

Entwicklung thermisch gespritzter Beschichtungen zur Erhöhung der Erosionsresistenz von Wickeldrahtfiltern

Development of thermally sprayed layers for improved erosion resistance of wire wrapped screens

Von L. OCHMANN, M. M. AMRO, B. GRONDE, G. FISCHER und J. GRÜTZNER*

*Lukas Ochmann, Moh'd M. Amro, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau, TU Bergakademie Freiberg, Bernd Gronde, Gundula Fischer, Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Hermsdorf, Jörg Grützner, con-slot Screens Development&Trading Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft. E-Mail: Lukas.Ochmann@tbt.tu-freiberg.de

0179-3187/20/10 DOI 10.19225/201003
© 2020 DVV Media Group GmbH

Abstract

The installation of sand screens is one of the main options to prevent the production of mobilized formation particles in oil, gas and geothermal wells. The screens have defined openings to control particles but can fail by causing a low permeable zone in the annulus leading to a decline in production or by continuous production of solids if specified wrong.

Apart from wrong specification, the four mechanisms that can lead to a failure are erosion, deformation, corrosion and plugging.

To improve the erosion resistance of wire wrapped screens, a coating was developed and tested. The coating consists of hard metal or ceramics and is applied to the outside of the screens by thermal spraying. Investigations regarding all four failure mechanisms were conducted and the coating process adapted according to the findings. The result is a coating that is resistant under erosive conditions and keeps the initial slot width for extended production periods. The compound of stainless steel screen and coating is stable in corrosive environments similar to wellbore conditions, mechanically able to be installed in any well and shows comparable sand retention characteristics to uncoated screens. The coating, therefore, has the ability to improve the lifetime of wire wrapped screens in wells.

Kurzfassung

Die Installation von Sandfiltern ist eine Möglichkeit, die Produktion von mobilisierten Formationspartikeln in Öl-, Gas- und Geothermiebohrungen zu verhindern. Sie können entweder allein oder als Teil eines Gravel Packs eingebaut werden. Gängige Filter sind beispielsweise Wickeldraht- oder Gewebefilter. Sandfilter haben genau spezifizierte Öffnungen, um eine Sandkontrolle herzustellen. Bei falscher Auslegung kann es jedoch zu einer dauerhaften Produktion von Feststoffen oder einer Abnahme der Produktion durch erhöhten Druckabfall im bohrlochnahen Bereich kommen. Während Betrieb, Installation und Workovermaßnahmen können darüber hinaus vier Mechanismen zu einem Versagen des Filters führen: Erosion, Korrosion, Deformation und Verstopfung.

(Foto: stock.adobe.com)

EEK Aus der Redaktion

Leserbriefe

Diskutieren Sie mit und schreiben Sie uns Ihre Meinung per Mail an:
leserbriefe@eid.de



Um die Erosionsbeständigkeit konventioneller Wickeldrahtfilter zu erhöhen, wurde eine Beschichtung entwickelt und laborativ getestet. Die Beschichtung besteht aus Keramik oder Hartmetall und wird mittels Thermischem Spritzen auf der Außenseite der Filter aufgetragen. Ein umfangreiches Versuchsprogramm zu allen vier Versagensmechanismen wurde abgearbeitet. Dabei wurde die Haftung der Beschichtung an Edelstahl unter bohrlochähnlichen Bedingungen untersucht und mechanische Tests zur Festigkeit des Verbundes durchgeführt. In zwei neu entwickelten Versuchsanlagen wurden das Filtrationsverhalten und die Erosionsbeständigkeit verschiedener Filter vergleichend untersucht. Dabei konnte herausgefunden werden, dass die Beschichtung die Filter auf der Außenseite beständiger gegen Erosion macht. Dadurch kann die für die Sandkontrolle wichtige Spaltweite sehr lange konstant gehalten werden. In Sand Retention Tests wurde kein Unterschied im Filtrationsverhalten beschichteter und unbeschichteter Filter festgestellt. Dadurch hat die Beschichtung das Potential, die Lebenszeit von Wickeldrahtfiltern unter erosiven Bedingungen deutlich zu erhöhen.

Einleitung

Die Strömung von Erdöl, Erdgas und Grundwässern zu Bohrungen führt in vielen Fällen zu einer Mobilisierung von Formationspartikeln. Dieses Phänomen wird als Sandproduktion bezeichnet. Zur Minimierung und Verhinderung von Sandproduktion wurde im Laufe der Zeit eine Vielzahl operativer und technischer Methoden entwickelt. Zu diesen zählt der Einbau eines mechanischen Filters vor der produktiven Schicht. Die Filter können allein als Standleone Screen (SAS) oder als Teil eines Gravel Packs eingesetzt werden. Zu den gängigsten Typen gehören Wickeldrahtfilter und Gewebefilter. Wickeldrahtfilter werden hergestellt, indem ein einzelner Draht (Profildraht) mit dreieckigem Querschnitt um kreisförmig angeordnete Stäbe (Stützstäbe) gewickelt und an den Verbindungspunkten mit diesem verschweißt wird. Der spiralförmig verlaufende Profildraht erzeugt dabei einen einzelnen Spalt entlang des gesamten Filters. Dieser Spalt wird so ausgelegt, dass er in der Lage ist, die Produktion von Formationspartikeln zu verhindern. Gängige Spaltweiten für Anwendungen in Öl- und Gasbohrungen liegen im Bereich von 100 µm bis 500 µm. Die Fertigungstoleranz liegt bei ±25 µm. Sandfilter funktionieren durch Brückenbildung nach der Theorie von Coberly[1] oder direktes Zurückhalten einzelner Partikel am Spalt. In Gravel Packs ist der Spalt kleiner als alle Partikel des eingebrachten Sandes und hält diese so zurück. Für Standleone-Anwendungen wird der Spalt so ausgelegt, dass der größte Teil der Partikelgrößenverteilung den Filter passieren kann. Die Partikel, deren Durchmesser größer als der Spalt sind, werden bei der Inbetriebnahme im Ring-

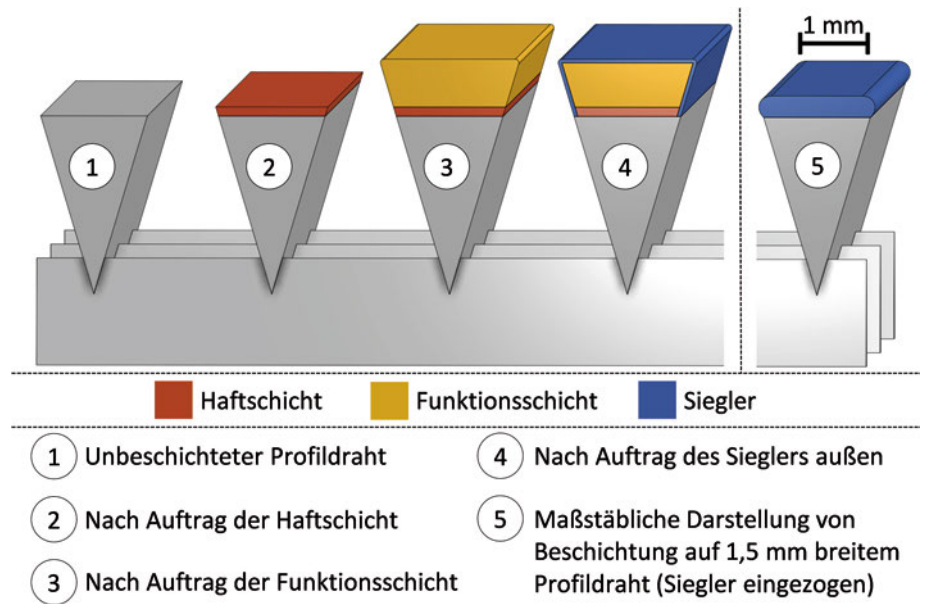


Abb. 1 Schematische Visualisierung der Herstellungsschritte, des Schichtenaufbaus und des Endproduktes

raum zurückgehalten, sodass eine permeable Schicht entsteht, die nach und nach alle Formationspartikel kontrolliert. Eine gängige Regel zur Auslegung ist das sogenannte Gulf-Coast-Kriterium, nach der der Spalt so groß ist, das die größten 10 % der Partikel nicht direkt hindurchpassen [2]. Für eine genaue Auslegung können Sand Retention Tests durchgeführt werden [3]. Hierbei wird durch systematische Untersuchungen des Filtrationsverhaltens von unterschiedlichen Spaltweiten und Filtergeometrien mit dem Formationssand der passende Filter gewählt oder eine mögliche Bandbreite definiert [4]. Der Einsatz einer mechanischen Sandkontrollmaßnahme kann auf zwei Weisen scheitern. Offensichtlich ist ein Scheitern durch anhaltende Sandproduktion. Dies ist z. B. der Fall bei einer zu groß gewählten Spaltweite eines Standleone Screens. Möglich ist aber auch, dass die Sandkontrollmaßnahme zu einem zu großen Einfluss auf die Produktivität führt. Im Extremfall kommt es zur Ausbildung einer geringpermeablen Schicht außerhalb des Filters und einem fast vollständigen Erliegen der Produktion. Das Ziel mechanischer Sandkontrollmethoden ist es also, den Balanceakt zwischen anhaltender Sandproduktion und Produktionsratenabnahme zu meistern. Neben falscher Auslegung können vier verschiedene Versagensmechanismen zu einem der zwei Zustände führen: Deformation, Korrosion, Verstopfung und Erosion. Die Mechanismen können sich gegenseitig beeinflussen. Dies macht die Identifikation des ursächlichen Mechanismus im Falle eines Scheiterns schwierig.

Zu Erosion kann es immer kommen, wenn Partikel zum Filter und durch die Öffnungen transportiert werden und diesen dabei berühren. Dies passiert bei der Inbetriebnahme von Standleone Screens. Bei Gravel Packs kann dieser Fall auftreten, wenn dau-

erhaft feine Formationspartikel mobilisiert werden, die kleiner als die Porenhäule des Gravels sind. Besonders anfällig für Erosion sind Gasbohrungen mit hohen Fließgeschwindigkeiten, vor allem im Fall von Cased-Holes[5]. Bei einer partiellen Verstopfung des Ringraums kann es zu einer Konzentration der Strömung auf kleine Bereiche des Filters kommen. Diese Stellen sind durch die lokal erhöhte Fließgeschwindigkeit anfällig für Erosion[6]. Das Versagen durch Erosion in Cased-Holes wird von Cameron und Jones[5] wie folgt beschrieben: Partikel werden in der Formation bzw. an der Bohrlochwand mobilisiert und beschleunigt. Sie treffen mit hoher Geschwindigkeit auf den Filter und führen dort zu einem Materialabtrag. Anschließend werden sie entweder ins Innere transportiert, prallen zurück in den Ringraum oder bilden Brücken auf den Öffnungen. Der Ringraum füllt sich nach und nach mit Partikeln und sobald ein direkter Aufschlag von Partikeln auf den Filter durch die Zurückgehaltenen verhindert wird, sinkt die Erosionsrate deutlich.

Werden die Filter in der initialen Phase so stark erodiert, dass eine Sandkontrolle nicht mehr möglich ist, kommt es zu einem dauerhaften Durchfluss von Partikeln. Dadurch wird die Erosion mit der Zeit stärker und die Lebenszeit des Filters extrem verkürzt. Essenziell für einen dauerhaften Einsatz unter erosiven Bedingungen ist es daher, die initial spezifizierte Spaltweite so lange wie möglich beizubehalten. An dieser Stelle setzt die neu entwickelte Beschichtung an. Diese besteht aus hartem, erosionsbeständigem Material und wird durch Thermisches Spritzen auf die Außenseite der Profildrähte eines Wickeldrahtfilters aufgetragen. Ein umfangreiches Entwicklungsprogramm zu allen Versagensmechanismen wurde abgearbeitet. Ziel war eine Erhöhung der Erosionsbeständigkeit bei Beibehaltung der gleichen

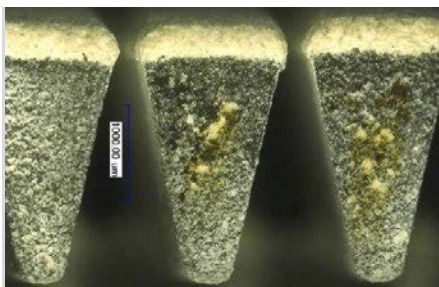


Abb. 2 Seitenansicht Keramik-beschichteter Profildrähte

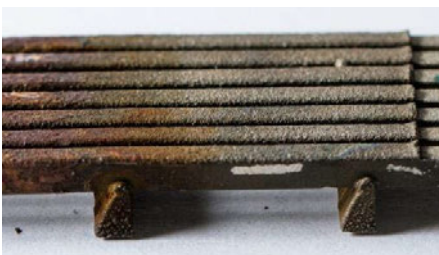


Abb. 3 Beschichtete Probe aus Wickeldrahtfilter nach 18 Wochen Korrosion



Abb. 4 Beschichtete Ronden vor Korrosion



Abb. 5 Beispiel für das Ablösen einer Funktionsschicht vom Profildraht ohne Einsatz einer Haftschiicht

Funktionsweise. Zusätzlich sollten die beschichteten Filter die gleiche Korrosionsresistenz aufweisen und mechanisch in der Lage sein, sicher in Bohrlöchern eingebaut, ausgebaut und dauerhaft betrieben werden zu können.

Herstellung und Aufbau der Schichten

Beim Thermischen Spritzen werden pulverförmige Grundstoffe in einem Plasmastrahl geschmolzen und mit hoher Geschwindigkeit auf einen Träger aufgebracht. Die geschmolzenen Pulverpartikel erstarren auf dem Träger und bilden eine sehr feste Schicht mit geringer Restporosität. Die Haf-

tung mit dem Träger geschieht dabei rein mechanisch. Es kommt nicht zu einer chemischen Bindung.

Für die Beschichtung eines Wickeldrahtfilters sind mehrere Schritte notwendig. Zunächst wird die Außenseite definiert, gleichmäßig mit fraktioniertem Sand abgestrahlt, um die Oberfläche der Profildrähte aufzurauen. Dieser Schritt ist eine wichtige Voraussetzung für eine sehr gute mechanische Haftung der Schicht. Als nächstes wird mittels Thermisches Spritzen eine sogenannte Haftschiicht aufgetragen. Erst dann erfolgt das Auftragen der erosionsbeständigen Funktionsschicht ebenfalls durch Thermisches Spritzen. Diese kann aus keramischen Materialien oder Hartmetallmischungen bestehen. Zur Erhöhung der Korrosionsresistenz wird ein flüssiger Siegler aufgetragen. Dafür wird die Restporosität der Funktionsschicht genutzt. Der Siegler zieht in die Poren ein und erhärtet durch eine thermische Nachbehandlung. Über die Auswahl des Sieglers lassen sich die Benetzungseigenschaften der Beschichtung beeinflussen. Perspektivisch könnten so auch Ablagerungen an Außenseite und Spalt des Filters vorgebeugt werden.

Die Herstellungsschritte und der Schichtenaufbau sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Dicke der gesamten Beschichtung beträgt etwa 300 µm. Davon entfallen 50 µm auf die Haftschiicht und 250 µm auf die Funktionsschicht. Durch das Auftragen der Beschichtung verändern sich die Spaltbreite und Geometrie des Spaltes (Abb. 2). Durch die richtige Auswahl der initialen Spaltweite des Edelstahlfilters, die Optimierung der Spritztechnologie sowie die Auswahl geeigneter Spritzpulverkörnungen können konstante Spaltweiten mit Fertigungstoleranzen von maximal 50 µm hergestellt werden. Dies entspricht der geforderten Toleranz unbeschichteter Wickeldrahtfilter.

Durch die große Anzahl verschiedener Beschichtungsbestandteile war eine der Hauptaufgaben der Entwicklung, geeignete Beschichtungskombinationen (Haftschiicht + Funktionsschicht + Siegler) zu finden. Diese müssen alle Anforderungen an einen dauerhaften, sicheren Betrieb unter Bohrlochbedingungen erfüllen. Erreicht wurde dies, indem schrittweise Kombinationen und Bestandteile ausgeschlossen wurden, die sich in den unterschiedlichen Tests als ungeeignet erwiesen.

Korrosionsuntersuchungen

Das Auftreten von Korrosionserscheinungen ist abhängig von der Werkstoffauswahl und den chemischen Bedingungen im Bohrloch. Ziel der Korrosionsversuche war die Identifikation von Beschichtungskombinationen, die sich unter Bohrlochbedingungen nicht vom Stahl ablösen. Die Korrosionseigenschaften des Stahls und der einzelnen Beschichtungsbestandteile wurden nicht untersucht. Als Träger für die Untersuchungen wurde 1.4404 Edelstahl (AISI 316L) gewählt.

Dies ist ein gängiger Werkstoff für Wickeldrahtfilter und zeichnet sich durch gute Korrosionsbeständigkeit aus.

Für die Identifikation korrosionsbeständiger Beschichtungen wurden insgesamt 237 Proben unter verschiedenen Bedingungen untersucht. Es wurden beschichtete Wickeldrahtfilter (Abb. 3) und Ronden für Haftzugversuche (Abb. 4) nach DIN EN ISO 14916 korrodiert. Zur Nachbildung von Bohrlochbedingungen wurden die Proben einer Lagerstättenwasser-ähnlichen Salzlösung und verschiedenen Gasatmosphären ausgesetzt. Untersucht wurde unter anderem der Einfluss von Chlorid-, Natrium-, Calcium-, Magnesium- und Sulfationen unter Kohlenstoffdioxid- und Wasserstoffatmosphären. Die Versuche wurden bei Temperaturen von 60°C und 80°C und Drücken von 10 bar und 20 bar über bis zu 18 Wochen durchgeführt. Neben »gewöhnlichen« Bohrlochbedingungen wurde auch eine Stimulation mit Salzsäure (HCl) untersucht. Dafür wurden Proben für 46 h bei 60°C 10%-iger Salzsäure ausgesetzt.

Aus vier Haftschiichten, sechs Funktionsschichten und fünf Siegler konnten mehrere Kombinationen gefunden werden, die allen Untersuchungsbedingungen standhielten. Die Versuche zeigten außerdem deutlich den positiven Einfluss von Haftschiichten (Abb. 5) und Siegler auf die Beständigkeit des Schichtsystems.

Festigkeitsuntersuchungen

Hinsichtlich der Anforderungen an die Qualität von Sandkontrollfiltern enthält die DIN EN ISO 17824[7] Anforderungen und Leitlinien für deren Konstruktion, Validierung der Konstruktion, Funktionsbewertung, Herstellung, Lagerung und Transport. Dabei werden die Filter als Gesamtkonstruktion getestet. Die gewonnenen Werte sind u.a. wichtig für den Einbau, Ausbau und Betrieb der Filter. Durch die zusätzliche Beschichtung der Filter verändern sich die Festigkeitswerte des Filters selbst nicht. Stattdessen sind für die Entwicklung, wie bei den Erosions- und Korrosionsversuchen auch, die Haftung der Beschichtung und damit die Integrität des Verbundes interessant. Diese ist besonders gefährdet, wenn es zu einer Verformung des Edelstahlträgers, z. B. beim Einbau in Horizontalbohrungen mit kleinen Kurvenradien kommt. Um Aussagen zur Deformationsbeständigkeit der thermisch gespritzten Schichten zu erhalten, können verschiedene mechanische Prüfungen durchgeführt werden. In allen Fällen ist dafür die Herstellung entsprechender Prüfkörper erforderlich. Materialauswahl und Beschichtung müssen dabei identisch mit denen der Beschichtung der Wickeldrahtfilter sein. Die Geometrie der Prüfkörper entspricht den Vorgaben der den Versuchen zugrundeliegenden Normen.

Eine besonders anwendungsnahe Prüfung ist der Biege-Torsionstest. Dabei werden die Prüfstäbe mit der Abmessungen l x b x h =

Tab. 1 Erosionsbedingungen der Vergleichsversuche

Parameter	Zahlenwert
Volumenstrom	24 l/min
Fließgeschwindigkeit durch engste Stelle der Probe	~12 m/s
Fließgeschwindigkeit oberhalb der Probe	0,35 m/s
Partikelkonzentration	5 g/l (0,5 %)
Partikelart	Quarz (SiO ₂)
Partikelgröße D50	23 µm

105 mm x 5 mm x 5 mm auf einer Universalprüfmaschine für Druck- und Zugprüfungen in eine spezielle Testvorrichtung eingespannt und einer kontinuierlich steigenden Kraft ausgesetzt, welche Biege-Torsionsspannungen erzeugt (Abb. 6 und Abb. 7). Bei der entwickelten Beschichtung sind bis zu einer Kraft von 700 N sind keine Risse oder Abplatzungen bei dieser Prüfung feststellbar. Erst bei einer extremen Torsion des Stabes von ca. 30° kommt es zur Abplatzung der Schicht.

Die Haftfestigkeiten der Schichtsysteme wurden außerdem mittels Haftzugversuch DIN EN ISO 14916[8] untersucht (Abb. 8). Als Trägermaterial für die Versuche kam der originale Wickeldrahtfilter-Werkstoff zum Einsatz, die Geometrie der Prüfmuster entsprach den Forderungen der Norm.

Die Messergebnisse geben Auskunft über den Einfluss der Oberflächenbehandlung und den Einfluss der Haftschrift auf die Haftfestigkeit des Schichtsystems. Bei Vergleichsmessungen an Funktionsschichten mit drei verschiedenen Zirkonoxid-Pulvern bei gleicher Unterstruktur zeigte sich jedoch auch ein Einfluss der Spritzpulverkörnung. Die beste Haftzugfestigkeit wird mit der feinen Spritzpulverqualität erreicht (Abb. 9). Die Beschichtung der Prüfkörper bestand dabei aus einer 50 µm dicken Haftschrift aus NiCr und der jeweiligen Zirkonoxidbeschichtung mit einer Dicke von ca. 250 µm.

Untersuchungen der Erosionsbeständigkeit

Um die Beständigkeit verschiedener Filter gegen Erosion zu untersuchen, wurde eine Versuchsanlage entwickelt und gebaut. Die Anlage besteht aus einem Strömungskreislauf, in dem eine Suspension aus Wasser und Partikeln kontinuierlich durch Filterproben zirkuliert werden kann.

Der Aufbau der Versuchsanlage ist in Abbildung 10 dargestellt. Im Tank werden 10 l Wasser mit Partikeln gemischt. Von dort pumpt eine Schlauchpumpe die Suspension in eine Zelle, in der die Filterproben montiert sind. Eine Leitung führt zurück zum Tank. Die Entleerung des Kreislaufs und Probenahmen sind zwischen Zelle und Tank über einen Auslasshahn möglich. Als Messwerte werden der Volumenstrom, die Fluidtemperatur und die Drücke in der Zelle aufgezeichnet.

Bei den Filterproben handelt es sich um flache Ronden (Coupons) mit einem Durchmesser von 50 mm. Davon können 38 mm (1,5“) durchströmt werden. Durch den Ein-

satz von Blenden kann der Durchmesser weiter verkleinert werden. Alle untersuchten Filterproben hatten eine nominelle Spalt- bzw. Öffnungsweite von 200 µm. Für die Untersuchung von Wickeldrahtfiltern wurden Coupons aus aufgeschnittenen, flach gewalzten Filtern gefertigt. Die Filter wurden aus 1,5 mm breiten Profil- und Stützdrähten hergestellt. Gewebefilter wurden durch fünf, getrennt beschaffte Schichten aus Lochblechen und Drahtgewebe nachgebaut. Eine Herstellung von Proben aus fertigen Gewebefiltern war nicht möglich. Die Proben sind damit vergleichbar zu anderen publizierten Untersuchungen[5, 6, 9].

Die Versuche wurden mit einem Volumenstrom von etwa 24 l/min durchgeführt. Die resultierenden Fließgeschwindigkeiten durch die Wickeldrahtfilter bei Einsatz einer 19 mm Blende lagen bei etwa 12 m/s. Als Erosionsfeststoff wurden Quarzpartikel verwendet. Die Partikelgrößenverteilung (gemessen mittels Laserbeugung) ist in Abbildung 11 dargestellt. Der D50 beträgt 23 µm. Alle Proben wurden für 30 h unter gleichen Bedingungen (Tab. 1) erodiert. Der Verschleiß wurde durch den Massenverlust quantifiziert und zusätzlich über Mikroskopaufnahmen dokumentiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Spaltöffnungen von beschichteten Wickeldrahtfiltern während der Versuche nicht verändern. Unbeschichtete Wickeldrahtfilter hingegen weisen deutliche Erosionsspuren und Stellen auf, an denen sich die Spaltweite mehr als verdoppelt (Abb. 12). Dies ist jedoch ein vereinfachter, weil zweidimensionaler Blick auf das Versagen der Filter. Ein Vergleich der Massenverluste der unterschiedlichen Proben zeigt, dass auch an den beschichteten Proben eine Abnahme der Masse stattfindet (Abb. 13). Bei einigen beschichteten Proben liegt dieser sogar höher als bei unbeschichteten. Um diesen Sachverhalt zu erklären, müssen die beteiligten Materialien und die Geometrie von Wickeldrahtfiltern beachtet werden.

Unbeschichtete Wickeldrahtfilter bestehen nur aus einem Material, in diesem Fall Edelstahl 1.4404 (316L). Die beschichteten Proben sind aus zwei Materialien zusammengesetzt: dem Edelstahl und der Beschichtung. Diese haben neben unterschiedlichen Härten (und damit Verschleißresistenzen) auch unterschiedliche Dichten. Im Vergleich zu Edelstahl haben die Keramikbeschichtungen eine niedrigere und die verwendeten Hartmetalle eine höhere Dichte. Da die opti-



Abb. 6 Versuchsaufbau für Biege-Torsionsversuche



Abb. 7 Probenkörper für Torsionsversuche nach den Untersuchungen

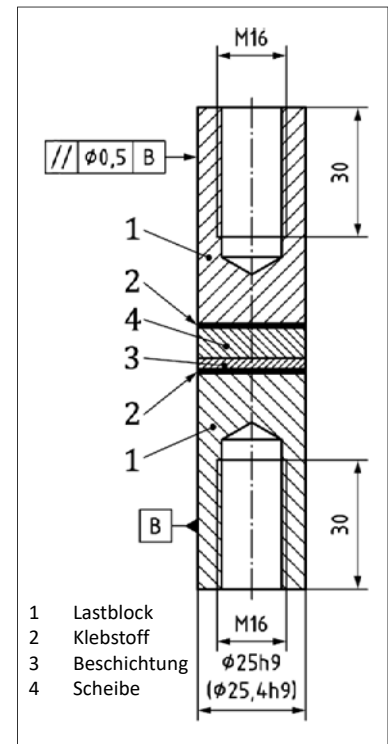


Abb. 8 Schematische Darstellung der Haftzugersuche (verändert übernommen aus DIN EN ISO 14916 [8])

sche Auswertung jedoch darauf hindeutet, dass die Schichten nicht (sichtbar) verschleißen, kann dies nicht die einzige Erklärung sein.

Es zeigt sich, dass Wickeldrahtfilter in den Versuchen an drei verschiedenen Stellen verschleißen können: An der Spaltöffnung selbst, im Inneren des Spaltes an den Flanken der Profildrähte und an den Spitzen der Stützstäbe (Abb. 14 und Abb. 15). In Bohrungen kann es durch die Rohrströmung im Inneren des Filters zusätzlich zu einer Erosion an der Unterseite der Stützstäbe kommen. Während die unbeschichteten Filter haupt-

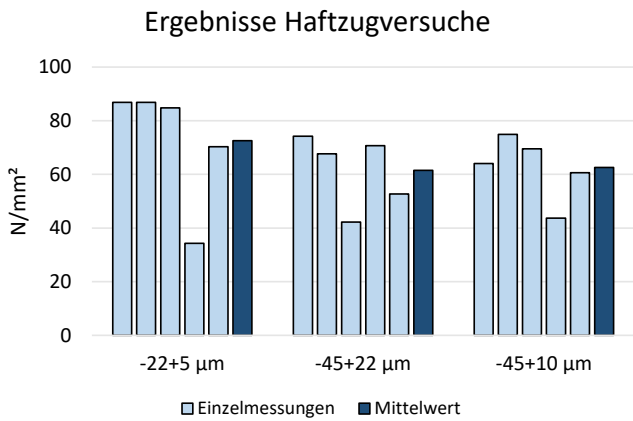


Abb. 9 Messwerte und Mittelwerte der Haftzugversuche für drei Spritzpulverkorngrößen

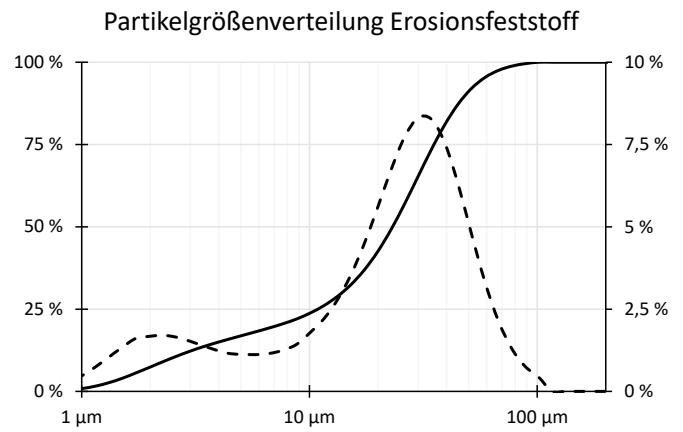


Abb. 11 Partikelgrößenverteilung der Suspensionsfeststoffe für die Erosion

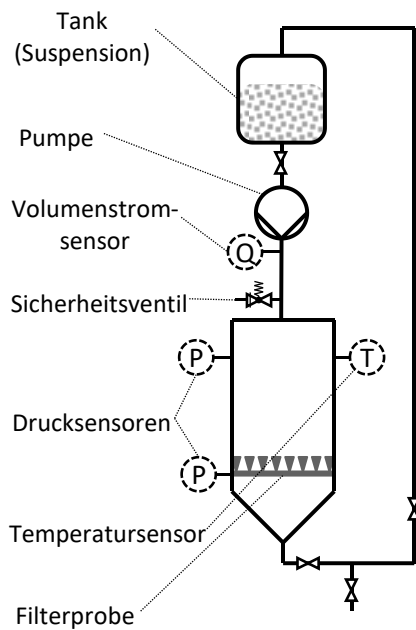
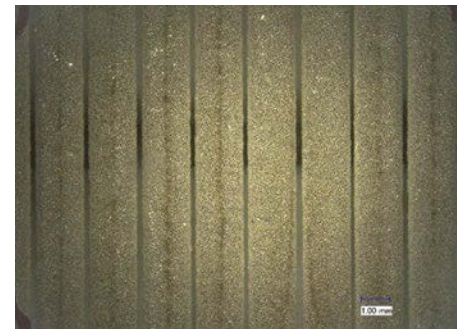


Abb. 10 Schematische Darstellung der Erosions-Versuchsanlage



unbeschichteter Filter vor Erosion



beschichteter Filter vor Erosion



unbeschichteter Filter nach Erosion



beschichteter Filter nach Erosion

Abb. 12 Vergleich beschichteter und unbeschichteter Filterproben vor und nach der Erosion (Mikroskop – 20x vergrößert)

sächlich an der Außenseite erodiert wurden, war der Materialabtrag bei den beschichteten Filtern verstärkt im Inneren an den Flanken der Profildrähte zu sehen.

Die Beschichtung verändert damit den Mechanismus, wie Wickeldrahtfilter verschleifen. Traditionelle Wickeldrahtfilter verschleifen hauptsächlich von außen nach innen. Sie verlieren unter erosiven Bedingungen Material an der Spaltöffnung und damit die Fähigkeit zur Sandkontrolle. Außen beschichtete Filter halten ihre Spaltweite sehr lange konstant, können aber weiterhin im Inneren durch feine Partikel erodiert werden. Die Auswirkung des Materialabtrags im Inneren ist im Vergleich zum Abtrag außen gering. Die Spalten beschichteter Filter weiten sich nicht mehr kontinuierlich nach innen auf, sie bleiben an der Oberfläche leicht verengt. Die un stetige Erweiterung hinter der Beschichtung könnte jedoch zu erhöhten Turbulenzen im Spalt führen. Es ist davon auszugehen, dass die Beschichtung zu einem gewissen Zeitpunkt mechanisch ver-

sagt, wenn zu viel Metall im Inneren abgetragen wurde. Die Kontrolle großer Partikel wird jedoch durch die konstante Spaltweite bis dahin aufrechterhalten, sodass sich die Lebenszeit des Filters verlängert.

Untersuchung der Funktionsfähigkeit

Die Funktionsweise von Wickeldrahtfiltern wird von der Geometrie des Spaltes bestimmt. Neben einer konstanten Spaltbreite an der Außenseite zählt dazu auch die Form des Spaltes im Inneren des Filters. In der Vergangenheit wurden zur Erhöhung der Erosionsbeständigkeit auch Filter aus rechteckigen Drähten hergestellt. Die daraus resultierenden geraden Spalten sind jedoch anfällig für Verstopfung. Moderne Wickeldrahtfilter zeichnen sich durch sogenannte Keystone Slots aus, die nach innen hin größer werden. Eine wichtige Eigenschaft der Profildrähte ist ein möglichst kleiner Kan-

tenradius, um einen verstopfungsanfälligen Trichter auf der Außenseite zu vermeiden. Wie auf Abbildung 2 zu sehen ist, verändert die Beschichtung trotz der geringen Dicke, die Geometrie des Spaltes. Es war daher wichtig zu untersuchen, ob die veränderte Spaltgeometrie zu veränderten Sandkontrolleigenschaften führt.

Um dies zu untersuchen, wurde ein Versuchsstand für Sand Retention Tests aufgebaut. Der Versuchsstand ist in Abbildung 16 schematisch dargestellt. An diesem wurden Prepacked Sand Retention Tests durchgeführt. In den Versuchen wurden beschichtete und unbeschichtete Wickeldrahtfilter mit der gleichen Spaltweite unter den gleichen Versuchsbedingungen untersucht. Die Unterschiede in Bezug auf die produzierte Sandmenge und die ausgebildete Permeabilität waren dabei bei beschichteten und unbeschichteten Filtern minimal.

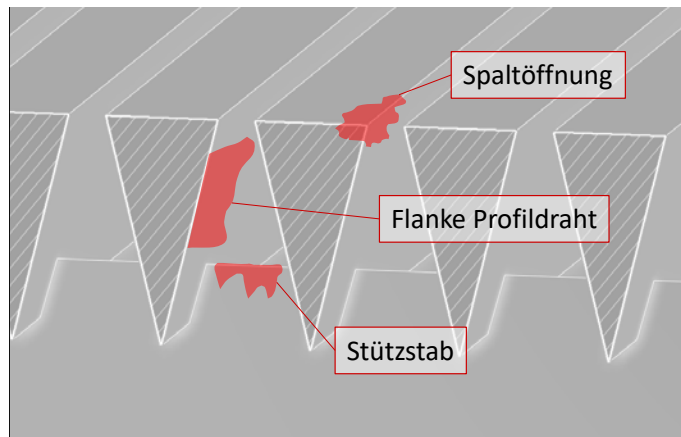
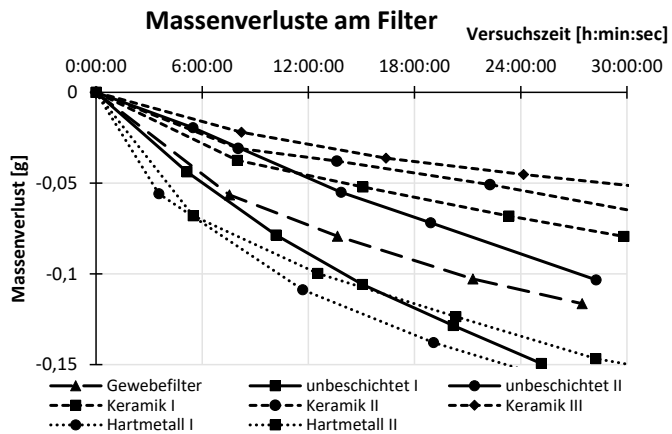


Abb. 13 Massenverluste verschiedener Filter

Abb. 14 Mögliche Verschleißstellen an Wickeldrahtfiltern

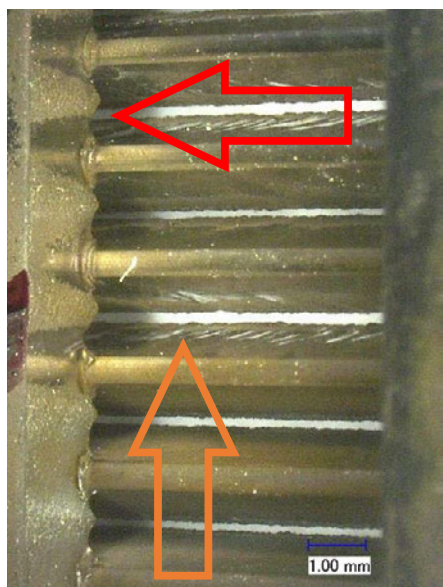


Abb. 15 Beispiel für Erosionserscheinungen an Profildrahtflanken (Orange) und Stützstäben (Rot)

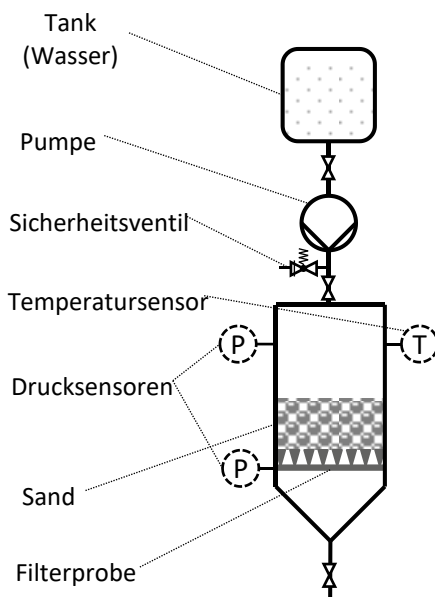


Abb. 16 Schematische Darstellung der Versuchsanlage für Sand Retention Tests

ted with selecting standalone screens and a new methodology for sand-control applications", SPE Drilling and Completion, Bd. 28, Nr. 3, S. 227–236, 2013, SPE-158922-PA.

- [4] P. Markestad, O. Christie, A. Espedal, und O. Rorvik, „Selection of Screen Slot Width to Prevent Plugging and Sand Production“, SPE Formation Damage Control Symposium, Lafayette, 1996, SPE-31087.
- [5] J. Cameron und C. Jones, „Development, Verification, and Application of a Screen Erosion Model“, SPE European Formation Damage Conference, Scheveningen, 2007, SPE-107437.
- [6] G. Gillespie und C. Jones, „Sand Control Screen Erosion – When Are You at Risk?“, SPE European Formation Damage Conference, Scheveningen, 2009, SPE-122269.
- [7] DIN EN ISO 17824, „Erdöl- und Erdgasindustrie – Bohrlochausrüstungen – Sandfilter (ISO 17824:2009); Englische Fassung EN ISO 17824:2014“.
- [8] DIN EN ISO 14916, „Thermisches Spritzen - Ermittlung der Haftzugfestigkeit (ISO 14916:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14916:2017“.
- [9] A. Procyk, X. Gou, S. K. Marti, R. C. Burton, M. Knefel, D. Dreschers, A. Wiegmann, L. Cheng, und E. Glatt, „Sand Control Screen Erosion: Prediction and Avoidance“, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, 2015, SPE-174837.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Einbau traditioneller Wickeldrahtfilter ist eine bewährte Methode zur Sandkontrolle in Öl- und Gasbohrungen. Aufbauend darauf wurde ein Beschichtungssystem entwickelt, das diese Filter an der Außenseite beständiger gegen Erosion macht. Die erhöhte Beständigkeit beruht auf der größeren Härte und der höheren chemischen Beständigkeit der eingesetzten Keramik und Hartmetallmischungen gegenüber Edelstahl. Die Beschichtung führt durch das Aufrechterhalten der initialen Spaltweite zu einer verlängerten Standzeit unter erosiven Bedingungen. Während der Entwicklung wurde die Beschichtung auf alle Versagensmechanismen untersucht, die die Installation und den Betrieb von Sandfiltern scheitern lassen können. Der Verbund aus Edelstahlfilter und Beschichtung ist unter korrosiven Bedingungen beständig, mechanisch stabil und in der Lage, eine Sandkontrolle herzustellen. Nach der erfolgreichen Entwicklung und Erprobung im Labormaßstab wird ein erster Feldtest in einer Gasbohrung im August

2020 durchgeführt.

Das Projekt wurde durch das BMWi im Rahmen eines ZIM-Projektes gefördert.



Literatur

- [1] C. J. Coberly, „Selection of Screen Openings for Unconsolidated Sands“, Drilling and Production Practice - 1. Januar, S. 189–201, 1937, API 37-189.
- [2] H. D. Wilson, „Schriftliche Diskussion zu: Selection of Screen Openings for Unconsolidated Sands von C. J. Coberly“, Drilling and Production Practice - 1. Januar, S. 198, 1937, API-37-189.
- [3] R. A. Chanpura, S. Mondal, M. M. Sharma, J. S. Andrews, A. M. Mathisen, F. Martin, F. Marpaung, J. A. Ayoub, und M. Parlar, „Unraveling the myths associa-