

NETZSCH
Pumpen & Systeme GmbH
Waldkraiburg



Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt

*Gefördert von der
Deutschen Bundestiftung Umwelt
[AZ: 30759]*

**Entwicklung eines Verstell Systems
zur Veränderung
der Stator-Rotor-Vorspannung in
Exzentrerschneckenpumpen**

Dipl.–Ing. (FH) Stefan Voit

Waldkraiburg, November 2015

Projektkennblatt

der

Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	30759	Referat	14	Fördersumme	120 000 €
----	--------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel **Entwicklung eines Verstell Systems zur Veränderung der Stator-Rotor-Vorspannung in Exzentrerschneckenpumpen**

Stichworte Entsorgung, Verfahren

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
24 Monate	07.12.2012	06.09.2015	2

Zwischenberichte 3+1 Abschlussbericht

Bewilligungsempfänger

Fa. NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH
Geretsrieder Str.1
84478 Waldkraiburg

Tel 08638 63-1322

Fax 08638 63-91322

Projektleitung

Stefan Voit

Bearbeiter

Stefan Voit

Kooperationspartner

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Bisher ist es bei Exzentrerschneckenpumpen nicht möglich die Vorspannung im Stator-Rotor-Wirksystem zu verändern. Im Rahmen dieses Entwicklungsprojektes soll ein serienreifes System entstehen, welches diese Veränderung der Vorspannung ermöglicht. Ein Verstellsystem dieser Art würde eine wirkliche Innovation im Bereich der Exzentrerschneckenpumpe darstellen und technologisch, ökologisch als auch wirtschaftlich neue Maßstäbe setzen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Basis der Entwicklung stellt die Verformbarkeit des Elastomers und eine kürzlich im Hause NETZSCH Pumpen & Systeme durchgeführten Weiterentwicklung des sogenannten iFD Stators. Bei dieser Statorbauart ist das innenliegende Elastomerteil formschlüssig mit dem Gehäuse verbunden, um eine sortenreine Entsorgung der Materialien zu ermöglichen, sowie dem Stator-Rotorsystem ein hohes Maß an Flexibilität erlaubt. Diese patentierte Statorbauart führt zu einer Erhöhung des System-Wirkungsgrades und zu einer Verlängerung der Standzeit von Stator und Rotor. Durch dieses Prinzip und der darauffolgenden Weiterentwicklung dieser Statorbauart wurde es erstmals ermöglicht, Kräfte in das separate Elastomerteil einzuleiten. Mittels der Kräfteinleitung wiederum kann das Elastomerteil durch seine Verformbarkeit derart beeinflusst werden, dass sich die Innenkontur des Elastomers bzw. die Vorspannung zwischen Stator und Rotor verändert.

Dieses Funktionsprinzip wird mit Hilfe von Grundsatzversuchen genauer hinterleuchtet. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse können intensivere Tests mit einem ersten Prototypen durchgeführt, Problemstellungen erörtert und Lösungen erprobt werden. Hierzu werden auch modernste Simulationstools verwendet, die schon vorab eine Optimierung der Konstruktion hinsichtlich Struktur- und Strömungsmechanik erlauben. Parallel dazu wird ein aktiver Steuer- und Regelkreis entwickelt, durch dessen aktive Regelung eine Anpassung der Vorspannung im Stator-Rotor-System an die Betriebsbedingungen der Pumpe möglich ist. Diese Erkenntnisse erlauben einen zeitnahen Aufbau mehrerer Prototypen, die es ermöglichen eine versuchstechnische Überprüfung des Systems im Hause NETZSCH, wie auch bei Kunden durchzuführen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Entwicklung wurde in zwei Projektphasen durchgeführt. In der ersten Phase wurden mögliche mechanische Prinzipien zur Verschiebung des Elastomers im Stator-Rotor-Wirksystem erörtert, bewertet und ausgewählt. Dies geschah nach verschiedenen Methoden, wie z.B. mit Hilfe der Kreativitätstechnik des Morphologischen Kastens. Die drei mechanischen Wirkprinzipien mit der höchsten Bewertung wurden ausgewählt konstruiert und als Funktionsprototypen ausgeführt. Nach einem umfassenden Testprogramm hinsichtlich Handhabung und Funktion wurde aufgrund der gewonnenen Ergebnisse der sogenannte Funktionsprototyp „Spindeltrieb“ als das Fokuskonzept definiert.

Das Funktionsprinzip der Stator Verstellung beruht auf der iFD-Stator-Technologie. Schon die ersten Grundsatzversuche zeigten, dass außer der eigentlichen Verstell Mechanik noch weitere Entwicklungsschwerpunkte außerhalb der reinen Mechanik für das Statorverstellsystem nötig sein werden. So zeigte sich beispielweise schnell, dass die Oberfläche des Standard-iFD-Stator-Mantels in Kombination mit dem Elastomerteil für die Anwendung im Verstell System zu hohe Haft- und Reibwerte aufweist. Auch war festzustellen, dass die Standzeit des Elastomers mittels der üblichen Anbindung über den Bund des Elastomerteils die geforderte Dauerfestigkeit nicht erreichte. Ebenso wurde deutlich, dass ein integriertes System zum Ausgleich der Längenänderung und Abdichtung benötigt wird, da der Stator aufgrund der Dehnung und Stauchung eine Längenänderung erfährt.

In der zweiten Projektphase wurde mit dem Fokuskonzept „Spindeltrieb“ als Basis ein verbesserter Funktionsprototyp konstruiert, der zusätzlich bereits das erste Wartungskonzept zum Statorwechsel nach dem Prinzip der horizontalen Teilungsebene enthielt. Dieses sogenannte „System Klappen“ zeigte im Verlauf der durchgeführten Versuchsreihen einige Verbesserungsmöglichkeiten, aus denen schließlich das „System Schwenken“ mit einer vertikalen Trennebene hervorging. Der Statorwechsel kann nun ähnlich der konventionellen Pumpe erfolgen. Zudem besteht 100%ige Kompatibilität zu Bestandspumpen und kann entsprechend auch mit dem gerade neu entwickeltem „Full-Service-In-Place“-Konzept aus dem Hause NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH kombiniert werden.

Ebenso wurde in der zweiten Projektphase an den oben genannten Schwerpunkten gearbeitet. Die Optimierung der Haft- und Gleitreibung zwischen Mantel und Elastomerteil wurde durch unterschiedliche Beschichtungen des Aluminiummantels bewerkstelligt. Auch wurde die Anbindung des Elastomers mittels einer speziellen Hülse verbessert, sodass lokale Überbeanspruchungen des Gummis vermieden werden. Zum Ausgleich der Längenänderung wurde eine spezielle Manschette entwickelt, die Längenänderung des Stators ausgleicht und gleichzeitig die Abdichtung des Systems gegenüber dem Medium übernimmt.

Zum Zeitpunkt der Antragsstellung wurde davon ausgegangen, dass zur Einstellung der optimalen Vorspannung zwischen Stator und Rotor ein aktives Regelsystem nötig sein wird. Es zeigte sich aber im Projektverlauf, dass für die Mehrzahl der Anwendungen eine konstante Einstellung der Vorspannung ausreicht. Bei sich einstellendem Verschleiß wird die Vorspannung entsprechend angepasst. Die Einstellung der optimalen Vorspannung geht so mit dem Verschleißausgleichs des Stators einher.

Für Anwendungen mit stark schwankenden Betriebsparametern sind Erfahrungswerte für die Voreinstellung / Nachregulierung der Vorspannung bei sich einstellenden Verschleiß zu ermitteln, um die Standzeit des Wirksystems und dessen Wirkungsgrad zu verlängern

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Vorstellung des Stator-Verstellsystems der Öffentlichkeit erfolgt erst mit der Einführung in den Markt. Aus dem Projekt sind inzwischen vier Patentanmeldungen hervorgegangen, deren Anmeldeverfahren zum Zeitpunkt des Projektabschlusses noch nicht abgeschlossen sind. Aus diesem Grund wurde im Hause NETZSCH stark darauf geachtet, so wenig Informationen wie nur möglich nach außen dringen zu lassen.

Fazit

Das Ziel, ein serienreifes Stator-Verstellsystem für Exzentrerschneckenpumpen zu entwickeln, das dem Kunden die Möglichkeit bietet, bei Bedarf den Verschleiß im Wirksystem auszugleichen und zusätzlich den Wirkungsgrad der Pumpe zu verbessern, wurde erreicht. Durch die Standzeitverlängerung einhergehend mit der möglichen Energieeinsparung können die vorhandenen Life-Cycle-Costs der Pumpe je nach Anwendungsfall drastisch reduziert werden.

Umfangreiche Versuche wurden in der Versuchsabteilung der NETZSCH Pumpen&Systeme GmbH durchgeführt. Parallel dazu wurde nach dem Erreichen der nötigen Produktreife in Kooperation mit dem Vertrieb Kontakt zu verschiedenen Kunden mit möglichen Versuchspumpen aufgenommen. Inzwischen sind einige Verstellsysteme in den unterschiedlichsten Anwendungen installiert. Die bisher gewonnen Versuchsergebnisse sind durchwegs positiv. In wie weit die abgeschätzten Einsparungspotentiale hinsichtlich Material und Energie ausgeschöpft werden können, wird die Etablierung des Systems im Markt zeigen.

Inhalt

Projektkennblatt.....	2
1 Verzeichnis von Bildern	8
2 Verzeichnis von Begriffen und Definitionen.....	9
3 Zusammenfassung.....	10
4 Einleitung.....	12
5 Hauptteil.....	13
5.1 Die iFD-Stator-Technologie	13
5.2 Grundlegende Idee.....	14
5.3 Funktionsprinzip.....	15
5.4 Projektablauf	16
5.5 Aufgliederung in Unterbaugruppen	17
5.6 Mantelbeschichtung.....	18
5.6.1 Notwendigkeit einer optimierten Oberfläche.....	18
5.6.2 Reduzierung der Anhaftung/Reibung des Elastomers	19
5.6.3 Ergebnis und ausgewählte Beschichtung	20
5.7 Verstell-Prinzipien	21
5.7.1 Funktionsprinzip „Hydraulik“	22
5.7.2 Funktionsprinzip „Keiflansch“	23
5.7.3 Funktionsprinzip „Spindeltrieb“	24
5.7.4 Auswahl des favorisierten „Verstellprinzips“	25
5.8 Elastomer.....	25
5.8.1 Elastomerabstützung.....	26
5.8.2 Lösungsansätze.....	26
5.8.3 Stützhülse	27
5.9 Längenausgleich des Verstellsystems.....	27
5.9.1 Zylinderdichtung.....	27
5.9.2 Rohrkompensator als separates Bauteil.....	28
5.9.3 Manschette mit Stützfluid	28
5.9.4 Manschette ohne Stützfluid	30
5.9.5 Fokuskonzept Längenausgleich	31
5.10 Austausch des Stator/Rotorsystems	32
5.10.1 Prinzip „Klappen“.....	32
5.10.2 Prinzip „Schwenken“	34

5.10.3	FSIP (Full-Service-In-Place)	35
5.10.4	Vergleich der Wartungskonzepte	36
5.11	Testing	37
5.11.1	Versuche im Netzsch-TecLab	37
5.11.2	Feldversuche	38
5.12	Produktdesign	40
5.13	Fazit	40
	Quellenverzeichnis	43
A1	Abschätzung des Energie-Einsparpotentials	44
A2	Abschätzung des Material-Einsparpotentials	45

Anhang

- A1 Abschätzung des Energie-Einsparpotentials
- A2 Abschätzung des Material-Einsparpotentials

1 Verzeichnis von Bildern

Abbildung 1: Schnitt durch eine Exzentrerschneckenpumpe	12
Abbildung 2 Der iFD-Stator 2.0.....	14
Abbildung 3: Das Stator-Rotor-Wirksystem	14
Abbildung 4: Wirkprinzip des Verstellsystems	15
Abbildung 5 Definition Projektphasen	16
Abbildung 6 Unterbaugruppen des Verstell Systems.....	17
Abbildung 7 iFD Stator2.0 im Schnitt.....	18
Abbildung 8 Längsrillen im Mantel.....	18
Abbildung 9 Messprinzip zur Verschiebungsmessung	19
Abbildung 10 Auswertung Verschiebungsmessung	20
Abbildung 11 Ausgewählte Mantelbeschichtung.....	21
Abbildung 12 Funktionsprinzip Hydraulik.....	22
Abbildung 13 Prototyp hydraulische Verstellung.....	22
Abbildung 14 Funktionsprinzip "Keiflansch"	23
Abbildung 15 Prototyp "Keiflansch"	23
Abbildung 16 Funktionsprinzip Spindeltrieb	24
Abbildung 17 Erster Prototyp Spindeltrieb	24
Abbildung 18 Prototyp "Kammabstützung"	26
Abbildung 19 Prinzip Gewebeverstärkung	26
Abbildung 20 Prinzip "Hülsenabstützung"	27
Abbildung 21 Manschette Fluidgestützt gezogen und gestaucht	29
Abbildung 22 Manschette Fluidgestützt - Ausführung Wellprofil.....	29
Abbildung 23 Manschette mit Stützrippen	30
Abbildung 24 Manschette mit Stützringen.....	31
Abbildung 25 System geschlossen, Schritt1	32
Abbildung 26 Schritt 2 - Lösen der Elastomerverspannung	33
Abbildung 27 Schritt 2 - Elastomer gelöst	33
Abbildung 28 Schritt 3 - System aufgeklappt	33
Abbildung 29 Schritt 4 - Stator demontiert	34
Abbildung 30 Schritt1 Ausgangssituation	34
Abbildung 31 Schritt2 Lösen der Bundklemmung	35
Abbildung 32 Schritt3 Schwenken des Verstellsystems	35
Abbildung 33 Ausführung in FSIP	35
Abbildung 34 Statordemontage in FSIP-Ausführung.....	36
Abbildung 35 Prototyp "Spindeltrieb" mit zeitgesteuertem Antrieb für Dauertests.....	38
Abbildung 36 Abdeckung des Verstellsystems	40
Abbildung 37 Demontage der Abdeckung.....	40

2 Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

iFD-Stator.....**i**ntegrated – **F**lexible – **D**uo – Stator

GPMT.....**G**lobal **P**ump **M**anagement **M**ee**T**ing

GL.....**G**eschäfts**L**eitung

FSIP.....**F**ull **S**ervice **I**n **P**lace

3 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projektes (AZ:30759) wurde die Entwicklung eines Systems zur Variation der Vorspannung zwischen Stator und Rotor in Exzentrerschneckenpumpen von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert. Basierend auf Grundsatzversuchen entstand ein serienreifes System, das es ermöglicht vorhandenen Verschleiß im Wirksystem von Exzentrerschneckenpumpe auszugleichen und den Wirkungsgrad zu optimieren.

Im Wirksystem der Exzentrerschneckenpumpe ist es bisher nicht möglich, die Vorspannung des Rotors im Elastomer des Stators zu verändern. Die Vorspannung zwischen den beiden Bauteilen ist einerseits für die Abdichtung zwischen den Förderkammern nötig, andererseits führt eine zu hohe Vorspannung zu erhöhten Verlusten durch Reibung zwischen der rotierenden Schnecke und dem Stator. Durch die hierbeschriebene Neuentwicklung kann die Vorspannung erstmals variiert werden. Die Basis stellt hier der sogenannte iFD-Stator dar, dessen Entwicklung ebenfalls ein durch die DBU gefördertes Projekt war. Aufgrund seiner Trennung zwischen Elastomer und Mantel kann gerade soviel Klemmung zwischen Stator und Rotor erzeugt werden, wie gerade zur für eine minimale Rückströmung zwischen den Förderkammern nötig ist. Außerdem kann durch diese Veränderung der Statorinnenkontur auch die durch Abrieb bedingten Maßveränderungen ausgeglichen und die funktionsentscheidende Dichtlinie zwischen Stator und Rotor wieder hergestellt werden.

Das hier beschriebene Projekt war in zwei Projektphasen aufgegliedert. Die erste Projektphase diente der Konzeptfindung der Verstellung und bestand im Wesentlichen aus Prinzipuntersuchungen und dem Entwurf, Konstruktion, Aufbau und Test von Funktionsprototypen. Es entstanden verschiedene mögliche Grundprinzipien zur Erzeugung der nötigen translatorischen Bewegung, aus denen drei als Funktionsprototypen ausgeführt wurden. Nach dem Aufbau wurden Funktionstests und teilweise bereits Dauerversuche durchgeführt, sodass aufgrund der gewonnen Erkenntnisse schon bald ein Fokuskonzept zur weiteren Verfolgung festgelegt werden konnte. Außerdem wurde nun nicht nur an der Verstellmechanik selbst, sondern auch an weiteren Schwerpunkten, wie z.B. der Optimierung der Haft- und Gleitreibung zwischen Mantel und Elastomerteil gearbeitet.

Das Fokuskonzept konnte im zweiten Projektabschnitt konstruktiv zu einem weiter ausgereiften Funktionsprototypen vorangetrieben werden, sodass mit dessen Aufbau bereits Untersuchungen zur Dauerfestigkeit von verschiedenen Komponenten durchgeführt werden konnten. Auch wurden mit Hilfe dieses Prototypen Studien zur Wartungsfreundlichkeit des Systems unternommen, da ein Stator-Rotor-Wechsel auch trotz der Standzeitverlängerung die Verschleißkomponenten im Wirksystem möglichst leicht zugänglich und schnell und einfach zu tauschen sein müssen. Hinsichtlich der Zugänglichkeit wurde aufgrund erster Erkenntnisse mit einem fortgeschrittenen Funktionsprototypen eine Entwicklungsschleife durchgeführt und daraufhin das Konzept der Wartung des Wirksystems komplett überarbeitet. Am Ende stand ein Produkt, das bereit zur Umsetzung in die Serie bereit war.

Interne Versuche im Hause NETZSCH sowie externe Erprobungen bei Kunden wurden während beider Projektphasen durchgeführt. Die hier gewonnenen Erkenntnisse deuteten teilweise auf ein sehr hohes Potential hinsichtlich Standzeitverlängerung des Stator-Rotorsystems, wie auch der Energieeinsparung durch eine Wirkungsgradoptimierung hin. Jedoch kann die Höhe dieser

Einsparungen zum Zeitpunkt des Projektabschlusses nur abgeschätzt werden. Die wirklichen Zahlen werden sich erst mit der breiten Etablierung des Systems im Markt zeigen.

Zusammenfassend kann jedoch zum aktuellen Zeitpunkt bereits unabhängig zur Marktresonanz festgestellt werden, dass dieses neu entwickelte System die Möglichkeit aufweist, frischen Wind in die relativ innovationsträge Branche der Exzentrerschneckenpumpentechnologie zu bringen. Mit der Möglichkeit der Anpassung der Vorspannung auf den optimalen Betriebszustand sowie der Standzeitverlängerung des Wirksystems ist es der Firma NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH gelungen hier wirkliche Innovationsfreude aufzuweisen.

4 Einleitung

Die Exzentrerschneckenpumpe gehört zur Gruppe der rotierenden Verdrängerpumpen und wird in nahezu allen Industriezweigen zur Förderung und Dosierung von verschiedensten Medien eingesetzt. Vorzugsweise werden feststoffhaltige Medien mit niedrigen bis sehr hohen Viskositäten mit Exzentrerschneckenpumpen gefördert.

Das Pumpsystem besteht im Wesentlichen aus zwei Baugruppen. Einerseits einer außenliegenden stehenden Einheit mit dem „Stator“ als wichtigstem Bauteil und andererseits einer in der stehenden Einheit rotierenden Baugruppe, dem Kraftstrang mit dem sogenannten „Rotor“ als wichtigstem Bauteil. Der Rotor ist eine Art Rundgewindeschraube mit extrem großer Steigung. Der Stator hat einen Gewindegang mehr und die doppelte Steigungslänge des Rotors. Dadurch bleiben zwischen dem Stator und dem sich darin drehenden Rotor Förderräume, die sich kontinuierlich von der Eintrittsseite zur Austrittsseite bewegen (Abbildung 1). Die Größe der Förderräume und damit die theoretische Fördermenge hängt von der Pumpengröße und der verwendeten Stator/Rotorgeometrie ab.

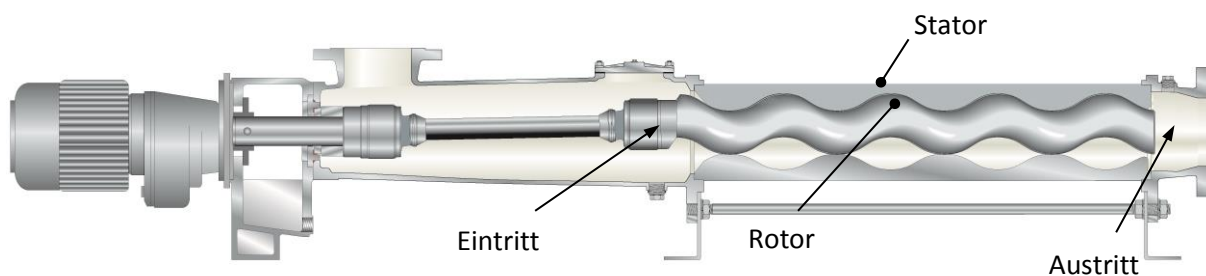


Abbildung 1: Schnitt durch eine Exzentrerschneckenpumpe

Der Stator besteht standardmäßig aus einem Rohr (z.B. Stahlrohr) als Mantel, in den ein Elastomerkörper einvulkanisiert ist, der die Innenkontur der Geometrie abbildet und den Rotor führt (siehe Abbildung 1). Das Statorelastomer liegt mit Vorspannung am Rotor an, um die Förderräume gegeneinander abzudichten und dadurch den Druckaufbau zu ermöglichen. Durch die Reibung zwischen dem Rotor und dem Statorelastomer tritt je nach Fördermedium ein stetiger Verschleiß am Elastomer und am Rotor auf. Aufgrund der Reibpaarung Elastomer-Stahl ist der Elastomer im Stator das wesentliche Verschleißteil dieser Pumpenart und wird deshalb in großen Stückzahlen weltweit hergestellt.

5 Hauptteil

5.1 Die iFD-Stator-Technologie

Vor einigen Jahren wurde von der NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH eine wegweisende Neuentwicklung des bestehenden Statorprinzips vorangetrieben und erfolgreich im Markt eingeführt. Bei diesem patentierten iFD-Statorsystem handelt es sich um die strikte Trennung zwischen Statormantel und Elastomerkörper. Dabei ist in einem geschlossenen Aluminiumprofil das separate Elastomerteil integriert und über Formschluss miteinander verbunden. Der Stator weist bei der Montage noch ein Übermaß auf, so dass er sich leicht auf den Rotor schieben lässt. Dadurch wird der Statorwechsel deutlich vereinfacht und minimale Wartungs- und Stillstandzeiten erreicht. Erst beim Verspannen des Stators, d.h. wenn der Stator schon auf den Rotor aufgeschoben ist, ergibt sich durch das axiale Zusammenpressen des gesamten Stators die für den Betrieb nötige Vorspannung im Elastomer.

Die Trennung zwischen Elastomer und Mantel bietet technische wie auch wirtschaftliche Vorteile. Durch die fehlende Bindung zwischen Gehäuse und Elastomer hat letzterer mehr Bewegungsfreiheit, und kann sich flexibel an den Druck und den vorherrschenden Betriebsbedingungen anpassen. Dies geht mit einer Reduktion des Betriebs- und Anlaufmoments einher, sowie der Minimierung der Reibung und des Verschleißes, und führt somit zu einer Verlängerung der Standzeit. Auch der wirtschaftliche Vorteil liegt klar auf der Seite des Kunden, bei einem Statorwechsel muss nur das Elastomerteil gewechselt werden, der Mantel wird über die gesamte Lebensdauer der Pumpe immer wieder verwendet.

Das neue Statorkonzept stellt auch hinsichtlich der Umweltfreundlichkeit eine enorme Innovation dar. Während der Mantel des Stators immer wieder verwendet wird, kann das Elastomerteil sortenrein entsorgt werden. Für die Herstellung des Standard-Rohrstators müssen umwelt- und gesundheitsschädliche Bindemittel für die Vulkanisation des Gummis an der Rohrwandung verwendet werden. Diese können ebenfalls für das neue iFD-Statorsystem komplett entfallen.

Die neue Statorsystem konnte sich im Markt sehr gut etablieren. Die Reklamationsraten dieses Statortyps gingen gegen Null. Dies war für die Fa. Netzsch aber kein Grund, das bestehende Produkt nicht weiterhin zu verbessern, auch in Hinblick auf das zu entwickelnde Stator-Verstellsystem.

Im Jahre 2012 wurde auf einer bedeutenden Fachmesse die Weiterentwicklung des bekannten iFD-Stators vorgestellt, siehe hierzu Abbildung 2. Die wichtigsten Verbesserungen waren zum einen eine optimierte Abdichtung zu den Schnittstellen der Pumpe. Durch die Entwicklung eines sogenannten Bundes an den Enden des Elastomers, konnte die Abdichtung definiert gestaltet und für die Entwicklung eines Statorverstellsystems bereits vorbereitet werden. Zum anderen konnte mittels eines zweiteiligen Mantels die Wartungsfreundlichkeit des Systems verbessert werden. Diese Weiterentwicklung zum iFD-Stator 2.0 war die Basis für die Entwicklung des Stator-Verstell-Systems.

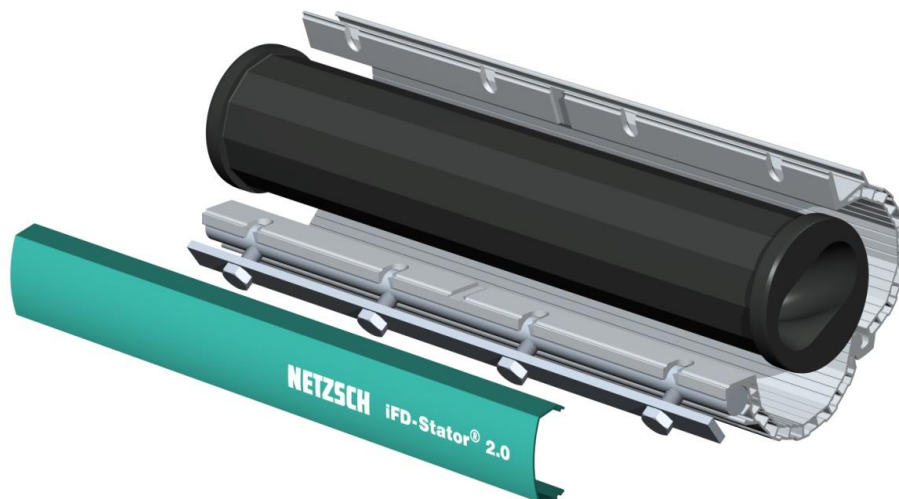


Abbildung 2 Der iFD-Stator 2.0

5.2 Grundlegende Idee

Die Reibungsverluste und Wirkungsgrade im Rotor-Stator-Wirksystem hängen in erster Linie von der vorhandenen Vorspannung zwischen Rotor und Elastomer, sowie vom Fördermedium ab. Fortschreitender Verschleiß im Elastomer hat einen Verlust an Vorspannung zwischen Elastomer und Rotor zur Folge, wodurch zwar einerseits die Reibungsverluste im Wirksystem abnehmen, jedoch auch die Dichtigkeit zwischen den einzelnen Förderkammern bei zunehmenden Drücken sinkt. Die abnehmende Dichtigkeit zwischen den Förderkammern kann auch als zunehmende Rückströmung von Medium von der Druck- in Richtung Saugseite zwischen Rotor und Stator beschrieben werden. Dies ist gleichbedeutend mit Energievernichtung in der Pumpe bzw. der volumetrische Wirkungsgrad der Maschine sinkt.

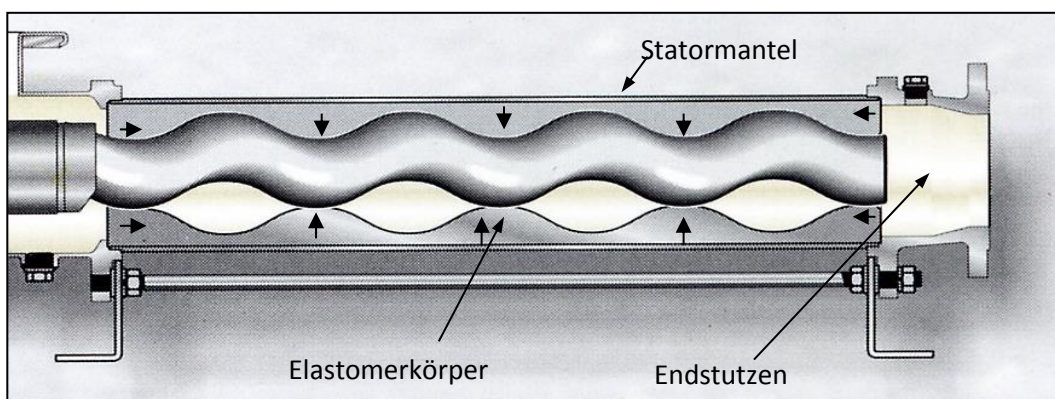


Abbildung 3: Das Stator-Rotor-Wirksystem

Das Grundprinzip dieser Entwicklung beruht auf der Tatsache, dass Gummi zwar verformbar aber inkompressibel ist. Wird dieser verformt, ändert er seine Form, aber nicht sein Volumen. Wird beispielsweise ein Gummistab in der Länge gedehnt, so ändert sich zwar seine Länge, aber nicht das Volumen. Der Durchmesser des Stabes wird sich entsprechend der Längenänderung anpassen.

Überträgt man dies auf das Statorrelastomer der Exzentrerschneckenpumpe, so bedeutet eine Längenänderung des Gummis eine Durchmesseränderung des Gewindeganges (Durchmesser des Langlochs verändert sich). Dies resultiert aus der Tatsache, dass das Elastomer im eingebauten Zustand in axialen, wie auch radialen Spannungszustand befindet und somit eine Volumenänderung des Elastomers ausschließlich nach Innen möglich ist. Diese Verengung des Langlochs führt im Stator-Rotor-System zu einer Erhöhung der Vorspannung zwischen Elastomer und Rotor. Zusammenfassend bedeutet dies, dass mit einem Verstellsystem der Anpressdruck des Elastomerkörpers auf den Rotor beeinflusst werden kann.

5.3 Funktionsprinzip

Wie anfangs beschrieben (Abschnitt 5.1) besteht der Standard-Stator aus einem Rohr in dem das Elastomer fest einvulkanisiert wird. Eine Längenänderung des Elastomers ist hier durch die Verbindung zwischen Gummi und Rohr nicht möglich. Wie ebenfalls in Abschnitt 5.3 beschrieben, wurde im Hause NETZSCH der sogenannte iFD Stator entwickelt, in dem erstmals der Stator in zwei unabhängige Teile, nämlich in Mantel- und Elastomerteil aufgeteilt ist. Mit dieser neuen Technologie ist eine Relativbewegung zwischen Mantel und Elastomerteil möglich, die zur Verstellung der Vorspannung unabdingbar ist.

Wie in Abbildung 4 schematisch dargestellt, wird mit der Längenänderung des Elastomers durch Druck oder Zug, dieses so nach innen verdrängt bzw. nach außen gedehnt, dass sich unterschiedliche Konturverläufe und somit unterschiedliche Innendurchmesser des Gewindeganges ergeben. Eine Verengung der Kontur bedeutet eine Erhöhung, eine Aufweitung eine Verringerung der Vorspannung zwischen Gummi und Rotor.

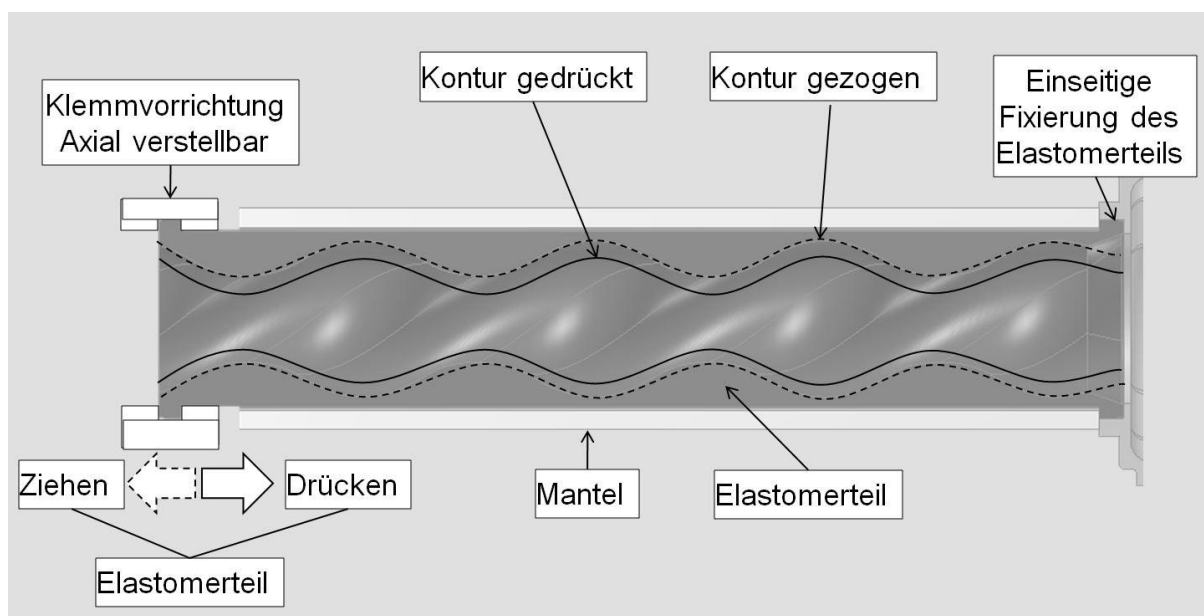


Abbildung 4: Wirkprinzip des Verstellsystems

Um das Elastomer Drücken bzw. Ziehen zu können, ist eine geeignete Vorrichtung nötig, die ein Greifen des Elastomers ermöglicht. Dies erlaubt die in Abschnitt 5.1 beschriebene iFD-Stator-Technologie. Durch den Bund an den Enden des Stators ist die Möglichkeit gegeben durch entsprechende konstruktive Lösungen Kräfte in das Elastomerteil einzuleiten.

5.4 Projektablauf

Nach der Freigabe des Pflichtenheftes durch das weltweite Führungs-Gremium des Geschäftsbereichs (GPMT) der NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH folgen zwei Projektphasen. Die erste beinhaltet die Entwicklung von reinen Funktionsprototypen. Hier lag der Schwerpunkt in der Konzeptentwicklung der rein mechanischen Ausführung des Verstellsystems. Es wurden verschiedene Prototypen unterschiedlicher Konzepte entwickelt und aufgebaut. Diese dienten der Ergebnisgewinnung hinsichtlich Belastbarkeit und Handhabung. Am Ende dieser Entwicklungsphase stand ein Konzept für die finale Konstruktion.

Wie in Abbildung 5 erkenntlich, bedeutet der Abschluss der zweiten Prototypenphase, die Freigabe des Systems durch das GPMT zur Einführung in die Vorserie und Marktvorbereitung. Dabei liegt ein seriennaher Prototypen vor, der hinsichtlich Kosten und Qualität die nötige Reife erreicht hat.

In diesem Fall wurde insbesondere auf die Handhabung und Zugänglichkeit während der Wartung der Pumpe und die möglichst einfache Demontage und Montage der Verschleißkomponenten Stator und Rotor geachtet. Auch war man in dieser Ausführung darauf bedacht, dass im Reparaturfall auf leicht zu wechselnde bzw. vormontierte Einheiten zurückgegriffen werden kann. Letztlich wurde in der zweiten Projektphase die gesamte Konstruktion selbstverständlich hinsichtlich Materialaufwand und Kosten soweit optimiert, wodurch einer sinnvollen Serienfertigung nichts mehr im Wege stand.

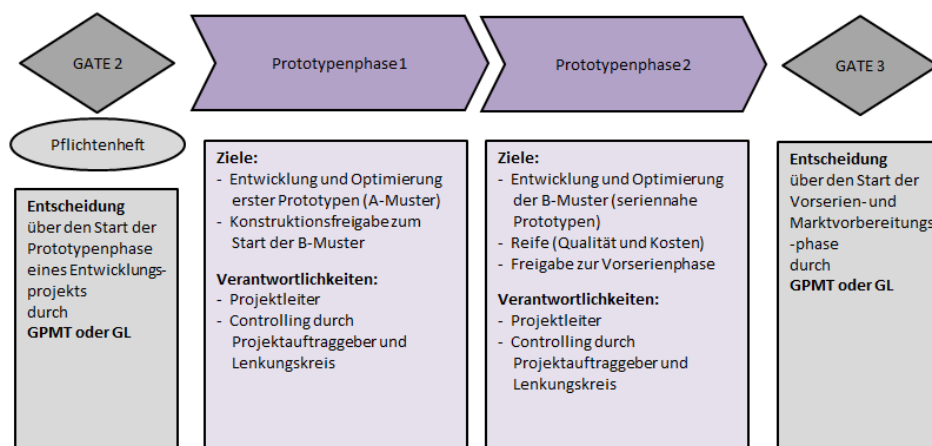


Abbildung 5 Definition Projektphasen

5.5 Aufgliederung in Unterbaugruppen

Wie in Abbildung 6 dargestellt, wurde die Entwicklung des Verstellsystems in folgende unterschiedlichen aber von einander abhängige Tätigkeitsschwerpunkte aufgliedert.

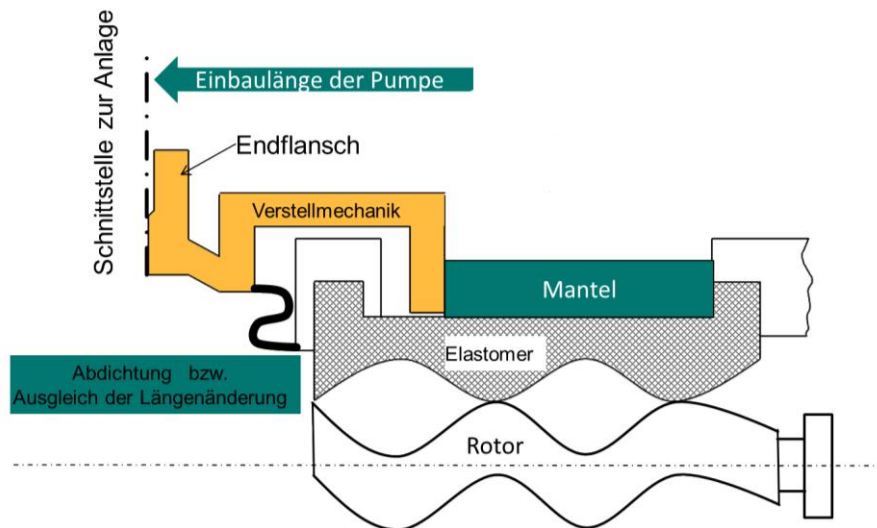


Abbildung 6 Unterbaugruppen des Verstell Systems

- Mantel:
Wie in Abschnitt 5.1 erwähnt, konnte durch die iFD-Technologie das Elastomerteil vom Statormantel (Statorrohr) getrennt werden. Für den Einsatz in Kombination mit dem Verstell System wurden besondere Anforderungen an dessen Ausführung und Oberflächenbeschaffenheit gestellt.
- Verstellmechanik:
Die Verstellmechanik ist das Herz des Verstellsystems. Diese erzeugt den Verstellweg und leitet diesen als axiale Verformung in den Stator ein.
- Elastomer:
Erhöhte dynamische Anforderungen an das Elastomer (Ziehen und Stauchen) erforderten Verbesserungen hinsichtlich der geforderten Lebensdauer
- Ausgleich der Längenänderung:
Ein axiales Verstellsystem hat die Folge, dass sich durch die Verstellung die Länge des Stators ändert, wodurch ein sogenannter Längenausgleich nötig wird, damit sich insgesamt die Position des Endflansche nicht verändert. Zudem muss die Nachrüstbarkeit des Verstell Systems in Bestandspumpen gewährleistet sein, wodurch die Einbaulänge der Pumpe gleich bleiben muss.

Der Längenausgleich stellte durch die relativ zueinander axial verschieblichen Ausgleichselemente eine besondere Herausforderung an die verwendeten Dichtelemente. Der Längenausgleich wurde zwar als separater Schwerpunkt behandelt, muss aber natürlich schon allein aus Gründen des Bauraums unmittelbar in die Mechanik integriert sein.

5.6 Mantelbeschichtung

5.6.1 Notwendigkeit einer optimierten Oberfläche

In der etablierten iFD-Stator-Technologie ist der Mantel wie schon in Abschnitt 5.1 erläutert vom Elastomerteil getrennt. Bei den standardmäßig verwendeten Halbschalen wird aus Gründen der Passivierung und der Optik eine anodische Eloxal-Beschichtung verwendet.

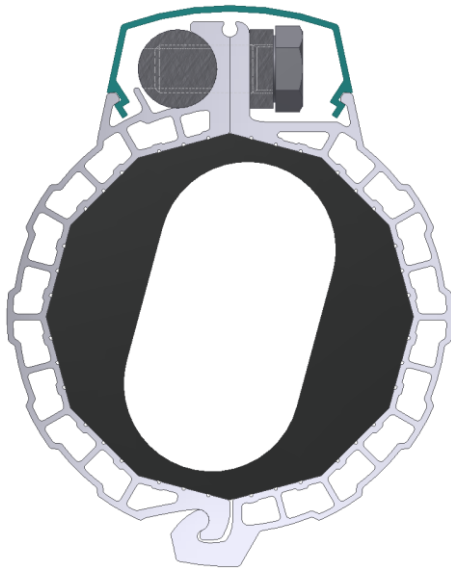


Abbildung 7 iFD Stator 2.0 im Schnitt



Abbildung 8 Längsrillen im Mantel

Schon bei der Entwicklung des iFD-Statormantels zeigte sich, dass das Elastomer auf den glatten Schlüsselflächen stark anhaftet, d.h. das Elastomer saugt sich an der glatten Oberfläche fest. Als Gegenmaßnahme für diesen Effekt wurde an die Innenseite des Mantels mehrere über den Umfang auf den Schlüsselflächen verteilte Längsrillen angebracht. Diese Rillen vermindern diesen Effekt und sind zudem fertigungstechnisch leicht realisierbar. Details siehe hierzu in Abbildung 7 und Abbildung 8.

In einem Standard-Rohrstator ist das Elastomer fest mit dem Außenrohr verbunden. Das bedeutet, axiale Kräfte die auf den Gummi einwirken, werden auf das Rohr übertragen. Bei der Ausführung als iFD-Stator kann diese Verbindung beeinflusst werden. Einerseits ist es nötig dem Elastomer soviel axialen Halt zu geben, dass er durch die wirkenden Druckkräfte nicht axial verschoben wird, d.h. dem Druck ausweicht und somit die Leistung der Pumpe sich vermindert. Andererseits muss sich bei der Montage das Elastomer wie in Abschnitt 5.1 erläutert, soweit axial verpressen, bis sich das Stator Nennmaß und die geforderte Klemmung zwischen Gummi und Rotorschnecke einstellt. Zudem soll dem Elastomer eine gewisse dynamische Flexibilität gewährt werden, damit die Vorteile des iFD-Stators gänzlich zum Tragen kommen. Mit der bisher verwendeten Kombination aus Eloxalbeschichtung und Längsrillen wurde für die bisherigen Anforderungen des iFD Stators ein guter Mittelweg gefunden. Das Elastomerteil hat gerade so viel Bewegungsfreiheit wie es benötigt.

In der Anwendung im Verstellsystem sind die Anforderungen noch etwas komplexer. Das Elastomer muss nach wie vor genügend „Haftung“ besitzen, um den entstehenden axialen Druckkräften standhalten zu können. Andererseits ist es erforderlich, dem Elastomerteil noch mehr Beweglichkeit zu geben, da das Prinzip der Verpressung darauf beruht, dass der Stator in den Mantel gedrückt wird und durch diese Verpressung eine über die Statorlänge relativ gleichmäßige Querschnittsverengung erfährt. Wie Versuche zeigten, ist bei der bisher verwendeten Eloxalbeschichtung die Anhaftung für die Anwendung im Stator Verstellsystem zu stark. Die Folge waren eine äußerst ungleichmäßige Querschnittsveränderung über die Länge des Stators. Wobei die größte Verformung im Bereich der eingebrachten Verstellung auftritt, während sich der übrige Teil des Stators kaum verformt. Dies führt zwangsläufig zu einer lokalen Überlastung des Elastomerteils, weil die eingebrachte Verformung sich nur über einen lokal sehr beschränkten Teil abbauen kann. Die lokalen Verformungen und Spannungen überschreiten die Belastungsfähigkeit des Elastomers, vor allem im Bundbereich, bei Weitem.

5.6.2 Reduzierung der Anhaftung/Reibung des Elastomers

Infolge der in Abschnitt 5.6.1 genannten Gründe, wurde nach Möglichkeiten der Optimierung der Oberfläche gesucht. Dies erstreckte sich von verschiedensten Beschichtungssystemen, über Trockenschmierung bis hin zu sprühbaren Gleitlacken. Als Referenz wurde die ölgeschmierte anodische Eloxalbeschichtung festgelegt. Diese Variante ist zwar nicht praxistauglich, hatte aber die niedrigsten Haft und Gleitwerte.

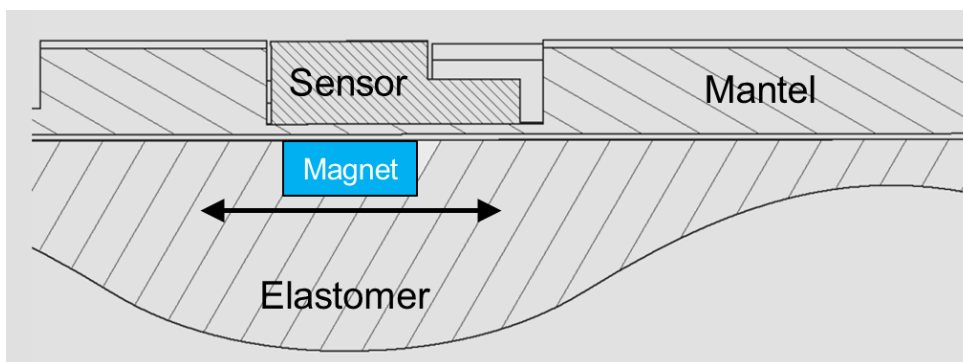


Abbildung 9 Messprinzip zur Verschiebungsmessung

Um hier einen qualitativen Vergleich unterschiedlicher Beschichtungen herstellen zu können, wurde die relative Verschiebung erfasst. Der prinzipielle Messaufbau ist in Abbildung 9 dargestellt.

Die Messung der Verschiebung wurde mit einem speziell präparierten Mantel mit Hallsensoren und einem Elastomerteil, in dem Magneten als Messpunkte gleichmäßig über die Statorlänge eingebracht waren, durchgeführt. Mittels dieser Sensoren ist es möglich, die relative axiale Bewegung des Elastomers bzw. der Magneten zu detektieren. Dabei wurde die Verschiebung aufgrund der Druckkräfte ebenso aufgezeichnet wie die Verschiebung durch die eingebrachte Statorverformung. Diese gemessenen Verschiebungen wurden mit der theoretischen Verschiebung verglichen, d.h. es wurde davon ausgegangen, dass die eingebrachte Verformung (Stauchung) des Stators sich linear über die Statorlänge abbaut. Die Verschiebung wurde bei unterschiedlichen Drücken gemessen. Die

Abweichung der gemessenen Drucklinien von der theoretischen Verschiebungslinie ist ein relatives Maß für die Druckstabilität einerseits, andererseits aber auch für die Verformbarkeit des Stators andererseits.

In Abbildung 10 sind zwei Messungen unterschiedlicher Beschichtungen gegenübergestellt. Die einzelnen Linien stellen die Verschiebung über die Statorlänge bei unterschiedlichen Drücken dar. Die Druckverschiebung ist besonders gut bei „Beschichtung 1“ in der linken Darstellung zu erkennen, die Druckstabilität des Stators ist nicht zufriedenstellend. Dies ist an dem relativ breiten Abstand der Linien zueinander erkennbar. Bei „Beschichtung 2“ hält sich die Druckverschiebung jedoch in Grenzen und die eingebrachte axiale Verformung des Stators kann annähernd linear abgebaut werden.

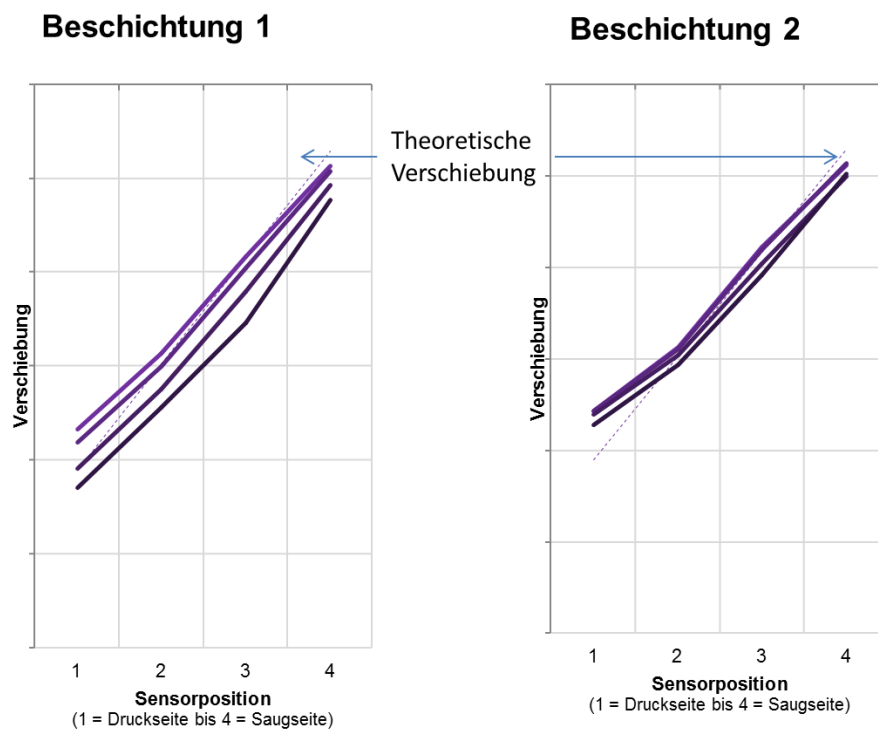


Abbildung 10 Auswertung Verschiebungsmessung

5.6.3 Ergebnis und ausgewählte Beschichtung

Wie in Abschnitt 5.6.1 erläutert, stellt die geforderte Oberfläche des Mantels einen Kompromiss aus möglichst geringem Stick-Slip-Effekt und einer gut gleitenden Oberfläche mit gleichzeitig ausreichendem Reibwert zur Abstützung der auftretenden Druckkräfte dar. Die in Abbildung 10 aufgeführte Beschichtung 2 kommt dieser Anforderung schon sehr nahe. In Abbildung 11 ist die für das Verstellsystem ausgewählte Beschichtung dargestellt.

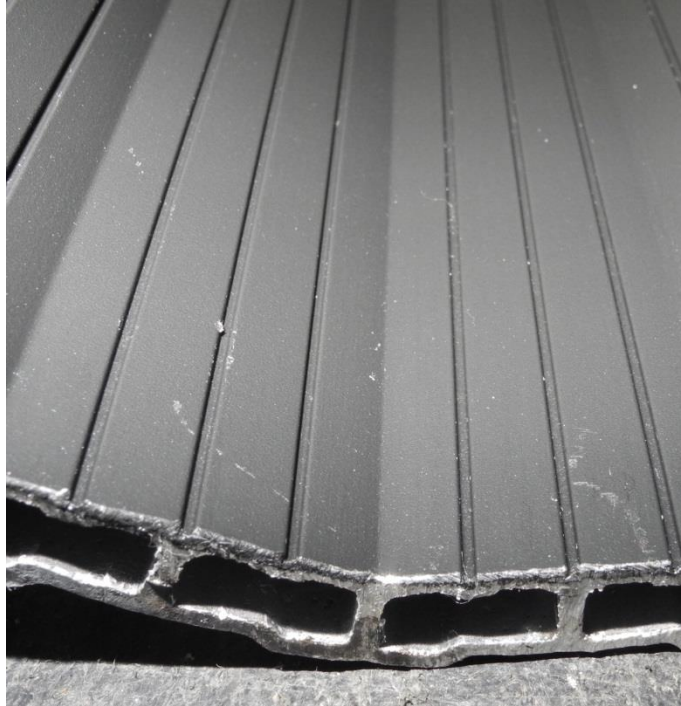


Abbildung 11 Ausgewählte Mantelbeschichtung

5.7 Verstell-Prinzipien

Wie in Abschnitt 5.5 aufgeführt wurde das Projekt „Statorverstellsystem“ in mehrere Unterbaugruppen unterteilt. Das wohl vielfältigste und umfangreichste Themengebiet war die Auswahl des mechanischen Verstell-Prinzips und die Umwandlung dieses Prinzips in eine ausgereifte Verstellmechanik. Hierbei wurden unterschiedlichste Wege erprobt. Zum Beispiel wurde anhand eines „Morphologischen Kastens“ versucht, die „Scheuklappen“ abzulegen und anfangs so offen wie möglich an die Entwicklung eines Prinzips zur Umwandlung einer Rotation in eine translatorische Bewegung zu suchen.

Dabei wurden auch neue Wege gegangen. Zusätzlich zu eigenen Entwicklungsarbeiten, wurde ein externes Ingenieurbüro damit beauftragt denkbare Prinzipien zu entwickeln, diese hinsichtlich Machbarkeit, Funktionalität und Kostenaufwand zu bewerten und vorzustellen. Die Idee hierfür war, dass jemand der nicht unbedingt die Details der Pumpe kennt, für die Anwendung neuer Ideen und Prinzipien weitaus aufgeschlossener ist, als Mitarbeiter die sich täglich mit der Pumpe beschäftigen. Das zur Verfügung gestellte Anforderungsprofil wurde sehr grob festgelegt, um möglichst wenig Einschränkungen in der Entwicklung des Grundprinzips vorzugeben.

Das Ergebnis war sehr interessant. Aus der internen Prinzip-Entwicklung gingen eine ganze Vielzahl von denkbaren Grundprinzipien hervor und deckten sich zum Großteil mit den extern generierten Vorschlägen. Die drei erfolgversprechendsten Prinzipien wurden schlussendlich zur Ausführung als Funktionsprototyp ausgewählt und werden nachfolgend vorgestellt.

5.7.1 Funktionsprinzip „Hydraulik“

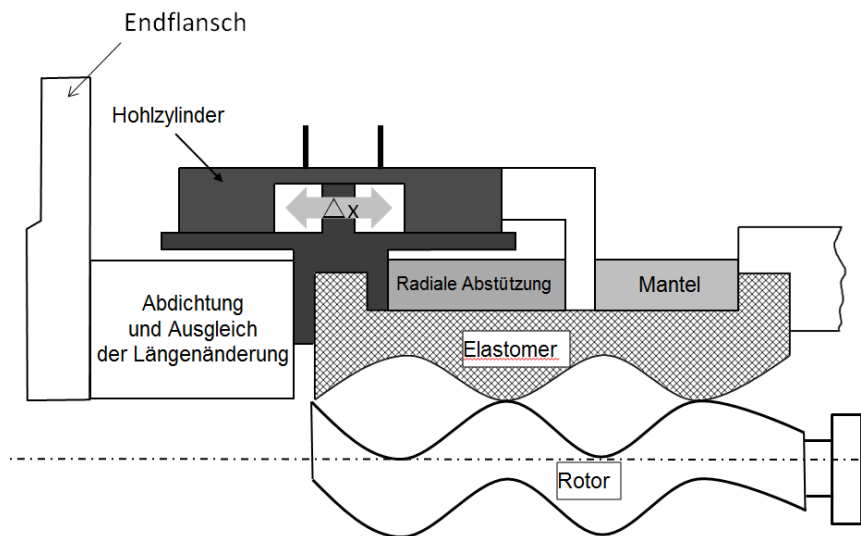


Abbildung 12 Funktionsprinzip Hydraulik

Wie in der schematischen Abbildung 12 erkenntlich, besteht das Prinzip der Hydraulischen Verstellvorrichtung aus einem Hohlzylinder, in dem ein als Ring ausgeführter Kolben eingesetzt ist und über eine entsprechende hydraulische Pumpeinrichtung bewegt werden kann.

In Abbildung 13 ist die Ausführung als aufgebauten Funktionsprototyp dargestellt.

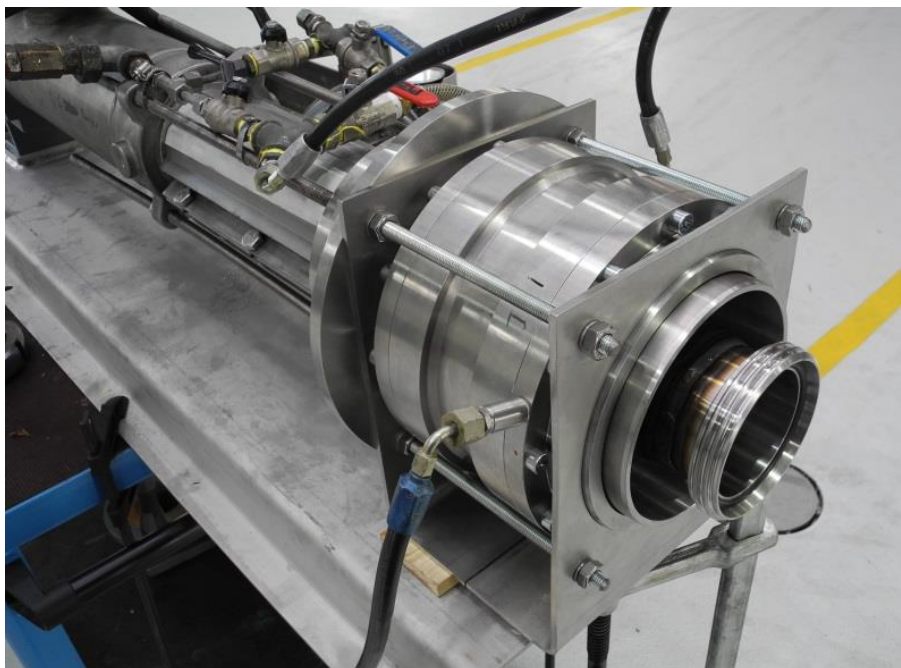


Abbildung 13 Prototyp hydraulische Verstellung

5.7.2 Funktionsprinzip „Keilflansch“

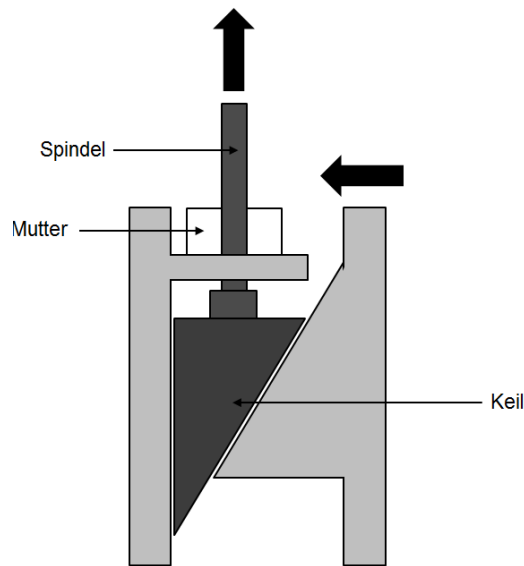


Abbildung 14 Funktionsprinzip "Keilflansch"

Das sogenannte Prinzip „Keilflansch“ besteht aus zwei parallelen Platten, von denen die erste eine schräge Führung aufweist und mit der zweiten Platte über einen Schlitten in Keilform verbunden ist. Bei vertikaler Bewegung des Schlittens bewegen sich die beiden Platten voneinander weg, oder aufeinander zu. Die vertikale Bewegung wird über eine senkrechte Gewinde-Spindel in das System eingebracht. In Abbildung 14 ist der sogenannte „Keilflansch“ schematisch ohne alle anderen Bauteile, wie Längenausgleich oder Mantel dargestellt. In Abbildung 15 ist die Ausführung als Funktionsprototyp dargestellt.

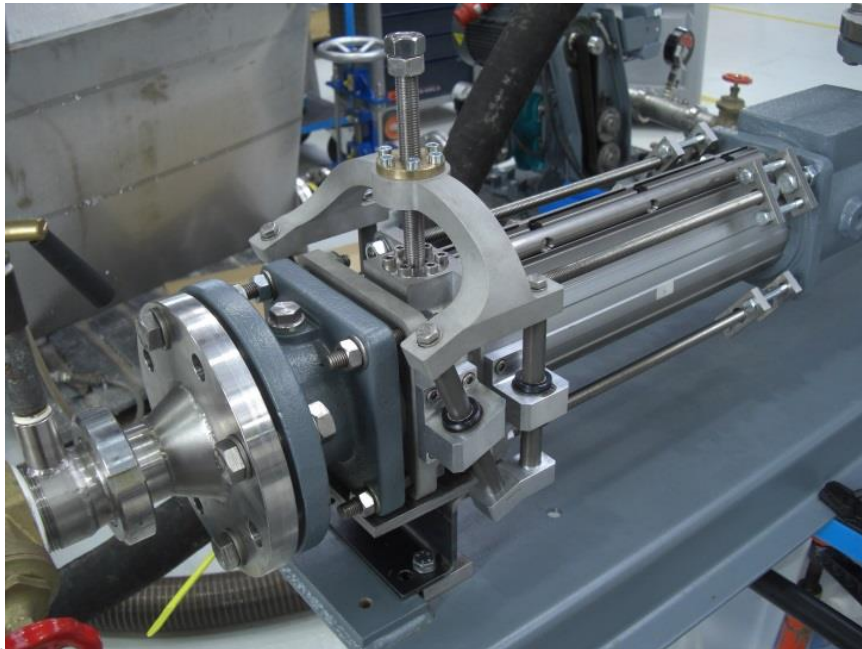


Abbildung 15 Prototyp "Keilflansch"

5.7.3 Funktionsprinzip „Spindeltrieb“

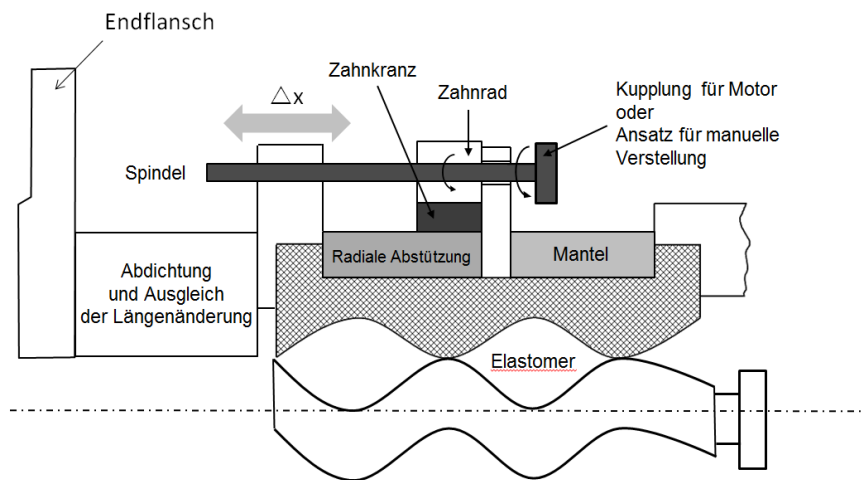


Abbildung 16 Funktionsprinzip Spindeltrieb

Das sogenannte Prinzip „Spindeltrieb“ wandelt die Drehbewegung einer Gewindespindel in eine stark untergesetzte translatorische Bewegung um. Zudem bietet die Gewindespindel den Vorteil der Selbsthemmung bei ausreichend kleiner Steigung. Dabei werden mehrere Gewindespindeln so über den Umfang verteilt, sodass die Aufnahme des Elastomers mit Hilfe dieser axial verschoben werden kann. Wie in Aufbauschema Abbildung 16 dargestellt, sind die Spindeln über dem Umfang mit einem zentralen Zahnkranz und kleinen Ritzeln an jeder Spindel miteinander verbunden.

Im Abbildung 17 ist der erste Prototyp eines „Spindeltriebs“ dargestellt.

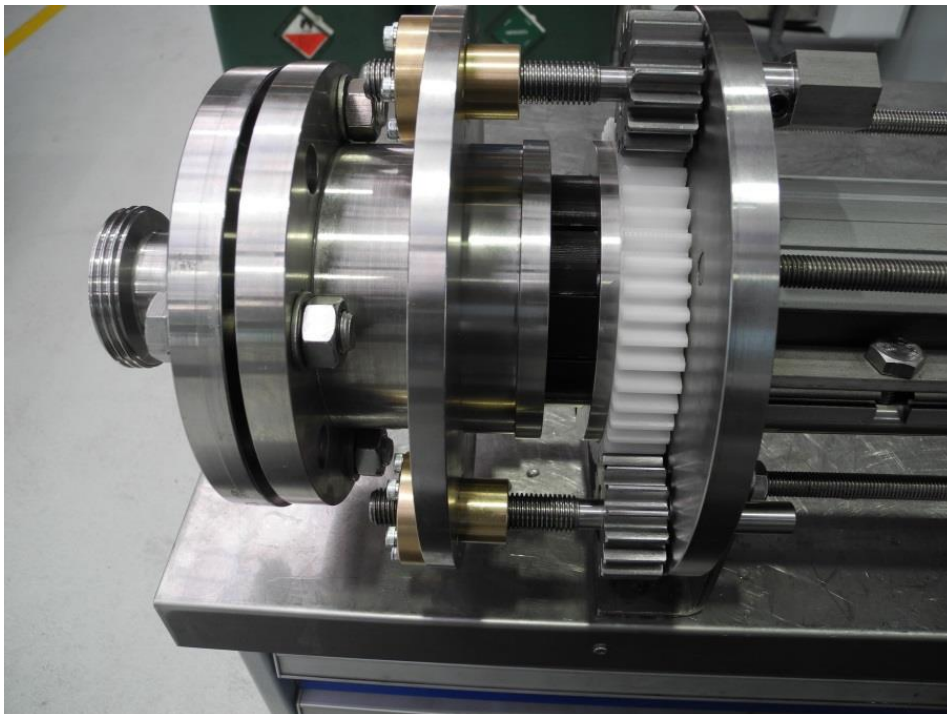


Abbildung 17 Erster Prototyp Spindeltrieb

5.7.4 Auswahl des favorisierten „Verstellprinzips“

Die verschiedenen Funktionsprototypen wurden Belastungsdauertests unterzogen. Es stellte sich heraus, dass die in Abschnitt 5.7.1 beschriebene hydraulische Variante für eine Verstellung in einem Verstellsystem zwar Vorteile bietet (z.B. gute Kraftentwicklung des Hydraulikzylinders), jedoch aufgrund der Komplexität und notwendigen Genauigkeit der Bauteile mit den anderen Varianten nicht mithalten kann. Zudem wäre ein zusätzliches System zur Druckentwicklung (Hydraulikpumpe) und zur Betätigung (Ventile) notwendig. Der Aufbau des Funktionsprototyps war aber für das Projekt dennoch für Messaufgaben, wie z.B. der Messung der im System wirkenden Kräfte von wichtiger Bedeutung.

Beim Vergleich der beiden Funktionsprototypen „Spindeltrieb“ und „Keilflansch“, dominierte beim System „Keilflansch“ klar dessen kompakte Bauweise und geringe Teilevielfalt. Das System „Spindeltrieb“ jedoch besaß klare Vorteile durch die Verwendung von Standardteilen und die Funktion und Belastbarkeit der mechanischen Komponenten ist weitestgehend bekannt und etabliert. Beim System „Keilflansch“ ist die Funktionsweise zwar gegeben, die Dauerfestigkeit aber noch unbekannt. Auch ist in Anbetracht der Entwicklung des Verstellsystems für weitere größere Baugrößen die Hochskalierung kritisch. Die auftretenden Kräfte können zum aktuellen Stand nur abgeschätzt werden, sodass die Mechanik möglicherweise an die Grenzen kommen könnte. Zudem sind im System „Keilflansch“ die Auswirkungen der vorhandenen Querkräfte unbekannt, d.h. es müsste eine verstärkte axiale Führung in das System integriert werden.

Beim System „Spindeltrieb“ können die höheren Systemkräfte durch eine entsprechend höhere Spindelanzahl ausgeglichen werden. Somit ist das System „Spindeltrieb“ für weitere Baugrößen einfacher skalierbar. Insgesamt überwiegen die geringeren Risiken und somit wurde das System „Spindeltrieb“ als Fokuskonzept ausgewählt und im Projekt weiter vorangetrieben.

5.8 Elastomer

Das Elastomer stellt in der Verwendung im Verstellsystem eine Schlüsselrolle dar, das bedeutet das System lebt oder stirbt mit dem Elastomerteil. Die Verwendung im Verstellsystem wurde erst durch die Weiterentwicklung der iFD-Stator-Technologie wie in Abschnitt 5.1 beschrieben realisierbar, die es ermöglichte das Elastomer entsprechend zu greifen und Kräfte einzuleiten. Dies wurde in Extrem-Dauertests in der NETZSCH-Versuchsabteilung in Kombination mit dem System „Spindeltrieb“ genauer untersucht.

5.8.1 Elastomerabstützung

Das Elastomer ist in diesem Bereich sehr stark beansprucht. Hinzu kommt, dass das Gummitteil durch die axiale Verstellung in einem gewissen Bereich nicht durch den Mantel abgestützt werden kann. Im ersten Schritt wurde dies durch eine sogenannte Kammabstützung gelöst, siehe hierzu Abbildung 18.



Abbildung 18 Prototyp "Kammabstützung"

Diese Lösung brachte eine wesentliche Verbesserung der Situation. Durch das Ineinandergreifen der „Kämme“ wurden einerseits die freiliegenden Bereiche des Elastomers auf ein Minimum reduziert, andererseits war die axiale Flexibilität gewährleistet. Jedoch zeigten Extrem-Dauerversuche, dass das Elastomer an den noch verbleibenden „kleinen“ freiliegenden Stellen des Elastomers durch die axiale Bewegung mit der Zeit durchgescheuert wird.

5.8.2 Lösungsansätze

Für die Entschärfung der lokalen Überbeanspruchung und der fehlenden Abstützung im Bereich des Verstell Systems wurden nun verschiedene Wege gegangen. Es sollen hier nur die wichtigsten Lösungsansätze aufgeführt werden.

Beide Lösungsansätze verfolgen das Ziel, dass der Anfangsbereich des Stators in axialer Richtung, vor allem hinsichtlich entstehender Zugspannungen, zu verstärken wird. Wie in Abbildung 19 schematisch dargestellt, wurden Versuche durchgeführt hier Elemente in Form von Gewebeeinlagen oder Stützhülsen mit in das Elastomerteil einzuarbeiten.

Dies brachte aber insgesamt keine zielführenden Ergebnisse, die in einer Serienfertigung realisiert werden hätten können.

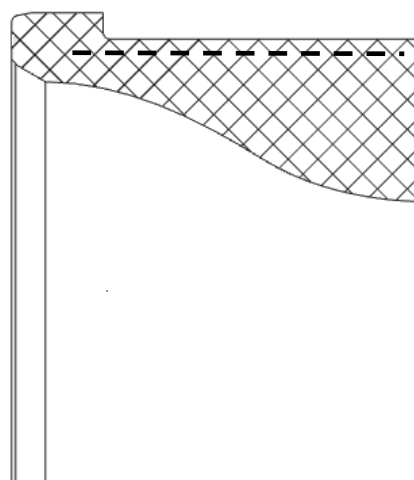


Abbildung 19 Prinzip Gewebeverstärkung

5.8.3 Stützhülse

Der Durchbruch gelang mit einer wesentlich einfacheren Lösung. Hierbei wird eine Stahlhülse mit einer speziellen Vorrichtung so über den Stator gezogen, dass diese eng an den in diesem Bereich rundgeformten Stator anliegt.

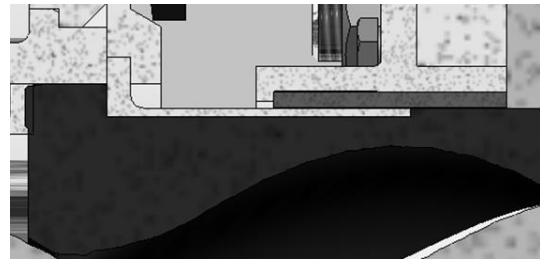


Abbildung 20 Prinzip "Hülsenabstützung"

Dies hat folgende Vorteile: Einerseits wird der stark beanspruchte Teil des Stators entlastet, da die Kräfte durch die eng anliegende Metallhülse auf einen größeren Bereich in das Elastomer eingeleitet werden. Zum anderen gibt es keine Bereiche mehr die komplett frei liegen. Die Serienausführung der Hülse wird als kostengünstiges Blechteil erfolgen. Beim Statorwechsel wird der Stator mit vormontierter Hülse geliefert. Mit dieser Hülse ist es gelungen, dass das Elastomerteil soweit verstärkt und abgestützt wird, dass die geforderte Widerstandsfähigkeit bzw. Lebensdauer des Elastomers erreicht wird.

5.9 Längenausgleich des Verstellsystems

Wie in Abschnitt 5.4 schon kurz erläutert, hat ein axiales Nachstellsystem den Nachteil, dass sich die Statorlänge ändert. Hier war die Herausforderung ein integriertes Längenausgleichssystem zu entwickeln, das einerseits mit den sehr beschränkten Bauraum aus kommt, andererseits unempfindlich gegenüber allen in Frage kommenden Medien ist. Ebenso muss auch die Dichtheit gewährleistet sein, auch wenn die Verstellung lange Zeit nicht betätigt wird und sich Ablagerungen in diesem Bereich ansetzen können usw. Hierfür wurden verschiedene Möglichkeiten untersucht, wie die folgenden Abschnitte aufzeigen sollen.

5.9.1 Zylinderdichtung

Eine naheliegende Lösung ist eine Zylinderdichtung in verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten. Eine einfache O-Ring Dichtung ist in Anbetracht der rauen Betriebsbedingungen nicht geeignet. Eine Variante mit einem vorgespannten Dichtungsring in Kombination mit Führungsringen und Schmutzabstreifer wäre jedoch denkbar.

Leider spricht die Option zur Verwendung des Verstellsystems in Vorprozessen der Lebensmittelindustrie gegen die Verwendung einer Zylinderdichtung.

5.9.2 Rohrkompensator als separates Bauteil

Eine einfache und etablierte Möglichkeit Längenänderungen bei von Medium durchströmten Rohrleitungen auszugleichen, ist die Verwendung eines Rohrkompensators. Hierzu wurden Untersuchungen zu Metall-Wellbalg-Kompensatoren und gewebeverstärkten Elastomerkompensatoren durchgeführt. Durch die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Exzentrerschneckenpumpen spielt die chemische Beständigkeit bzw. die verwendeten Elastomerqualitäten eine wichtige Rolle. Die Verwendung eines Elastomerkompensators hätte zur Folge, dass hier verschiedene Kompensatorvarianten in unterschiedlichen Elastomerqualitäten vorgehalten werden müssten. Das eigentliche Ausschlusskriterium dieser Lösung liegt jedoch kostenbedingt und in der Tatsache, dass durch die Verwendung eines Elastomerkompensators die Baulänge der Pumpe sich unweigerlich erhöhen würde, da der Kompensator nicht in das System integriert werden kann.

Der Ausführung des Längenausgleichs in Form eines Metall-Wellbalg-Kompensators ist ebenso durch die noch höheren Anschaffungskosten und noch höherer Baulänge begründet.

5.9.3 Manschette mit Stützfluid

In Abbildung 21 ist schematisch ein System zur Aufnahme der Statorlängenänderung mittels einer Elastomer-Manschette und einem Stützfluid dargestellt. Die Grundidee besteht darin, dass die Manschette keine Druckkräfte aufnehmen muss. Die Druckkräfte werden über die Manschette und dem dahinterliegenden Stützfluid aufgenommen und auf die Zylinderwandung abgeleitet. Die Darstellung zeigt den idealen Zustand der Manschette im ganz eingefahrenen und vollständig ausgefahrenen Zustand des Längenausgleichs. Der Vorteil dieses Systems liegt darin, dass es direkt in das Verstell System integriert werden kann und auch keine sich relativ zueinander bewegende Dichtungen aufweist, die in Mediumkontakt stehen. Zudem können eventuelle Ablagerungen aus dem Medium der Manschette nur wenig anhaben, bei Verformung der Manschette „bröckeln“ diese einfach ab. Auch wäre es mit einer Elastomermanschette möglich, die Abdichtung zu den übrigen Bauteilen so zu gestalten, dass auch eine Anwendung in Vorprozessen der Lebensmittelindustrie denkbar wäre.

Ein weiterer Nachteil dieser Lösung besteht aber darin, dass es sich dabei um ein geschlossenes System handelt, sodass das Stütz-Fluid im eingefahrenen Zustand verdrängt werden muss und durch die innen wirkenden Mediumsdruckkräfte vermutlich keine ideale und vorhersehbare Verformung der Manschette vorliegen wird. Es wurde ein Prototyp dieses Prinzips im NETZSCH-Versuchsabteilung (Abbildung 22) aufgebaut und unter reellen Druckbedingungen getestet. Es bestätigte sich die Vermutung, dass die Verformung der Membran schlecht vorhersehbar ist und stets Stellen in der Membran lokal überbeansprucht werden. Auch stellt das korrekte Befüllen und Entlüften des Fluidraumes eine besondere Herausforderung dar, die vielleicht im Hause NETZSCH bei der Erstmontage zu bewerkstelligen ist, jedoch vor Ort von Kunden nur bedingt und mit einem hohen Fehlerrisiko durchgeführt werden kann. Diese Fehlerträchtigkeit galt es zu entschärfen.

Um diese Handhabung zu vereinfachen gab es Entwürfe diese fluidgestützte Membran in einer vormontierten Einheit zu verbauen. Somit wäre es möglich, im Schadensfall nicht den Längenausgleich in seine Einzelteile zerlegen zu müssen, sondern eben als komplette Einheit austauschen zu können. Letztlich wurde entschieden, dass dadurch die Systemkomplexität und somit auch der Kostenaufwand zu stark steigen würde.

Mit einer Elastormanschette wäre es möglich, die Abdichtung zu den Anschlusselementen so zu gestalten, dass eine Anwendung in Vorprozessen der Lebensmittelindustrie denkbar wäre. Mit der Verwendung eines Stützfluids würde dies jedoch, durch das Risiko des Austritts des Fluids, wieder unwahrscheinlicher werden. Dies spricht also ebenfalls dafür, dass nach Möglichkeit die Membran ohne Stützfluid verwendet wird.

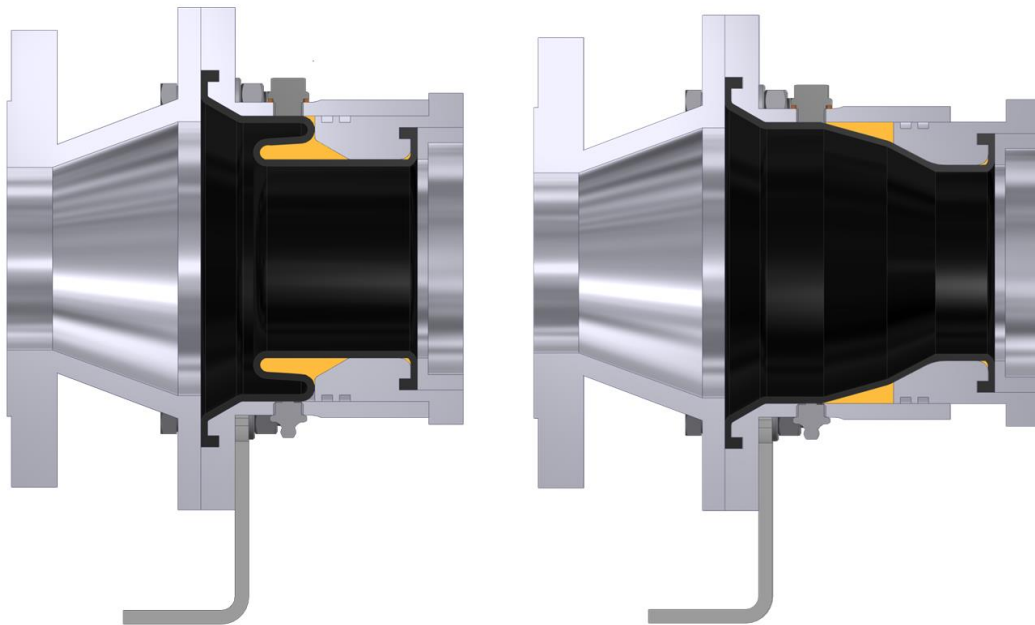


Abbildung 21 Manschette Fluidgestützt gezogen und gestaucht

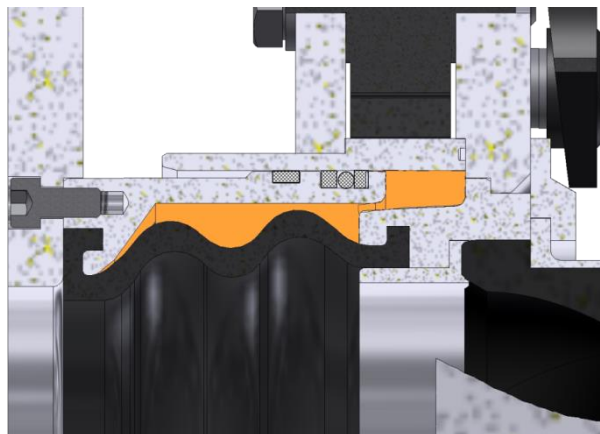


Abbildung 22 Manschette Fluidgestützt - Ausführung Wellprofil

5.9.4 Manschette ohne Stützfluid

Nun galt es das System möglichst zu vereinfachen. Dies bedeutet aber auch im Umkehrschluss, dass die Druckkräfte entweder über andere Bauelemente abgestützt, oder die Mediums-Druckkräfte müssen direkt von der Elastomer-Manschette aufgenommen werden müssen, ähnlich wie es in der Verwendung eines gewebeverstärkten Elastomerkompensators der Fall ist. Es sollen nun in den folgenden Absätzen die Vor- und Nachteile beider Möglichkeiten aufgezeigt werden und die Entscheidung des ausgewählten Prinzips dargelegt werden

Manschette mit Stützrippen

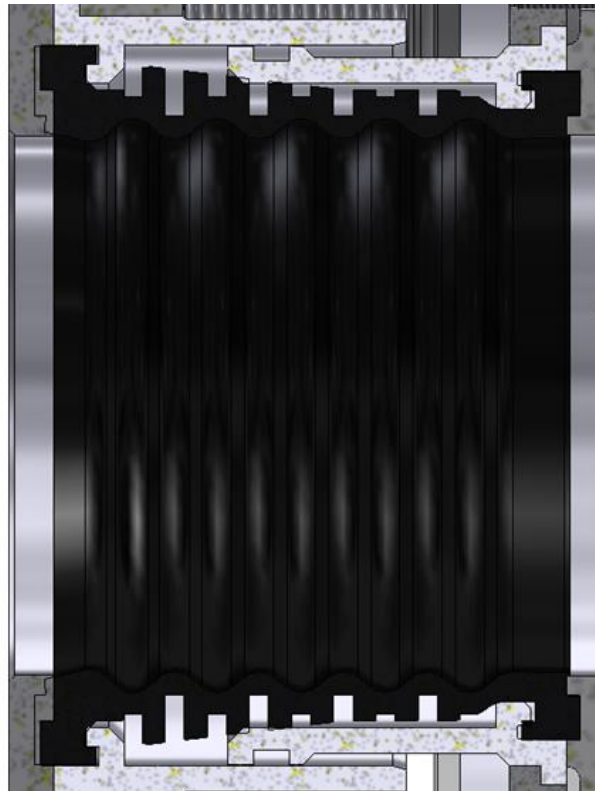


Abbildung 23 Manschette mit Stützrippen

Die in Abbildung 23 dargestellte Prototypen-Ausführung ist eine Elastomer-Manschette mit einer nach innen ausgeprägten Wellkontur und nach außen abstehenden Stützrippen. Diese Stützrippen haben die Aufgabe radial wirkende Kräfte an der Zylinderwandung abzustützen und zusätzlich der Manschette eine gewisse axiale Flexibilität zu verleihen, auch wenn Druckkräfte im Inneren wirken.

Manschette mit separaten Stützringen

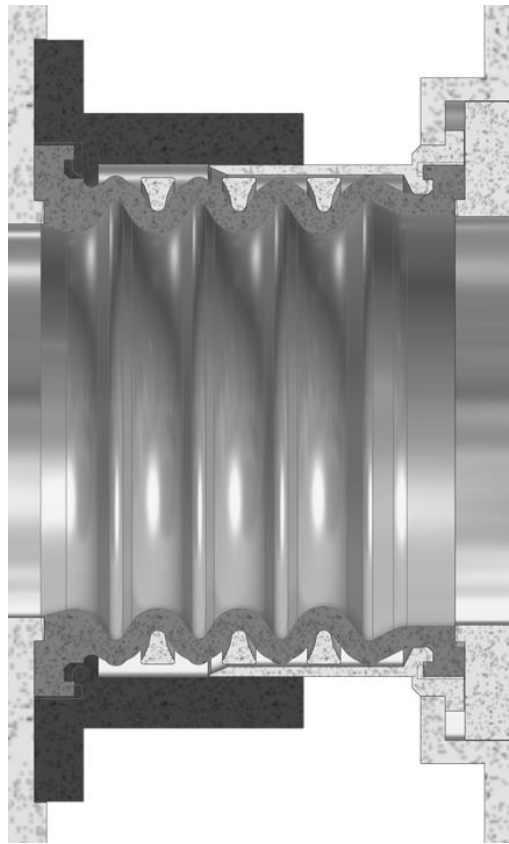


Abbildung 24 Manschette mit Stützringen

Das in Abbildung 24 dargestellte Schnittmodell zeigt die Lösung der Manschette mit mehreren separaten Stützringen. Der auf die Innenwelle der Manschette wirkende Innendruck drückt diese nach außen. Dem wird hier nun mit entsprechend gerundeten Stützringen begegnet, sodass keine lokalen Überbeanspruchungen der Manschette auftreten. Die verwendeten Stützringe erlauben dem Elastomer in jedem Dehnungs- oder Stauchungszustand nur gerade die maximal zulässige Verformung, sodass der Gummi nicht überbeansprucht wird.

5.9.5 Fokuskonzept Längenausgleich

Zum Zeitpunkt der Antragstellung für die DBU-Förderung konnte der Aufwand der Entwicklung des Längenausgleichs nur bedingt abgeschätzt werden. Wie in den vorhergegangenen Abschnitten aufgezeigt wurden einige möglichen Varianten des Längenausgleichs durchdacht und teilweise als Prototypen ausgeführt. Die als Prototyp vorliegende Variante „Manschette mit Stützrippen“ hat sich in Tests zwar als vielversprechend erwiesen, war jedoch aufgrund der gewonnen Erkenntnisse, vor allem in Bezug der schlechteren Druckabstützung der Lösung „Manschette mit Stützringen“ unterlegen. Es wurde somit die Lösung „Manschette mit Stützringen“ fokussiert und zur Serienreife geführt.

5.10 Austausch des Stator/Rotorsystems

Das Stator-Rotor-Wirksystem der Exzentrerschneckenpumpe unterliegt je nach Anwendung unterschiedlicher Verschleißbelastung. Somit muss von Zeit zu Zeit der Stator und gegeben falls auch der Rotor getauscht werden. Dies erfolgt üblicherweise durch Demontage des sogenannten Endstutzens (vgl. hierzu Abbildung 1) sodass der Stator vom Rotor abgezogen werden kann.

In Kombination mit dem Statorverstellungssystem ist diese Notwendigkeit aufgrund der Standzeitverlängerung der Verschleißkomponenten zwar nicht mehr so häufig der Fall, jedoch muss die Wartungszugänglichkeit weiterhin gegeben sein. Es wurden zwei Grundkonzepte des Austauschs entwickelt. Zunächst entstand im Laufe des Projekts das sogenannte Konzept „Klappen“ aus dessen Erkenntnissen schlussendlich das System „Schwenken“ entstanden ist. Beide Grundkonzepte sollen hier nun kurz erläutert und diskutiert werden. Diese Gesichtspunkte wurden zum Zeitpunkt der Antragstellung nicht unberücksichtigt und machten eine Entwicklungsschleife nötig. Rückblickend kann festgehalten werden, dass dieser Schritt ausschlaggebend für ein anwenderfreundliches Stator-Verstellungssystem wurde.

5.10.1 Prinzip „Klappen“

Das sogenannte „Klapp-Prinzip“ ist daraus entstanden, dass sich das Verstellungssystem während der Stator-Wartung möglichst nicht im Bereich der freien Stator-Ausbaulänge befinden sollte, aber trotzdem nicht komplett abmontiert und beiseite gehoben werden muss. Die Demontageschritte sollen anhand einer kurzen Bilderfolge (Abbildung 25 bis Abbildung 29) erläutert werden.

1.
 - Ausgangsposition
 - der Anlagenflansch ist gelöst
 - Verstellungssystem befindet sich in verpresster oder zumindest in Mittelstellung des Verpressweges
 - der Anlagenflansch ist gelöst



Abbildung 25 System geschlossen, Schritt1

2.

- Bundklemmring wird mittels Spannelemente gelöst
- Verstellung wird „aufgefahren“
- Bund des Elastomers liegt frei



Abbildung 26 Schritt 2 - Lösen der Elastomerverspannung

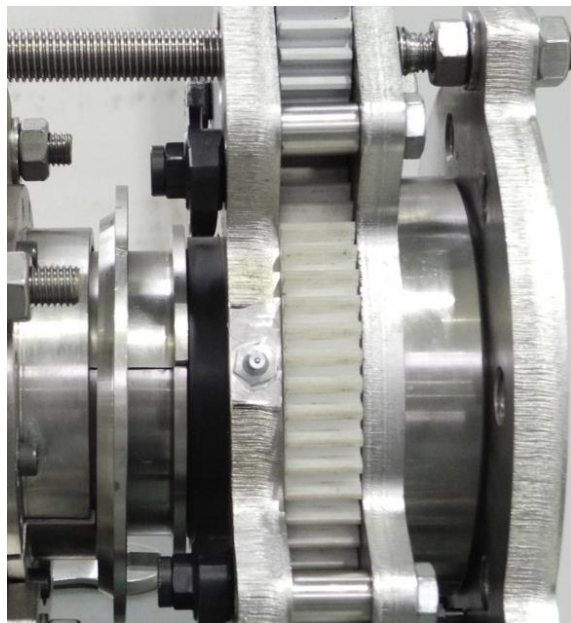


Abbildung 27 Schritt 2 - Elastomer gelöst

3.

- der obere Teil des Verstellsystems kann aufgeklappt werden
- Stator ist frei zugänglich
- Stator liegt gestützt auf dem unteren Teil des Verstellsystems auf



Abbildung 28 Schritt 3 - System aufgeklappt

4.

- Stator kann nun abgezogen und getauscht werden

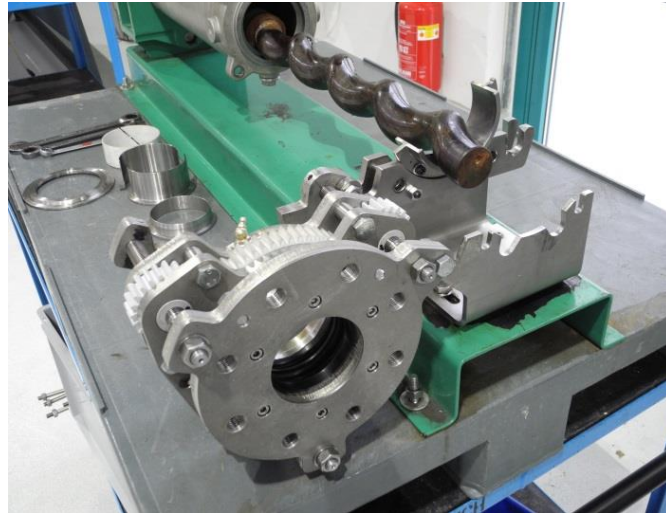


Abbildung 29 Schritt 4 - Stator demontiert

5.10.2 Prinzip „Schwenken“

Abbildung 30 bis Abbildung 32 zeigen den Demontageablauf des „Prinzips Schwenken“

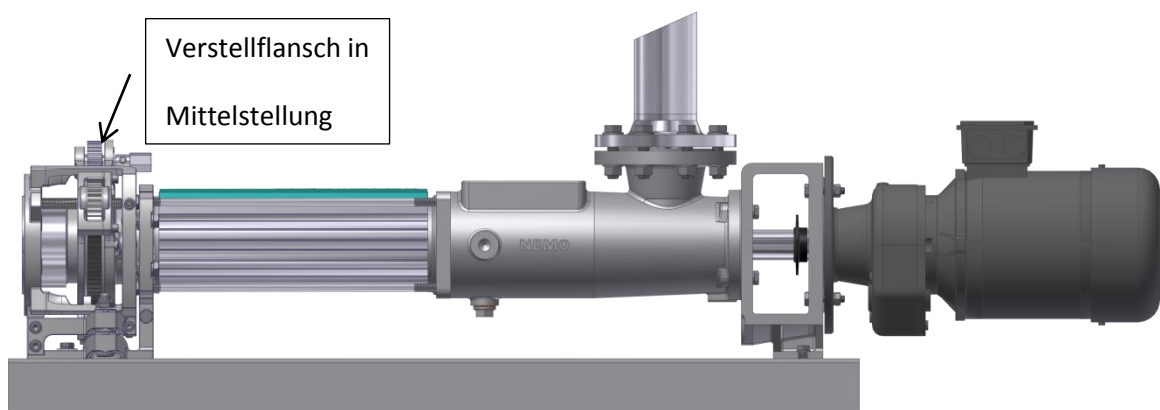


Abbildung 30 Schritt1 Ausgangssituation

- der Anlagenflansch ist gelöst
- Verstellsystem befindet sich in verpresster Position bzw. in Mittelstellung des Verpressweges
- nach dem Positionieren des Verstellflansches in der Mittelstellung werden die Schrauben zum Lösen des Bundklemmrings zugänglich
- Schrauben werden gelöst
Bundklemmring kann durch leichte Drehung freigegeben werden

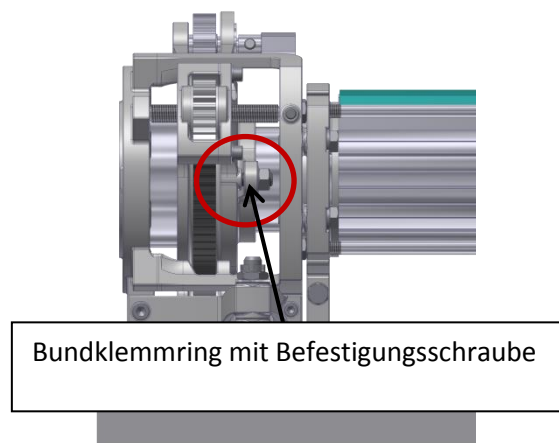


Abbildung 31 Schritt2 Lösen der Bundklemmung

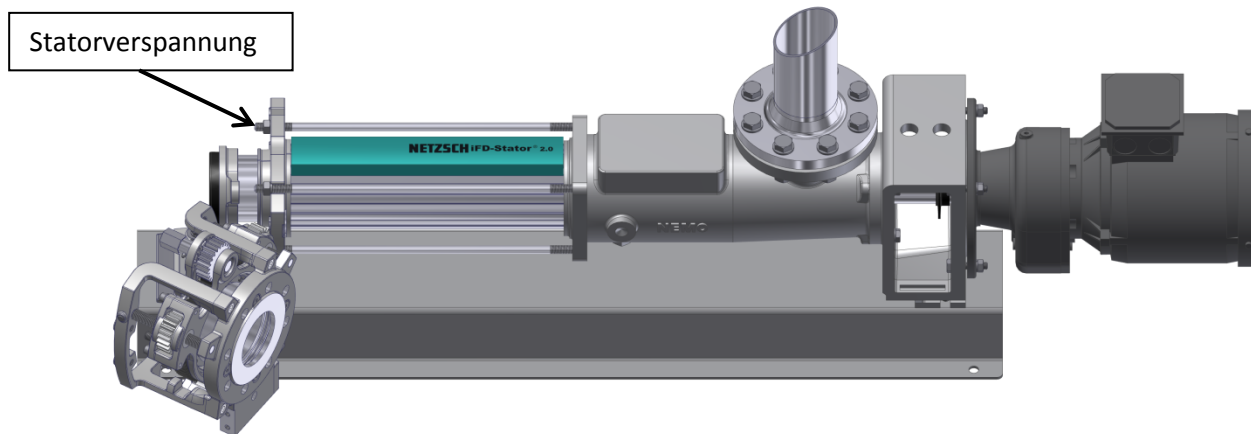


Abbildung 32 Schritt3 Schwenken des Verstellsystems

- Verstellsystem kann seitlich aus dem Arbeitsbereich geschwenkt werden
- Stator ist noch fest eingespannt, die Statorverspannung kann nun gelöst werden und der Stator kann abgezogen und getauscht werden

5.10.3 FSIP (Full-Service-In-Place)

Mitte dieses Jahres brachte die Netzsch Pumpen & Systeme GmbH eine Neuentwicklung auf dem Markt, wodurch die Wartungsfreundlichkeit der Exzentrerschneckenpumpen revolutioniert wurde.

Wie in Abbildung 33 dargestellt ist es bei diesem Pumpendesign möglich, dass der Stator mitsamt dem eingebauten Rotor aus der Pumpe entnommen werden kann, ohne dass dabei die Flanschverbindungen zur Anlage gelöst werden müssen.

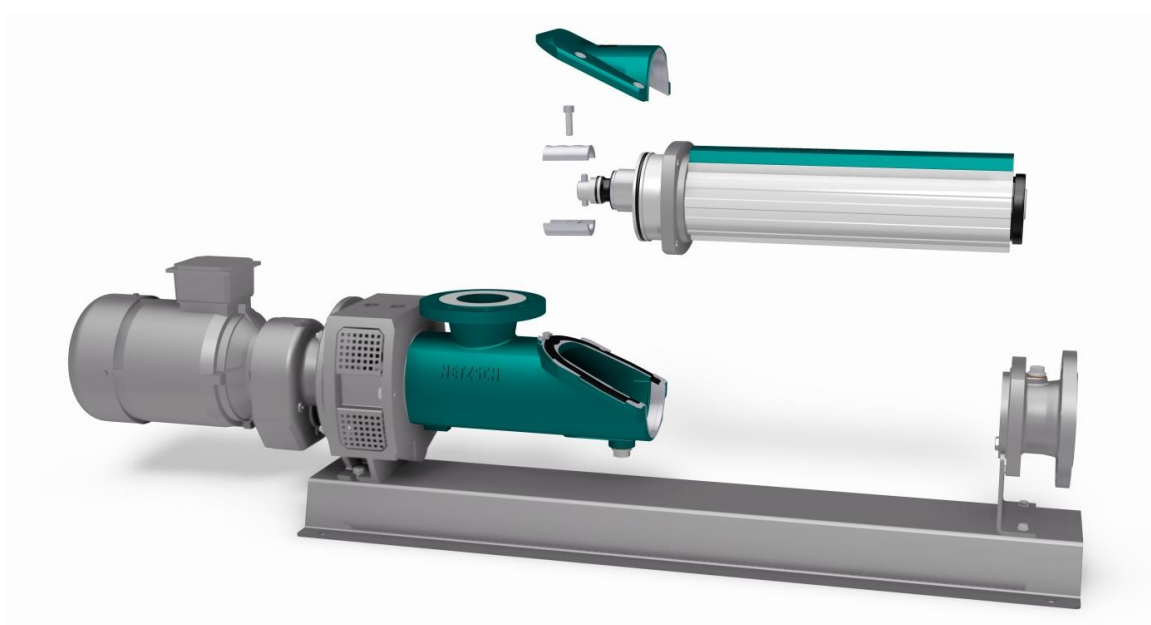


Abbildung 33 Ausführung in FSIP

Natürlich ist diese Funktionalität für beide Wartungsprinzipien des Stators mit dem Verstellsystem gewährleistet. Beim „System Klappen“ kann der Stator in Richtung Gehäuseseite nach dem Lösen der Verbindung zum Elastomerteil „ausgefädelt“ werden, das System muss nicht zwingend aufgeklappt werden.

Ähnlich verhält es sich mit dem „System Schwenken“. Das komplette System bleibt an Ort und Stelle stehen, der Anlagenflansch wird nicht gelöst. Anschließend werden wie in der konventionellen Ausführung der Bundklemmring (1) und der Mantelspannflansch gelöst. Der Stator ist immer noch im verspannten Zustand. Er kann jetzt nach der Demontage entsprechend dem FSIP-Konzept komplett nach oben aus der Pumpe herausgehoben und entsprechend rückschonend auf der Werkbank demontiert werden (siehe Abbildung 34).

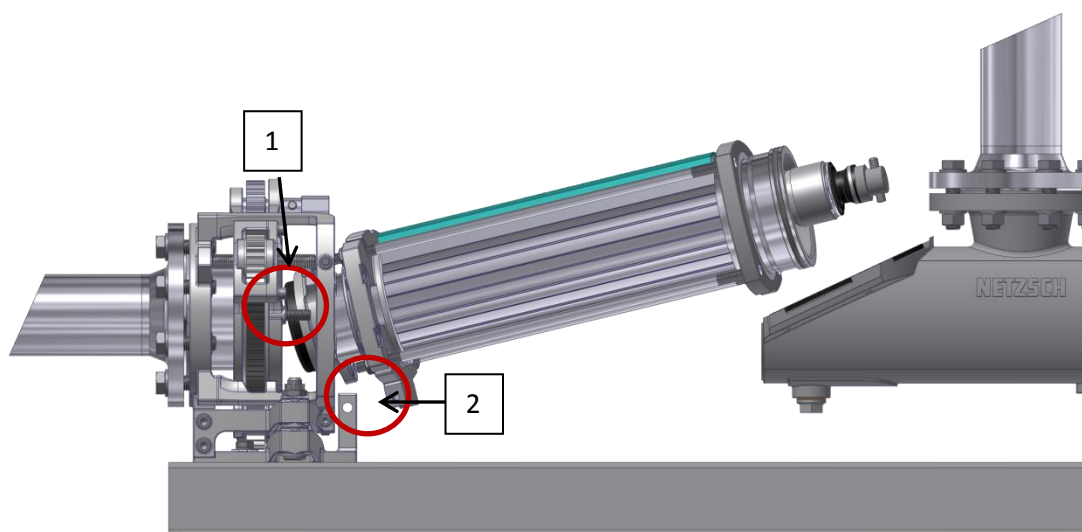


Abbildung 34 Stator- und Pumpendemonstration in FSIP-Ausführung

5.10.4 Vergleich der Wartungskonzepte

Stellt man die Wartungseigenschaften beider Systeme gegenüber, so ist festzustellen, dass das „System Schwenken“ eindeutige Vorteile hinsichtlich der Zugänglichkeit und den verminderten Verletzungsgefahren aufweist. Wenn das komplette System seitlich ohne großen Kraftaufwand aus dem Arbeitsbereich gedreht werden kann, so ist der komplette stirnseitige Bereich des Stators ohne große Einschränkungen des Arbeitsbereichs frei zugänglich, als würde es sich um eine konventionelle Pumpe handeln. Beim „System Klappen“ bleibt im unmittelbaren Arbeitsbereich der untere Teil des Verstellsystems stehen. Beim Abziehen des Stators stellt dies ein ernstzunehmendes Verletzungsrisiko (Abschürfungen und Quetschungen) für Hände und Finger dar. Auch darf das Verletzungsrisiko beim Aufklappen des Systems, vor allem in Anbetracht der geplanten Hochskalierung für die nächgrößeren Pumpenbaugrößen nicht vernachlässigt werden. Hier müssen entsprechend der Maschinenschutzrichtlinie unter Umständen aufwendige Vorkehrung getroffen werden, die ein schlagartiges Zufallen des Klappsystems verhindern würden (Gasdruckfeder, ö.ä.).

Betrachtet man auch die rein konstruktive Seite der beiden Systeme, so stellt man schnell fest, dass ein System mit einer horizontalen Teilungsebene, wie es beim „System Klappen“ der Fall ist, weist bei Betrachtung der System-Stabilität und in der Teilevielfalt immer Nachteile im Vergleich zu einem System mit senkrechter Teilungsebene auf. Insgesamt lässt sich feststellen, dass aufgrund der mit den Prototypen im Test gewonnen Erfahrungen das „System Schwenken“ gegenüber der nach oben aufklappbaren Variante zur Weiterentwicklung eindeutig besser zu eignen scheint. Aus diesen Gründen wurde innerhalb der zweiten Prototypenphase das „System Schwenken“ priorisiert.

5.11 Testing

In allen Projektphasen wurde versucht, die durchgeführten Auslegungen, Berechnungen und Simulationen mit entsprechenden Test zu verifizieren. Auf die Absicherung aller Entwicklungen mit umfassenden Versuchen wird im Hause Netzsch großen Wert gelegt. Ziel ist es am Ende ein Produkt vorliegend zu haben, das wirkliche Marktreife aufweisen kann.

5.11.1 Versuche im Netzsch-TecLab

Im Netzsch-TecLab laufen seit Projektstart unterschiedlichste Versuche, die als Dauerläufer die Dauerfestigkeit der Komponenten über einen längeren Zeitraum überprüfen, zum Teil auch mit Überlast. Ein Beispiel hierfür ist die Mantelbeschichtung. Die Untersuchung der Mantelbeschichtungen war zum Projektbeginn einer der Entwicklungsschwerpunkte. Seitdem laufen mehrere Pumpen mit entsprechend beschichteten Mänteln im Dauerbetrieb.

Auch wurden Prototypen als komplettes System und unter Überlast im Dauerbetrieb getestet. Hierzu wurde auch ein Antrieb so an das System angebaut, dass es mit einer kleinen, eigens dafür programmierten Steuerung möglich war, das Verstellsystem automatisiert in verschiedenen Verstellzyklen zu betreiben. Beispielsweise wurden über lange Zeiträume getaktete Verstellzyklen gefahren. Die Verstellung erfolgte automatisiert zeitgesteuert zwischen dem maximal gezogenen und maximal gestauchten Zustand des Stators. Dabei wurden in verschiedenen Versuchsreihen die Verstellwege und Pausenzeiten, in der sich das Elastomer wieder entspannen kann, variiert. Ziel war es die Abhängigkeit der Verstellgeschwindigkeiten bzw. Verstellwege auf die Lebensdauer des Elastomers zu untersuchen. Vereinfacht erklärt kann das Ergebnis auf folgenden Nenner gebracht werden. Je langsamer die Verstellung, je kleiner die Verstell Schritte und je kleiner der Betriebsdruck während der Verstellung, desto höher ist die Lebensdauer des Elastomers.

Um die Dauerfestigkeit der mechanischen Komponenten abzusichern, wurden ebenfalls Versuche mit der automatisierten Verstellung durchgeführt, bei denen im Dauerbetrieb der Stator zwischen den Maximalpunkten hin und her verstellt wurde. Diese Anforderung wird in der Realität nicht auftreten, stellt aber für die mechanischen Komponenten die absolute Maximalbelastung dar. In Abbildung 35 ist die automatisierte Verstellung eines sehr frühen Prototyps abgebildet.

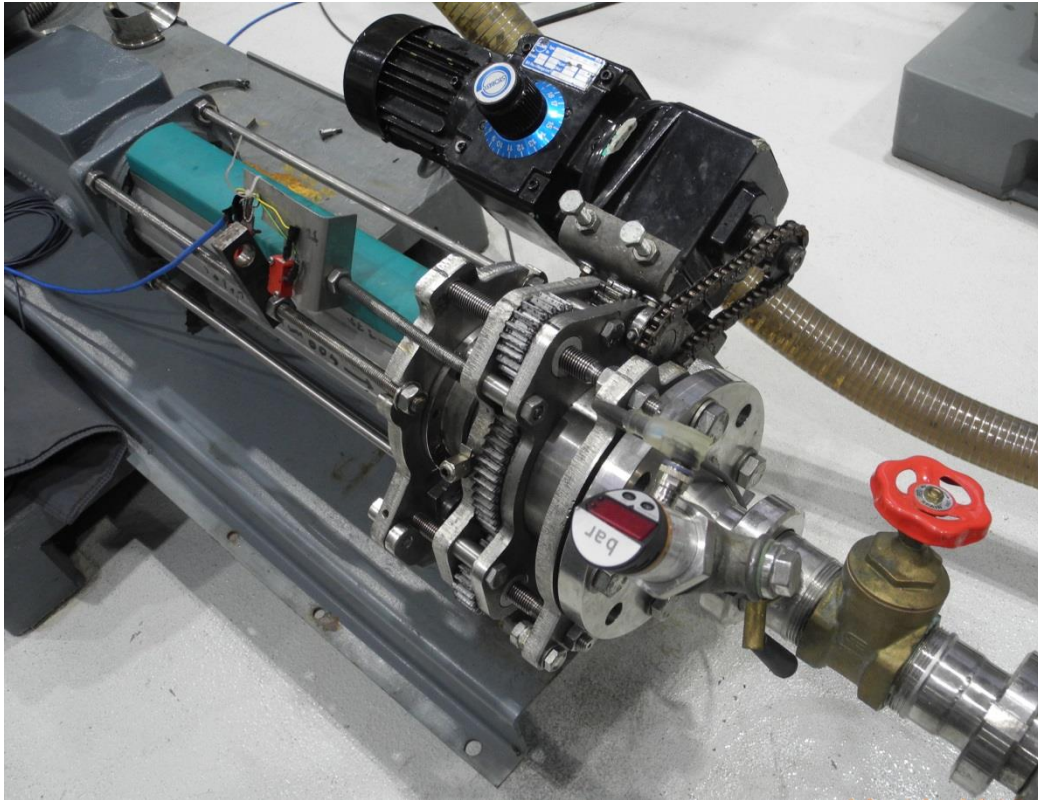


Abbildung 35 Prototyp "Spindeltrieb" mit zeitgesteuertem Antrieb für Dauertests

Es wurden im NETZSCH-Versuchslabor auch Versuche zur Optimierung des Wirkungsgrades durchgeführt. Hierbei wird die optimale Vorspannung zwischen Stator und Rotor aufrecht gehalten. Anschaulich dargestellt, bedeutet dies gerade soviel Vorspannung zu erzeugen, sodass die Rückströmung im Stator minimiert wird. Unter Laborbedingungen konnten, abhängig von Drehzahl und Druck in praxisüblichen Betriebspunkten bis zu ca. 25% Energieeinsparung aufgezeichnet werden.

5.11.2 Feldversuche

Es liegt in der Natur der Exzentrerschneckenpumpe, dass man durch die absolute Anwendungsvielfalt kein ideales Versuchsmedium bzw. keine Anwendung festlegen kann. Dies macht es unmöglich die Pumpe im Labor unter Bedingungen wie sie wirklich in der Anlage vorhanden sind zu testen. Die Versuche im Labor sind zwar äußerst wichtig und lassen schon gute Rückschlüsse auf das Verhalten im Feld zu, jedoch ist es unabdingbar Neu- und Weiterentwicklungen in Anwendungen vor Ort beim Kunden zu testen. Dies müssen natürlich einerseits unkritische Anwendungen sein, bei denen keinerlei Gefahr für Mensch und Umwelt im Falle eines Schadens entstehen kann, andererseits sollten die Anwendungen eine wirkliche Herausforderung für die zu testenden Komponenten darstellen.

Für Feldtests des Statorverstellsystems wurden zwei unterschiedliche Wege eingeschlagen. Die eine Seite war die Verifizierung der Standzeitverlängerung des Stator-Rotor Systems, die andere Seite war

der Betrieb der Pumpe im optimalen Wirkungsgradbereich. In Zusammenarbeit mit dem Vertrieb konnten glücklicherweise einige Kunden zum Einbau von Versuchspumpen in Ihren Anlagen gewonnen werden.

Standzeitverlängerung:

Hier war die wichtigste Anforderung an die Versuchspumpen extremer Verschleiß bzw. geringe Stator-Rotor-Standzeiten. Es handelt sich dabei um abrasive Klärschlämme, Schweinefutter, oder in einem sehr speziellen Versuch ein Gemisch aus flüssigem Tierfett, Wasser, und kleinen scharfkantigen Knochensplintern.

Nun konnte in einer Versuchsanwendung mit Klärschlamm als Fördermedium die Stator-Rotor-Standzeit bereits verdreifacht werden, so zeigte sich in einer anderen Anwendung ebenfalls mit einer relativ geringen Stator-Standzeit keine signifikante Steigerung der Statorlebensdauer. Dies lässt sich zum aktuellen Wissenstand vermutlich auf ein anderes Verschleißbild, wie im vorhergenannten Versuch mit dreifacher Statorlebensdauer zurückführen. Die genauen Hintergründe bei welchem Verschleißbild bzw. Medium, welche Höhe der Vorspannung und wann wie weit verstellt werden muss, gilt es noch zu erörtern. Möglicherweise müssen hier unterschiedliche Nachstellprozeduren (Anfangsvorspannung, Zeitpunkt der Nachstellung, Größe des Verpressweges) definiert werden um je nach Fördermedium die optimale Standzeit zu erreichen.

In einer weiteren Versuchsreihe (Futtermischanlage für Schweinefutter) wurde untersucht, ob mit Hilfe höherer Statorverpressung der übliche Stufendruck erhöht werden könne. Der theoretische Stufendruck liegt aktuell bei etwa 6bar. In dieser speziellen Anwendung liegt der eigentlich Betriebsdruck wesentlich niedriger (ca. 3-4bar), jedoch kommt es in der Startphase zu Druckspitzen von ca. 8-12bar. Diese kurzzeitige Überlast hat eine erhöhte Rückströmung im Stator zur Folge, wodurch dieser sehr schnell verschleißt. Die Idee war nun, den Stator mit etwas erhöhter Vorspannung einzubauen und diesen frühzeitig nachzustellen bzw. die benötigte Vorspannung wieder herzustellen, sodass selbst in Druckspitzen die Rückströmung minimiert wird. Bis zum Zeitpunkt des Projektabschlusses lagen noch keine signifikanten Ergebnisse vor.

Wirkungsgradoptimierung

Gegen Ende der Projektlaufzeit, als das Stator-Verstellsystem in seiner finalen Ausführung vorlag, konnte mit der Planung von wirkungsgradoptimierten Versuchsanwendungen im Feld begonnen werden. Ein wirkungsgradoptimiertes Stator-Verstellsystem wird in einer Kläranlage in der Schlammentwässerung eingesetzt. Die Förderaufgabe ist insofern ideal, da hierbei abgefiltertes Abwasser ohne Feststoffe bei niedrigem Gegendruck durchgehend gefördert wird. Dieser geringe Gegendruck bedeutet jedoch auch, dass hier die Vorspannung im Gegensatz zum Standard Stator-Rotor-System auf ein Minimum reduziert werden kann. Die Ergebnisse aus den Laborversuchen konnten bereits bestätigt werden und somit wird dieser erfolgreiche Versuch fortgesetzt um weitere Erkenntnisse zu sammeln.

5.12 Produktdesign

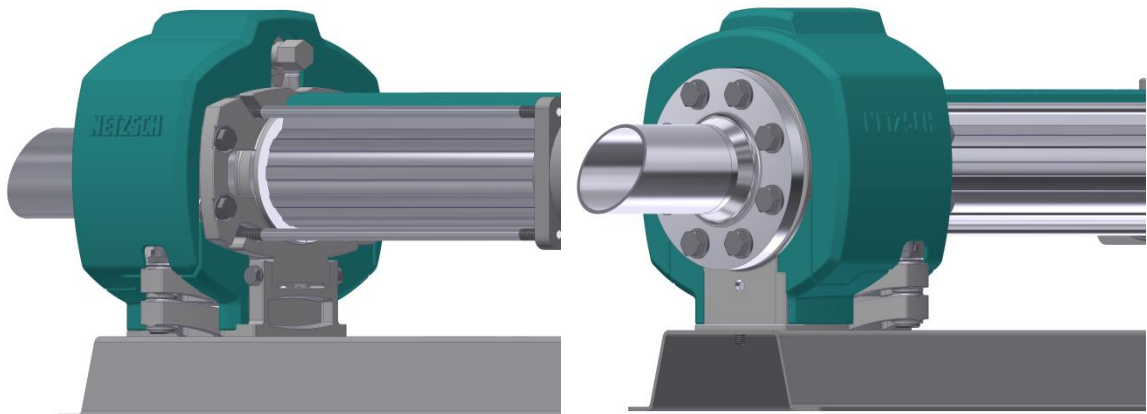


Abbildung 36 Abdeckung des Verstellsystems

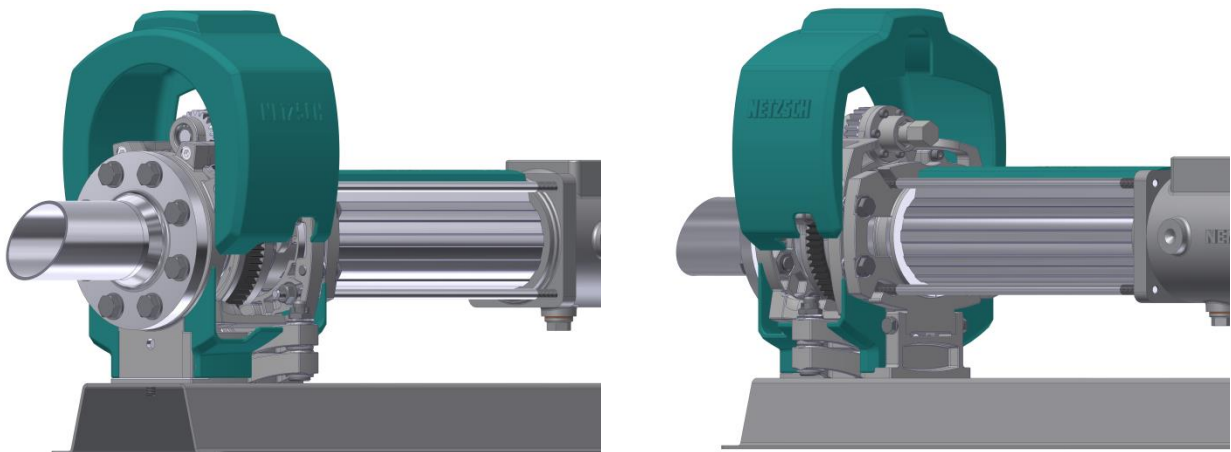


Abbildung 37 Demontage der Abdeckung

Aus sicherheitstechnischen und optischen Aspekten wie auch Schutz gegen Verschmutzung wurde zusätzlich noch eine Abdeckung aus stabilem Kunststoff nach dem Rotationsgußverfahren entwickelt. Wie in Abbildung 36 ersichtlich wurde diese Abdeckung in Kooperation mit einem Produktdesigner entsprechend der mittlerweile Produktübergreifenden NETZSCH-Formensprache entworfen. Zur Wartung des Stator-Rotor-Systems kann mit wenigen Handgriffen der obere Teil der Abdeckung entfernt werden, sodass die volle Zugänglichkeit, wie in Abschnitt 5.10.2 beschrieben, gewährleistet ist, siehe Abbildung 37.

5.13 Fazit

Rückblickend kann zum Zeitpunkt des Projektabschlusses festgehalten werden, dass sich die Entwicklung des Statorverstellsystems wesentlich umfangreicher gestaltete als zum Zeitpunkt der Antragsstellung abgeschätzt werden konnte. Mit der Änderung des Wartungskonzeptes („System Klappen“ vers. „System Schwenken“) und der Entwicklung im Bereich des Längenausgleichs wurde zwar die Projektlaufzeit verlängert, konnte aber schlussendlich mit einem serienreifen Produkt abgeschlossen werden. Der straffe Zeitplan im Projekt war auch dadurch begründet, dass mit dieser Entwicklung die Fa. NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH ein absolutes Neuland in der Technologie

der Exzentrerschneckenpumpen betrat, was sich allein schon darin zeigte, dass aus der Entwicklung des Stator-Verstellsystems inzwischen bereits vier Patentanmeldungen hervorgegangen sind.

Es ist gelungen ein innovatives System zu entwickeln, das dem Markt bzw. Kunden ein enormes Einsparpotential bzgl. Energie und Ressourcen bietet. Neben der Einsparung von Antriebsenergie aufgrund eines besseren Wirkungsgrades des Wirksystems, spielen natürlich auch die verlängerten Standzeiten der Statoren bzw. deren bessere Ausnutzung für den Umweltaspekt durch den verringerten Materialaufwand eine wichtige Rolle. Nicht ausgetauschte Statoren müssen auch nicht durch neue Statoren ersetzt und somit erst gar nicht produziert werden.

In diesem Zusammenhang darf auch nicht vergessen werden, dass allein schon der Einsatz eines Statorverstellsystems aktiven Umweltschutz darstellt. Aufgrund der systembedingten Trennung zwischen Elastomer und Mantel ist die iFD-Stator-Technologie für das Statorverstellsystem zwingend erforderlich. Bereits die Entwicklung der iFD-Stator-Technologie im Hause NETZSCH war aufgrund der Potentiale zum Umweltschutz ein von der DBU gefördertes Projekt. Wie auch unter anderem dem Projektabschlussbericht zu entnehmen ist, waren hier der komplette Wegfall von Lösungs-, sowie Primer- und Bindemitteln zur Anbindung des Elastomers an das Statorrohr während des Fertigungsprozesses ein Beitrag zum aktiven Umweltschutz der Fa. NETZSCH. Zudem ist es erstmals möglich, das Elastomerteil nach seiner Lebensdauer sortenrein zu entsorgen.

Nach dem Abschluss der Entwicklung des Stator-Verstellsystems zum serienreifen Stand, wird parallel zur Serieneinführung der Baugröße NM045 die Hochskalierung auf die Baugrößen NM053 und NM063 vorangetrieben. Im Förderantrag wurden als Ziel für die Entwicklung eines Stator-Verstellsystems auch noch die Pumpenbaugrößen NM021, NM031, und NM038 aufgeführt. Genauere Untersuchungen zeigten, dass die Wirkungsgradsteigerungen, in diesen „unteren“ Baugrößen zwar vorhanden sind, jedoch aufgrund der kleineren Antriebe und somit auch wesentlich kleineren Antriebsleistungen sich die Höhe der zu beziffernden Energieeinsparung in Grenzen hält. Anders verhält es sich bei den Pumpenbaugrößen aufwärts der Baugröße NM045. Hier fallen die höheren Antriebsleistungen der Antriebe viel stärker ins Gewicht, sodass die Skalierung des Statorverstellsystems im ersten Schritt nur in Richtung der größeren Baugrößen erfolgt. Vermutlich hätte ein Stator-Verstellsystem für größere Pumpenbaugrößen auch wesentlich höhere Einsparpotentiale, jedoch ist dies aktuell durch die Fertigungsmöglichkeiten des iFD-Stators auf die maximale Baugröße NM063 beschränkt. An der Baugrößenerweiterung wird aktuell gearbeitet, wodurch sich das Potential nochmals erhöhen würde.

Eine Abschätzung zu den Einsparungspotentialen befindet sich im Anhang dieses Berichts. In dieser Hochrechnung werden als Basis alle am Standort Waldkraiburg produzierten Statoren aus Neuaufträgen und Ersatzteilen in den Baugrößen NM045, NM053 und NM063 herangezogen die für einen Einsatz eines Verstellsystems relevant sind. In Zahlen sind dies im GJ2014/2015 ca. 9 600 Stück Statoren der Baugrößen NM045, NM053 und NM063. Es handelt sich bei dieser Aufstellung um eine Abschätzung des Einsparpotentials, wobei die durchschnittliche Einsparung der Baugröße NM045 mit 25% angesetzt (siehe Abschnitt 5.11.1) wird, bei den Baugrößen NM053 und NM063 kann man schätzungsweise aufgrund der erhöhten Statorgröße von ca.30% ausgehen. Unter der Annahme einer mittleren Gleitgeschwindigkeit zwischen Rotor und Stator von 0,9m/s ergibt sich je nach Pumpengröße eine mittlere Drehzahl, die wiederum mit einer mittleren Druckdifferenz von 4bar eine

bestimmte Energieaufnahme je nach Pumpengröße ergibt. Mit Hilfe einer angesetzten mittleren Betriebsstundenzahl von 12h pro Tag ergibt sich ein Energiebedarf von ca. 59 Mio. kWh einer kompletten Jahresproduktion an Statoren, die für den Einsatz des Verstellsystems in Frage kommen. Bei einem angenommenen Energieeinsparpotential von durchschnittlich ca. 29% über alle betroffenen Baugrößen, ergibt sich eine mögliche Energieeinsparung von knapp 17 Mio kWh/a. Umgerechnet in CO₂-Äquivalent bedeutet dies eine Einsparung von ca. 10500 Tonnen CO₂.

Bei einem bundesweiten jährlichen pro Kopf-CO₂-Ausstoß von ca. 11,5tCO₂ entspricht diese Einsparung dem Ausstoß von ca. 900 Personen. Überträgt man diese Abschätzung auf den Energiebedarf der gesamten Branche entsprechend des NETZSCH-Marktanteiles, so ergibt sich theoretisch eine mögliche Einsparung des CO₂-Ausstoßes von etwa 5300 Personen. Die Details der Abschätzung sind dem Anhang zu entnehmen.

Ähnliche Annahmen werden für die Abschätzung der möglichen Materialeinsparung durch die höheren Standzeiten der Statoren bei der Verwendung eines Stator-Verstellsystems getroffen. Bei einer jährlichen Gesamtstückzahl von ca 9 600 Stück über die drei betroffenen Baugrößen ergibt sich mit den jeweiligen Statorgewichten und der Annahme einer Verdoppelung der durchschnittlichen Standzeit eine Einsparung von knapp 17 Tonnen Elastomer pro Jahr .

Die o.g. Stator-Produktionszahlen sind bezogen auf den Standort Waldkraiburg. Von hier werden die Märkte EMEA, China und Indien bedient. Zieht man nun noch die Märkte Nord- und Südamerika hinzu, die vom NETZSCH-Standort in Brasilien versorgt werden, so kann man die Werte in der Abschätzung mit dem Faktor ca. 1,6 multiplizieren.

An dieser Stelle darf natürlich nicht vergessen werden, dass es sich hier um eine grobe Abschätzung der möglichen Energieeinsparung bzw. der Standzeitverlängerung handelt. Bereits durchgeführte und laufende Feldtests zeigen zwar vielversprechende Ergebnisse, jedoch können genaue Zahlen zum Nutzen für Kunden und Umwelt hierzu erst durch die breite Anwendung im Markt nach der Serieneinführung vorgelegt werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Thema der Energieeinsparung in naher Zukunft ein immer mehr bedeutenderer Wirtschaftsfaktor werden wird. Der Energieverbrauch von Pumpen insgesamt ist enorm. Die Einsparung von Antriebsenergie wird daher ein immer stärker betrachteter Aspekt, der vor allem bei größeren Baugrößen der Exzentrerschneckenpumpen zum Tragen kommt. Genau hier bringt das Stator-Verstellsystem ein enormes Einsparpotential Dieses Projekt hat unter den aktuellen Umständen das Potential eine richtungsweisende Innovation für die gesamte Branche zu werden.

Quellenverzeichnis

- 1) https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/climate_change_07_2013_ich_a_co2emissionen_des_dt_strommixes_webfassung_barrierefrei.pdf; 03.12.2015; 12:45
- 2) <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/europaeischer-vergleich-der-treibhausgas-emissionen>; 03.12.2015; 12:40Uhr

A1 Abschätzung des Energie-Einsparpotentials

A2 Abschätzung des Material-Einsparpotentials