahl des passenden Werkstoffs in einem mehrstufigen Prozess, bei dem zunächst eine fachliche Vorauswahl in Frage kommender Thermoplaste getroffen wird. Hierbei müssen zum einen der reine Kunststoff, zum Beispiel Polyamid (PA), Polybutylenterephthalat (PBT) oder Polyphenylphenylsulfid (PPS) betrachtet, als auch mögliche Additive für den konkreten Anwendungsfall ausgewählt werden. Besonders hochwertige Glasfasern spielen bei der Verwendung des Materials in Struk-

turbauteilen eine „tragende“ Rolle. Das Material wird im Labor unter Extrembedingungen getestet, um die Auswahl weiter einzugrenzen oder im Idealfall einen passenden Werkstoff zu identifizieren. Anschließend wird auf dieser Basis die Eignung des Werkstoffs in einem Langzeittest unter realen Bedingungen geprüft. Es ist bekannt, dass PPS eine sehr gute Beständigkeit gegen Säuren und Basen sowie organische Lösemittel aufweist. Aus diesem Grund wurden die folgenden Versuche und Analysen an diesem Material sowie in der Kombination mit Glasfasern durchgeführt.

	Thermoplaste				Duroplaste		Metalle	
	PPS	PP	PEEK	PBT	Vinylester	Hasteloy	Stainless Steel 316	Titanium
Korrosionsbeständigkeit								
Hydrochloric acid 2 %	+	+	+	0	+	+	0	+
Hydrochloric acid 37 %	+	+	+	-	+	0	-	+
Sulfuric acid 2 %	+	+	+	0	+	+	0	+
Sulfuric acid 70 %	+	+	0	-	+	0/+	-	+
Phosphoric acid 10 %	+	+	+	-	+	+	0	+
Phosphoric acid 85 %	+	+	+	-	+	+	-	+
Hydrofluoric acid 40 %	+	+	-	-	+	+	-	-
Cu/Fe/...-Chlorides (aq.)	+	+	+	0	+	0/-	-	+ / 0
Hydrogen sulfide (wet)	+	+	+	-	+	0/+	0	+
Sodiumhydroxide 20 %	+	+	+	0	+	+	+	-
Green Death	+	+	+	-	+	0/+	-	0
Temperaturbeständigkeit								
0 - 80° C	+	0	+	+	+	+	+	+
80 - 120° C	+	-	+	+	+	+	+	+
120 - 200° C	+	-	+	-	-	+	+	+
Mechanische Eigenschaften								
Relative Festigkeit	FFF	F	FFF	FFF	FFF	FFFF	FFFF	FFFF
Preisniveau								
	€€	€	€€€€	€	€€€€	€€€€	€€	€€€€

3.1. Chemische Beständigkeit

Die Definition der Testumgebung zur Beurteilung der chemischen Beständigkeit wird aus der Zusammensetzung des Rauchgases abgeleitet. Viele vorhandenen Gase reagieren im Beisein von Wasser zu Säuren. Ein Beispiel ist die durch Oxidation des Schwefels mittels Sauerstoff und Wasser entstehende schweflige- bzw. Schwefelsäure.

Die Herausforderung bei der Definition ist weniger, die entstehenden Säuren zu bestimmen, als vielmehr aufgrund der vorherrschenden Temperatur sowie der Konzentrationen eine Testumgebung zu definieren. Diese kann natürlich einen realen Test nicht ersetzen, kann aber helfen, frühzeitig eine allgemeine Eignung festzustellen. Das spart Zeit und Kosten.

Um den Zeitaufwand so gering wie möglich zu halten, wird dabei die Konzentration zumeist stark über der unter Realbedingungen zu erwartenden Konzentration festgelegt und die Temperatur häufig bis zum Siedepunkt ausgereizt. Für Strukturbauteile aus Kunststoff in einer Klärschlammverbrennungsanlage wurden im konkreten Fall die Schwefelsäuretests auf Konzentrationen von 60 % - 70 % bei einer Temperatur von 140°C - 150°C festgelegt.

Diese Testanordnung soll eine Belastung über mehrere Jahre bei geringerer Säurekonzentration sowie niedrigerer Temperatur, wie sie beispielsweise in der nassen Rauchgaswäsche mit Aktivkohlesystem herrscht, simulieren.

Neben Schwefelsäure wurde u.a. die Beständigkeit gegen Salzsäure sowie gegen Mischungen von Schwefelsäure, Flusssäure und Salpetersäure getestet. Als Werkstoff wurde insbesondere PPS als unverstärktes Rohmaterial und das unter mechanischen Gesichtspunkten wesentlich stabilere PPS GF 40 mit 40 % Glasfaseranteil getestet.

Biegefestigkeit und Massenänderung

Konzentration und Temperatur werden in den Testumgebungen festgelegt. Die für die Anwendung entscheidende Beurteilung hinsichtlich der Eignung des Materials ergibt sich aus dem Vergleich der mechanischen Belastbarkeit vor und nach dem Testdurchlauf. Als Norm wurde die DIN EN ISO 178 herangezogen. Wie das nachfolgende Diagramm zeigt, bleibt das Elastizitätsmodul (E-Modul) von PPS über die Lagerungszeit von sechs Monaten nahezu konstant. Es wurden hierbei jeweils fünf Proben je Entnahme vermessen. Der leichte Anstieg im Zeitverlauf resultiert aus einer Nachkristallisation des Materials, welches die Biegefestigkeit erhöht und für PPS typisch ist.

Biegefestigkeit PPS

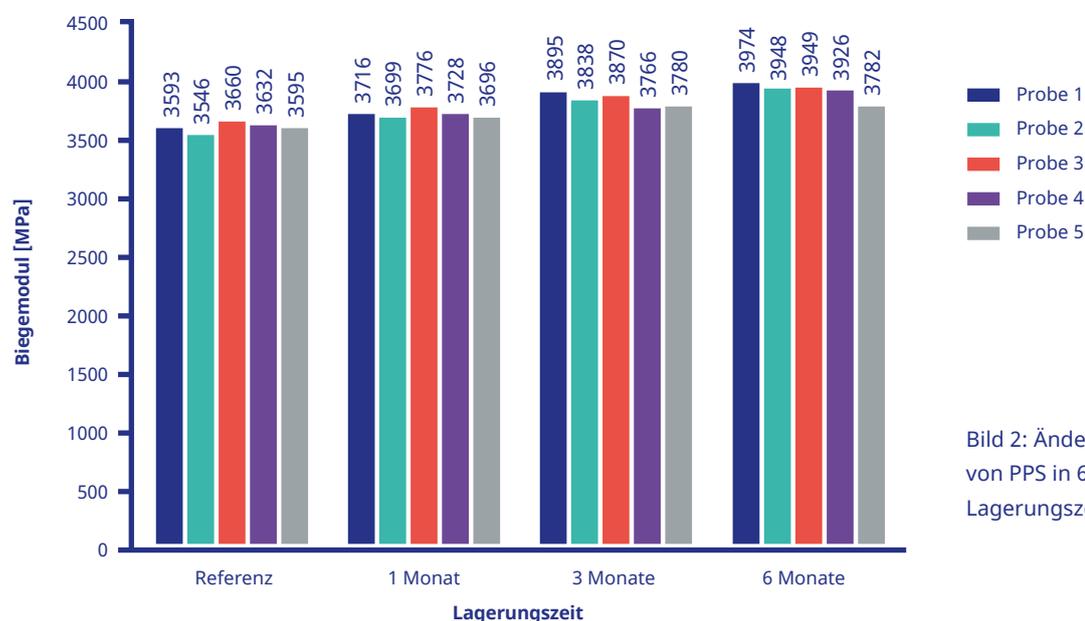


Bild 2: Änderung des Elastizitätsmoduls von PPS in 60 % H₂SO₄ und 140°C über die Lagerungszeit von sechs Monaten

Zudem wurde die Änderung der Masse über eine Lagerungszeit von sechs Monaten verfolgt. Der

Durchschnitt aus fünf Messproben weist auch hier keine signifikante Zunahme auf.

Massenänderung über die Lagerzeit

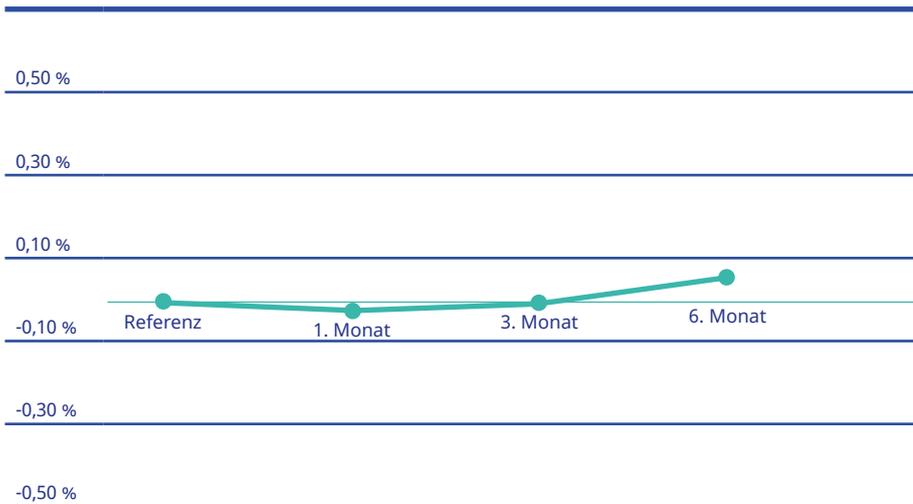


Bild 3: Änderung der Masse von PPS in 60 % H₂SO₄ 140°C über die Lagerungszeit von sechs Monaten

Um den Einfluss der Glasfasern auf das E-Modul zu verdeutlichen und die Beständigkeit dieses verstärkten Materialtyps zu prüfen, wurde zusätzlich ein Kurzzeittest der PPS-Variante GF 40 mit 40 % Glasfasern bei einer Konzentration der Schwefelsäurelösung von

70 % und einer Temperatur von 150°C durchgeführt. Auch hier wurde nach zweiwöchiger Exposition in der Säurelösung keine signifikante Änderung des Biegemoduls festgestellt. Die Zunahme der Masse betrug lediglich 1 %.

Biegefestigkeit PPS GF 40

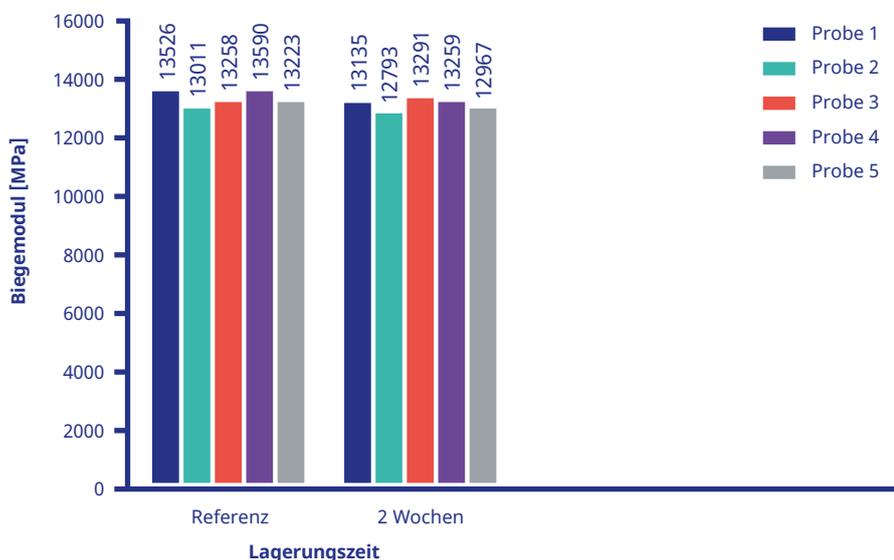


Bild 4: Änderung des Elastizitätsmoduls von PPS GF 40 in 70 % H₂SO₄ und 150°C über die Lagerungszeit von zwei Wochen

Neben den beschriebenen Schwefelsäuretests wurden Lagerungen in Salzsäure sowie in einer Mischung aus unterschiedlichen Säuren durchgeführt. Die Konzentration der Salzsäurelösung betrug 36 % und die Tem-

peratur wurde auf 100°C eingestellt. Das reine PPS zeigte nach dem Test eine gemittelte Abnahme der Biegefestigkeit von ca. 5 %. Die Zunahme der Masse betrug lediglich 0,21 %.

Biegefestigkeit PPS

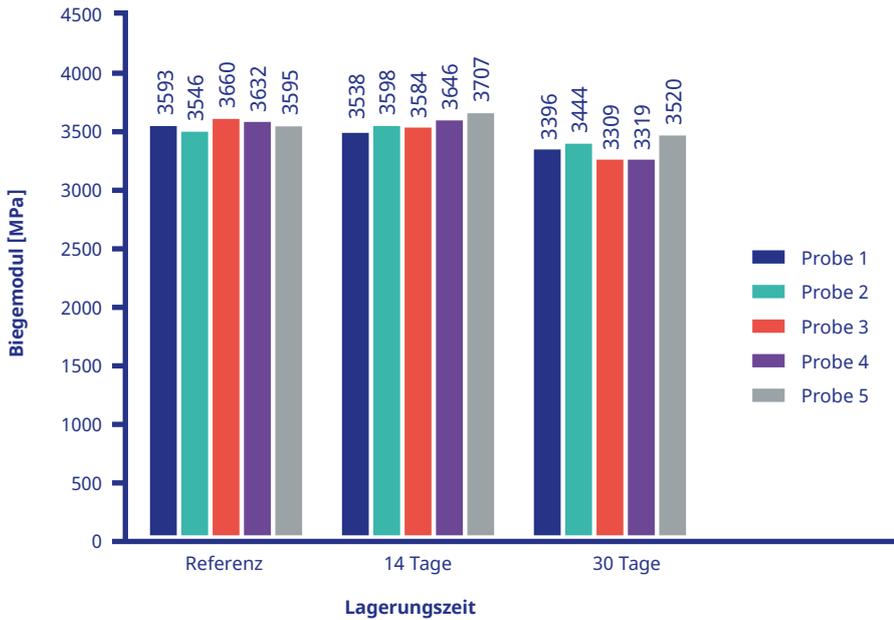


Bild 5: Änderung des Elastizitätsmoduls von PPS in 36 % HCl bei 100° C über die Lagerungszeit von 30 Tagen

Massenänderung über die Lagerungszeit

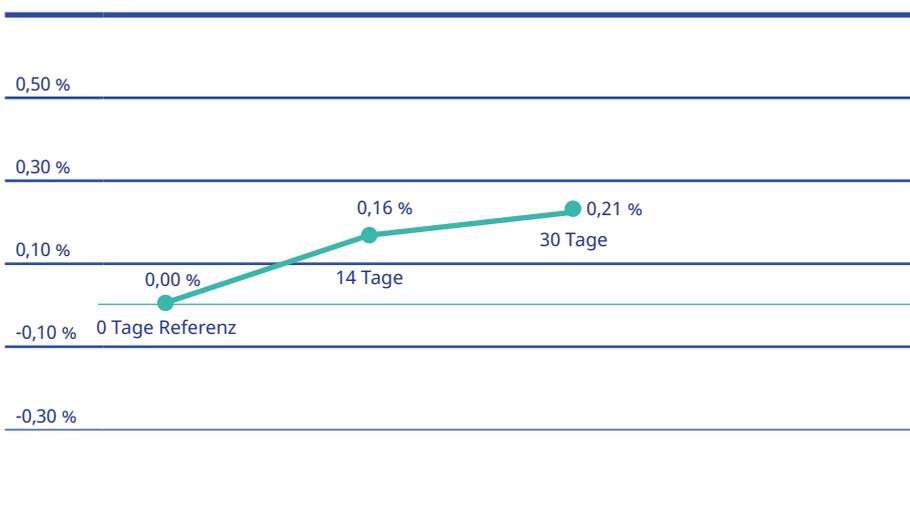


Bild 6: Änderung der Masse von PPS in 36 % HCl bei 100°C über die Lagerungszeit von 30 Tagen

In einem Rauchgastrakt liegen unterschiedliche Gase nebeneinander vor (siehe Bild 1). Die oben beschriebenen Tests wurden jedoch mit nur einer Säure durchgeführt. Sie zeigen gut den Einfluss der Substanz auf das Material, entsprechen hinsichtlich der Zusammensetzung jedoch nicht den tatsächlich vorherrschenden Bedingungen. Besonders Mischungen unterschiedlicher Säuren zeigen durch Synergieeffekte häufig eine aggressivere Wirkung auf Materialien, als es die rein summative Zusammensetzung erwarten lässt.

Beispielsweise wirken Schwefelsäure und Salpetersäure zusammen als Nitrierungsreagenz und greifen einige Kunststoffe an. Um den Einfluss dieser Mischungen zu untersuchen, wurde deshalb eine Testumgebung aus 15 % H_2SO_4 , 0,3 % HNO_3 , 0 % HF bzw. 15 % H_2SO_4 , 0,3 % HNO_3 , 0,5 % HF bei 65°C definiert, und ein Test über 45 Tage durchgeführt. Dabei wurden die Materialien PPS GF 40, PPS sowie abraiertes PPS GF 40 getestet.

DMA Testergebnisse nach Lagerung in einer Mischsäure bei 65° (0 % HF)

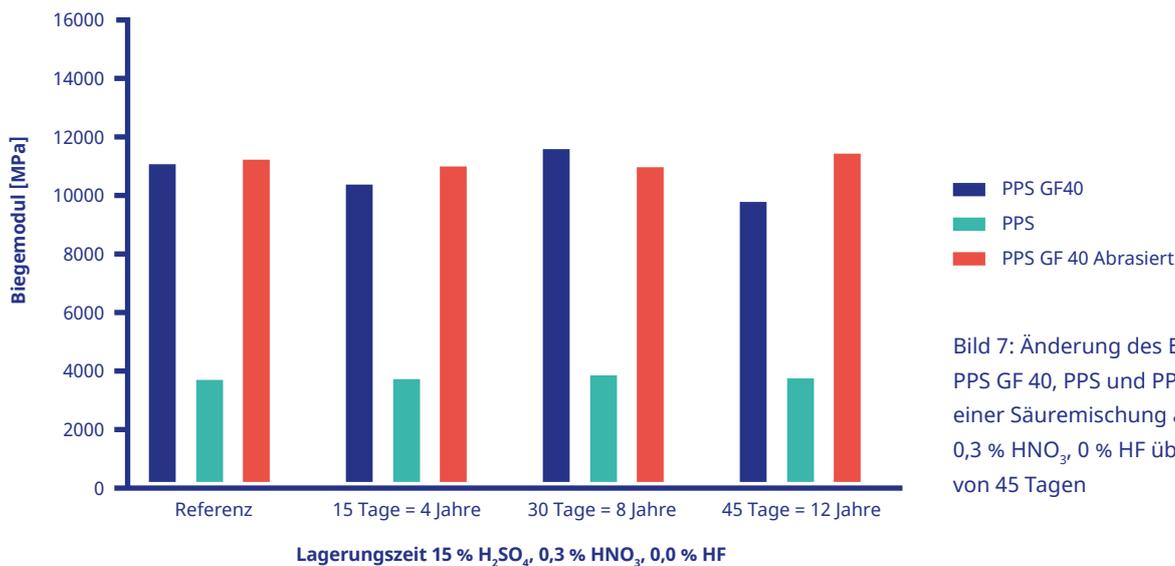


Bild 7: Änderung des Elastizitätsmoduls von PPS GF 40, PPS und PPS GF 40 abraisiert in einer Säuremischung aus 15 % H_2SO_4 , 0,3 % HNO_3 , 0 % HF über die Lagerungszeit von 45 Tagen

DMA Testergebnisse nach Lagerung in einer Mischsäure bei 65° (0,5 % HF)

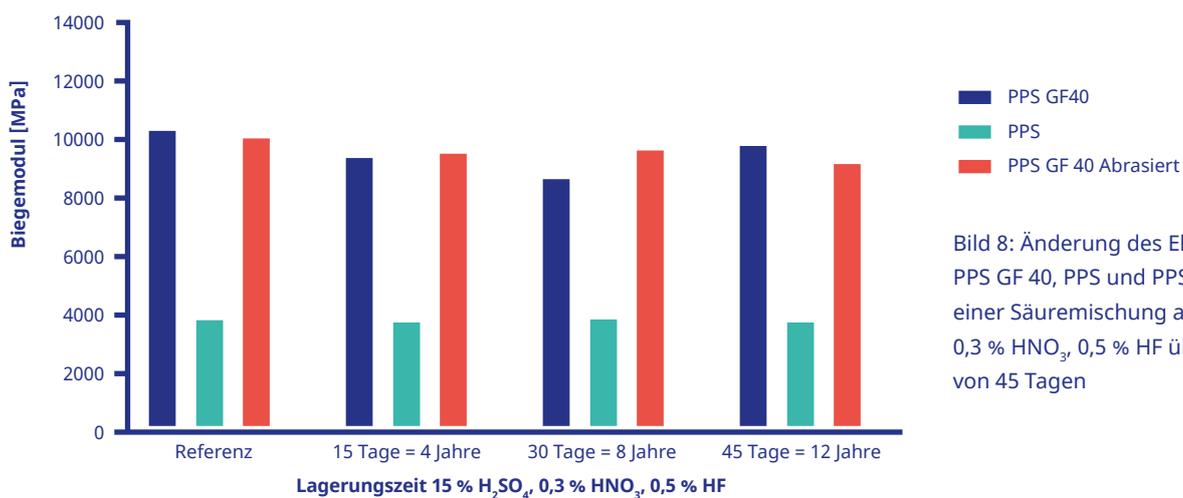


Bild 8: Änderung des Elastizitätsmoduls von PPS GF 40, PPS und PPS GF 40 abraisiert in einer Säuremischung aus 15 % H_2SO_4 , 0,3 % HNO_3 , 0,5 % HF über die Lagerungszeit von 45 Tagen

Die beiden oberen Diagrammen zeigen das Biegemodul nach 45 Tagen Auslagerung, ermittelt durch dynamisch-mechanische Analyse (DMA). Alle Materialien zeigen näherungsweise keinen Abfall in ihrer mechanischen Belastbarkeit. Durch die um den Faktor 100 erhöhte Konzentration gegenüber einem Feldtest

wurde versucht, eine Belastung über einen Zeitraum von etwa 10 Jahren im Rauchgas zu simulieren. Die Schwankungen zwischen den Messwerten können auf Materialschwankungen der Proben zurückgeführt werden.

3.2 Weitere mechanische Anforderungen an den Werkstoff

Neben chemischen Belastungen, die zur Korrosion des eingesetzten Werkstoffs führen können, spielen vor allem mechanische Belastungen infolge von Verformungen und Einwirkung von außen für die Auswahl eines geeigneten Kunststoffes eine wichtige Rolle. Strukturbauteile aus Kunststoff müssen nicht nur chemisch resistent und damit korrosionsbestän-

dig sein, sondern auch spezifische Anforderungen an Formstabilität, Festigkeit und Temperaturbeständigkeit erfüllen. Für die Auswahl passender Thermoplaste für einen konkreten Anwendungsfall lassen sich Vergleiche gängiger Thermoplaste aus der Literatur heranziehen.

3.2.1. Kriechverhalten

Kriechen (auch Retardation) bezeichnet bei Werkstoffen die zeit- und temperaturabhängige, plastische Verformung unter Last (Spannung). Eine Kennzahl für das Kriechen ist das Kriechmodul. Da Thermoplaste aus großen verknäulten Molekülketten bestehen, gleiten bzw. entknäulen sich diese unter äußerer Be-

lastung, woraus eine Dehnung resultiert. Eine solche Verformung muss bei der Auslegung von Kunststoffbauteilen berücksichtigt werden. Polyphenylensulfid (PPS) zeichnet sich im Vergleich zu anderen Kunststoffen durch ein sehr hohes Kriechmodul aus.

Kunststoff	cc	Kunststoff	cc
PE-HD	0,45	PPA	0,88
PE-LD	0,60	PPS	0,93
PE-UHMW	0,50	PPSU	0,85
PP	0,50	PSU	0,90
PA6	0,73	LCP	0,80
PA66	0,75	ABS	0,68
PA666	0,75	ASA	0,68
PA612	0,70	PMMA	0,80
PA6/6T	0,85	PS	0,80
PA6/6I	0,90	SAN	0,80
PA11	0,58	SB	0,70
PA12	0,70	TPA	0,70
PA46	0,70	TPC	0,75
PBT	0,75	TPU	0,83
PET	0,75	(ASA+PC)	0,80
POM-Homopolymer	0,60	(PBT+ASA)	0,87
POM-Copolymer	0,65	(PBT+PET)	0,85
PC	0,88	(PC+ABS)	0,72
PESU	0,80	(POM+PUR)	0,70

Bild 9: Kriechverhalten von Kunststoffen im Vergleich [1]

3.2.2. Zugfestigkeit

Je nach Funktion und Auslegung von Strukturbauteilen aus Kunststoff, beispielsweise in einem Rauchgasfilter, spielt die Zugfestigkeit des Werkstoffs auch unter hohen Temperaturen eine zentrale Rolle für die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Bauteile.

Hier schneidet ein Hochleistungskunststoff wie PPS deutlich besser ab als ein technischer Kunststoff wie Polyamide PA66, selbst wenn dieser glasfaserverstärkt ist.

Hochleistungskunststoff PPS im Vergleich zu technischem Kunststoff PA

Kunststoff	PPS GF 40	PA66 GF 40
E-Modul Normprüfkörper [GPa]	14,7	8,5
Zugfestigkeit Normprüfkörper [MPa]	195	145
Dauergebrauchstemperatur [°C]	-200 bis 240	-40 bis 150
Kurzzeitige Gebrauchstemperatur [°C]	260	240

Bild 10: Festigkeit von PPS GF 40 im Vergleich zu PA66 GF 40 [4]

3.3. Fazit aus Labortests und Literatur

Der Hochleistungs-Thermoplast Polyphenylensulfid (PPS) hat seine chemische Beständigkeit in Tests mit verschiedenen Säuren und Konzentrationen, die der typischen Belastung in der Rauchgasbehandlung von Klärschlammverbrennungsanlagen über mehrere Jahre entsprechen, bewiesen. Auch Mischsäuren, die durch ein hohes Oxidationspotential und mehrstufige chemische Reaktionen besonders aggressiv sind, widersteht PPS.

Glasfasern in der PPS-Variante GF 40 verbessern die mechanischen Eigenschaften ohne die chemische

Beständigkeit unter den getesteten Bedingungen zu beeinträchtigen. Auch Abrasionen der Oberfläche führen, anders als bei beschichteten Materialien wie hochlegierten Metallen, nicht zu einem Abbau des Werkstoffs durch Korrosion.

Auf Basis dieser überzeugenden Ergebnisse haben wir im nächsten Schritt PPS GF 40 über zwei Jahre direkt im Betrieb einer Klärschlammverbrennungsanlage getestet.

4. Feldtests in einer Klärschlammverbrennungsanlage

Gemeinsam mit dem Betreiber einer Schlammwässerungs- und -verbrennungsanlage (SEVA) wurden in einem Langzeittest mehrere Materialien, bzw. Werkstoffkombinationen erprobt, die für aggressive Umgebung besonders geeignet sind und eine hohe chemische, thermische und mechanische Beständigkeit bieten: PPS GF 40, PESU GF 30, PPS Graphit, PK GF 30.

Für den Praxistest wurden drei verschiedene Testumgebungen ausgewählt: eine im unteren Bereich der Anlage (Bereich saurer Kondensat-Ansammlungen), eine im oberen Bereich (Gaseintrittsbereich; Auftreten von Temperaturschwankungen) und eine im mittleren Bereich (variierende Bedingungen). An diesen Stellen wurden Teststücke verschiedener Werkstoffe ange-

bracht und zu Testzwecken gezielt mit Abrasionen versehen.

Nach sechs Monaten Betriebszeit wurde erstmalig geprüft, ob Materialveränderungen zu erkennen waren. Insgesamt dauerte der Test über zwei Jahre, um so den regulären Revisionszeitraum der Anlage abzubilden.

4.1. Chemische Beständigkeit

Der Langzeittest im Rauchgas der Klärschlammverbrennungsanlage belegt, dass PPS GF 40 seine chemische Widerstandsfähigkeit nahezu vollständig behält. Das zeigen sowohl Tests mehrerer Proben im Rohgas über sechs Monate als auch der Test im Aktivkohlebett

über zwei Jahre: Die Verformung unter Last nach zwei Jahren im Rauchgas unterscheidet sich kaum von unbehandeltem PPS GF 40, das zu Beginn des Tests nicht dem Rauchgas ausgesetzt war.

Biegefestigkeit PPS GF 40 Lagerung Rohgas

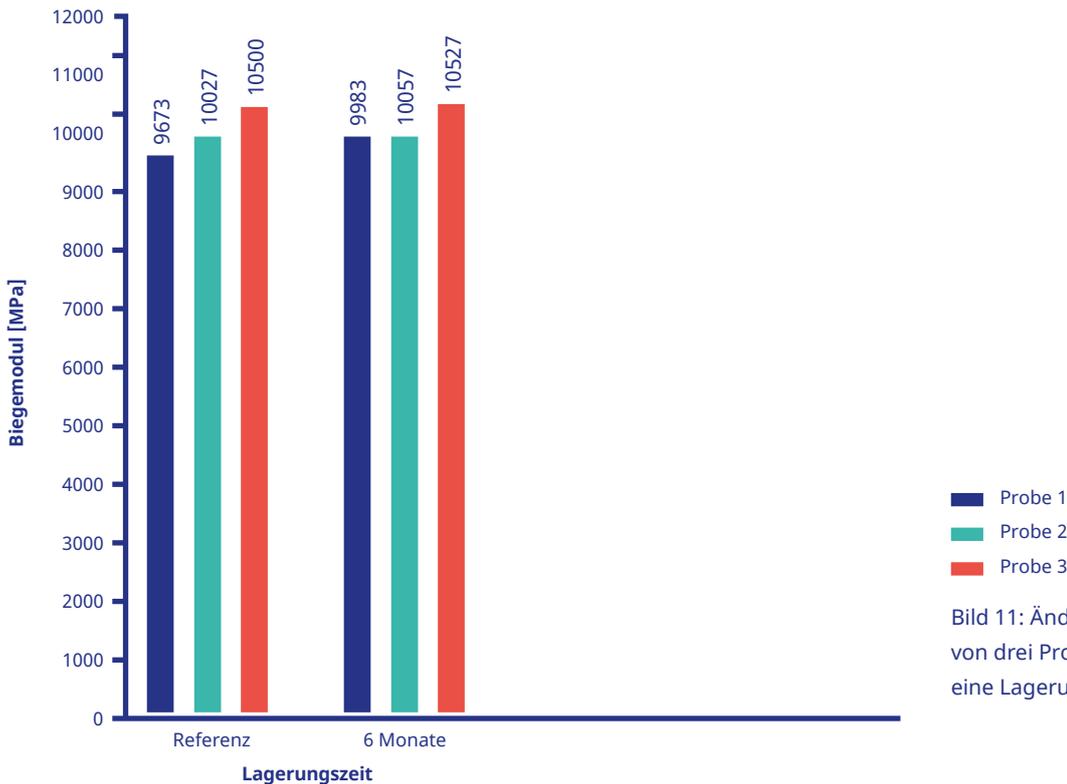


Bild 11: Änderung des Elastizitätsmoduls von drei Proben PPS GF 40 im Rohgas über eine Lagerungszeit von sechs Monaten

2 Jahre Langzeittest im Rauchgas

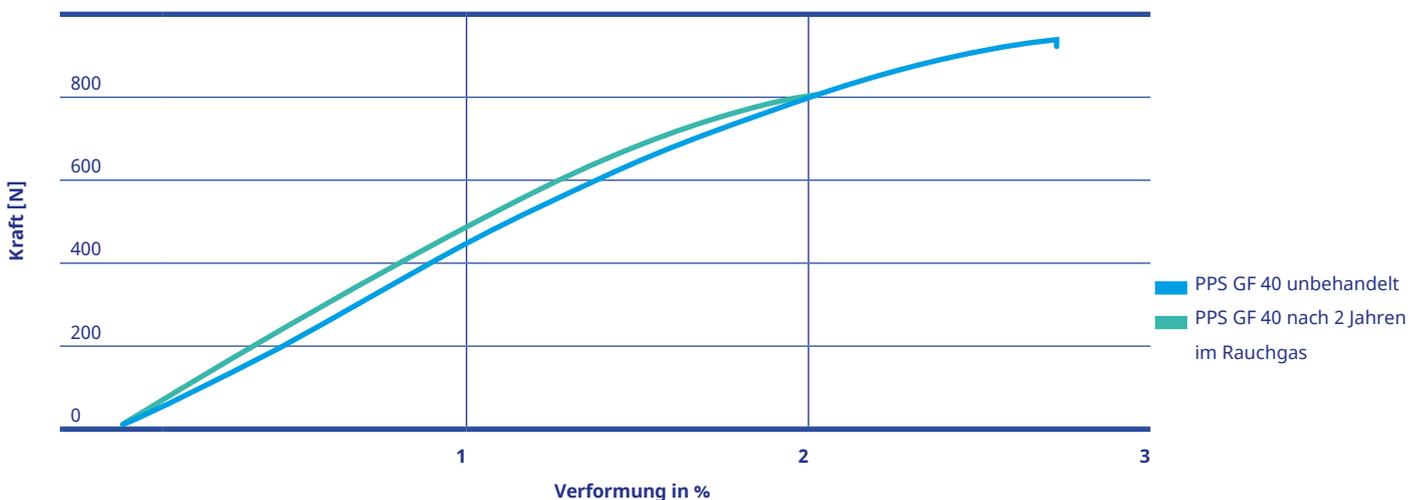


Bild 12: Verformung von PPS GF 40 unbehandelt und nach zwei Jahren in einer Filteranlage mit Schwefel-dotierter Aktivkohle unter Last

4.2. Oberflächenbeschaffenheit

Neben dem Verformungsverhalten unter chemischer und mechanischer Belastung wurde auch die Beständigkeit der Oberflächenbeschaffenheit von PPS GF 40 getestet. Mikroskopische Detailaufnahmen im Dünnschliff der Randschicht zeigen keine signifi-

kanten Unterschiede zwischen dem Referenzmaterial zu Beginn des Tests und dem Material nach sechs Monaten Lagerung im Rohgas der Rauchgasbehandlung.

Detailaufnahme der Randschicht, Referenz (links) und nach sechs Monaten Lagerung im Rohgas (rechts)

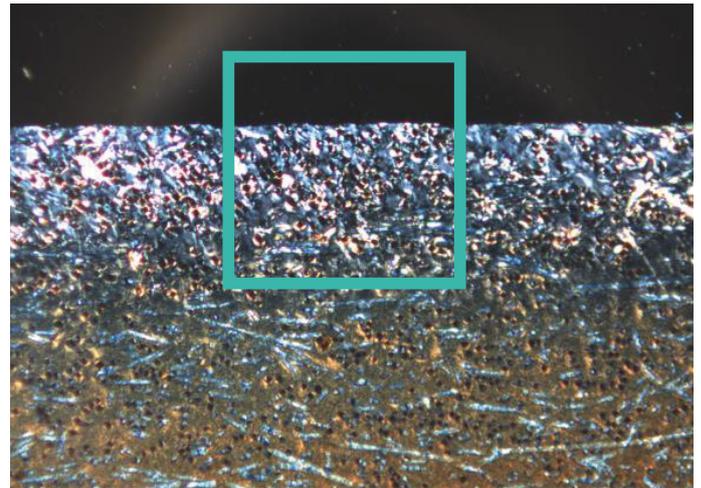
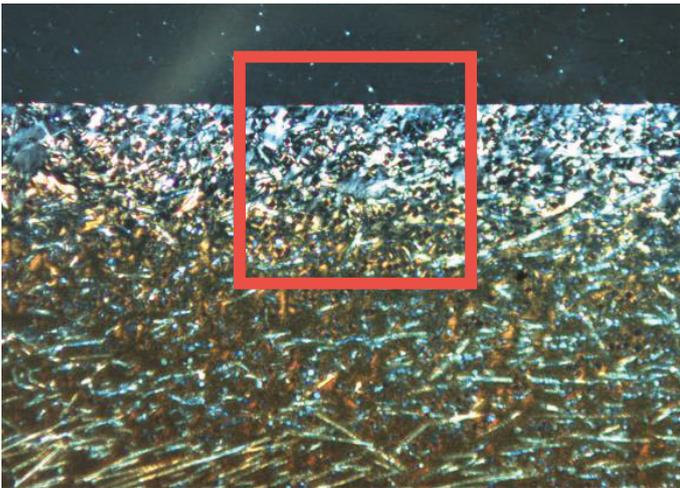


Bild 13 Dünnschliff mit Blick auf Randbereich. links: Referenz; rechts: nach 6 Monaten

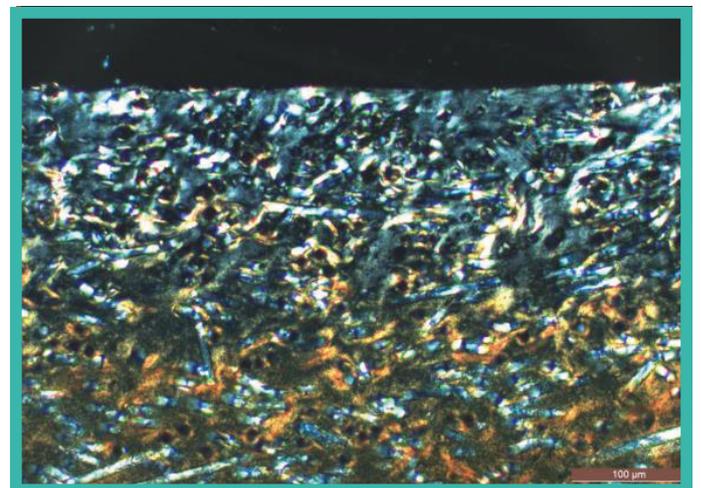
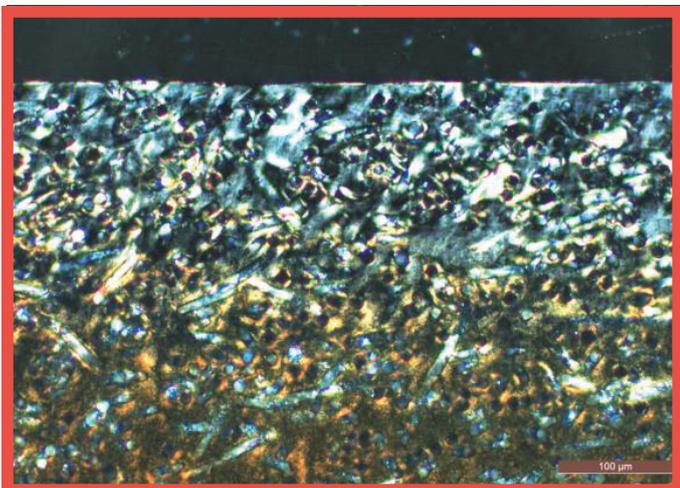


Bild 14 Details aus Bild 13, keine signifikanten Unterschiede

4.3. Chemische Beschaffenheit

In der Untersuchung mittels Differential Scanning Calorimetry (DSC) konnte kein Abbau des Polymers in Folge eines chemischen Angriffs festgestellt werden. Charakteristisch wäre hierbei eine Verbreiterung des

Schmelzpeaks bzw. eine Verschiebung zu niedrigeren Temperaturen aufgrund einer kürzeren Kettenlänge.

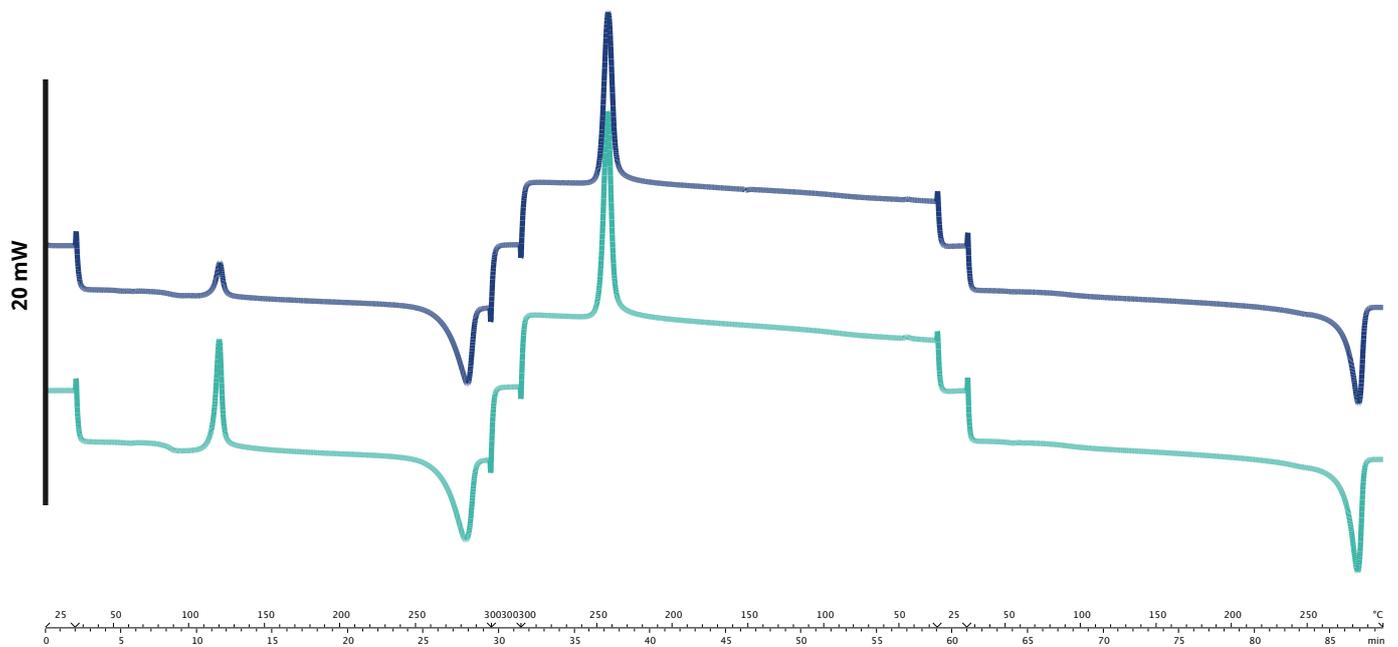


Bild 15: DSC-Untersuchungen am Bauteil

■ DSC PPSGF40 SEF Probe 6 Monate
■ DSC PPSGF40 SEF Referenz

4.4. Fazit aus dem Feldtest

Von den vier getesteten Werkstoffen konnten im Langzeittest zwei den mechanischen Anforderungen nicht standhalten: PPS Graphit erwies sich als zu spröde und PK GF 30 veränderte seine Form. Diese beiden Werkstoffe schieden folglich für die anschließende Betrachtung der chemischen Beständigkeit aus. In die engere Wahl kamen zwei glasfaserverstärkte Werkstoffe: PPS GF 40 mit einem Glasfaseranteil von 40 % und PESU GF 30 mit einem Glasfaseranteil von

30 % (hier nicht dargestellt). Diese überzeugten sowohl durch hohe mechanische als auch durch hohe chemische und thermische Beständigkeit. Den feinen Unterschied macht in der Praxis am Ende die Wirtschaftlichkeit des eingesetzten Werkstoffs, insbesondere der Materialpreis und die Effizienz in der Verarbeitung. Hier erweist sich PPS GF 40 als das Material der Wahl.

5. Vom Feldtest zur Kunststofflösung

In Labor- und Feldtests in der Rauchgasbehandlung von Klärschlammverbrennungsanlagen konnten wir nachweisen, dass sich PPS GF 40 sehr gut als Werkstoff für Strukturbauteile in extremen Umgebungen eignet. Dieser Thermoplast wird damit in vielen Anwendungen zu einer leistungsfähigen Alternative zu Duroplasten und legierten Metallen. Um die Belastbarkeit dieses Materials nachzuweisen, wurden

mechanische Tests an den fertigen Profilen durchgeführt. Diese Tests bilden u. a. die Belastung während der Installation oder durch das Stapeln im Anwendungsfall ab. Auch der Transport mit Verdrehung und Schlag wurde simuliert. Im Folgenden ist ein kleiner Ausschnitt dieser Tests ausgeführt.

5.1. Beispiel Quecksilberfilter von W. L. Gore & Associates

Das GORE® Mercury Control System (GMCS) [5] ist ein fest eingebautes Sorbens-System für die Abscheidung von elementarem und oxidiertem Quecksilber in der Gasphase aus industriellen Rauchgasen. Das System beruht auf stapelbaren Modulen, die je nach Anforderung in die Rauchgasreinigung integriert werden. Aus statischen Gründen und wegen der aggressiven Umgebungsbedingungen bestand die aus Profilen und Eckverbindungen zusammengesetzte Rahmenkonstruktion der Module lange Zeit aus einer Nickel-Molybdän-Legierung. In einem Entwicklungsprojekt zwischen W. L. Gore & Associates und Techno-

form wurde erreicht, dass zukünftig tragende Profile und Verbindungselemente aus PPS GF 40 eingesetzt werden.



Bild 16: Rahmenkonstruktion des GORE® Mercury Control Systems aus Thermoplast

5.2. Profile aus PPS

Zur Realisierung des Rahmensystems, wurden die tragenden und stützenden Eckprofile aus PPS GF 40 in Form eines L-förmigen Hohlkammer-

profils extrudiert. Die Verbindungselemente an den Enden der Profile wurden aus dem gleichen Material spritzgegossen.

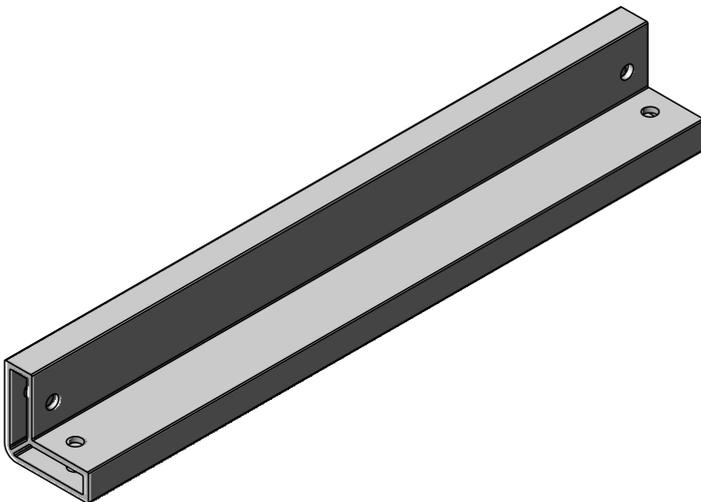


Bild 17: Eckprofile aus PPS, Länge: 294 mm; Wandstärke: 2,5mm



In einer hydraulischen Presse konnte nachgewiesen werden, dass die Profile mit einer Wandstärke von nur 2,5 mm samt Eckverbinder einer Belastung von bis zu 2,5 Tonnen standhalten. Somit ist sichergestellt, dass die Rahmenkonstruktion auch bei Stapelung einer Vielzahl von Filtermodulen und zusätzlicher Mannlast bei der Montage und Wartung den mechanischen Belastungen sicher standhält.

Bild 18: Eckprofil im Belastungstest
(Quelle: W.L. GORE ASSOCIATES)



Bei der Installation in der Anlage werden die Filtermodule gestapelt. Je nach Anzahl der Module wirken auf jedes einzelne Modul bestimmte Lasten, die in einer weiteren Versuchsanordnung getestet wurden. 320 kg Last, die zentral auf die Rahmenkonstruktion (Profile und Vernietung) wirkt, entspricht dem Vierfachen der Mannlast, die bei der Montage auf ein Modul wirken kann.

Bild 19: Eckprofil im Belastungstest
(Quelle: W.L. GORE ASSOCIATES)

5.3. Verbindungselemente

Für die Verbindung von stützenden Eckprofilen und tragenden Profilen kommen verschiedene Arten in Betracht: zum einen die formschlüssige Verbindung, bei der die Profile durch Reibschweißen (EN ISO 4063: Prozess 42) oder durch Ultraschallvernetzung verbunden werden. Zudem besteht die Möglichkeit, mechanisch zu verbinden und zu kleben.

Beim GORE® Mercury Control System aus Thermoplast hat man sich für eine formschlüssige Vernetzung entschieden, bei der in Spritzguss gefertigte Pins erhitzt und verpresst werden. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass es sehr schonend gegenüber den Glasfasern im Kunststoff ist sowie schnell und reproduzierbar umgesetzt werden kann. Gleichzeitig wird für alle Konstruktionselemente das gleiche Material verwendet. Zusätzliche Materialtests sind damit nicht nötig.

Zudem lässt sich die Vernetzung auch bei komplexen Profilgeometrien mit Ecken, die schwer zugänglich sind, reproduzierbar und schnell durchführen. Der Rahmen des GORE® Mercury Control Systems ist so konstruiert, dass bei normaler Belastung keine Scherkräfte auf die Kunststoffpins wirken. Trotzdem wurde in Nietschertests die Belastbarkeit von erhitzten und nicht erhitzten Nieten geprüft. Die gleichbleibende Belastbarkeit der Pins vor und nach der Vernetzung zeigt, dass durch den Umformprozess keine Schädigungen des Materials oder der Fasern hervorgerufen werden. Quantitativ entspricht die Belastbarkeit in etwa dem 3-fachen (mit Sicherheitsfaktor) des Zielwerts.

Niet-Schertest mit nicht vernieteten und vernieteten Pins aus PPS GF 40

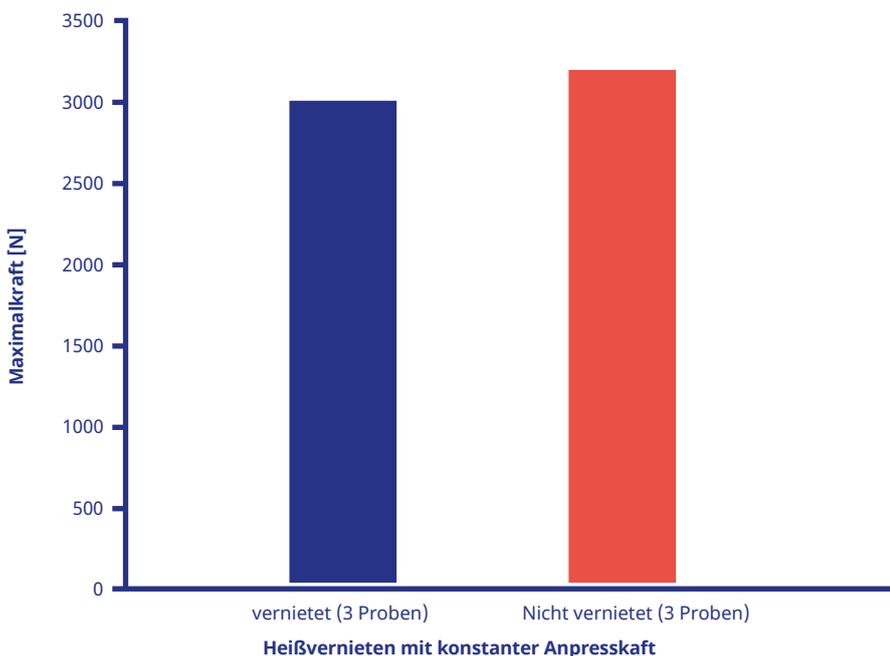


Bild 20: Niet-Schertest mit nicht vernieteten und vernieteten Pins aus PPS GF 40

6. Zusammenfassung

Der Korrosionsschutz ist eine zentrale Herausforderung für Ingenieure und Betreiber von Rauchgasreinigungsanlagen in der thermischen Klärschlammbehandlung. Strukturbauteile aus chemisch resistentem Kunststoff als Vollmaterial können in vielen Anwendungen zur Optimierung des Korrosionsschutzes beitragen und gängige Verbundmaterialien wie Duroplaste und hochlegierte Metalle ersetzen. In Labor- und Feldtests konnten wir die chemische und

mechanische Beständigkeit insbesondere von PPS mit 40 % Glasfaseranteil (GF 40) sowohl für tragende und stützende Profile als auch für Verbindungselemente wie Kunststoffnieten nachweisen. Dementsprechend ist PPS GF 40 heute schon in der Rauchgasbehandlung erfolgreich im Einsatz und wird hier an Bedeutung gewinnen.

7. Literatur

- [1] M-Base Engineering+Software GmbH, Material Data Center – Werkstoffdaten, <https://www.materialdatacenter.com> [Stand: 06.09.2021]
- [2] Schmid, Susanne: Zukünftige Klärschlammverbrennung der Stadtentwässerung Frankfurt am Main“, 2018. https://www.vivis.de/wp-content/uploads/VvK/2018_VvK_259-272_Schmid [Stand: 06.09.2021]
- [3] Statistisches Bundesamt: Pressemitteilung Nr. 036 vom 27. Januar 2021, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/01/PD21_036_32214.html [Stand: 06.09.2021]
- [4] Technoform GmbH: Extrusionsprofile aus glasfaserverstärktem Polyphenylensulfid (PPS) in High-End Qualität, <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/technoform-kunststoffprofile-gmbh/Extrusionsprofile-aus-glasfaserverstaerktem-Polyphenylensulfid-PPS-in-High-End-Qualitaet/boxid/551549> [Stand: 06.09.2021]
- [5] W. L. Gore & Associates: GORE Mercury und SO₂ Control System für Verbrennungsanlagen, <https://www.gore.de/resources/broschuere-gore-mercury-und-so2-control-system-fuer-verbrennungsanlagen> [Stand: 06.09.2021]
- [6] World Corrosion Organization (WCO): 2021 Corrosion Awareness Day, <https://corrosion.org> [Stand: 06.09.2021]



Automobilbau



Luftfahrt



Chemische Industrie



Baubranche



Elektrotechnik



Isolierglasherstellung



Beleuchtung



Maschinenbau



Öl- und Gasindustrie



Energieerzeugung



Schienenverkehr



Meerwasserentsalzung



Schifffahrt



Raumlufttechnik



Fenster/Türen/
Fassaden

8. Technoform – Maßgefertigte Profile aus technischen Kunststoffen

Technoform bietet eine breite Palette maßgefertigter Lösungen und Standardanwendungen aus Kunststoff - und das weltweit und für eine Vielzahl von Branchen. Für Anwendungen in aggressiven Umgebungen, wie sie bei der industriellen Rauchgasbehandlung vorzufinden sind, setzen wir hauptsächlich auf den Werkstoff PPS. Dieser zeichnet sich durch eine sehr hohe chemische Beständigkeit in Kombination mit herausragenden mechanischen Eigenschaften aus. Auf Basis dieses Werkstoffes entwickeln wir komplexe Konstruktionselemente, die unterschiedliche Herstellverfahren und Verbindungstechniken vereinen und als Komplettlösung aus einer Hand angeboten werden.

Technoform ist ein Familienunternehmen mit über 45 Produktions- und Vertriebsstandorten weltweit. Als Hersteller von Kunststoffprofilen sind wir mit mehr als 1.600 Mitarbeitern global vertreten.

Durch unsere zahlreichen Standorte sind wir immer da, wo unsere Expertise benötigt wird. Gleichzeitig können wir auf ein flexibles und weltweites Netzwerk bauen, in dem wir unser Wissen und unsere langjährige Erfahrung in der Verarbeitung Technischer- und Hochleistungskunststoffe teilen. So können wir maßgeschneiderte Lösungen anbieten.

Kontakt

Dr. Thorge Brünicg
R&D Engineer

Telefon: +49-561-95839-66

E-Mail: thorge.brueinig@technoform.com

TECHNOFORM

Technoform Kunststoffprofile GmbH
Otto-Hahn-Straße 34
34253 Lohfelden
Germany

T +49 561 95839-00
F +49 561 95839-21
E info.otsde@technoform.com

I www.technoform.com