



Kunststoffmaschinen:
Hydraulische Antriebe
in Spritzgießmaschinen – ein aktueller
Befund

Drehzahlveränder-
barer Verstellpumpen-
antrieb in Kunststoff-
Spritzgießmaschinen

Mechatronik:
Entwicklung eines
stetigen pneumatischen
Ventils mit minimierter
Leistungsaufnahme

**Traktoren und
Landmaschinen:**
Load-Sensing Systeme
in der Erntetechnik

Wirkungsgradunter-
suchung des Systems
„Dieselmotor – Lei-
stungsverzweigtes
Getriebe“



VEREINIGTE
FACHVERLAGE

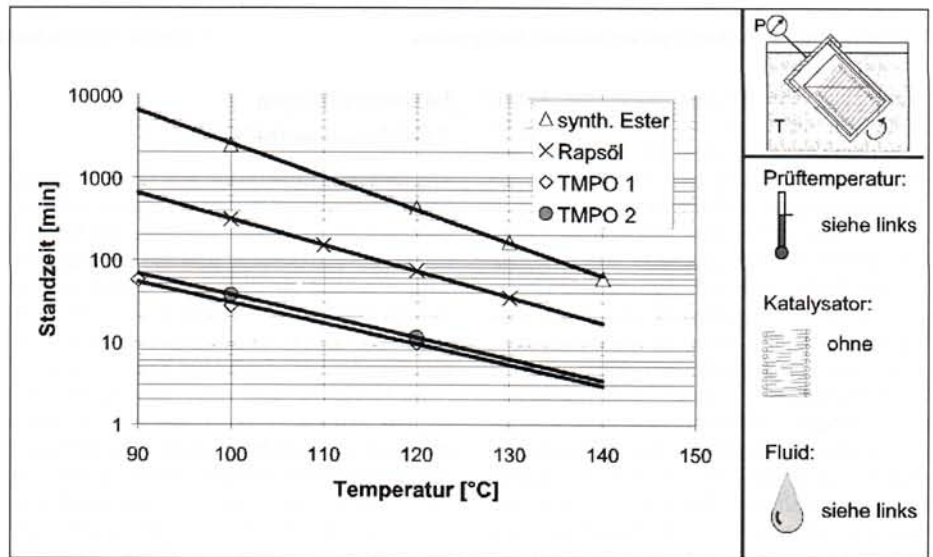
Anwendernahe Prüfung biogener Druckflüssigkeiten – aktueller Stand und Tendenzen

HUBERTUS MURRENHOFF

Das Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen, IFAS, der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, RWTH, beschäftigt sich seit vielen Jahren mit biogenen Druckmedien und dem Zusammenwirken von Reibung, Schmierung und Verschleiß (Tribologie). Dazu hat das IFAS eine Reihe von Testmethoden erarbeitet, die das Entwickeln von biologisch abbaubaren Druckflüssigkeiten unterstützen. Die Testmethoden teilen sich in Laborprüfungen und Prüfstandläufe in Hydraulikanlagen auf. Letztgenannte sind im Gegensatz zu Laborprüfungen überaus teuer, erfordern einen hohen Zeitaufwand und verzögern damit die „time to market“, d.h. die Markteinführung neuer Biohydrauliköle. Das IFAS legt deshalb großen Wert darauf, überwiegend mit Laborprüfungen die Marktreife einer Neuentwicklung zu erreichen. Denn die schnell aus Laborprüfungen verfügbaren Ergebnisse beschleunigen das Entwickeln von biogenen Druckmedien entscheidend.

Anforderungen an Druckflüssigkeiten

In erster Linie dienen alle Hydraulikflüssigkeiten einem Zweck: dem Übertragen von Leistung. Die zeitgleich infolge von Reibung und Abdrosselung entstehende Wärme führt das Medium einfach aus dem Hydraulik-Kreislauf ab. Dies stellt einen herausragenden Vorteil der Fluidtechnik dar. Im Gegensatz etwa zum elektrischen Antrieb erfordert diese Technik einen vergleichbar geringen Aufwand, um überschüssige War-



1: Standzeit verschiedener Grundöle im Oxidationstest ohne Katalysator

me aus einer Arbeitsmaschine sicher zu entfernen.

Zunächst weisen viele Biohydrauliköle einen höheren Viskositätsindex (VI) gegenüber Mineralölprodukten auf, d.h. ihre Viskositäts-Temperatur-Abhängigkeit ist geringer: Beim Umstellen auf Bioöl kann der Anlagenbetreiber meist eine entsprechend niedrigere Viskositätsklasse wählen. Hinzu kommen die Aspekte Schwerentflammbarkeit und niedrige Verdampfung. Das Verdampfen spielt innerhalb des Hydrauliksystems kaum eine Rolle, aber unter anderem in der Fertigungstechnik bei Kühlschmierstoffen: Dort besitzen humanmedizinische Belange einen besonderen Stellenwert und legen das Verwenden von biogenen, ungiftigen Druckmedien nahe. Zudem entflammen sich diese schwerer als Mineralölprodukte.

Der Volumenschluss zum Übertragen von Leistung, der Korrosionsschutz neben dem Schutz vor anderen chemischen Reaktionen und das Vermeiden von Leckagen unterliegen bei hydraulischen Systemen ebenso wie das Minimieren von Verschleiß einem steten Optimierungsprozess. Beim Verschleiß setzt die Tribologie mit dem Ziel an, höchste hydraulisch-mechanische Wirkungsgrade zu erreichen. Zudem gilt es, bei der Auswahl des Druckmediums die Elastomerverträglichkeit zu beachten, besonders hinsichtlich der Dichtungen und Schläuche.

Aus den genannten Punkten ergeben sich die Anforderungen an die Flüssigkeit.

Ganz oben rangiert ihr hohes Lasttragevermögen für jene Bauteile, die in fluidtechnischen Anlagen unter hohem Druck aufeinander gleiten, also Steuerspiegel, Trommel, Kolben und Kolbenschuhe. Weitere Anforderungen an das Medium bilden: eine niedrige Kompressibilität, eine hohe Wärmekapazität verknüpft mit einer entsprechenden Leitfähigkeit, eine geringe Korrosivität und eine ausgeprägte Alterungsstabilität mit Blick auf die Lagerung und die Standzeit. Diese Voraussetzungen bestehen unabhängig davon, ob der Anlagenbetreiber eine biogene Hydraulikflüssigkeit oder ein Mineralölprodukt nutzt.

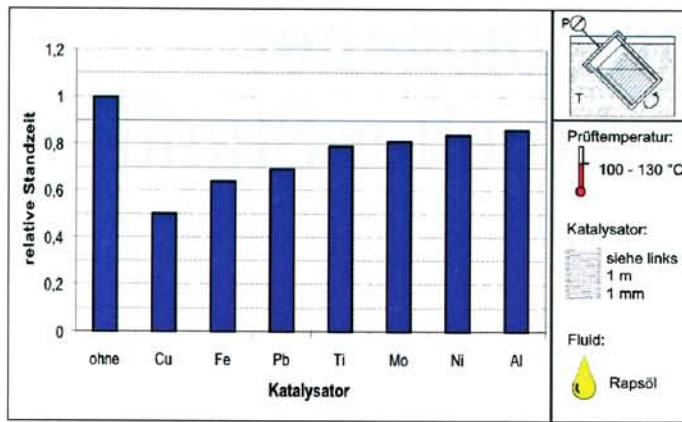
Der Preis einer Flüssigkeit entscheidet nicht alleine ihre Auswahl, sondern die Wirtschaftlichkeit des Hydrauliksystems insgesamt. Bei gut abgestimmten Systemen hält ein biologisch abbaubares Druckmedium auf Basis hochwertiger Ester deutlich länger als ein Mineralölprodukt vor. Nach dem aktuellen Stand der Diskussion kann das einmalige Befüllen über die gesamte Lebensdauer einer Anlage reichen. Das reine Betrachten von Literpreisen macht daher für den Anlagenbetreiber wenig Sinn.

Wasser und Ester

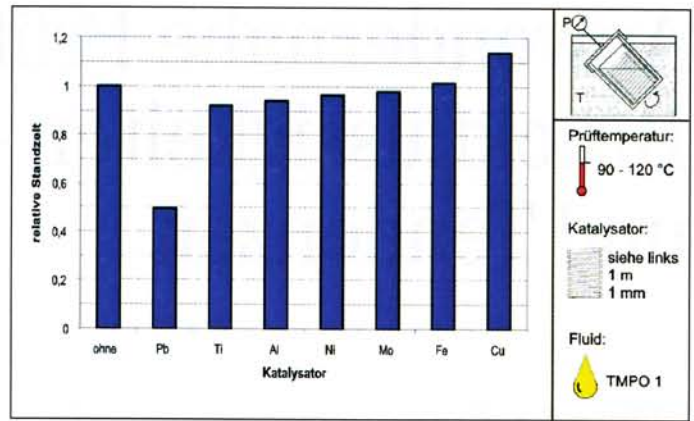
Aus Saure und Alkohol entsteht im Verlauf einer chemischen Reaktion Ester. Die Verbindung spaltet sich unter Zugabe von Wasser wieder in die beiden Ausgangsstoffe auf (Hydrolyse). Nach Leckage und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Murrenhoff ist Leiter des Instituts für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS) der RWTH Aachen.

Der Artikel basiert auf einem Vortrag während des Symposiums von Fuchs DEA zum Markteinführungsprogramm des Bundeslandwirtschaftsministeriums „Biogene Treib- und Schmierstoffe“.



2: Relative Standzeit von Rapsöl mit verschiedenen Katalysatoren



3: Relative Standzeit des TMPO 1 mit verschiedenen Katalysatoren

Austritt in die Umwelt sorgt die Ester-Hydrolyse für eine schnelle biologische Abbaubarkeit. Dies stellt in der Natur den erwünschten Prozess dar. Jedoch setzt die Ester-Hydrolyse auch dann ein, wenn sich zuviel Wasser im Hydrauliksystem befindet. Insbesondere schädigen Wassergehalte über 0,5% das Fluid. Aus diesem Grund besteht die Notwendigkeit, den Wasseranteil im Hydrauliksystem zu überwachen.

In das Hydrauliksystem kann Wasser beispielsweise über Regen und Luftfeuchte eindringen. Während des Betriebs ändern Differenzialzylinder den Flüssigkeitsstand. Damit tauscht der Tank beständig Umgebungsluft aus. Weiterhin gelangt das unerwünschte Wasser beim Nachfüllen des Betriebsstoffs, als Spritzwasser oder beim Reinigen in die Anlage. Ungeachtet welchen Weg das Wasser nimmt, empfiehlt es sich, das Wasser wieder zu entfernen. Hierzu hat das IFAS im Rahmen des Forschungsprojekts „Bioole in Forstmaschinen“ Möglichkeiten aufgezeigt, einerseits den Wassergehalt in Anlagen zu kontrollieren, andererseits Wasser aus der Anlage zu beseitigen.

Prüfeinrichtungen

Zum Testen der Alterungsbeständigkeit und für die einfache Vergleichbarkeit von biologisch abbaubaren Druckmedien kommen sowohl Labor- als auch Praxisprüfstände in Frage. Erstgenannte liefern dazu in erheblich kürzerer Zeit verwertbare Ergebnisse insbesondere zur Oxidations- und Hydrolysestabilität der Biohydrauliköle. Praxisnahe Prüfstände arbeiten deshalb im Zeitraffer unter hohem Energieaufwand, um das Fluid rasch altern zu können. Diese Versuche sind mit hohen Kosten verbunden, da nicht nur das Druckmedium altert, sondern auch der Prüfstand. Die hier vorgestellten Laborprüfungen begleiten und beschleunigen das Entwickeln von biogenen Hydraulikflüssigkeiten. Zugleich belegen Praxisprüfstände ihre Ergebnisse. Gegenstand der Untersuchungen bilden native und synthetische Ester, die den Empfehlungen vom Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau (VDMA) nach Einheitsblatt 24568 folgen: „Fluidtechnik – Biologisch schnell abbaubare Druckflüssigkeiten – Technische Mindestanforderungen“.

Laborprüfungen

1 Oxidationsstabilität

Mit dieser Prüfmethode zur Oxidationsstabilität von Biohydraulikölen lassen sich neben dem Fluid dessen Volumen, der Katalysator, die Temperatur und die Atmosphäre variieren. Ein druckdichtes Gefäß nimmt die zu testende Flüssigkeit auf. Als Verschmutzung und nicht im chemischen Sinn als „Katalysator“ dient eine Kupferspirale.

Im Gefäß besteht eine Atmosphäre aus reinem Sauerstoff, die unter einem vorgegebenen Anfangsdruck steht. Das Erhöhen der Temperatur bewirkt einen spontanen Druckanstieg bis auf einen Maximaldruck. Während der Oxidation verbraucht das Fluid Sauerstoff mit der Folge, dass der Druck im Gefäß sinkt. Die Zeitspanne bis zum Druckabfall von 1,75 bar stellt die mit anderen Fluiden vergleichbare Standzeit dar. Diese bewegt sich zwischen mehreren Minuten und maximal einem Tag.

Ergebnisse zu den Parametervariationen bei den Oxidationstests mit Grundölen:

- Einen wichtigen Parameter bildet die Temperatur. **Bild 1** zeigt die Standzeit verschiedener Grundöle in Abhängigkeit von der Temperatur. Im Versuch verdoppelt sich die Reaktionsgeschwindigkeit etwa pro 10 °C Temperaturanstieg.
- Zur Oxidationsstabilität teilgesättigter Ester beispielhaft Rapsöl mit und ohne „Katalysator“: In der Tendenz reduziert Kupfer als Verschmutzung am stärksten die Standzeit (**Bild 2**). Um wissenschaftlicher Sicht kommen weitere Elemente als Einflussgrößen bei Hydrauliksystemen in Frage, unter anderem Blei, Eisen, Titan, Nickel, Aluminium und Molybdän. Ihr Einfluss entspricht ungefähr der Abfolge im Ordnungssystem.
- Ungewöhnlich verhält sich aus der Gruppe der teilgesättigten Ester das Trimethylolpropan-Oleat (TMPO) in Bezug auf Kupfer (**Bild 3**). Im Gegensatz zu anderen Estern bremst Kupfer hier die Oxidationsgeschwindigkeit und verlängert die Standzeit um rund 15%! Das abweichende Verhalten ist Gegenstand der Forschung. Ein Grund hierfür könnte in der von Anfang an höheren Neutralisationszahl liegen.
- Bei einem vollständig gesättigten Esterfluid lässt sich der Temperaturanstieg wesentlich höher wählen, zudem ist der Kupferinfluss geringer (**Bild 4**).

Weiterhin bestehen Untersuchungen für additivierte Biohydrauliköle hinsichtlich des Oxidationsverhaltens. Die Ergebnisse stimmen prinzipiell mit den hier dargestellten überein. Nach dem heutigen Entwicklungsstand erreichen hochwertige Ester die Oxidationsstabilität von Mineralölen. Allerdings gilt hierfür, dass insbesondere kein Wasser als „Katalysator“ bzw. Verunreiniger in das Hydrauliksystem gelangt. Im Gegensatz zur Oxidationsstabilität können bei Estern Additive die Hydrolysestabilität nicht beeinflussen.

2 Hydrolysestabilität

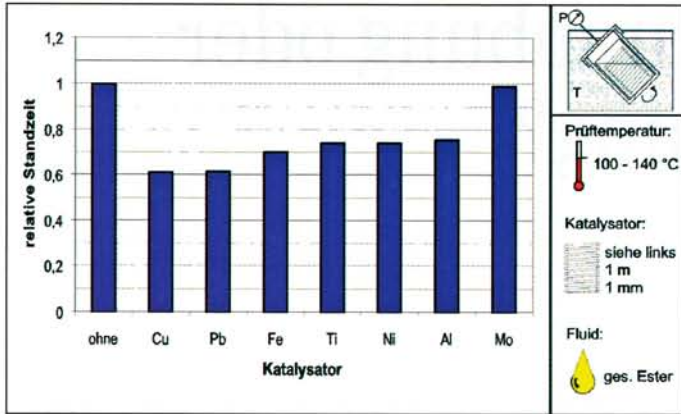
Der Laborversuch testet den Einfluss des Wassergehaltes auf die Ester-Hydrolyse beispielhaft von HETG RSP 1 auf der Basis von Rapsöl (**Bild 5**).

Zu diesem Zweck befindet sich ein definiertes Bioöl-Wassergemisch in einem abgeschlossenen Gefäß mit einer langen Kapillare zum Druckausgleich. Ein Temperierbad erhitzt das Gemisch, ein Magnetrührwerk unterstützt seine Durchmischung. Der aufsteigende Wasserdampf kann nicht entweichen, da er in der Kapillare abkühlt und in das Gefäß zurück tropft. Oxidationsvorgänge können aufgrund der minimierten Kontaktfläche zwischen Fluid und Umgebungsluft ausgeschlossen werden. Die Versuchsdauer beträgt 96 Stunden.

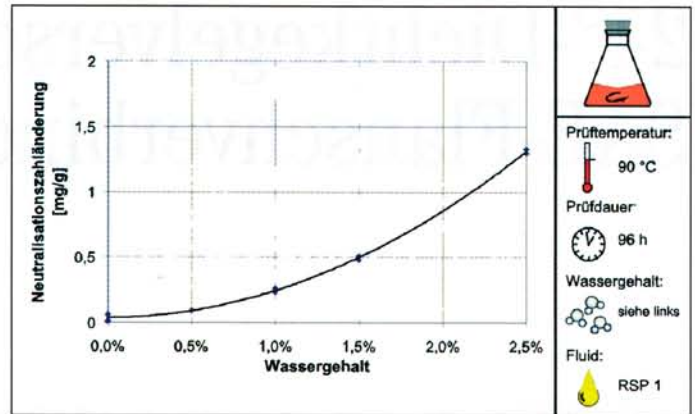
Im Versuch verursacht der Wassergehalt ein exponentielles Ansteigen der Neutralisationszahl, d.h. die Flüssigkeit verändert sich sehr rasch, die Hydrolyse setzt wie erwartet ein: Aus Ester entstehen wieder Alkohol und Säure. Demgegenüber verändert sich die Viskosität des Fluids nicht signifikant (**Bild 6**).

Im Ergebnis bestimmt der Wassergehalt die Hydrolyse von Estern exponentiell. Besonders kritisch sind Wassergehalte über 0,5% im Hydrauliksystem. Auch das VDMA-Einheitsblatt 24568 berücksichtigt diesen Grenzwert.

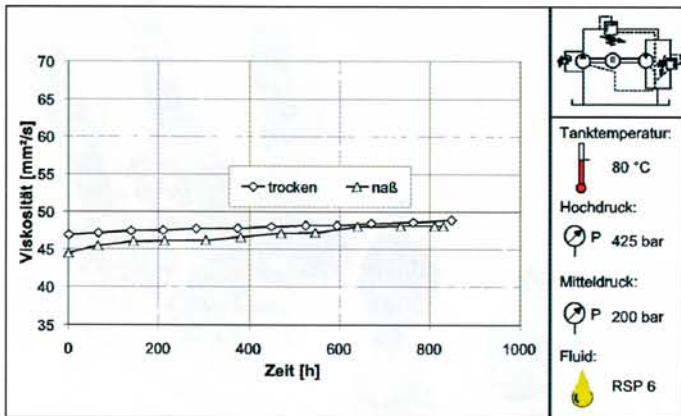
Ein weiteres Erhöhen des Wassergehalts, und zwar über die vorherigen maximal 2,5% hinaus auf 3 bis 7,5%, zeigt Folgendes: Ab einem Wassergehalt von 2,5% tritt ein Sättigungseffekt auf, d.h. der exponentielle Anstieg der Neutralitätszahl begrenzt sich auf diesen Wert (**Bild 7**). Unter anderem kann sich zusätzliches Wasser nicht mehr so stark an der Hydrolyse beteiligen.



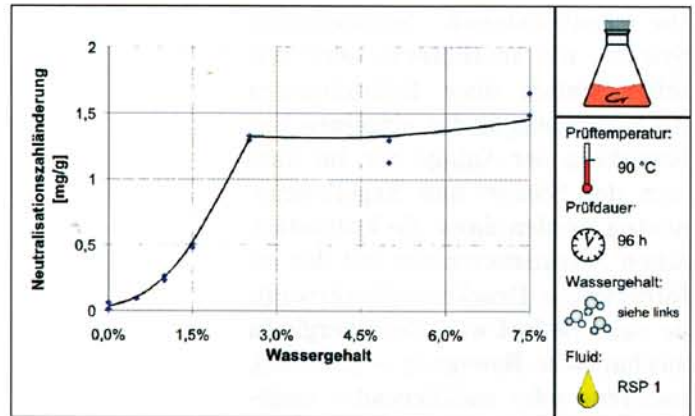
4: Relative Standzeit des gesättigten Esters mit verschiedenen Katalysatoren



5: Hydrolyseversuch mit HETG RSP 1 bei niedrigen Wassergehalten



6: Mit einem Kurzzeitprüfstand über „nassen“ und „trockenen“ Versuch ermittelter Einfluss von Wasser auf die Viskosität von HETG RSP 1



7: Hydrolyseversuch mit HETG RSP 1 bei hohen Wassergehalten

Ausblick

Auch für biologisch abbaubare Druckmedien liegen heute leistungsfähige und aussagekräftige Laborprüfungen vor. Ihre Ergebnisse bestätigen sich über Prüfstandsversuche. Damit gelingt es, den Zeit- und Kostenaufwand beim Entwickeln und Vergleichen dieser Fluide zu minimieren und neue Produkte schneller auf dem Markt einzuführen.

Darüber hinaus belegen die Ergebnisse, dass Bioöle die Oxidationsstabilität von Mineralölprodukten besitzen. Um die Hydrolyse von Estern zu vermeiden, d.h. ihre vorzeitige Zersetzung, gilt es, Wasser aus dem Hydrauliksystem fernzuhalten und

dessen Wassergehalt zu überwachen. Insgesamt lassen sich alle Alterungsprozesse von Estern beherrschen, so dass der Anwender mit einer Füllung über die Lebensdauer der Anlage auskommen kann.

Aus wissenschaftlicher Sicht stellt sich die Frage, ob einmal gealterte Fluide aus einem Labortest und aus einem Prüfstand die gleichen Eigenschaften aufweisen. Altern diese wirklich gleich? Ist der Alterungsmechanismus vergleichbar? Antworten dazu kann nur die Chemie erbringen: Das IFAS untersucht die Fluide mit chemischen Methoden wie der HPLC (High Performance Liquid Chromatography), der GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) so-

wie der FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Dabei arbeitet das IFAS auch interdisziplinär im Sonderforschungsbereich 442 (Umweltverträgliche Tribosysteme) mit Chemikern zusammen. Hier liegen noch große Forschungsaufgaben bereit, um das Entwickeln biologisch abbaubarer Druckflüssigkeiten weiter zu beschleunigen.

Auf der Internetseite www.rwth-aachen.de/ifas/ finden sich Informationen zu den Dissertationen von Christoph Kempermann, Andreas Rimmelmann und Marc Werner, die Beiträge zur Thematik dieses Artikels liefern.

Bildnachweis: Verfasser