

Filtration in Automatikgetrieben und deren Simulation

Wolfgang Stausberg

1. Einleitung

Die Ansprüche an moderne automatische oder halbautomatische Getriebe wachsen stetig. Sie können drei übergeordneten Punkten zugeordnet werden:

1. *Steigerung der Leistungsfähigkeit von Getrieben*

- Übertragung höherer Drehmomente (→ moderne Dieselmotoren)
- Reduzierung der Zugkraftunterbrechung
- Größere Spreizung des Übersetzungsverhältnis
- Verbessertes Verhältnis zwischen Leistung und Gewicht

2. *Gehobener Komfort*

- Kein „Anfahr- oder Schaltruck“
- Geräuscharm
- Manuelle Eingriffsmöglichkeit in die Wahl des Übersetzungsverhältnis

3. *Gesteigerte Umweltverträglichkeit*

- Höherer Wirkungsgrad
- Leichtere, kompaktere Bauweise
- Einsatz von recycelbaren oder einfach zu entsorgenden Komponenten

Diese Hauptanforderungen, versucht die Getriebeentwicklung durch Einsatz neuer Materialien, effizientere Dimensionierungen, komplexere Steuerungen und nicht zuletzt durch neuartige Getriebekonzepte zu erfüllen.

Beispiele für diese Entwicklungen stellen stufenlose (wie z.B. die Multitronic® von Audi) oder auch Doppelkupplungsgetriebe (wie z.B. das DSG von VW) dar. Ebenso ist eine kontinuierliche Steigerung der Anzahl der Gänge bei Stufenautomaten auf dem Markt zu verzeichnen (z.B. 7G-Tronic von DaimlerChrysler).



Darstellung 1: Multitronic® von Audi, DSG von Volkswagen, 7G-Tronic von DaimlerChrysler

2. Moderne Filtrationskonzepte für Automatikgetriebe

Die Filtrationsspezialisten müssen die veränderten Rahmenbedingungen erkennen und die Getriebeanforderungen auf die Filtrationskonzepte herunter brechen.

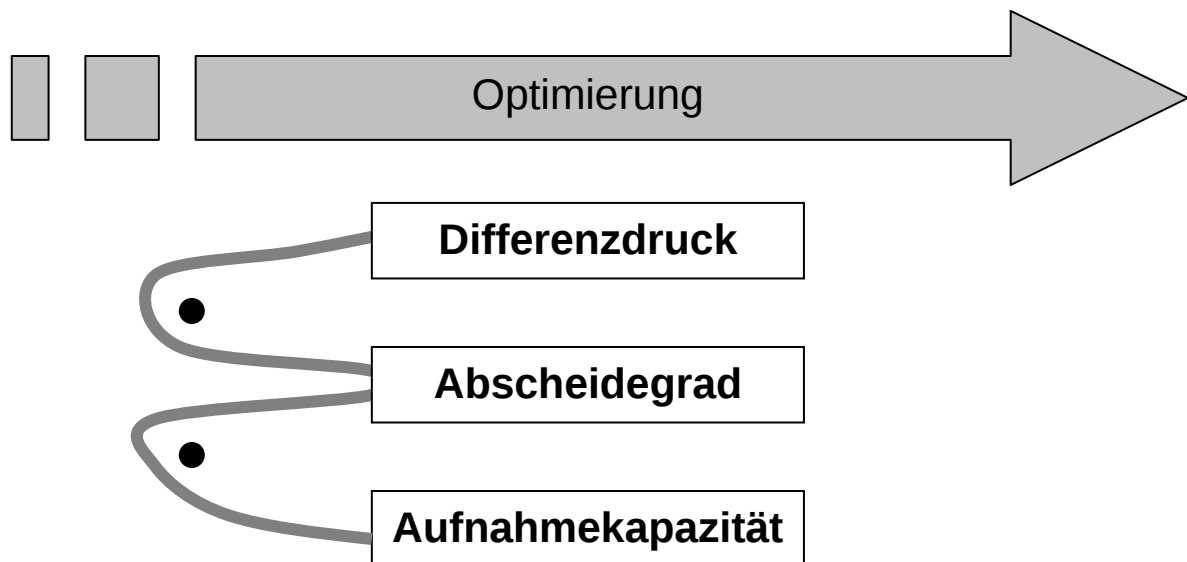
Moderne Filtersysteme müssen sich folgenden Umgebungsbedingungen anpassen:

- Höhere Einsatztemperaturen
- Aggressivere Öltypen
- Reduzierter Bauraum

Ebenso müssen sie gleichzeitig folgenden Ansprüchen gerecht werden:

- *Geringer Differenzdruck*
 - Ölversorgung bei Kaltstart
 - Wirkungsgrad
 - Geräusche durch Kavitation der Pumpe
- *Hohe Aufnahmekapazität*
 - Reduzierung der Service-Intervalle
 - Lebensdauer-Filter
- *Hoher Abscheidegrad*
 - Generieren einer hohen Ölreinheit
 - kleinere kritische Partikelgröße

Die Herausforderung an die Filtrationsentwicklung besteht darin, neue Filterkonzepte zu erarbeiten, welche bezüglich aller drei Kenngrößen Vorteile aufzeigen.



Darstellung 2: Verstrickung der drei Hauptanforderungen an Filterkonzepte

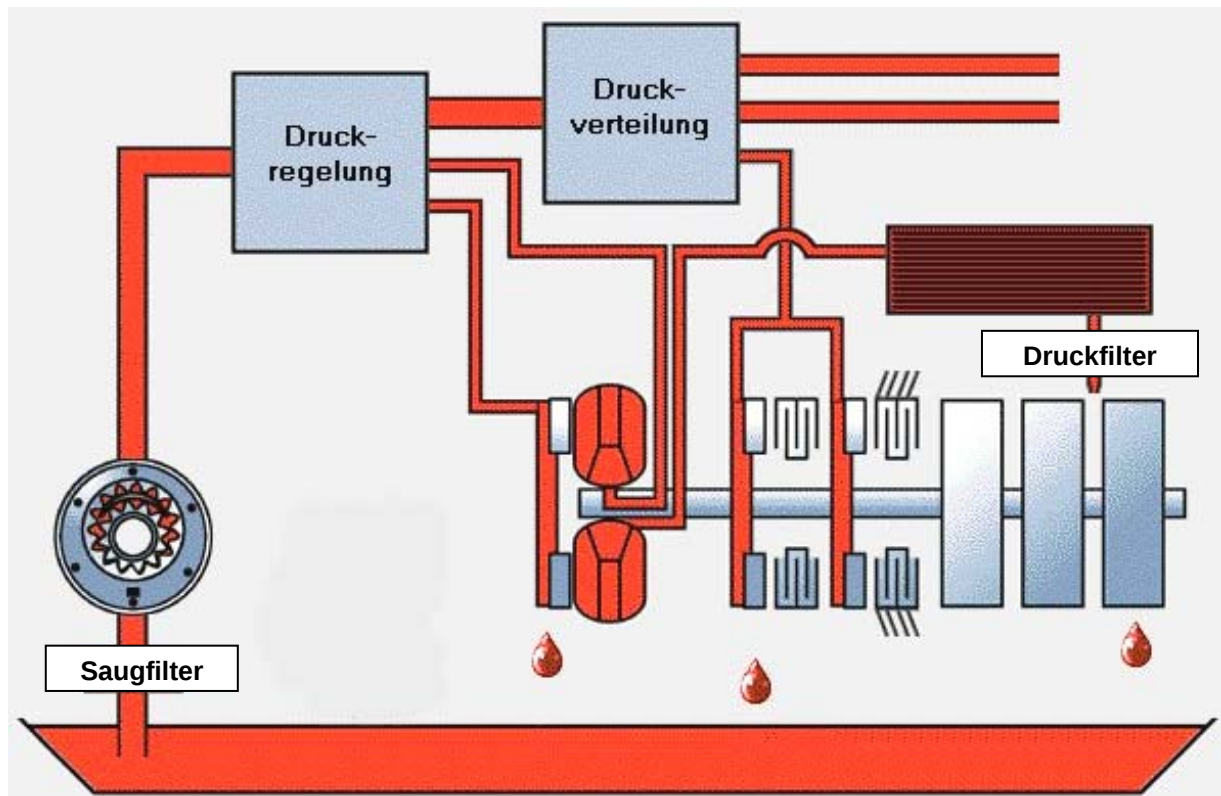
2.1 Saug- und Druckkölfiler

Im Gegensatz zu Handschaltgetrieben, greifen automatisierte Getriebe auf einen Ölkreislauf zurück, der neben der Schmierung und Kühlung verschiedener Bauteile, auch die spezifische, hydraulische Getriebesteuerung versorgt.

Diese Steuerung ist auf hochdynamischen Servo- oder Proportional-Ventilen aufgebaut.

Durch Filtration sind die sensiblen Bauteile vor Verunreinigung zu schützen, um eine einwandfreie Funktion des Getriebes über Lebensdauer zu gewährleisten.

In der Vergangenheit wurden hierfür ausschließlich Saugölfiler verwendet, welche als Hauptstromfilter vor der Pumpe in den Ölkreislauf integriert wurden. Bauartbedingt muss hier auf ein relativ offenporiges Filtermedium zurückgegriffen werden, so dass selbst bei Tiefsttemperaturen die Ölversorgung nicht gefährdet wird. Um hohe Ölreinheitsklassen generieren zu können, werden deshalb verstärkt zusätzliche Druckkölfiler eingesetzt. Diese befinden sich im Nebenstrom des Ölkreislaufes, meist im Kühlerkreislauf und sind in der Regel mit einem Bypass-Ventil ausgerüstet. Da in dieser Konstellation, der Differenzdruck des Filters nur eine untergeordnete Rolle spielt, kann ein hoch effizientes Filtermedium gewählt werden.



Darstellung 3: Schematische Darstellung der Ölversorgung eines Automatikgetriebes

Bedingt durch den beengten Bauraum unterhalb des Schiebergehäuses im Automatikgetriebe, werden die Saugölfilter flach bauend konzipiert. Das Filtermedium ist typischerweise als Einlage, Tasche oder flächig plissiert ausgelegt.



Darstellung 4:
Saugölfilter für Automatikgetriebe

Als Kombinationen der Gehäuseschalen können Vollmetall, Composite (Metall & Kunststoff) oder Vollkunststoff gewählt werden. Ober- und Unterschale werden mittels verschiedener Verbindungstechniken, wie z.B. Reib- oder Laserschweißen (Vollkunststoff) oder Crimpen (Composite, Vollmetall), hermetisch dichtend verbunden. Das Filtermedium stellt in der Regel ein Nadelvlies dar. Dieses weist als Tiefenfiltrationsmaterial Standzeitvorteile gegenüber Oberflächenfiltrationsmedien (z.B. Gewebe) auf.

Druckölfilter werden meist als Rundfilterelement ausgelegt, wobei das Filtermedium in plissierter Form als Faltenstern Verwendung findet.



Darstellung 5:
Druckölfilter für Automatikgetriebe

2.2 Funktionsintegration

Aufgrund von Kosteneinsparung setzt die Automobilindustrie verstärkt auf den Einsatz der Modulbauweise, wodurch vermehrt Entwicklungs- und Produktionsaufwand auf den Systemlieferanten übertragen wird. Auch dieser Aufgabe müssen sich die Filterhersteller stellen.

Beispiele für eine erfolgreiche Integration zusätzlicher Funktionen:



Darstellung 6:
Saugölfilter mit integrierter
Spritzschutzwand



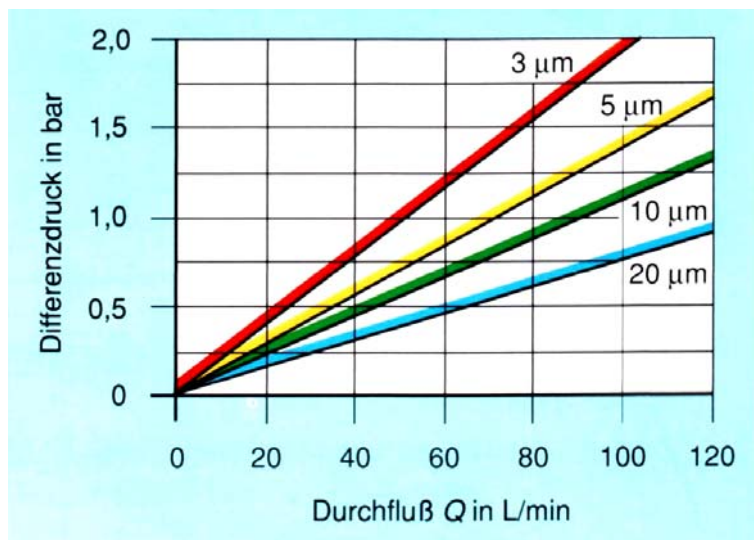
Darstellung 7:
Vollkunststoff-Ölwanne mit
integriertem Saugölfilter

Oftmals kann erst aufgrund des hohen Designfreiheitsgrades bei der Verwendung von Kunststoff eine kosteneffiziente Funktionsintegration umgesetzt werden.

3. Auslegung von Automatikgetriebefiltern bzgl. Differenzdruck

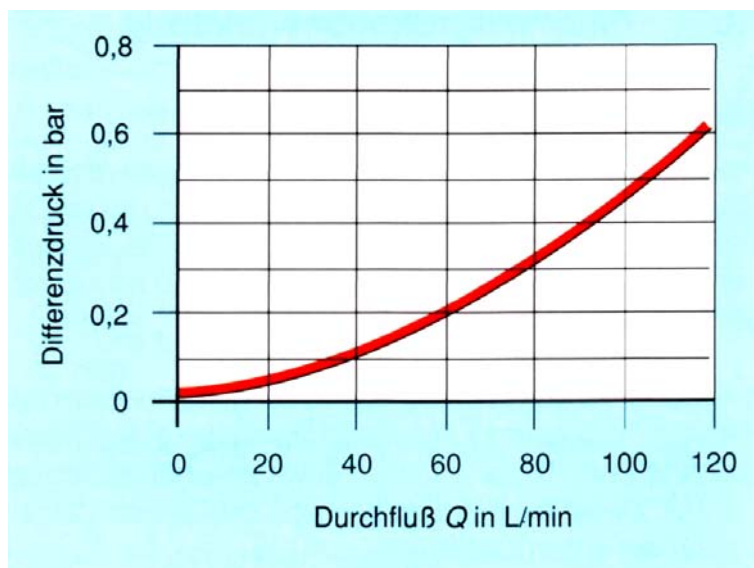
Wie bereits unter Punkt 2 erwähnt, spielen die drei Kenngrößen Abscheidegrad, Schmutzaufnahmekapazität und Differenzdruck die entscheidenden Rollen bei der Filterauslegung. Während der Abscheidegrad und die Aufnahmekapazität in erster Linie von der Wahl des Filtermediums abhängig sind, so ist bezüglich des Differenzdruckes ebenfalls das Filtergehäuse verantwortlich. Somit ist eine strömungstechnisch optimierte Gehäusekonstruktion zwingend notwendig.

Stellt man den Differenzdruck als Funktion des Volumenstromes dar, so kann man bei der Bewertung des Filtermediums von einer linearen Funktion sprechen.



Darstellung 8:
Funktionen $p_{(Q)}$ verschiedener
Filtermedien

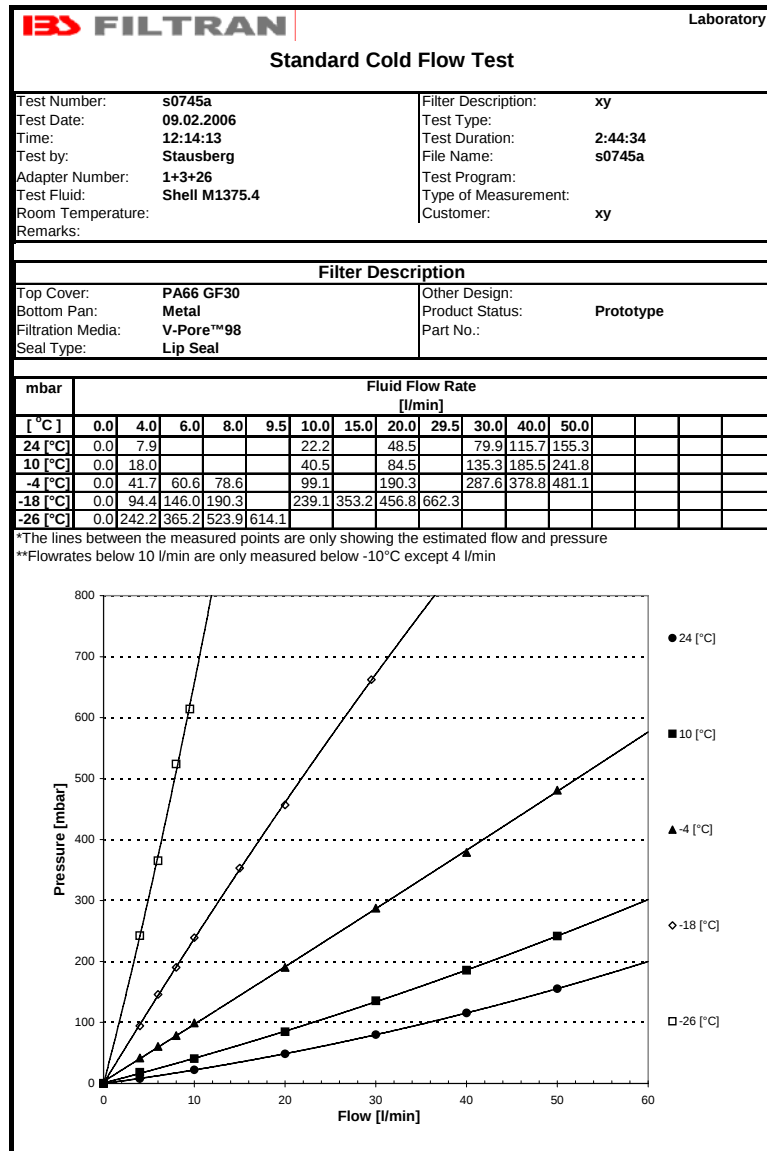
Betrachtet man hingegen den Differenzdruck über den Volumenstrom eines Filtergehäuses (Einfluss der Geometrie), so kann man nicht von einer linearen Funktion sprechen.



Darstellung 9:
Funktion $p_{(Q)}$ eines Filtergehäuses

Somit lässt sich bei der Bewertung des Differenzdruckes von Filtern eine einfache Aussage treffen:

Ist die Funktion $p(q)$ nahezu eine lineare Funktion, ist der geometrische Einfluss des Filterdesigns gering. Das Filtergehäuse stellt keinen beeinflussenden Strömungswiderstand dar und kann als geeignet bezeichnet werden.



Darstellung 10: Messprotokoll Differenzdruck $p_{(Q)}$ eines Saugölfilters dessen Strömungswiderstand nur unwesentlich vom Filtergehäuse beeinflusst wird.

Geometrisch bedingter Druckabfall kann durch folgende Designmerkmale beeinflusst werden:

- Querschnitt Filtereinlass bzw. -Filterauslass
- Distanz zwischen Gehäuse und Filtermedium (an- und abströmseitig)
- Distanz der Filtermedienlagen bei Taschenfiltern
- Winkelstellung der Falten bei plissierten Filtermedien
- Umströmung des Filters (Distanz zur Filterumgebung)
- Design der Filtermedien-Stützrippen bei Saugölfilters

3.1 Simulationsprogramme zur Filterauslegung bzgl. Differenzdruck

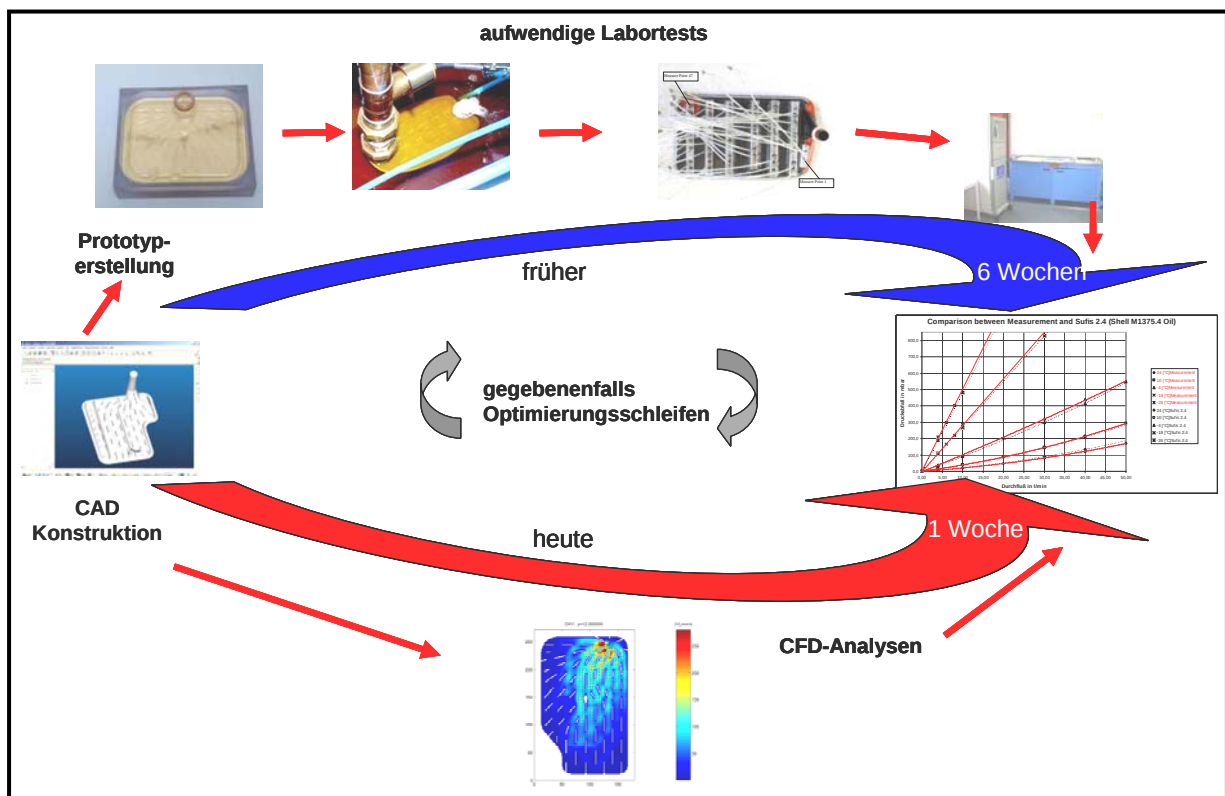
In der Vergangenheit stützten sich die Aussagen zur Fliesseigenschaft eines Filters, lediglich auf Labormessungen am realen Bauteil, so dass folgende Entwicklungsschritte vollzogen werden mussten:

- Erstellung eines CAD-Modells
- Anfertigung eines transparenten Prototypen-Modells ohne Störkonturen
- Aufwendige Messungen am Teststand
- Erstellung eines CAD-Modells mit Störkonturen
- Anfertigung eines transparenten Prototypen-Modells mit Störkonturen
- Aufwendige Messungen am Teststand
- Bewertung, gegebenenfalls Optimierungsschleifen ab d.

Dieser Prozess ist aufgrund des hohen Beanspruchungsgrades von CAD- und Laboreinrichtungen, sowie der Notwendigkeit der Anfertigung realer Bauteile, sehr zeit- und kostenintensiv.

Eine alternative Vorgehensweise bietet heute der Einsatz von Simulationssoftware, wodurch sich die Entwicklungsschritte wie folgt reduzieren lassen:

- Erstellung eines CAD-Modells
- Simulation der Fliesseigenschaften mittels CFD
- Bewertung, gegebenenfalls Optimierungsschleifen ab a.



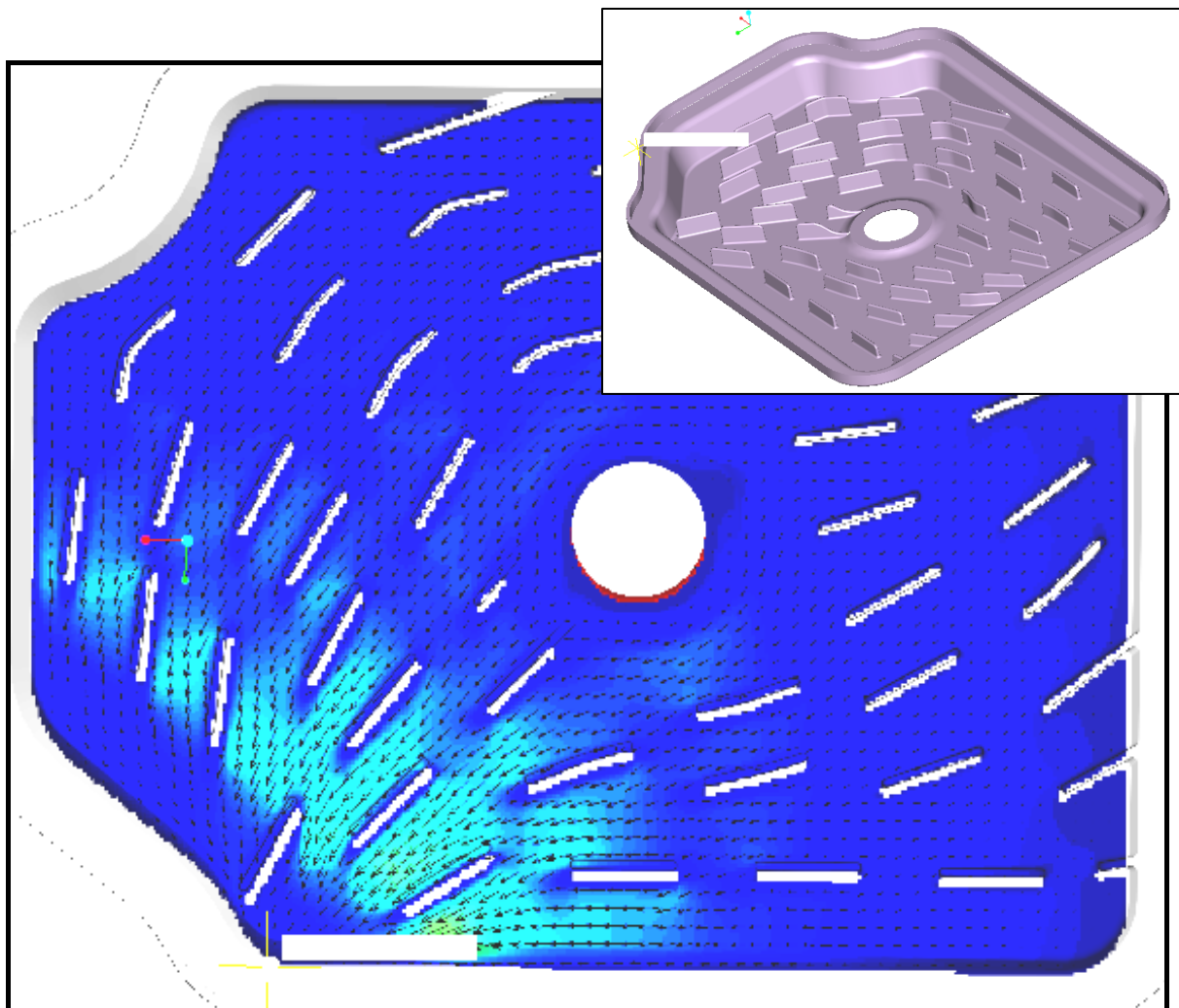
Darstellung 11: Reduzierung der Entwicklungszeiten durch Verwendung von CFD-Software

Es wird deutlich, welchen wichtigen Einfluss die Verwendung von Simulations-Software bezüglich Reduzierung der Entwicklungszeiten bzw. Kosten besitzt. Weiterhin können durch die Visualisierung der Simulationsergebnisse, strömungstechnische Phänomene sichtbar gemacht werden, welche (wenn überhaupt) nur durch äußerst komplexe Testaufbauten im praktischen Versuch ermittelt werden könnten.

Nachfolgend sind einige Filteranalysen aufgeführt, welche mittels CFD-Simulationen durchgeführt wurden:

A. Auslegung von Störkonturen (hier Stützrippendesign)

Der Saugölfilter wird in der Regel mit Stützrippen in der Gehäuseschale versehen, um die Distanz zwischen Filtermedium und Gehäuse sicherzustellen.

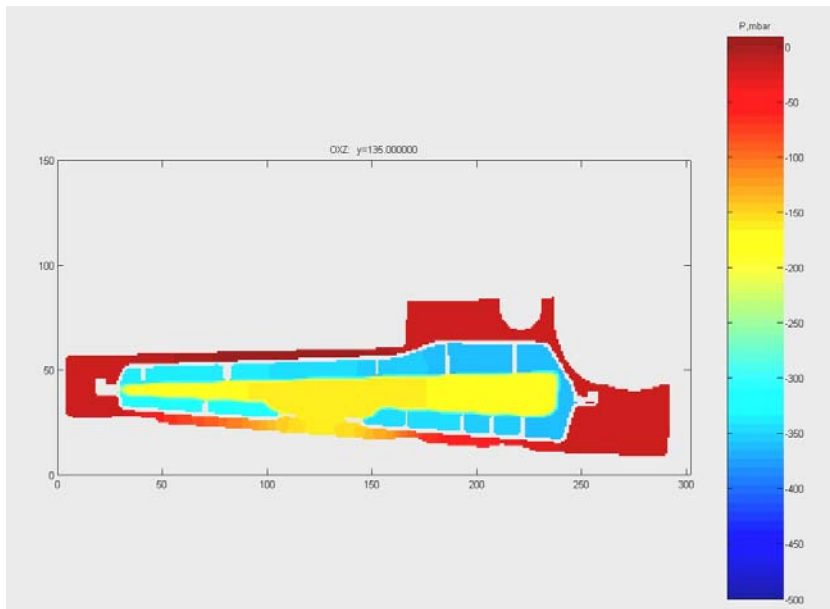


Darstellung 12: CFD-Simulation mit Strömungsvektoren einer Saugölfilter-Unterschale

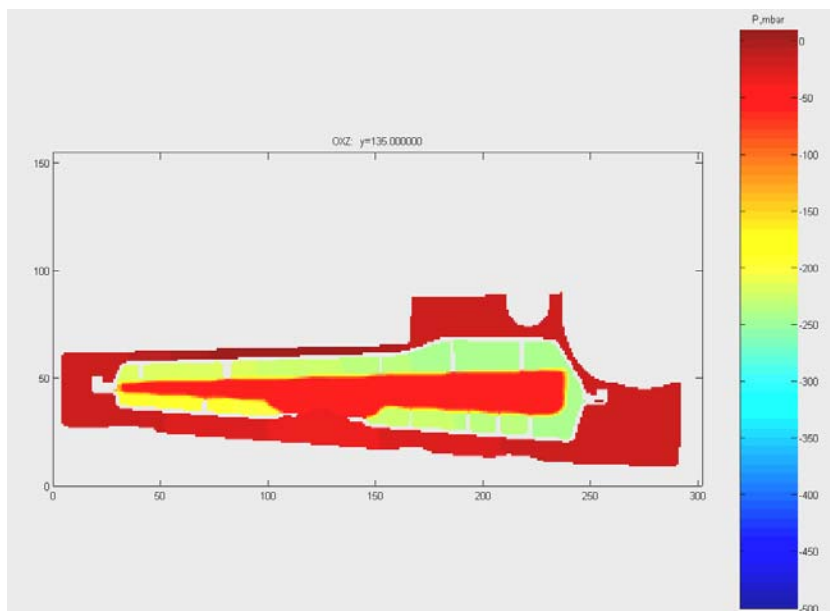
CFD-Analysen ermöglichen die Darstellung von Strömungsvektoren. Diesen Vektoren folgend, werden die Stützrippen ausgerichtet, so dass sich der Strömungswiderstand dieser Störkonturen möglichst gering verhält.

B. Bewertung des Einflusses der Filterumgebung

Neben dem Filter selbst, stellt auch die Filterumgebung oftmals einen Strömungswiderstand dar. Somit ist es wichtig, die spätere Filterumgebung bei der Betrachtung des Differenzdruckes zu berücksichtigen.



Darstellung 13a: Schnittbild – Saugölfilter inkl. Filterumgebung
[bei -26°C und 10l/min: $\Delta p = 469\text{mbar}$]

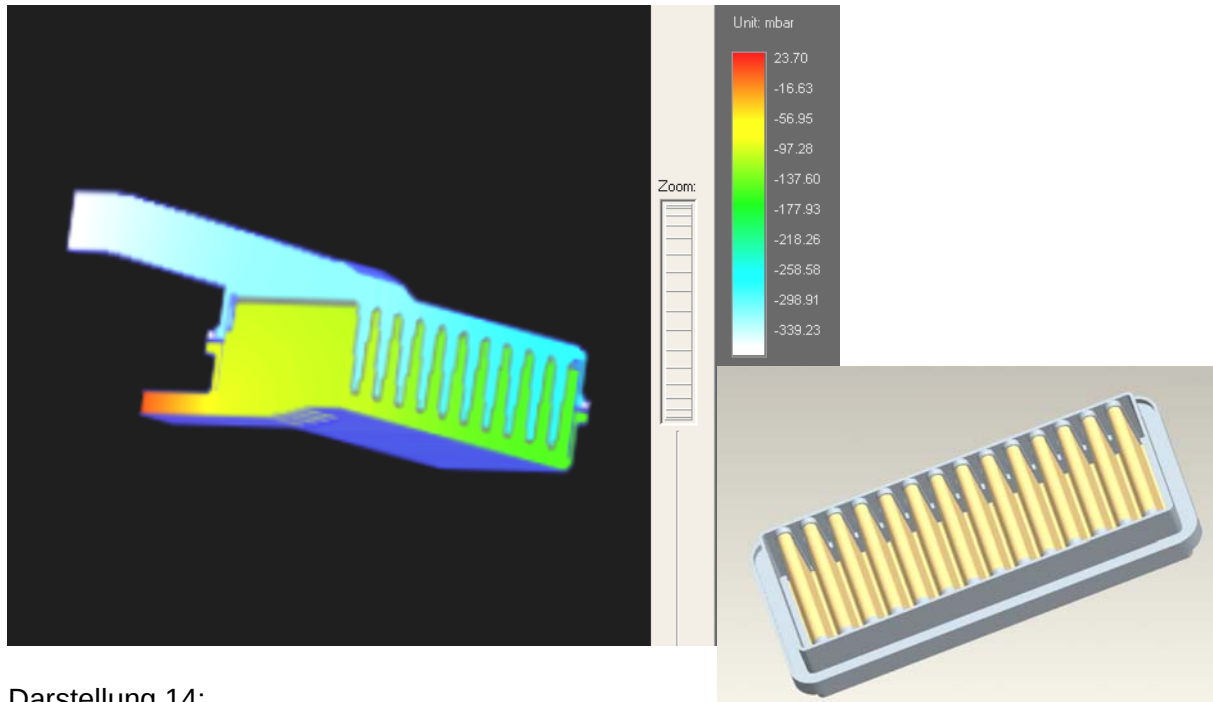


Darstellung 13b: wie 13a, jedoch Abstand zwischen Filter und Ölwanne um 5mm erhöht
[bei -26°C und 10l/min: $\Delta p = 353\text{mbar}$]

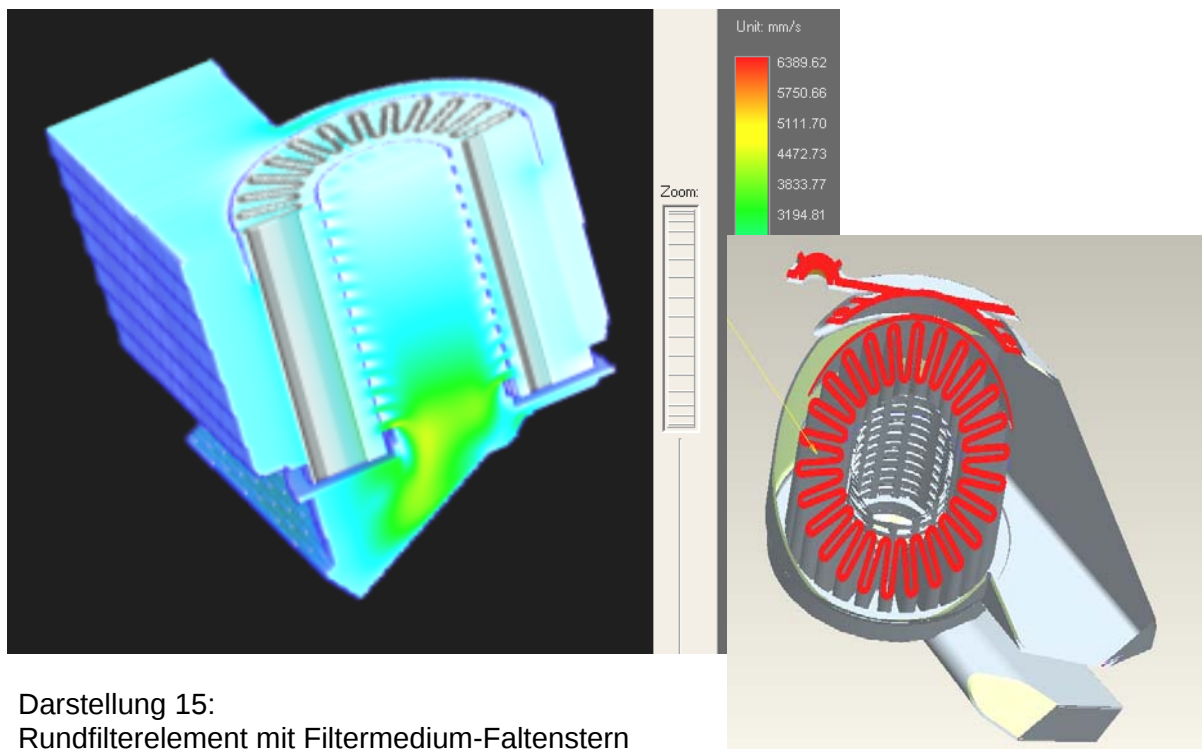
Der geringe Abstand zwischen Saugölfilter und Ölwanne verursacht einen hohen Strömungswiderstand. Der Differenzdruck kann in diesem Fall deutlich reduziert werden (ca. 25%), indem die Ölwanne um zusätzliche 5mm abgesenkt wird.

C. Betrachtung plissierter Filtermedien

Plissierte Filtermedien stellen eine Möglichkeit dar, in einem beschränkten Bauraum, zusätzliche Fläche an Filtermedium zu installieren.



Darstellung 14:
CFD-Simulation: Saugölfilter mit plissierter Filtermedien-Kassette

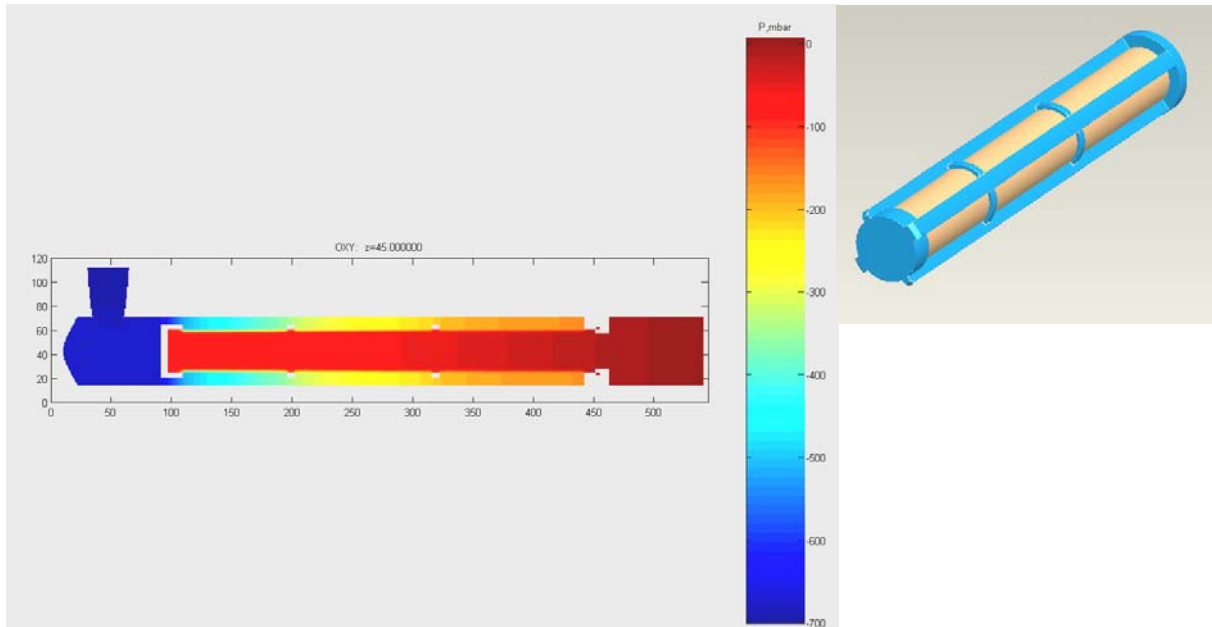


Darstellung 15:
Rundfilterelement mit Filtermedium-Faltenstern

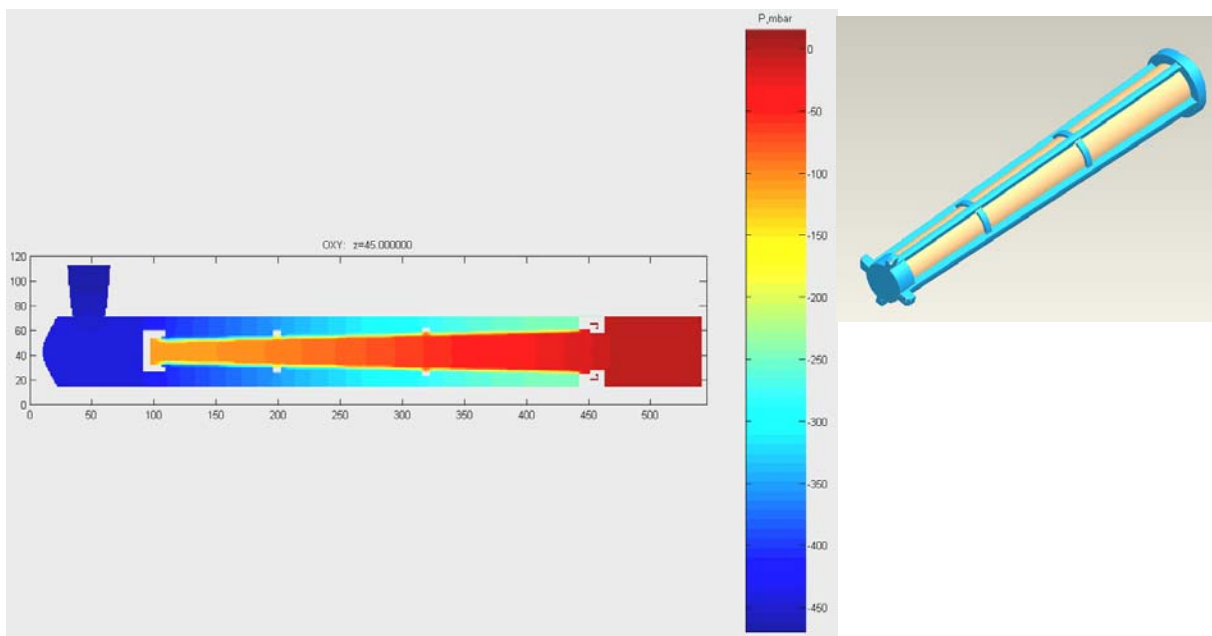
Filter, welche auf plissiertes Filtermedium zurückgreifen, können via CFD-Simulationen bezüglich der Winkelstellung der Falten betrachtet und entsprechend optimiert ausgelegt werden.

D. Betrachtung von Filtereinstecksieben

Filtereinstecksiebe werden in Getrieben oftmals als „Last-Chance-Filter“ eingesetzt, welche vor den sensiblen Bauteilen installiert werden und garantieren, dass z.B. Initialverschmutzung im Ölkreislauf, selbst beim ersten Umlauf, nicht an sie herangetragen wird.



Darstellung 16a: Last-Chance-Filter (zylindrische Ausführung)
[bei -26°C und 4l/min: $\Delta p = 700\text{mbar}$]



Darstellung 16b: Last-Chance-Filter (konische Ausführung)
[bei -26°C und 4l/min: $\Delta p = 470\text{mbar}$]

Mittels CFD-Simulation konnte der Kunde überzeugt werden, dass eine konische Variante des Filtereinstecksiebes der geplanten zylindrischen vorzuziehen ist.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die generellen Ansprüche an Filtrationssystemen für die Applikation Automatikgetriebe wurden in diesem Kapitel dargestellt. Die Thematik Auslegung und Simulation von Filtern bezüglich Differenzdruck-Verhalten wurde näher beleuchtet und kann unabhängig vom Anwendungsfall übergreifend betrachtet werden.

Es konnte deutlich gemacht werden, welch hohen Stellenwert CFD-Programme in der Entwicklung von Filtersystemen bereits einnehmen und lässt erahnen, dass ihre Bedeutung weiter zunehmen wird.

Die heutige auf dem Markt befindliche CFD-Software ist in der Lage, präzise Differenzdruckwerte von Filtern zu erfassen. Mittels geeigneter Visualisierung wird dem Entwickler zusätzlich ermöglicht, einen Einblick in die komplexe strömungstechnische Situation in Filtern zu erlangen.

Zukünftig wird neben der Betrachtung des Differenzdruckes, die Simulation von Abscheidegrad und Schmutzaufnahmekapazität Einzug halten, so dass eine Gesamtbeurteilung aller relevanten Kennwerte durchgeführt werden kann.

Abschließend sei erwähnt, dass ein erfolgreiches Implementieren von CFD-Programmen nur gelingen kann, wenn die verwendeten Parameter sorgfältig mittels Labortests generiert wurden bzw. dass ein stetiger Abgleich zwischen Praxis und Simulation erfolgt.

CFD-Simulationen werden die praktischen Filtertests nicht eliminieren, stellen aber ein äußerst hilfreiches Entwicklungswerkzeug bei der Auslegung und Konstruktion moderner Filtersysteme dar.

Literatur

- [1] Durst, M., Klein, G.-M., Moser, N., Filtration in Fahrzeugen, Verlag Moderne Industrie, Landsberg 2002
- [2] VDI-Wissensforum IWB GmbH, Getriebe in Fahrzeugen 2006, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2006
- [3] Tumbrink, M., Filtersysteme im Automobil, Expert Verlag, Renningen 2002
- [4] Henke, R.W., Fluid Power Systems & Circuits, Penton Publishing, Inc. Cleveland (Ohio/U.S.A.)1983+
- [5] Der Hydraulik Trainer - Band 3, Mannesmann Rexroth GmbH, Lohr 1989