

Márton Karsai, BSc.

Erweiterung des Thermomanagement-Prüfstandes von  
Regelventilen für Verbrennungskraftmaschinen

Masterarbeit

Technische Universität Graz

Fakultät für Maschinenbau

Institut für Fahrzeugtechnik

Member of Frank Stronach Institute

Institutsvorstand:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Fischer

Betreuer:

Intern: Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Mario Hirz

Extern: Dipl.-Ing. Dániel Kovács

Graz, Februar 2019

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am.....

.....

(Unterschrift)

## Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources and that I have explicitly marked all material, which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Date .....

.....

(signature)

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst möchte ich mich bei meinen Betreuern bei Audi Hungaria Zrt., Herr Dipl.-Ing. Daniel Kovacs und meinen Vorgesetzten Herr Dr. Klement Peter, für das Weitergeben ihre fachlichen Erfahrungen und Koordination während meiner Ausarbeitung der Masterarbeit bedanken.

Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer an der technischen Universität Graz, Herr Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Mario Hirz, der mein externes Projekt übernommen hat und seine Erfahrungen bei der Erfassung einer Masterarbeit mir weitergegeben hat.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir mein ganzes Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben und stets ein offenes Ohr für meine Sorgen hatten.

Márton Karsai,

Győr, Februar 2019

# Kurzfassung

## Erweiterung des Thermomanagement-Prüfstandes von Regelventilen für Verbrennungskraftmaschinen

Im Jahr 2016 wurde bei der Qualitätssicherung der Audi Hungaria Zrt. ein Prüflabor mit Prüfanlagen installiert. Die Prüfanlagen sind zur Messung der Thermomanagement-Komponenten des Kühlkreises von Verbrennungskraftmaschinen geeignet.

Die derzeit in Serie und Vorserie eingesetzten intelligenten Thermomanagement-Komponenten, also die Vakuum-Regelventile und die Drehschiebermodule, die dem aktuellsten Stand der Technik entsprechen, verursachen relativ große Ausfallsraten bei Audi V- und R-Motoren gegenüber den seit mehreren Jahrzehnten eingesetzten konventionellen Komponenten. Aufgrund der Effektivität der schon beim Prüflabor integrierten Anlagen kamen wir auf die Idee, das Labor auch für die intelligenten Thermomanagement-Komponenten zu erweitern, damit bei Reklamationsprozessen sowohl Zeit als auch Reklamationskosten gespart werden können, um die Zufriedenheit der Kunden zu erhöhen und Erfahrung in neuen Projekten zu sammeln.

Nach der Einleitung wird auf Basis der Literaturrecherche ein Überblick über das Thermomanagement von Verbrennungskraftmaschinen und über den Aufbau des Kühlsystems gegeben. Die Kühlmethode und die dazu gehörenden Komponenten, die zum Schutz gegen die Überhitzung des Motors und zur Regelung des idealen Temperaturniveaus dienen, werden mit Fokus auf die intelligenten Thermomanagement-Module vorgestellt.

Es werden die bei der Qualitätssicherung der Automobilindustrie bevorzugte Problemlösungsmethode und die derzeitigen Prüfanlagen des ZP4-TMM-Prüfstandes erklärt.

In dem nächsten Kapitel werden die Gründe der Erweiterung des Prüfstandes mit Analysekompetenz von Vakuum-Regelventilen und deren Herausforderungen detailliert und dargestellt. Die Grenzparameter anhand der einzelnen Komponenten, und die daraus abgeleiteten Lastenheftvorgaben werden festgelegt und schließlich werden sie an der für die Prüfstandentwicklung zuständigen Firma weitergegeben.

Auf ein mit der Entwicklung des Vakuum-Regelventilprüfstandes parallel laufendes Projekt, also die Entwicklung des Drehschieberprüfstandes, wird ebenfalls eingegangen. In diesem Projekt werden vor allem die konstruktiven und aus dem Platzmangel resultierenden Herausforderungen gelöst.

Im letzten Kapitel wird das Thermomanagement des Modells Audi e-tron vorgestellt und die dort verbauten Komponenten mit den vorher am ZP4-TMM-Prüfstand geprüften Modulen verglichen und die Möglichkeit der Erweiterung des Prüfstandes auch für die e-Thermomanagement-Module beschrieben.

# Abstract

## **Extension of the thermal management test bench of control valves for internal combustion engines**

In 2016, a measurement system has been installed at Audi Hungaria Zrt. inside the quality department of the engine plant. The measuring equipment is capable for the control of the cooling components of combustion engines.

The intelligent thermal management components, also the vacuum control valves and the rotary vane modules used in series and pre-series cars are causing relatively high failure rates mainly with V- and R- engines compared with the conventional components used for several decades. Due to the effectiveness of the equipment already integrated in the test laboratory, the idea we come up to extend the laboratory also for the intelligent thermal management components, so that in the case of complaint processes both time and costs can be saved in order to increase the quality and thus the satisfaction of the customers.

After the introduction, an overview of the thermal management agent of internal combustion engines and the structure of the cooling system is given based on a literature research. The cooling method and the associated components that serve to avoid to overheat of the engine and regulating the appropriate temperature level with a focus on the intelligent thermal management modules are presented.

A summary about the necessary quality failure analysis methods of the component check is provided and the ZP4- test bench current testing facilities is explained.

In the next chapter, the reasons of the extension of the test bench with analysis competence of vacuum control valves and their challenge are described in details; also the border parameters on the basis of the individual components and the derived specifications are determined and finally communicated to the company responsible for test bench development.

A parallel project with the development of the vacuum control valve test stand, also the development of the rotary valve test stand will also be dealt with in this master thesis. Above all, this project solves the constructive and space- constraining challenges.

The last chapter presents the thermal management of the Audi e-tron model and compares the components installed here with the modules previously tested on the ZP4 test bench stand and the possibility of extending the test bench stand also for the e- thermo management modules will be discussed.

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung: Vorstellung der Audi Hungaria Zrt. ....	1
1.2.	Qualitätssicherung Motor: .....	2
1.2.1.	QS- Struktur .....	2
1.3.	Qualitätssicherung Produkttechnik R- und V- Motor .....	2
1.4.	Werksentwicklung .....	3
2.	Das Thermomanagement von Verbrennungskraftmaschinen .....	5
2.1.	Das Kühlsystem .....	6
2.1.1.	Luftkühlung .....	6
2.1.2.	Flüssigkeitskühlung .....	7
2.2.	Das Intelligente Thermomanagement .....	8
2.2.1.	Erfüllung der Anforderungen .....	8
3.	Aufbau des Kühlsystems (Module/ Komponenten zur Temperaturregelung und deren Anforderungen) .....	9
3.1.	Die Thermostate .....	9
3.1.1.	Teller-Thermostate .....	9
3.1.2.	Bypass-Thermostate .....	10
3.1.3.	Ringteller-Thermostate .....	11
3.1.4.	Kuglethermostat .....	12
3.1.5.	Zusammenfassende Tabelle der zwei erwähnten Thermostattypen .....	13
3.1.6.	Thermostat für kennfeldgesteuerte Motorkühlung .....	13
3.2.	Intelligente Thermomanagement Modulen .....	15
3.2.1.	Abschaltbare Kühlmittelpumpe [13] .....	15
3.2.2.	Vakuum-Regelventile .....	18
3.2.3.	Drehschiebmodule .....	21
3.2.3.1.	Schaltpositionen und die Arbeitsbereiche .....	23
3.3.	Aufbau und Funktion des Kühlsystems von Verbrennungskraftmaschinen .....	24
4.	Qualitätsmanagement bei Audi Hungaria Zrt. und Vorstellung des ZP4-TMM-Prüfstandes .....	28
4.1.	Methode der Qualitätssicherung bei Audi Hungaria Zrt. ....	28
4.2.	Vorstellung des ZP4-TMM-Prüfstandes (ZP4: Ziel Punkt 4) .....	29
4.3.	Ablauf der Reklamationen innerhalb der AUDI-AG .....	31

4.4.	Möglichkeiten zur Prüfung von Ersatzteilen .....	33
5.	Erweiterung des Prüfstandes mit Analysekompetenz von Vakuum-Regelventilen und die damit verbundenen Herausforderung .....	34
5.1.	Vereinheitlichung der Vorschriften .....	34
5.1.1.	Betriebstemperaturbereiche.....	35
5.1.1.	Innere Dichtheit.....	37
5.1.2.	Dichtheit nach außen .....	39
5.1.3.	Dichtheit der U-Dose .....	39
5.2.	Schadensfall der U-Dose und zusammenfassende Tabelle mit Spezifikationen des geplanten Prüfstandes .....	40
5.2.1.	Schaden an der Unterdruckdose des Wasserventils (06M 121 678 F).....	40
5.2.2.	zusammenfassende Tabelle mit Spezifikationen des geplanten Prüfstandes .....	41
5.3.	Statistik zur Auswertungen von Felddausfällen .....	42
5.4.	Definition der Lastenheftvorgaben .....	43
5.4.1.	Das Prüfverfahren.....	43
5.4.2.	Die Messung und der Prüfprozess.....	44
5.4.3.	Anforderungen an die Prüfanlage: Prüfstands Aufbau.....	46
5.5.	Dichtheitsprüfung am statischen Kühlmittelpumpenprüfstand .....	46
5.5.1.	Visuelle Prüfung/Sichtprüfung .....	46
5.5.2.	Farbeindringprüfung.....	47
5.5.3.	Dichtheitsprüfung an den Prüfständen .....	49
5.5.3.1.	Statische Dichtheitsprüfung mit Überdruck .....	49
5.5.3.2.	Unterdruckstabilitätsprüfung .....	52
6.	Konzepte einer Prüfanlage für Drehschiebermodule.....	54
6.1.	Randbedingungen für die Entwicklung des Drehschieberprüfstandes .....	54
6.2.	Zusammenfassung der behandelten Drehschiebermodule .....	54
6.3.	Kritische Punkte bei der Entwicklung des Prüfstandes .....	55
6.4.	Vor- und Nachteile von verschiedener Anzahl der Nester.....	56
6.5.	Lage und Terminplan des TMM-Prüfstandes für Drehschiebermodule .....	56
6.6.	Was wird mittels des Prüfstandes an den Drehschiebermodulen geprüft? .....	58
6.7.	ESD-Schutz (Elektrostatische Entladung) .....	59
7.	Möglichkeiten der Erweiterung des ZP4-TMM-Prüfstandes und Zusammenfassung .....	60
7.1.	Das Thermomanagement des Audi e-tron.....	60
7.2.	Übersicht und Lage des Kältemittelkreislaufs, des Heizkreislaufs und der Kühlkreisläufe .	60

7.3.	Erweiterung des Prüfstandes für die Thermomanagement-Komponenten des Audi e-tron.....	62
7.3.2.	Vorschläge für die Erweiterung des ZP4-TMM-Prüfstandes mit den für den Audi e-tron relevanten Komponenten .....	63
7.4.	Zusammenfassung.....	64
	Abbildungsverzeichnis.....	65
	Tabellenverzeichnis .....	66
	Literaturverzeichnis.....	67

# 1. Einleitung: Vorstellung der Audi Hungaria Zrt.

Die Audi Hungaria Zrt. entwickelt und produziert im ungarischen Győr Motoren für die Audi AG und für weitere Gesellschaften des Volkswagen-Konzerns.

Seit ihrer Gründung im Jahre 1993 entwickelte sich die Audi Hungaria zu einem der größten Exporteure und profitstärksten Unternehmen des Landes. Gleichzeitig ist Audi Hungaria einer der größten ausländischen Investoren in Ungarn und – mit 12.307 Beschäftigten am 31. Dezember 2018 – auch größter Arbeitgeber in der Region. Audi Hungaria produzierte im vergangenen Jahr insgesamt 1.965.165 Motoren und 105.491 Autos in Győr.

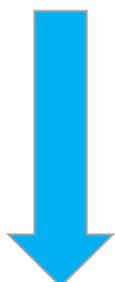
Die derzeit produzierten Modelle zeigt die Abbildung [1](#):



Abbildung 1: Produzierte Modelle: oben: A3 Limousine, A3 Cabriolet  
unten: TT Coupé, TT Roadster

## Ein „Erfolgstriumph“ von 1993-2018:

Im Jahr 1993 wurde die Audi Hungaria Zrt. als 100-prozentige Tochtergesellschaft der Audi AG gegründet. Im Dezember 1993 startete die Vorserienproduktion.



- 1998: Start der Fahrzeugmontage des Audi TT Coupé
- 2001: Die Montage der Modelle Audi A3 und S3 startet in Győr.
- 2007: Start der Produktion des neuen Audi Modells A3 Cabriolet
- 2010: Start der Serienproduktion des Audi RS 3 Sportback
- 2013: Serienproduktion der Audi A3 Limousine und des Audi A3 Cabriolet.

Im Jahr 2016 wurde angekündigt, dass der Audi Q3 in Győr gefertigt und in 2018 rollt der erste Audi Q3 der zweiten Modellgeneration vom Band ab und gleichzeitig werden Elektromotoren für die E-Modelle des Audi-Konzerns in Győr gebaut werden. (Abbildungen [36](#) und [37](#))

## 1.2. Qualitätssicherung Motor:

Die Mannschaft der Qualitätssicherung Motor arbeitet seit 25 Jahren täglich an hohe Qualität für jeden einzelnen Motor, der das Unternehmen verlässt. Im Rahmen meines Masterarbeitsprojektes nahm ich auch ein halbes Jahr lang an der Arbeit der Qualitätssicherung Motor und des Thermomanagementteams teil.

### 1.2.1. QS- Struktur

Es werden folgende Strukturen der Qualitätssicherung von Audi Hungaria Zrt. definiert:

- Qualitätssicherung R-Motor
- Qualitätssicherung V-Motor
- Qualitätssicherung E-Antrieb
- Qualitätssicherung Mechanische Fertigung
- Qualitätssicherung Analyse / FAP / Feld Motor
- Qualitätslenkung
- Q-Typverantwortung

## 1.3. Qualitätssicherung Produkttechnik R- und V- Motor

Aufgaben: Der Bereich ist für die Qualität der R-Motoren und deren Kaufteile zuständig

Haupttätigkeiten:

- Feldreklamationsprozessbearbeitung für Kaufteile
- konzeptionelle Bauteil- und Systembeeinflussung und Produktfreigabe bei den Lieferanten (Bemusterung)
- Auswahl der Lieferanten, Beeinflussung des Herstellprozesses und Prozessabnahme bei den Lieferanten (2-Tagesproduktionsfreigaben). [\[5\]](#)

## 1.4. Werksentwicklung

Das Unternehmen wurde 1993 als Audi Hungaria Zrt. gegründet. Das Motorenwerk wurde ein Jahr später und das Fahrzeugwerk im Jahr 1998 eingeweiht.

Die Entwicklung des Werkes Audi Hungaria stellt die Abbildung [2](#) von dem Geburtsjahr 1993 bis heutzutage vor. Die Werksfläche vergrößerte sich auf 6-fache und die bebaute Fläche mehr als 10-fache in den vergangenen 25 Jahren.

Um die in dem Gesamtfahrzeug eingebauten Komponenten intern simulieren und testen zu können, werden auf die Vervollkommnung von Messzentren und Prüfständen immer größer Wert gelegt.

Meine Masterarbeit fokussiert auf die Erweiterung des ZP4-TMM-Prüfstandes in dem Motorwerk, die ich in den nächsten Kapiteln detailliert erklären werde. [\[5\]](#)

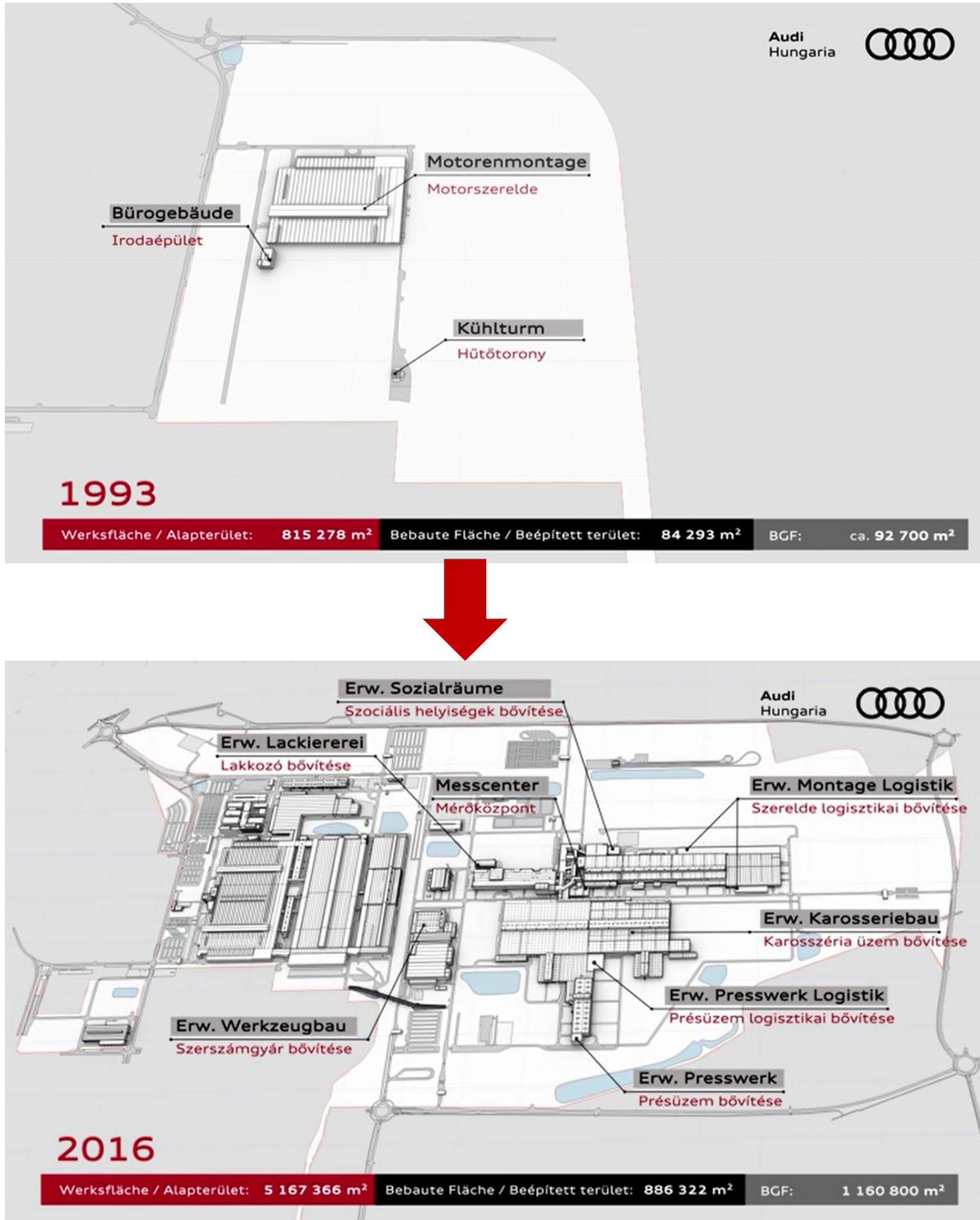


Abbildung 2: Werksentwicklung [5]

## 2. Das Thermomanagement von Verbrennungskraftmaschinen

Alle Komponenten, die dazu dienen, Wärme in Kraftfahrzeug zu verteilen, lassen sich in ihrer Gesamtheit als Thermomanagementsystem zusammenfassen. Dieses setzt sich in der Regel aus mehreren Teilsystemen – meist Fluidkreisläufen – zusammen, die untereinander über Wärmetauscher verbunden sein können. [1]

Neben der in jedem Verbrennungsmotor notwendigen Aufgabe die Komponenten vor thermischer Überlastung zu schützen, wird unter Thermomanagement des Kühlwassers die Regelung verschiedener Energie – und Fluidströme verstanden. [9]

Die Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Wärmeströme in einem Kraftfahrzeug

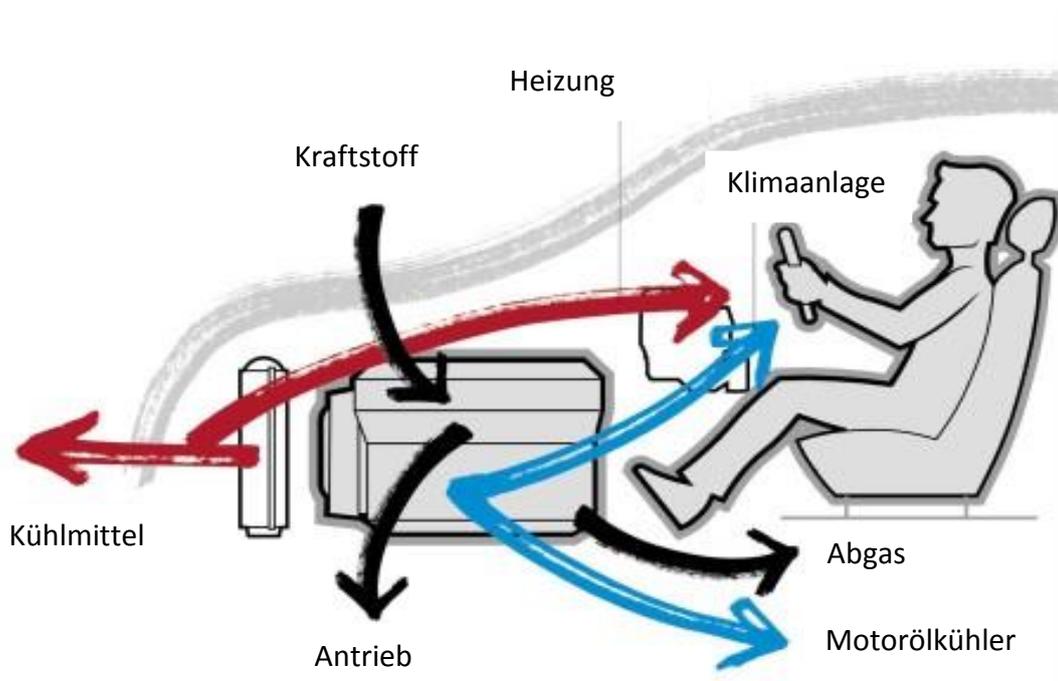


Abbildung 3: Thermomanagement eines PKWs [6]

Thermomanagement ist mehr als „Kühlen“, sondern die komplexe Steuerung von Wärmeströmen aus unterschiedlichen Quellen in Motoren. Auf diese Weise können die Motoren sparsamer und umweltfreundlicher werden. [1]

Derzeit läuft die Entwicklung ganzer Thermomanagementsysteme auf mehreren Ebenen ab. Während die standardisierten Messverfahren im Mittelpunkt stehen, werden immer öfter neue Prüfstände bei verschiedenen Firmen entwickelt, um die Reklamationsprozesse zu verbessern und die Kosten zu reduzieren.

Die Masterarbeit beschäftigt sich mit der Erweiterung eines Thermomanagement-Prüfstandes für Regelventile von Verbrennungskraftmaschinen sowie mit den Herausforderungen der Konstruktion und der Integration des Drehschieberprüfstandes bei Audi Hungaria Zrt.

## 2.1. Das Kühlsystem

In den heutigen Kraftfahrzeugen spielen die Kühlsysteme eine sehr wichtige Rolle; deren Hauptaufgabe darin besteht, die erhöhte Temperatur im Brennraum zu senken, um die Festigkeit und Lebensdauer der Bauteile zu erhalten.

Bei effektiver und stabiler Kühlung erfolgt:

- Verbesserung des Wirkungsgrades
- Verlängerung der Lebensdauer des Verbrennungsmotors
- Senkung des Kraftstoffverbrauchs und der Abgasschadstoffemission
- Verbesserung der Leistung durch bessere Füllung.

### 2.1.1. Luftkühlung

Bei der Luftkühlung in Abbildung 4 unterscheidet man zwei Verfahren:

- ❖ Kühlung durch den Luftstrom ohne Hilfsmittel, wie z.B. bei Fahrzeug, - Motorrad, -und Flugmotoren durch den Fahrwind allein.
- ❖ Kühlung mittels eines Kühlluftgebläses: Es wird ein Gebläse verwendet, um eine Luftströmung zu produzieren. Auf einer Seite wird Luft angesaugt und auf der anderen wird sie durch verschiedene Kanäle, Lamellen und Leitbleche gedrückt. Die Luft strömt auch durch den Motorölkühler, um das Motoröl zu kühlen. Das Gebläse wird meistens mit der Motorwelle direkt angetrieben, aber es kann auch über Keilriemen, hydraulisch oder über Zahnräder angetrieben werden.

Bei dieser Form von Kühlung ist wesentlich, dass der Aufwand für die Luftkühlung stets durch einen Teil der Motorleistung gedeckt werden muss: in einem Fall ist es der erhöhte Fahrwiderstand, im anderen Fall die vom Motor aufzuwendende Gebläseantriebsleistung. Derartige Aufwände für die Kühlung sind aber nur mittelbar und können als selbstständige Aufwände nicht erfasst werden. [2]

Diese Variante der Kühlung wird derzeit hauptsächlich bei Motorrädern angewendet, sowohl mit einigen Vorteilen:

- beim Einbau in der Mitte oder im Heck des Fahrzeugs keine langen Kühlflüssigkeitswege
- ein Kühlsystem kann weder einfrieren noch undicht werden
- geringer Wartungsaufwand.

Als auch Nachteilen:

- Durch Keilrippen und das Gebläse wirkt der Motor gegenüber der Flüssigkeitskühlung lauter.
- Kühlung und Heizung erfolgen ungleichmäßig.
- Luft nimmt weniger Wärme auf und auch der Wärmeübergang ist schwieriger.
- Keine Geräuschdämpfung auf Grund des fehlenden Wassermantels. [7]

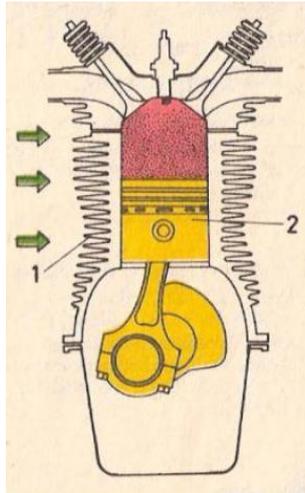


Abbildung 4: Luftkühlung [24]

### 2.1.2. Flüssigkeitskühlung

Motoren in heutigen Kraftfahrzeugen werden über einen Kühlkreislauf gekühlt. Die Flüssigkeitskühlung (Abbildung 18) vereint neben der deutlich höheren Leistungsdichte gegenüber der Luftkühlung mehrere Vorteile:

- Höhere Wärmestromdichten im Motor und dadurch eine bessere Kühlung thermisch hoch belasteter Stellen
- Motortemperatur wird über einen Thermostat geregelt, aber immer häufiger kommen zusätzliche Bauteile wie Regelventile, Drehschiebermodule, also die sogenannten intelligenten Thermomanagement-Module zum Einsatz
- Geringere Luftschallabstrahlung [23]

## 2.2. Das Intelligente Thermomanagement

Bei der Weiterentwicklung des Motors wurde der gesamte Kühlmittelkreislauf überarbeitet. So standen die Schnellaufheizung des Motors, eine Verbrauchsreduzierung durch eine schnelle und thermodynamisch optimale Motortemperaturregelung und, bei Bedarf, die Aufheizung des Fahrzeuginnenraums im Vordergrund. [15]

### 2.2.1. Erfüllung der Anforderungen

Die intelligente Temperaturregelung muss 3 zentrale Anforderungen erfüllen:

1. Eine schnelle Erwärmung des Motors auf eine optimale Betriebstemperatur ermöglichen, um die emissions- und verbrauchsungünstige Kaltlaufphase des Motors zu verkürzen.
2. Die Motortemperatur bei kritischen Fahrzuständen gezielt erhöhen können, um die verbrauchs- – und emissionsenkenden Effekte eines erhöhten Temperaturniveaus zu nutzen.
3. Störungsfrei nach einem einfachen Prinzip arbeiten, um platz- und gewichtssparend eingesetzt werden können. [25]

### 3. Aufbau des Kühlsystems (Module/ Komponenten zur Temperaturregelung und deren Anforderungen)

In diesem Kapitel werden sowohl die konventionellen Komponenten als auch die intelligenten Thermomanagement-Module des Kühlsystems näher beschrieben, um zu verstehen wie ein komplettes Kühlsystems eines Verbrennungsmotors funktioniert.

#### 3.1. Die Thermostate

Die Thermostate steuern den Durchfluss des Motorkühlmittels, dadurch teilen sie das Kühlsystem des Motors auf zwei oder mehrere Kreisläufe auf. So wird sichergestellt, dass die Betriebstemperatur des Motors erreicht und Überhitzung verhindert wird. [10]

Die allgemeine Funktionsweise der heutzutage verwendeten Thermostate wird in diesem Kapitel vorgestellt.

##### 3.1.1. Teller-Thermostate

Die Teller-Thermostate (Abbildung 5) sind die am meisten verwendeten Einheiten zur Temperaturregelung in den Fahrzeugmotoren. Sie teilen den Motor in zwei Kreisläufe. So muss die noch kalte Kühlflüssigkeit, nicht direkt durch den Kühler durchfließen; dadurch kann der Motor schneller warm werden. Der Teller wird mit Hilfe des Dehnstoffes bewegt und somit kann der Kühlkreis geschlossen- oder im gegebenen Fall geöffnet werden. [12]

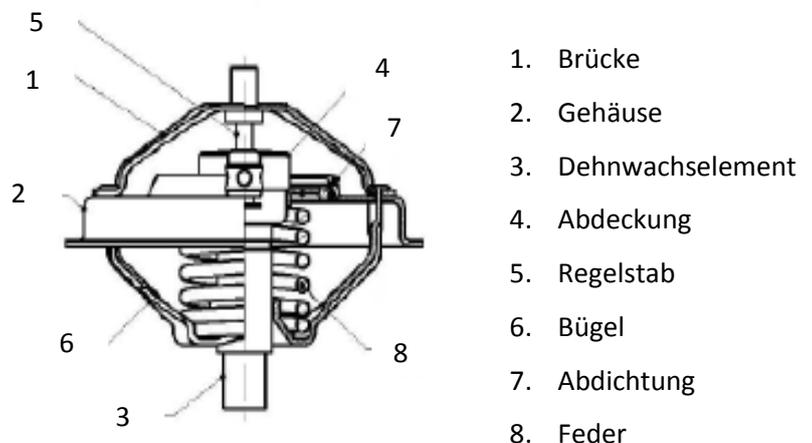


Abbildung 5: Teller-Thermostat

Das Gehäuse und die Abdeckung des Thermostates werden in den meisten Fällen aus Kupfer wegen der Beständigkeit gegen Korrosion und guter Wärme -Zu- und Abfuhrigenschaften hergestellt. Darin befindet sich die mit Paraffinwachs gefüllte Patrone, die ihren Zustand durch Wärme verändern kann.

### 3.1.2. Bypass-Thermostate

Die Bypass- Thermostate verfügen über zwei Teller, zu denen eine-eine Feder gehört, durch in bestimmten Betriebsfällen 2 Kühlkreise geschlossen oder geöffnet werden können. In der Grundstellung ist der Bypass-Thermostat offen, der Regelstab ist fixiert und in der Heizungsphase befindet sich der dazugehörige Kühlkreis in geschlossenem Zustand. Die Patrone wird in dem Thermostat durch die Kühlflüssigkeit ständig erwärmt und wenn die Temperatur von 90° erreicht wird, öffnet sich der Thermostat und von dem Kühler wird der Weg der kalten Kühlflüssigkeit frei. Der Bypass-Thermostat schließt hier und dadurch gibt es auf diesem Bypass-Kühlkreis keinen Transport von der Kühlflüssigkeit, sondern nur auf dem gesamten Kühlkreis, solange sich der Thermostat nicht abgekühlt.

[12]

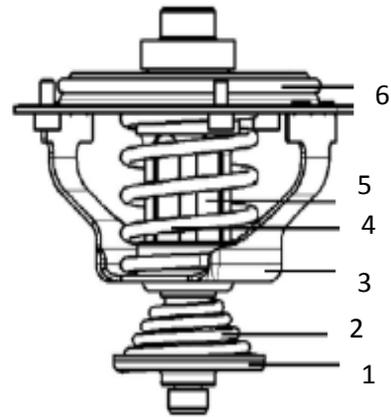


Abbildung 6: Teller-Thermostat  
mit Bypass

Teller-Thermostat mit Bypass  
1. Bypass-Teller, 2. Bypass-Feder, 3.  
Steinbünde, 4. Feder, 5. Dehnwahselement,  
6. Teller

### 3.1.3. Ringteller-Thermostate

Der Thermostat ist in der Abbildung [7](#) auf der Saugseite der Kühlmittelpumpe positioniert. Er öffnet über ein Wachselement temperaturgesteuert. Zusätzlich kann über ein Heizelement die Öffnungstemperatur gesenkt werden. Diese Ansteuerung erfolgt durch das Motorsteuergerät, in dem ein Kennfeld hinterlegt ist. [\[17\]](#)

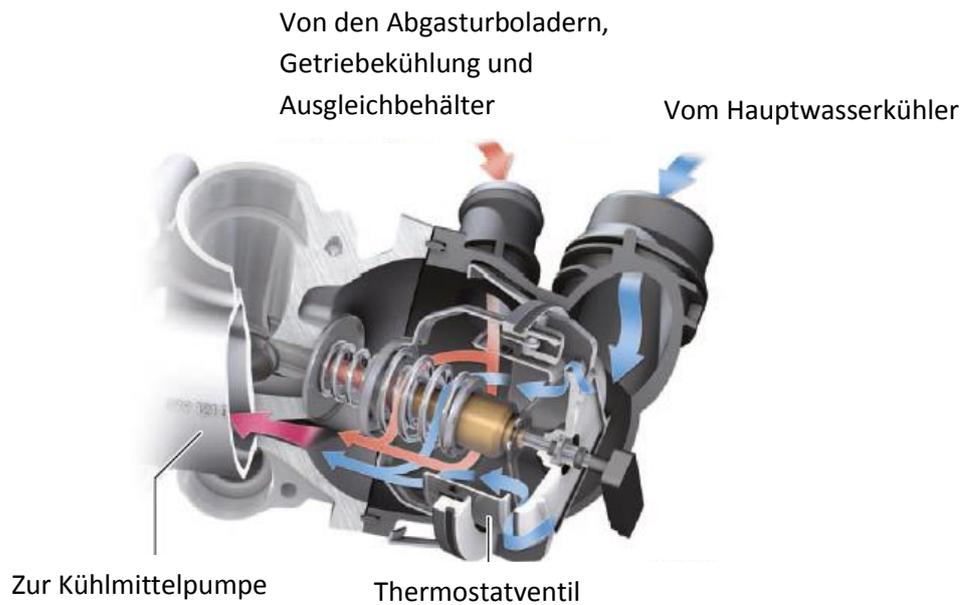


Abbildung 7: Ringteller-Thermostat in offenem Zustand, Bypass geschlossen [\[17\]](#)

### 3.1.4. Kugelthermostat

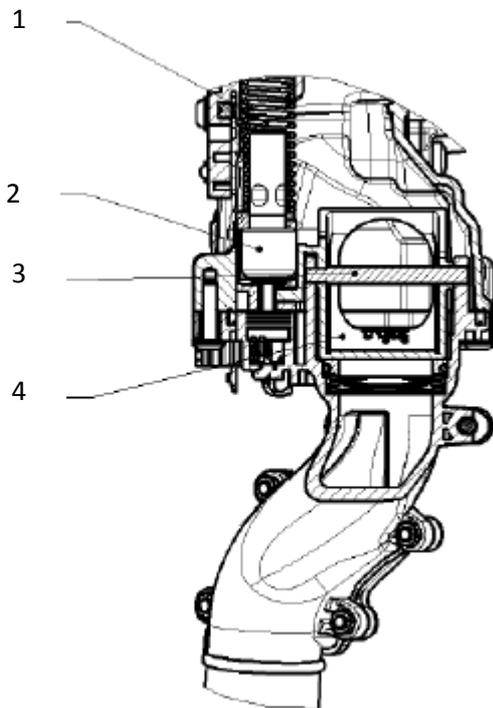


Abbildung 8: Aufbau Kugelthermostat [12]

Die Funktion der Kugelthermostate ist grundsätzlich ähnlich zu den Teller-Thermostaten, weil die Öffnung und Schließung durch eine Patrone geregelt wird.

Als Patrone lässt sich in diesem Fall ein halbkugel- oder halbzylinderförmiges Regelventil betreiben. In dem Körper des Regelventils wird ein Hohlraum ausgefräst, wodurch die Kühlflüssigkeit strömen kann. Die Abbildung 8 zeigt ein Kühlmittelregelungsmodul eines V8 TDI Motors mit den Hauptkomponenten:

1. Zugfeder
2. Dehnwachselement
3. Welle zur Fixierung des Regelventils
4. Regelventil

Das Modul wird ausschließlich durch Temperatur geöffnet und geschlossen. Von der Abbildung 8 ist nur sehr schwierig wahrzunehmen, dass eine mechanische Einheit direkt von dem Regelstab bewegt wird, der an das Regelventil angeschlossen ist. Durch die Bewegung des Regelstabes dreht sich das Ventil auch mit, dadurch kommt die Öffnung bzw. Schließung des Kreises zustande. Ein solches System kann nur einen einzigen Kreis schließen und öffnen, verfügt über keine Bypass-Funktion. [12]

### 3.1.5. Zusammenfassende Tabelle der zwei erwähnten Thermostattypen

Teller-Thermostate	Kugelthermostate
Relativ geringere innere Dichtfähigkeit	Hohe innere Dichtfähigkeit wegen der halbkugelförmigen- oder zylinderförmigen Dichtungsoberfläche
Einfache Konstruktion, wenige bewegte Teile	Komplexe Konstruktion, mehrere bewegte Teile
Verfügen über großen inneren Widerstand im Kühlsystem	Verfügen über kleinen inneren Widerstand im Kühlsystem
Der Teller ist empfindlich gegenüber Verschmutzungen ohne Benutzung von Gummidichtung	Sind an hohem Verschleiß ausgesetzt
Regelung mittels Bypass ist verwirklichtbar	Keine Möglichkeit für Bypass-regelung

Tabelle 1: Eigenschaften der Teller- und Kugelthermostate

### 3.1.6. Thermostat für kennfeldgesteuerte Motorkühlung

Der Dehnstoff-Thermostat im Kühlmittel-Verteilergehäuse ist ständig vom Kühlmittel umgeben. Das Wachselement regelt unbeheizt wie bisher, ist aber auf eine andere Temperatur ausgelegt.

Über die Kühlmittel-Temperatur wird das Wachs flüssig und dehnt sich aus. Diese Ausdehnung bewirkt einen Hub am Hubstift (Abbildung 9). Dies erfolgt also im Normalfall ohne Bestromung entsprechend dem definierten Temperaturprofil von 110 C° Kühlmittel-Temperatur am Motorausstritt.

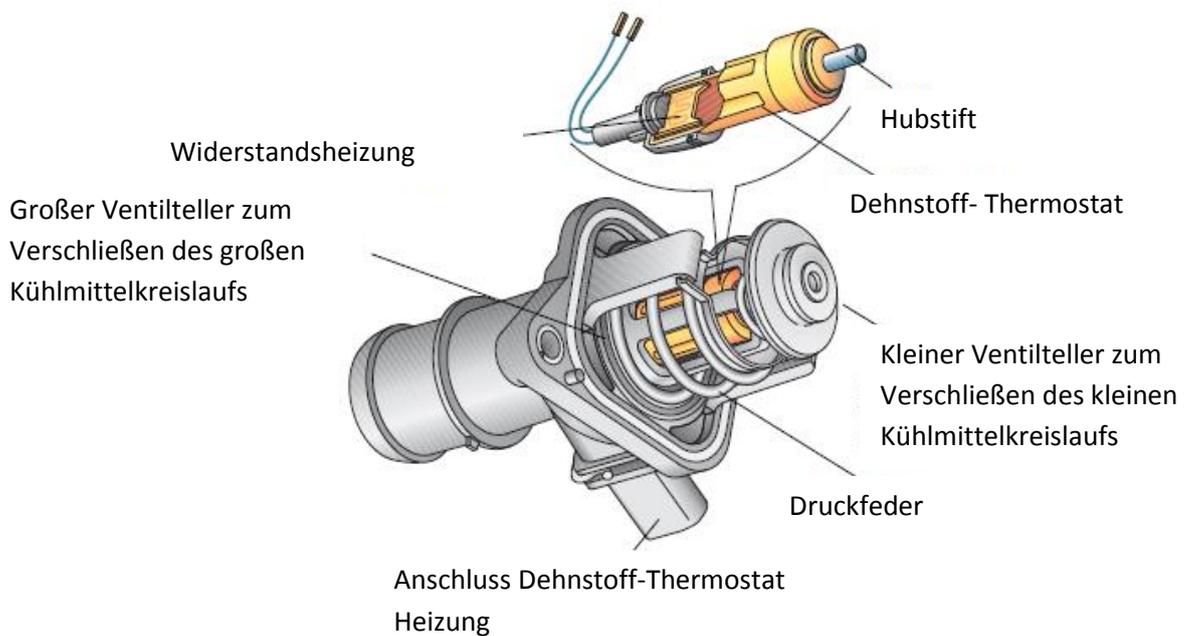


Abbildung 9: Thermostat für kennfeldgesteuerte Motorkühlung [14]

Im Wachselement ist ein Heizwiderstand eingebettet. Wird dieser bestromt, erwärmt dies das Wachselement zusätzlich und der Hub – also die Verstellung – erfolgt nun nicht allein in Abhängigkeit von der Kühlmittel-Temperatur, sondern so, wie das vom Motorsteuergerät nach Kennfeld vorgegeben wird.

Die Thermostatheizung dient nicht der Aufheizung des Kühlmittels. Sie erwärmt gezielt, also geregelt den Thermostat zum Öffnen des großen Kühlkreislaufes. [14]

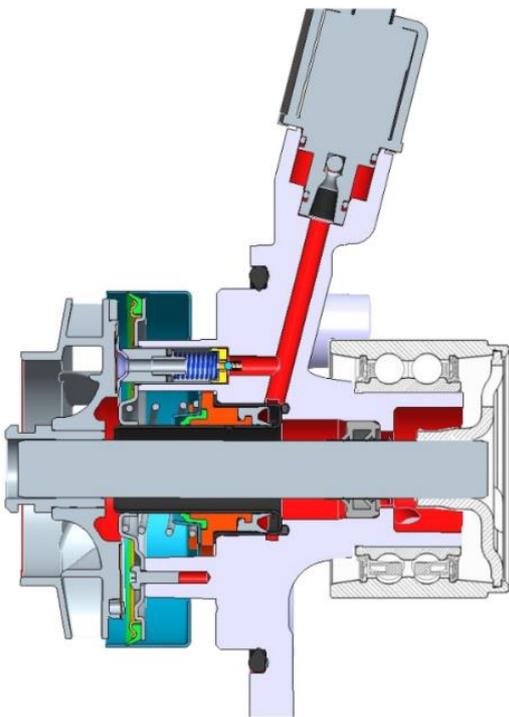
### 3.2. Intelligente Thermomanagement Modulen

Bei der Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors wurde auch der gesamte Kühlmittelkreislauf überarbeitet, was zur Entstehung der intelligenten Thermomanagement Module führte, um die Kriterien und Herausforderungen des aktuellen Standes der Technik erfüllen können.

Die Anforderungen an das Thermomanagement steigen in Zukunft weiter. Es ist einerseits auf den Trend zurückzuführen, besonders effiziente Verbrennungsmotoren zu entwickeln.

In Folgen werden die in Audi Motoren verbauten Komponenten näher beschrieben.

#### 3.2.1. Abschaltbare Kühlmittelpumpe [13]



Die Kühlmittelpumpe wird permanent über den Riementrieb angetrieben. Dadurch fördert sie die Kühlflüssigkeit im Kühlkreislauf und sorgt dafür, dass ein ausreichender Wärmetransport zu den Wärmetauschern gewährleistet ist. Während des Kaltstarts und Warmlaufs soll der Motor aber möglichst schnell seine Betriebstemperatur erreichen. Dazu wird die Kühlmittelpumpe per Unterdruck mit einer Blende abgeschaltet. Dadurch steht das Kühlmittel im Motor und wird schneller erwärmt.

Abbildung 10: Schaltbare kühlmittelpumpe

Die Kühlmittelpumpe ist eingeschaltet in Abbildung [11](#), wobei der Schaltbereich zwischen einer Kühlmitteltemperatur weniger als  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  und mehr als  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  liegt. Das Kühlmittel wird wie bei einer herkömmlichen Kühlmittelpumpe zum Zylinderblock und Zylinderkopf gefördert.

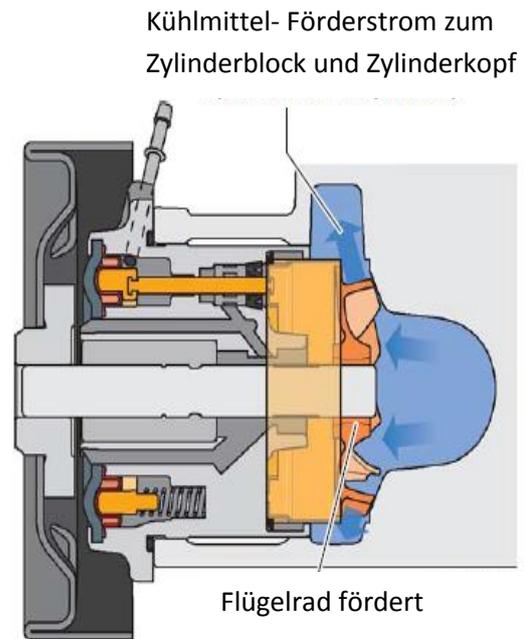


Abbildung 11: Kühlmittelpumpe eingeschaltet

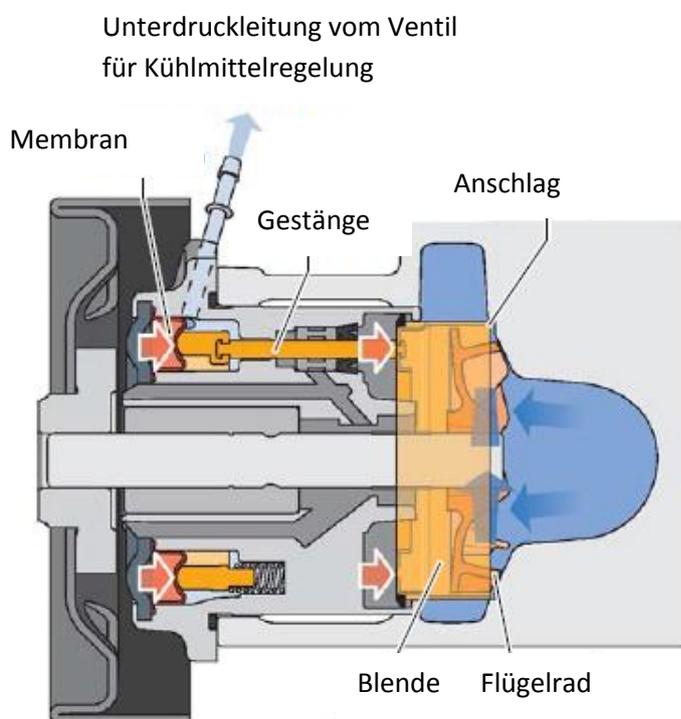
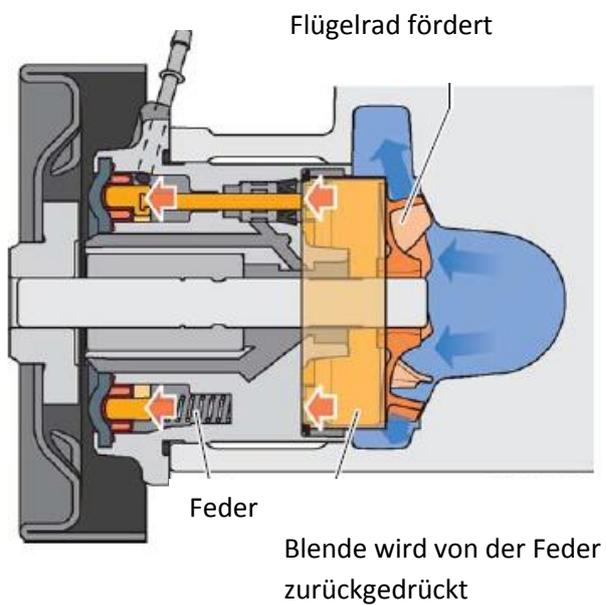


Abbildung 12: Kühlmittelpumpe abgeschaltet

Beträgt die Kühlmitteltemperatur beim Motorstart zwischen  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , wird die Kühlmittelpumpe bedingt abgeschaltet (Abbildung [12](#)). Das Ventil für die Kühlmittelregelung wird vom Motorsteuergerät angesteuert und gibt den Weg für den Unterdruck frei. Durch den Unterdruck wird die Membran nach rechts gezogen. Da die Blende und die Membran über ein Gestänge miteinander verbunden sind, wird die Blende über das Flügelrad geschoben bis sie am Anschlag anliegt. Der Kühlmittel-Förderstrom wird durch die Blende unterbrochen. Es wird kein Kühlmittel mehr gefördert.



Bei einer Zylinderkopftemperatur von ca. 75 °C wird die Kühlmittelpumpe zugeschaltet. Zum Wiedereinschalten wird das Ventil für Kühlmittelregelung einige Male (Mischphase) angesteuert. Dadurch öffnet und schließt die Blende der Kühlmittelpumpe taktweise. So wird sichergestellt, dass sich das kalte Kühlmittel aus dem Zylinderblock nur langsam mit dem warmen Kühlmittel des Zylinderkopfes vermischt.

Abbildung 13: Kühlmittelpumpe ist getaktet

### 3.2.2. Vakuum-Regelventile

Diese Ventile werden als Ergänzungsregelung innerhalb des Kühlkreises verwendet. Der Aufbau von solchen Ventilen ist ähnlich zu den Kugelthermostaten, mit dem Unterschied, dass die Regelung mit Vakuum anstatt des Dehnstoffelements geschieht. Bei dieser Methode ist die Temperatur direkt bei Regelmodulen nicht bekannt, aber durch zusätzliche Sensoren können die aktuellen Temperaturen in allen Bereichen des Motors bestimmt werden.

Der größte Vorteil von solchen Vakuum-Regelmodulen im Vergleich mit konventionellen Modellen ist, dass sie ohne Zeitverlust öffnen und schließen können. Abbildung 14 zeigt den Aufbau eines solchen Vakuum-Regelventils. [16]

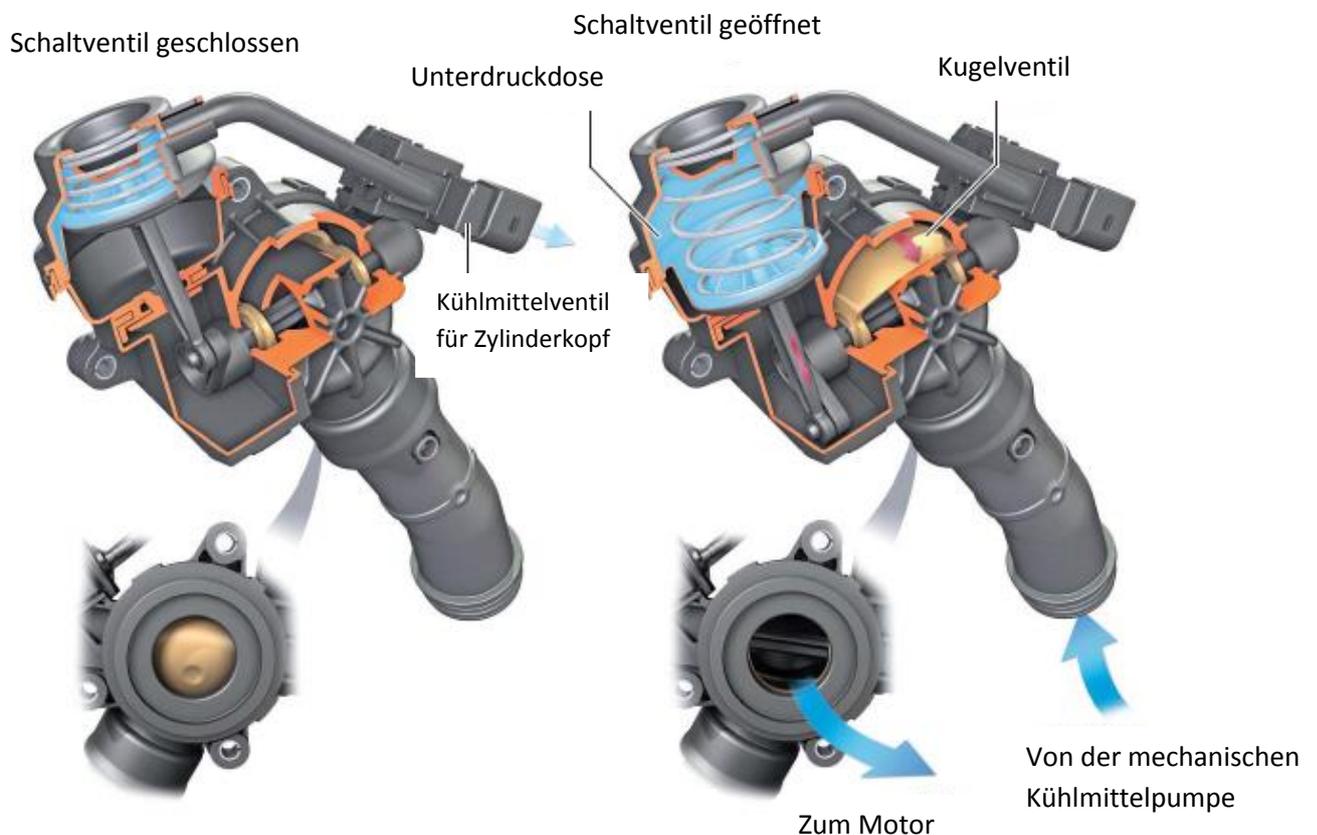


Abbildung 14: Aufbau des Vakuum-Regelventils

Das im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit behandelte innovative Thermomanagement nutzt ein Kugelventil. Wird es geschlossen, unterbricht es den Kühlmittelstrom. Das Kühlmittel bleibt im ganzen Motor stehen, das Motoröl kommt rasch auf Temperatur, die Phase der erhöhten Reibungsverluste verkürzt sich. Stehendes Kühlmittel wird nach jedem Motorstart bei einer Kühlmitteltemperatur unter 80 °C realisiert. Das Schaltventil ist zwischen Schwingungstilger und Luftansaugung am Zylinderblock

angeflanscht. Hier ist es im druckseitigen Kühlmittelrohr zwischen Kühlmittelpumpe und Zylinderblock integriert.

Das Ventil eines Audi 4,0l-V8-TFSI Motors (Abbildung [14](#)) wird pneumatisch über eine Unterdruckdose geschaltet. Der Unterdruck wird von der Vakuumpumpe bereitgestellt und von einem Elektromschaltventil (Kühlmittelventil für Zylinderkopf) gesteuert. Schaltventil, Unterdruckdose und Elektromschaltventil bilden eine Montageeinheit. Alle Schaltungen werden durch ein Kennfeld bestimmt. Das Kugelventil wird für die Schaltstellung „geschlossen“ angesteuert. Es werden keine Zwischenstellungen realisiert. Wird der Kühlmittelfluss bei betriebswarmem Motor wieder frei gegeben, erfolgt dieses getaktet. Dadurch wird ein Absinken der Kühlmitteltemperatur im Zylinder-Motorblock durch die plötzlich einsetzende Kühlmittelströmung vermieden. Zur Diagnose kann das Schaltventil mittels Stellglieddiagnose angesteuert werden. [\[16\]](#)

In der unteren Abbildung [15](#) ist das gesamte System zu sehen, um darzustellen wie es funktioniert. Im Betrieb schließt der Thermostat den Kanal der von dem Kühler strömenden Flüssigkeit, dadurch wird der Thermostat durch die von dem Motorblock und von dem Turboauflader zurückkommenden kühlfüssigkeitsströme ständig erwärmt. Der Thermostat ist elektrisch geregelt.

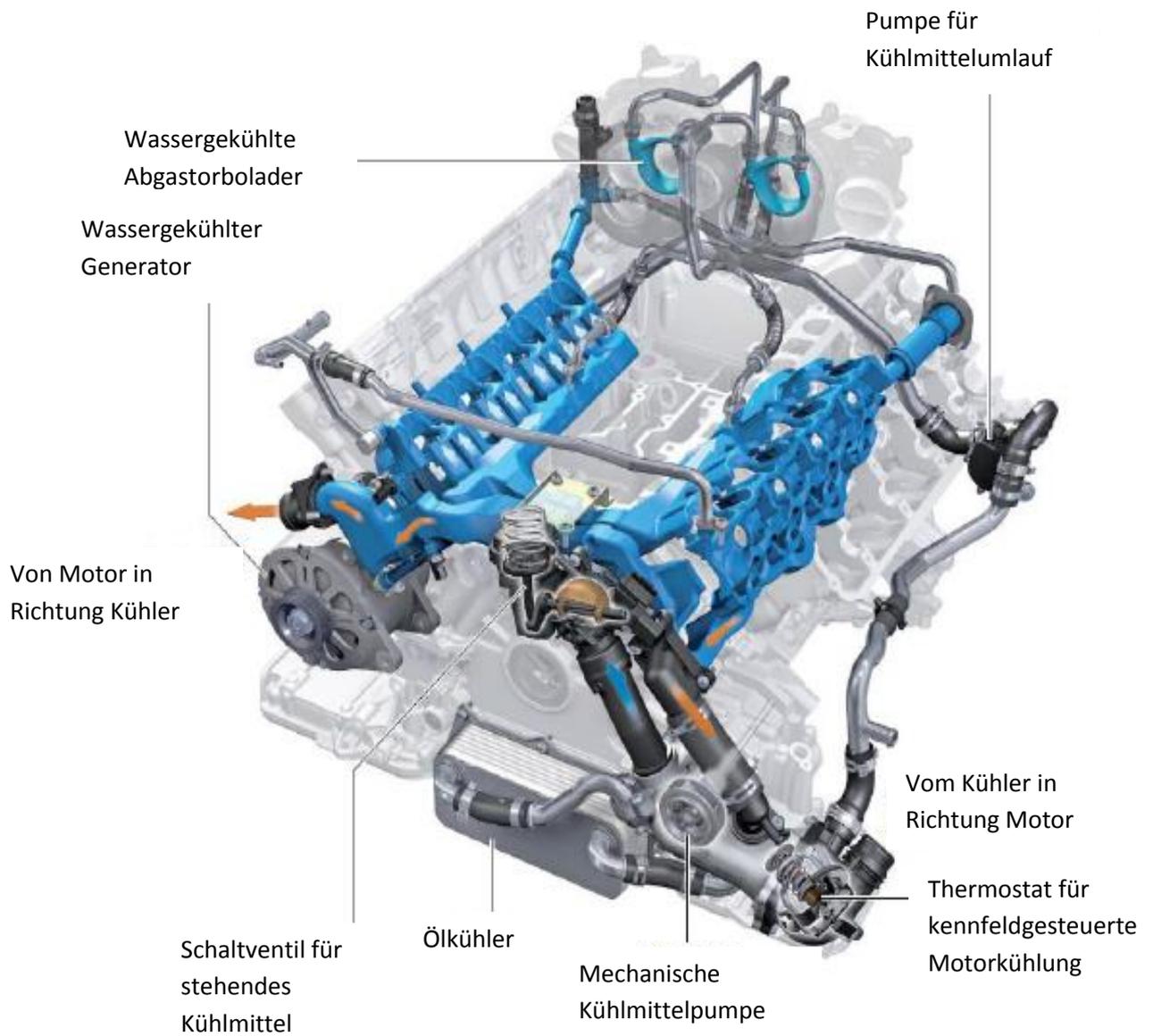


Abbildung 15: Funktion des Schaltventils im Kühlkreislauf [16]

### 3.2.3. Drehschiebemodule

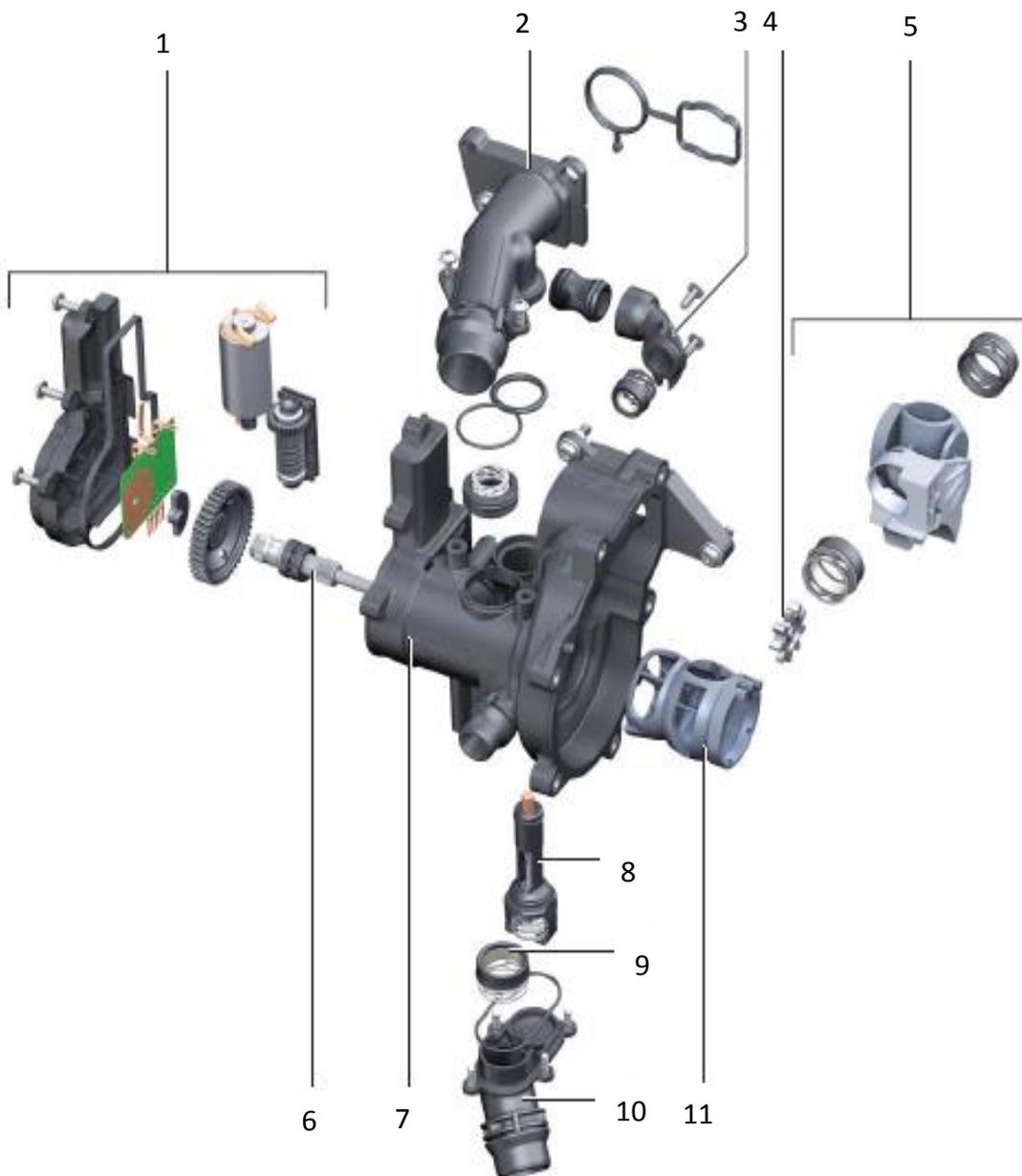
Die ITM (Intelligente Thermomanagement) Drehschiebemodule sind elektrisch, durch Software geregelt, betätigt. Als Beispiel wird der Aufbau in Abbildung [16](#) und die Funktion des aktuell bei Audi Hungaria produzierten 4-zylinder TFSI Motors betrachtet, da diese Module am neusten Stand der Technik ausgelegt sind.

Das Stellelement für die Motortemperaturregelung ist für die Motoren mit 1,8 l und 2,0 l bei Längs- wie auch bei Quereinbau gleich. Mittels zwei mechanisch gekoppelter Drehschieber wird der Kühlmittelfluss geregelt. Die Regelung der Winkelposition der Drehschieber erfolgt dabei nach Vorgabe verschiedener Kennfelder im Motorsteuergerät (siehe Abbildung [17](#)).

Durch die entsprechende Anordnung der Drehschieber können verschiedene Schaltpositionen realisiert werden. Dadurch ist ein schnelles Aufheizen des Motors möglich, was geringere Reibung und dadurch geringeren Kraftstoffverbrauch zur Folge hat. Außerdem erfolgt die Regelung der variablen Motortemperaturen zwischen 85 °C und 107 °C. [[15](#)]

Der Elektromotor des Stellelementes treibt über ein Getriebe den Drehschieber 1 an. Er steuert den Kühlmittelfluss zwischen Ölkühler, Motor und Hauptwasserkühler. Je wärmer der Motor wird, desto weiter wird der Drehschieber 1 vom Elektromotor des Stellelementes verdreht. Der Drehschieber 2 wird über ein Zwischenzahnrad von einer Zahnkulissee am Drehschieber 1 angetrieben.

Ein Drehwinkelsensor (Hallgeber) auf der Steuerplatine übermittelt die Stellungen des Drehschiebers an das Motorsteuergerät. Nach Abstellen des Motors und Beendigung des Nachlaufs, stellt sich der Drehschieber auf 40 ° Winkelposition ein. Sollte ein Fehler im System vorhanden sein, kann in diesem Winkelbereich ein Motorlauf über den Notlauf-Thermostat erfolgen. Liegt kein Fehler vor und der Motor wird gestartet, wird der Drehschieber in die Winkelposition 160 ° gestellt. [[19](#)]



- |  |  |
|--|--|
| 1 Antrieb für Stellelement für Motortemperaturregelung | 6 Welle für Drehschieber 1                   |
| 2 Stutzen für Vorlauf zum Kühler                       | 7 Drehschiebergehäuse                        |
| 3 Stutzen zum Motorölkühleranschluss                   | 8 Dehnstoffthermostat (Fail-Safe-Thermostat) |
| 4 Zwischenrad  | 9 Dichtungspaket                             |
| 5 Drehschieber 2                                       | 10 Stutzen für Rücklauf vom Kühler           |
|  | 11 Drehschieber 1                            |

Abbildung 16: Darstellung des Drehschiebermoduls der Baureihe EA888 [\[15\]](#)

### 3.2.3.1. Schaltpositionen und die Arbeitsbereiche

Die Ansteuerung des Stellelementes erfolgt vom Motorsteuergerät über Kennfelder. Durch eine entsprechende Ansteuerung der Drehschieber werden unterschiedliche Schaltpositionen erreicht, die es ermöglichen, eine schnelle Aufheizphase zu durchlaufen und die Motortemperatur variabel zwischen 86 °C und 107 °C zu halten. Dabei können drei grundlegende Regelbereiche unterschieden werden:

- Warmlaufbereich
- Temperaturregelbereich
- Nachlaufbereich.

Die Zahnkulisser am Drehschieber 1 ist so ausgelegt, dass sie den Drehschieber 2 bei 145° Winkelposition einkuppelt. Der Kühlmittelstrom zum Zylinderblock wird geöffnet und steigt mit der Verdrehung des Drehschiebers 2 an. Bei einem Winkel von 85 ° am Drehschieber 1 kuppelt der Drehschieber 2 wieder aus, nachdem er seinen maximalen Drehwinkel erreicht und damit den Kühlmittelstrom zum Zylinderblock voll geöffnet hat. Der Warmlaufbereich ist wiederum in drei Phasen der Regelung unterteilt [19]

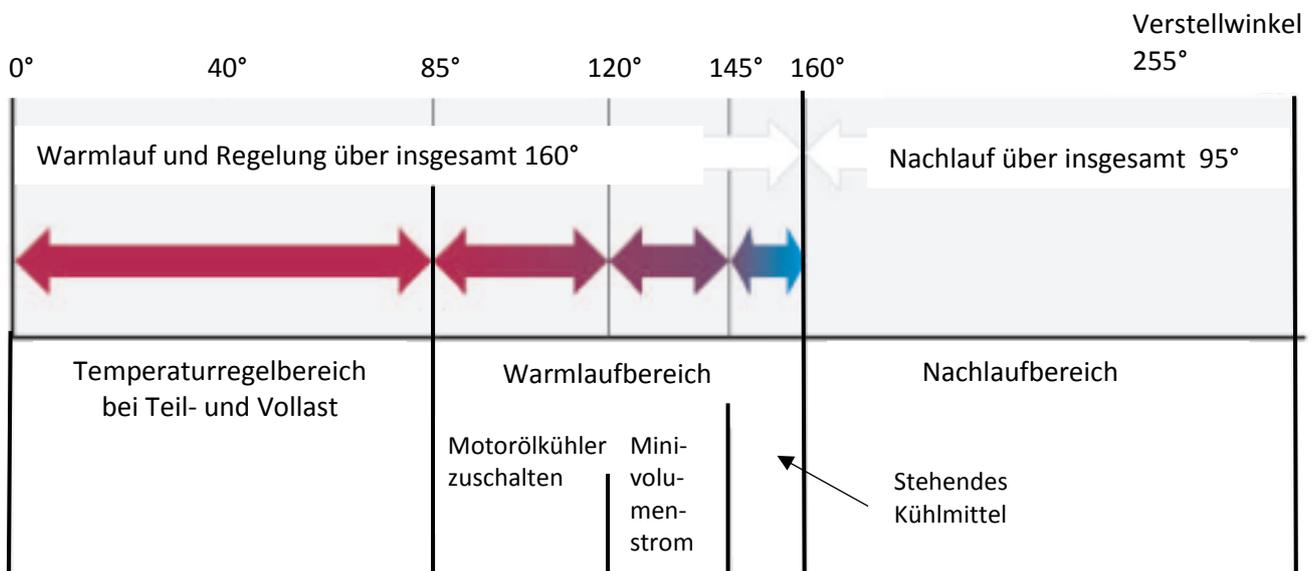


Abbildung 17: Winkelposition des Drehschiebermoduls in den bestimmten Bereichen [19]

### 3.3. Aufbau und Funktion des Kühlsystems von Verbrennungsmotoren

Der Kühlungsbedarf ist vom momentanen Betriebszustand des Motors, vom Klimakreislauf und von der Umgebungstemperatur abhängig. Die erforderlichen Regelungseingriffe erfolgen in heute verwendeten Kühlsystemen noch durch verhältnismäßig einfache Einrichtungen: Thermostat, elektrisch betriebener Lüfter, Kühlmittelpumpe.

Die Zukunft wird aber, wie in vielen anderen Systemen des Fahrzeugs, der elektrischen Regelung gehören, welche durch ein sehr komplexes System mit einer großen Zahl von Parametern, die sich gegenseitig beeinflussen. [21]

Neben der Erzeugung mechanischer Energie wandeln Verbrennungsmotoren einen erheblichen Teil der zugeführten Energie in Wärme um. Quellen für die Wärmeentwicklung sind in erster Linie der Verbrennungsprozess, aber auch innenmotorische Reibung.

Um Bauteile vor erhöhtem Verschleiß und möglicher Zerstörung zu schützen, muss die Wärme vom Motor abgeführt werden. Das wird durch eine gezielte Kühlung realisiert, die auch einen direkten Einfluss auf folgende Betriebseigenschaften und somit auf die Wirtschaftlichkeit eines Motors hat:

- Zylinderkühlung
- Kraftstoffverbrauch
- Verdichtung

Daraus ergeben sich zahlreiche Anforderungen an ein Kühlsystem. So soll es leicht und kompakt sein, aber dennoch eine gute Kühlung bewirken. Zudem ist es wichtig, eine bedarfsgerechte Kühlung aller relevanten Bauteile sicher zu stellen. [17]

Die Abbildung 18 zeigt den Aufbau eines Kühlkreislaufs eines Fahrzeuges mit 1,8l-TFSI-Motor, EA888, Gen. 3 mit Schaltgetriebe und ohne Standheizung. Der Aufbau eines Kühlkreislaufs hängt wesentlich von folgenden Faktoren ab:

- Motorgröße und – bauart
- Art und Aufbau eines Aufladungssystem
- Zusatzausstattungen wie z.B. Standheizung
- Fahrzeuggröße (Anzahl der Wärmetauscher)

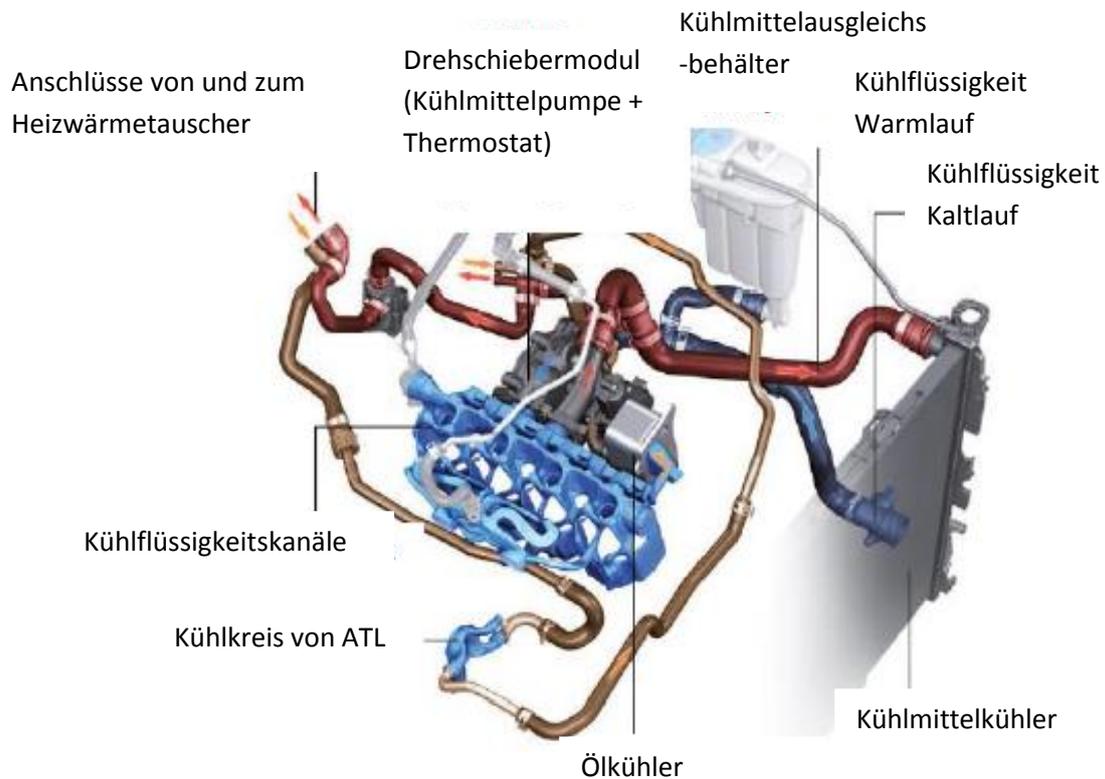


Abbildung 18: Aufbau des Kühlkreislaufes von 1,8 TFSI Motor (EA888 gen.3) [17]

Die Kühlmittelpumpe ist meistens durch Riemenantrieb mit der Kurbelwelle des Motors verbunden. Nach dem Motorstart erreicht die Kühlmittelpumpe die Betriebsdrehzahl und es wird der benötigte Systemdruck aufgebaut. Somit nimmt die Kühlfüssigkeit einen Anteil der durch den Betrieb des Motors entstandenen Wärme auf. Das Kühlsystem des Motors besteht aus einem kleinen- und einem großen Kühlkreislauf, die miteinander verbunden sind (Abbildung 19).

Solange die Betriebstemperatur des Motors nicht erreicht wird, bleibt der Thermostat geschlossen und der Weg des Kühlmittels in Richtung des Kühlers wird gesperrt. Der Thermostat kontrolliert die Strömung des Kühlwassers als ein Regelventil in Richtung des Kühlers und dadurch wird die optimale Temperatur des Motors eingestellt. Eine ausführliche Erklärung von derzeit verwendeten Thermostaten wurde in Kapitel 2.1. gegeben.

Solange der Motor noch kalt ist, wird der kleine Kühlkreislauf durch das Thermomanagement geschlossen und dadurch das schnelle Aufheizen des Motors und des Innenraums gesichert. Nach dem Erreichen der entsprechenden Betriebstemperatur des Motors strömt die Kühlfüssigkeit (Abbildung 19) durch den geöffneten Thermostat im großen Kühlkreislauf.

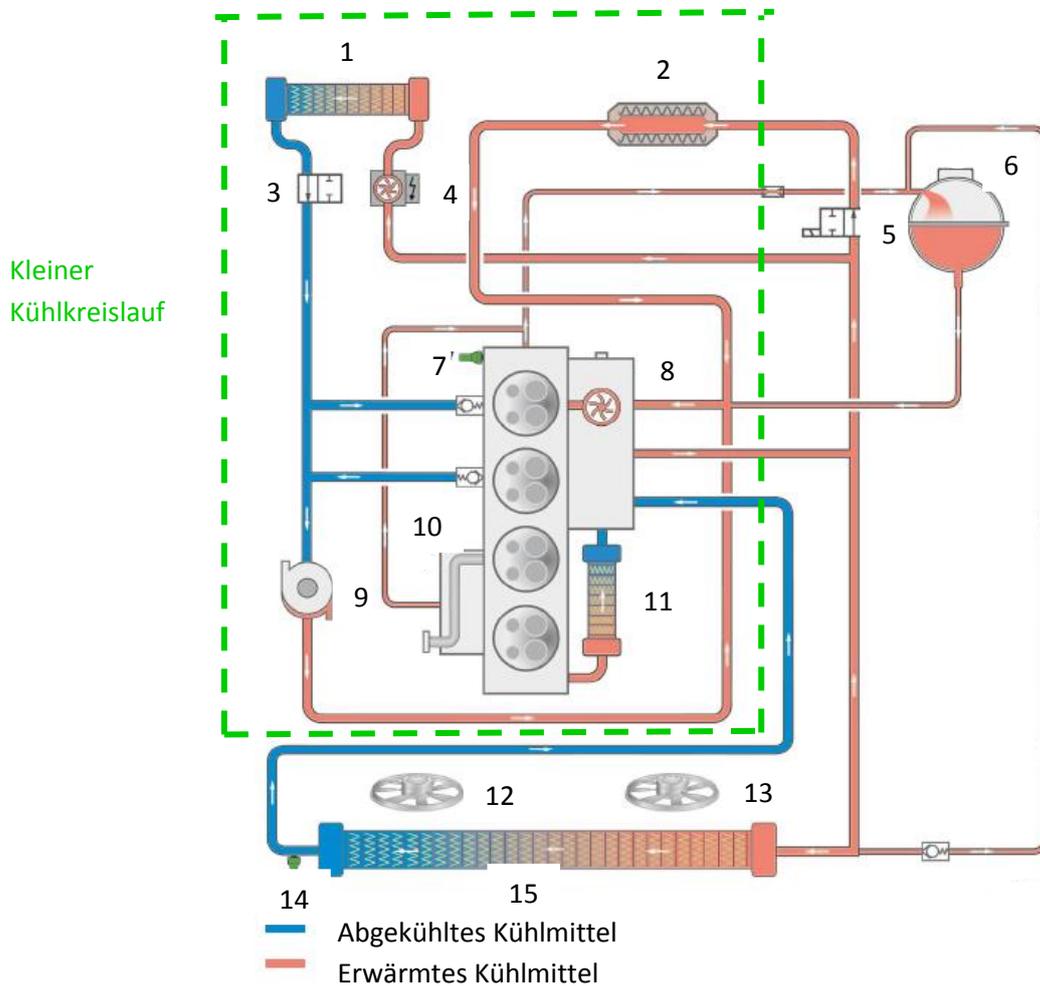


Abbildung 19: Schematische Darstellung der Flüssigkeitskühlung

1. Heizungswärmetauscher 2. Getriebekühler 3. Absperrventil für Kühlmittel 4. Pumpe für Kühlmittelumlauf
5. Kühlmittelventil für Getriebe 6. Kühlmittelausgleichsbehälter 7. Kühlmitteltemperatgeber
8. Kühlmittelpumpe, Thermostat 9. Abgasturbolader 10. Integrierter Abgaskrümmern 11. Motorölkühler
12. Kühlerlüfter 1 13. Kühlerlüfter 2 14. Kühlmitteltemperatgeber 15. Kühler für Kühlmittel

Die im großen Kühlkreislauf strömende heiße Kühlflüssigkeit erwärmt den thermostatischen Schalter, der den Kühllüfter startet. Nach dem Verlassen des Thermostates erreicht das Kühlmittel durch das obere Rohr das obere Wassergebiet des Kühlers. Infolge der hohen Temperatur der Kühlflüssigkeit kann vorkommen, dass ein extrem hoher Druck im Kühler herrscht und die Flüssigkeit im oberen Wassergebiet nicht einströmen kann. Um solche Fälle zu vermeiden wird ein Absperrventil für Kühlmittel verbaut, welches nur dann öffnet, wenn der Systemdruck den Nominalwert übertritt. Durch

die Öffnung des Ventils kann die Kühlflüssigkeit mit erhöhtem Druck in den Ausgleichsbehälter strömen.

Die Kühlflüssigkeit im Kühler, der praktisch als Wärmetauscher funktioniert, gibt die Wärme an die zwischen ebenen Röhren strömende Luft ab. Der Kühlerlüfter erhöht die Luftdurchströmung und steigert die Wärmeübergangsfähigkeit des Kühlers.

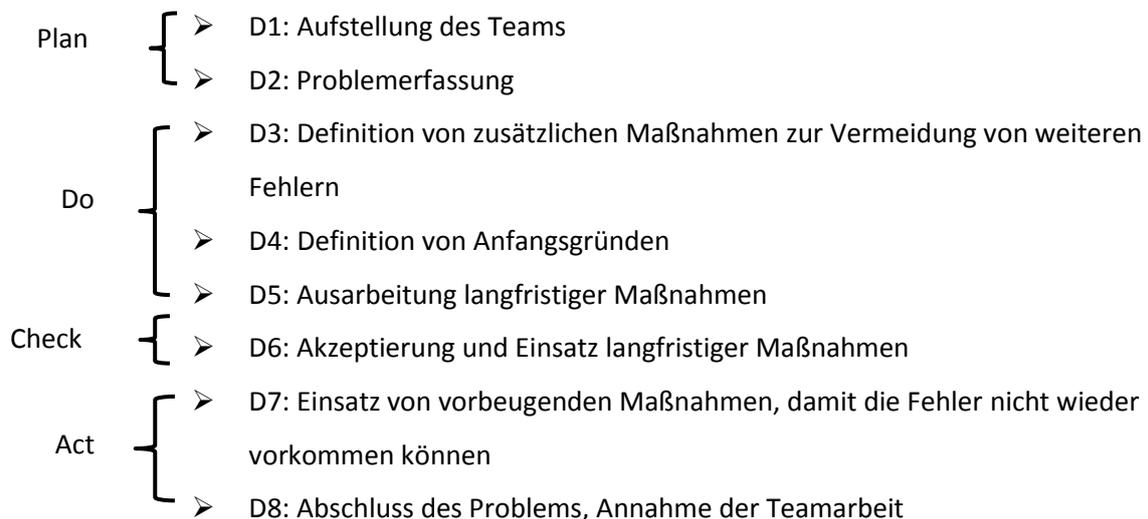
Wenn die Kühlflüssigkeit den unteren Teil des Kühlers erreicht, nimmt ihre Temperatur ab. Die dadurch abgekühlte Kühlflüssigkeit strömt in den Motorblock zurück und der Kreisprozess wird von Anfang an gestartet. [\[17\]](#) [\[21\]](#)

## 4. Qualitätsmanagement bei Audi Hungaria Zrt. und Vorstellung des ZP4-TMM-Prüfstandes

### 4.1. Methode der Qualitätssicherung bei Audi Hungaria Zrt.

In der Automobilindustrie ist die Verfolgbarkeit der Bauteile sehr wichtig, damit sowohl die Ingenieure, Einkäufer als auch die Leitungsebene wissen, wo die aktuellen Entwicklungen stehen. Um sie verfolgen zu können, ist die sogenannte 8D-Methode geeignet, in die mehrere Problemlösungsmethoden eingebettet werden können.

Die 8D-Methode, die auch in der Qualitätssicherung von Audi Hungaria Zrt. angewendet wird, besteht aus acht Schritten, die anhand des PDCA-Kreises (Plan-Do-Check-Act) eingeteilt werden können. Die Schritte lassen sich, wie folgt, einteilen:



Zur Lösung des Problems müssen Sofortmaßnahmen definiert werden, wie die Durchführung von Messungen, Schulungen für Mitarbeiter, Start von Sortierungen.

Zur Festsetzung von Fehlergründen ist die einfachste und nützlichste Methode die sogenannte FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Mit Hilfe dieser Methode ist es noch bei der Entwicklungs- und Konstruktionsphase von Bauteilen möglich, die für die Zukunft auswirkenden Fehler zu filtern und zu reduzieren. Der Zweck der Methode ist es, die Fehler stufenartig zu beheben und Qualitätsprodukte herzustellen.

Fehlerursachen werden nach drei Kriterien auf einer Skala von 1-10 bewertet, wobei 10 der schwerwiegende Fehler ist.

Der erste Aspekt ist die Schwere des Fehlers (S-Severity) und er bestimmt, dass der gegebene Fehler in welcher Weise auf die Kunden auswirkt. Der zweite Aspekt ist die Häufigkeit des Fehlers (O-Occurrence), der das Auftreten des Fehlers zeigt. Der dritte und letzte Aspekt ist die Detektion (D-Detection). Mit Hilfe dieses Aspektes wird geprüft, dass der wegen der schon bestimmten Fehlerursachen entstehende Fehler neben der bisherigen Kontrolle mit welcher Wahrscheinlichkeit die Kunden erreicht.

Mit der Multiplikation der drei Aspekte (S X O X D) lässt sich der Risikowert (RPN-Risk Priority Number) zu bestimmen, dessen Größe von 1 bis 1000 definiert ist. [\[11\]](#) [\[22\]](#)

#### 4.2. Vorstellung des ZP4-TMM-Prüfstandes (ZP4: Ziel Punkt 4)

Die ZP4-Thermomanagement Prüfstandseinrichtungen wurden im März 2016 bei Audi Hungaria Zrt. im Bereich Qualitätssicherung installiert, siehe Abbildung [20](#).

Sie bestehen aus drei unterschiedlichen Prüfanlagen:

- statische Prüfanlage für Kühlmittelpumpen
- dynamische Prüfanlage für Kühlmittelpumpen
- Thermostatprüfstand

Zu den drei oben genannten Prüfständen gehören ein gemeinsamer Bedienungsarbeitsplatz und eine Anlage zum Abfluss von Kühlmedien der einzelnen Komponenten.

Die Steuerungseinheit der einzelnen Prüfanlagen, sowie der Bedienungscomputer sind durch ein eigenes, internes Ethernet-Netz miteinander verbunden.

Auf dem Bedienungscomputer (PC) läuft ein sogenanntes Aufsichtsprogramm, dort können die für die Prüfstandbedienung qualifizierten Ingenieure mit Hilfe des Programmes folgende Tätigkeiten erledigen:

- Prüfvorschriften
- Abfrage von Prüfprotokollen.

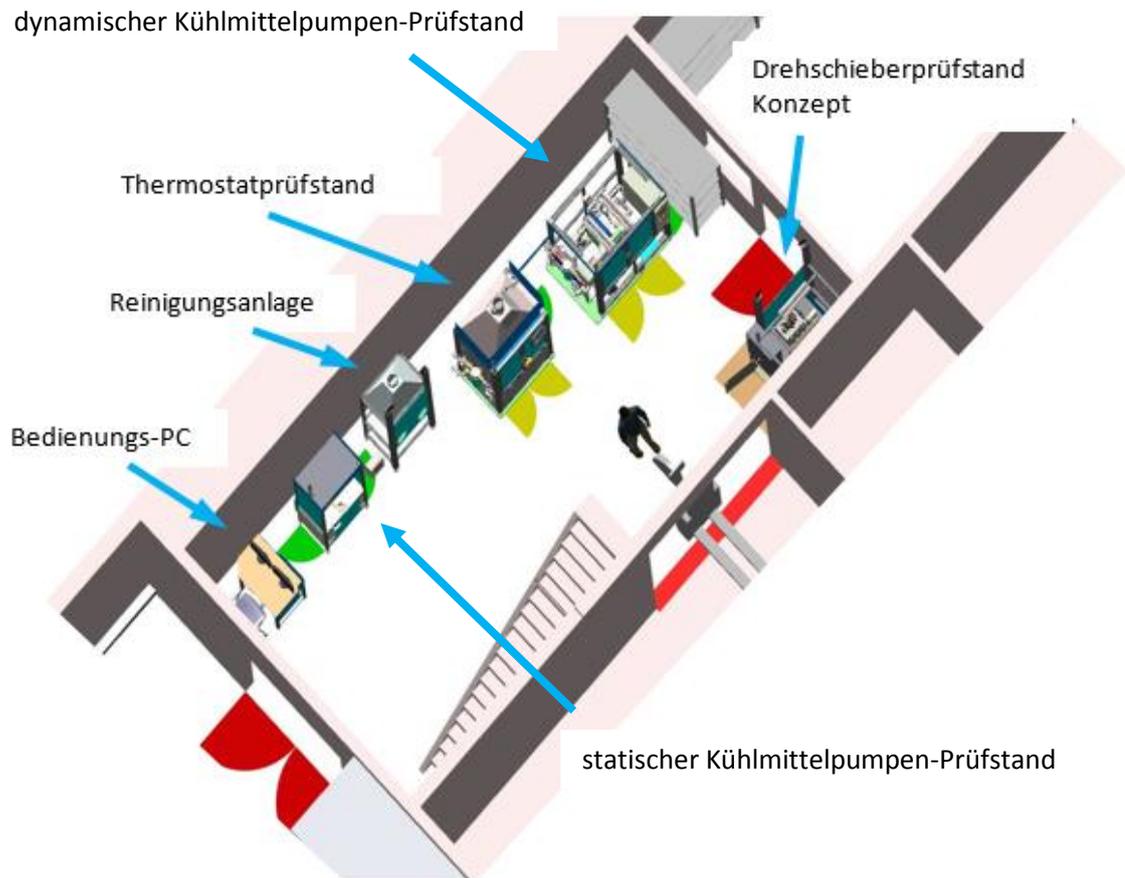


Abbildung 20: Anordnung der Prüfgeräte des ZP4-TMM-Prüfstandes

### 4.3. Ablauf der Reklamationen innerhalb der AUDI-AG

Die Motorsersatzteile fallen in zwei wichtige Kategorien:

**Hausteile:** Die Rohmaterialien kommen nach Audi Hungaria Zrt. und werden danach intern auf den Produktionslinien zum fertigen Teil bearbeitet. Zu solchen Komponenten gehören: Motorblock, Zylinderkopf, Nockenwelle usw.

**Kaufteile:** Zu diesen Bauteilen gehört der Großteil von Komponenten, wie Thermomanagement und intelligente Thermomanagement-Module: Thermostate und Kühlmodule (Drehschieber, Kühlmittelpumpen, Regelventile usw.). Sie werden von externen Firmen (Lieferanten) gekauft, kommen in fertigem Zustand zu Audi Hungaria Zrt.; intern findet nur die Montage am Motor statt.

Der detaillierte Ablauf der Reklamation in Schritten:

1. Der Bestandteil landet beim Kundendienst.
2. Der Bestandteil wird vom Kundendienst nach Ingolstadt weitergeschickt, wenn der betroffene Motor in Europa gebaut wurde.
3. Der Bestandteil wird von Ingolstadt zu der betroffenen Motorenfabrik weitergeschickt.
4. Der Bestandteil kommt bei Audi Hungaria Zrt. an, bekommt dann eine Reklamationsnummer, die sog. QTS oder GTV-Nummer.
5. Eine Abstimmung findet zwischen den Feld-Analyseingenieuren und den Bauteilverantwortlichen (BTV) statt und der entsprechende BTV öffnet die Reklamation im QTS oder GTV-System.
6. Nach der Eintragung der erforderlichen Daten (Schadensbild, gefahrene Kilometer und andere Informationen) durch den BTV wird der Ersatzteil zu dem Lieferanten weitergeleitet.
7. Der Lieferant gibt nach dem Erhalten des Bauteiles innerhalb einer bestimmten Frist (meistens zwei Wochen) einen 8D-Bericht ab, worin der Grund des Fehlers aufgeführt wird, ob noch der Bauteilüber andere Fehler verfügt, und wie die Fehler korrigiert oder die Probleme gelöst werden können.

Ein weiterer, wichtiger und oft zu Konflikten führende Faktor ist die Einhaltung der Termine. Die Bauteilverantwortlichen müssen eine Frist ab dem Zeitpunkt des Ankommens des Bauteils in Audi Hungaria Zrt. einhalten. Bei Liegenbleiber-Ersatzteilen beträgt die Frist 40 Arbeitstage. Von

Liegenbleiber-Ersatzteilen wird gesprochen, wenn das Fahrzeug so beschädigt wird, dass es nicht zu nächstgelegenen Reparaturwerkstatt gefahren werden kann, sondern es transportiert werden muss. In folgender Abbildung [21](#) ist der Reklamationsprozess in Form eines Flußbildes zusammengefasst.

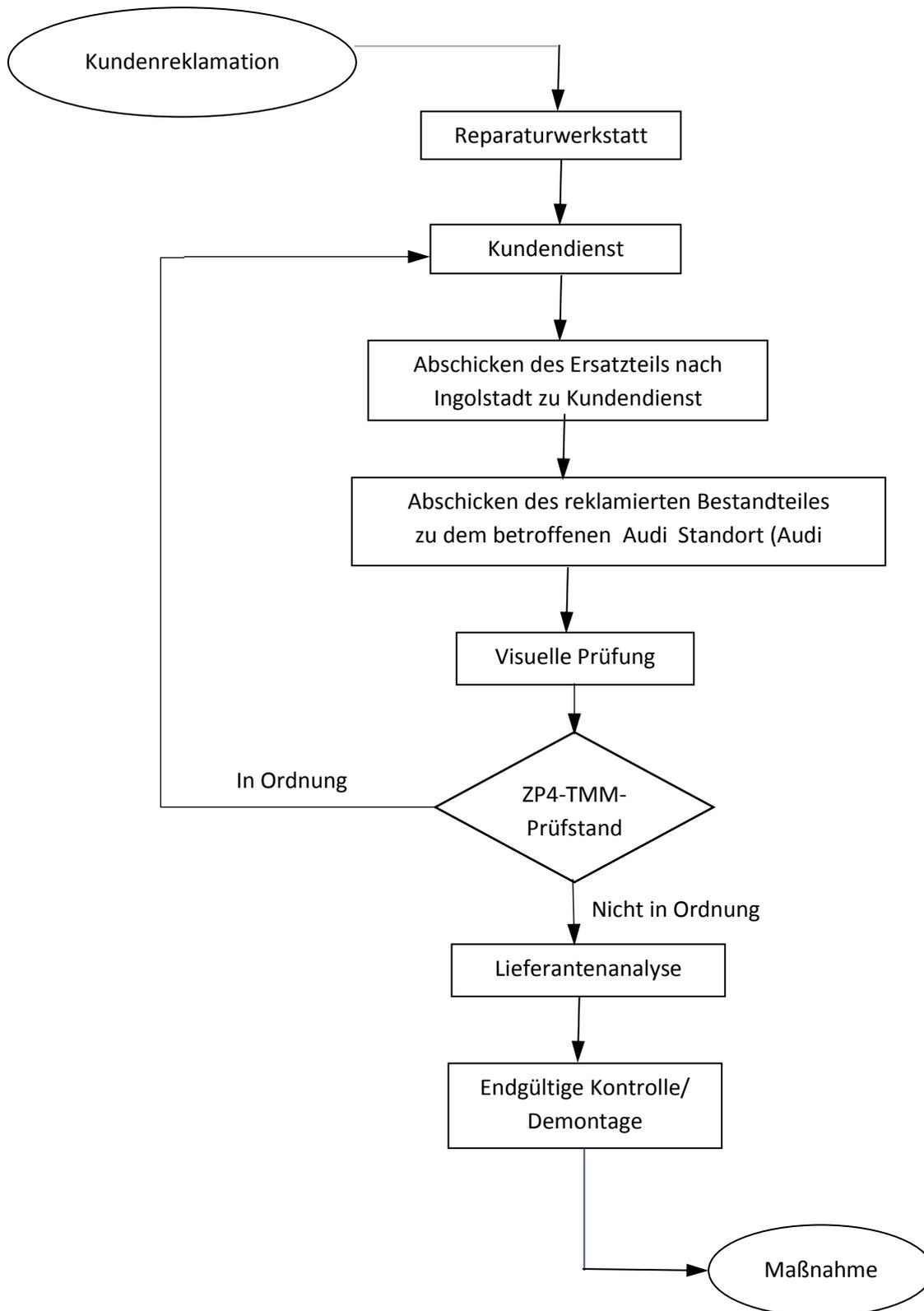


Abbildung 21: Flußbild des Prozesses zur Reklamation bei Audi Hungaria Zrt.

#### 4.4. Möglichkeiten zur Prüfung von Ersatzteilen

Im vorigen Kapitel wurde schon erwähnt, dass, wenn es um einen noch nicht bekannten Fehler geht, zur Definition des Fehlers sowohl die Entwicklungsabteilung als auch die Bauteilverantwortlichen, aber in gegebenen Fällen auch das Labor und andere Bereiche des Konzerns einbezogen werden.

Die Durchführung des Analyseprozesses muss zuerst der betroffenen BTV erledigen und die Kontaktaufnahme mit dem Lieferanten organisieren. Bei Materialfehlern wird das Ersatzteil im Labor analysiert, aber für die Reklamation ist der BTV verantwortlich.

Die Prüfansätze sind wie folgt zu berücksichtigen:

- Entspricht das Ersatzteil der technischen Zeichnung?
- Entspricht das Ersatzteil dem Lastenheft?
- Stammt das Ersatzteil vom genehmigten Produktionsprozess?
- Traten Fehler oder Betriebsstörungen im Laufe der Produktion auf, die den Fehler hervorrufen können?

Grundsätzlich liegt die zentrale Aufgabe beim BTV, die Quelle des Fehlers festzustellen, also ob er von intern oder von Lieferanten stammt.

Wenn die Lieferantfirma die Bauteile nach Vorschriften produziert, dann kann der Grund des Fehlers im Konstruktionsvorgang liegen. In diesem Fall müssen die Entwicklungsabteilung und die verantwortlichen Konstrukteure gemeinsam mit dem Lieferanten die Probleme zu behandeln. Dabei werden auch die Lieferanten Analyseprozesse durchführen, weshalb im diesen Falle auch die Durchlaufzeiten länger sein können.

Nachdem ich die langen Reklamationsprozesse erklärt wurde, wird in der Masterarbeit auf die Rolle der internen, vor Ort integrierten Prüfstände eingegangen. Mit Hilfe solcher Prüfstände können die Durchlaufzeiten erheblich reduziert werden. Die Komponenten können im Haus getestet werden und eine Bewertung möglicher Fehlerursachen kann aufgestellt werden, sodass die Lieferanten in eine bestimmte Richtung die Analyse starten können.

Neben der Vermessung fehlerbehafteter Bauteile besteht auch die Möglichkeit zur Messung von Vorserienteilen, die noch im Konzeptstadium sind. Sie können unter kontrollierten Bedingungen verglichen werden und das ist in vielen Fällen für die Entwicklung nützlich und vorteilhaft.

## 5. Erweiterung des Prüfstandes mit Analysekompetenz von Vakuump-Regelventilen und die damit verbundenen Herausforderung

### 5.1. Vereinheitlichung der Vorschriften

Die Vereinheitlichung der Vorschriften, der technischen Dokumentation und der Definition der maximalen und minimalen Grenzwerte der fünf betroffenen Komponenten aus den beiden Motorfamilien (V6, V8), ausgeführt in Tabelle 1, werden aufgrund der folgenden Gründe benötigt:

- Die Vakuump-Regelventile wurden von unterschiedlichen Lieferanten entwickelt.
- Die Geometrie und die Anschlusspunkte sind nicht identisch.
- Die Bauteilspezifikationen wegen der unterschiedlichen Kühlungsansprüche weichen voneinander ab.
- Es sind andere Testvorschriften der einzelnen Komponenten von unterschiedlichen Lieferanten definiert.

Benennung	Teilenummer	Motorfamilie	
Motorölkühlerventil	057 121 689 G	V8 TDI Gen.3	V8
Kopf/ Block Regelventil	057 121 737 N	V8 TDI Gen.3	
Schaltventil	079 121 678 K	V8 4.2l TFSI	
Wasserventil	06M 121 678 F	V6 3.0l TFSI EA839	V6
Regelventil	059 121 737 AP	V6 TDI Gen.2 Evolution	

Tabelle 2: Vakuump-Regelventile der Motorfamilien V6 und V8

Mit Hilfe der Übersichtstabellen in den folgenden Kapiteln sind die Umstände für die Erweiterung des ZP4-TMM-Prüfstandes für Vakuump-Regelventile ersichtlich. Aus den zur Verfügung stehenden Lastenheften und technischen Zeichnungen der einzelnen Teilenummern wurden die maximalen und minimalen Grenzwerte der verschiedenen Parameter bezüglich des Prüfstandes bestimmt. Neben den fixen Parametern wurden auch Erfahrungswerte von schon vorher entwickelten Prüfständen und Ingenieuren sowohl von Audi Hungaria als auch von der Entwicklungsfirma HNS Múszaki Fejlesztő Kft. berücksichtigt.

### 5.1.1. Betriebstemperaturbereiche

Im ersten Schritt (Tabelle 2) werden die Betriebstemperaturbereiche, die zulässige Medientemperatur und die zulässige Umgebungstemperatur des geplanten Prüfstandes festgelegt. Die unteren Temperaturgrenzen liegen jeweils bei  $-40\text{ °C}$ . Die obere zulässige Medientemperaturgrenze liegt bei  $135\text{ °C}$  und die obere zulässige Umgebungstemperatur liegt bei  $150\text{ °C}$ .

Benennung	Motorölkühler-ventil	Kopf/ Block Regelventil	Schalt-ventil	Wasser-ventil	Regel-ventil	Prüfstand
	V6			V8		
zulässige Medientemperatur $T_m$	$-40\text{ °C bis }130\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }130\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }135\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }135\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }130\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }135\text{ °C}$
$\Delta T_m$	$170\text{ °C}$	$170\text{ °C}$	$175\text{ °C}$	$175\text{ °C}$	$170\text{ °C}$	$175\text{ °C}$
zulässige Umgebungstemperatur $T_U$	$-40\text{ °C bis }130\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }130\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }150\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }150\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }130\text{ °C}$	$-40\text{ °C bis }150\text{ °C}$
$\Delta T_U$	$170\text{ °C}$	$170\text{ °C}$	$190\text{ °C}$	$190\text{ °C}$	$170\text{ °C}$	$190\text{ °C}$

Tabelle 3: Zulässige Medien- und Umgebungstemperaturen

Die unten dargestellten Abbildungen 22 und 23 stellen die Medientemperaturen von beiden Motorfamilien mit den jeweiligen Grenztemperaturwerten aus Tabelle 2 dar. Die Abweichungen zwischen den oberen und unteren Grenzwerten sind als  $\Delta T_m$  für Medientemperatur und  $\Delta T_U$  für Umgebungstemperatur dargestellt.

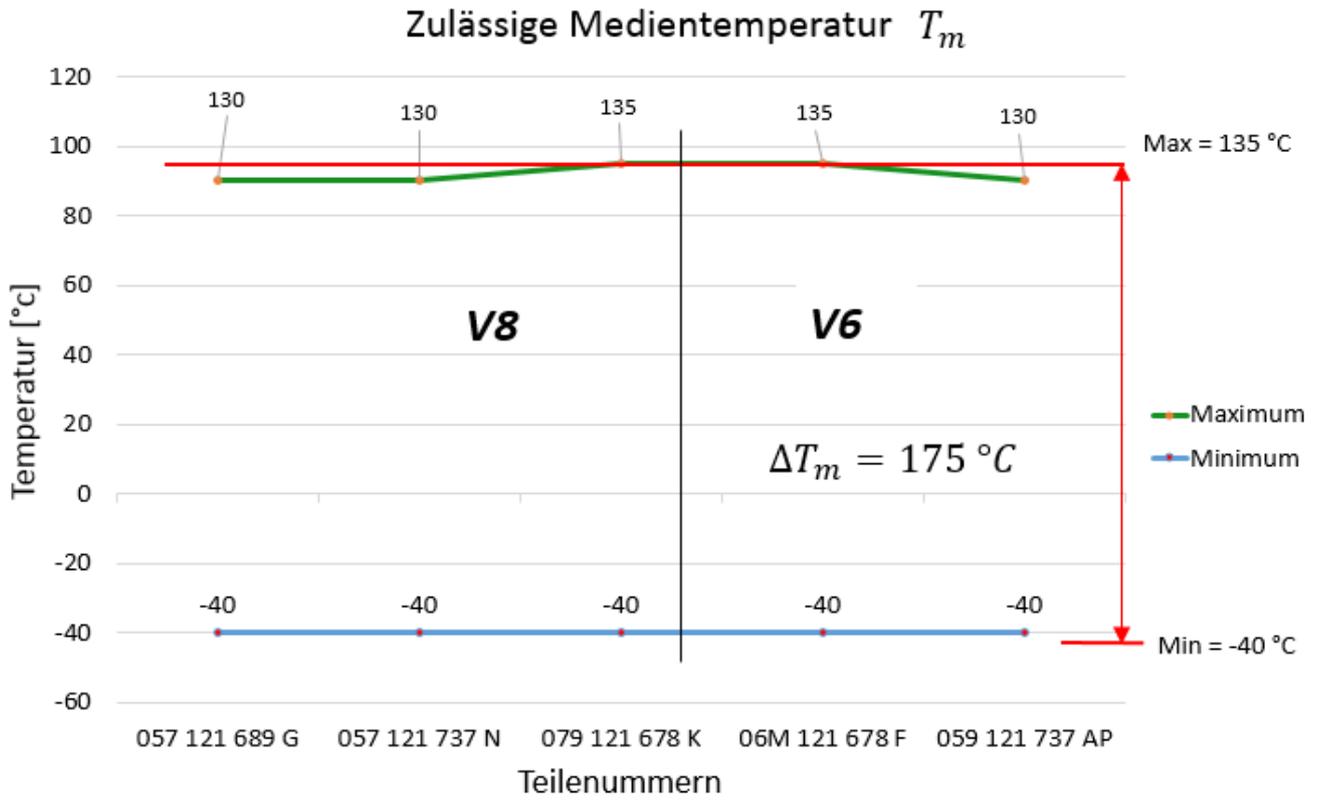


Abbildung 22: Zulässige Medientemperatur

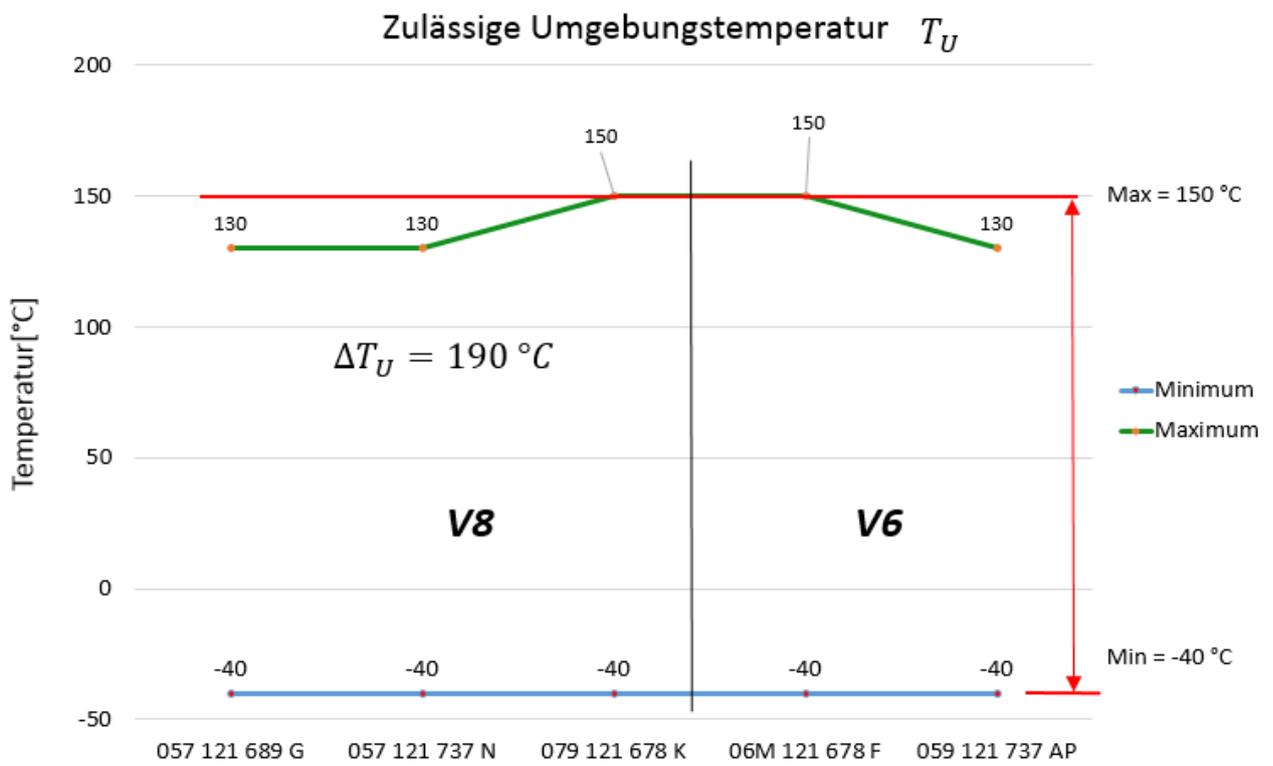


Abbildung 23: Zulässige Umgebungstemperatur

### 5.1.1. Innere Dichtheit

Im zweiten Schritt werden die Werte der inneren Leckage des geschlossenen Ventils in Tabelle 3 spezifiziert. Die inneren Leckagen schwanken bei allen Modulen zwischen 0,1 und 0,5 *l/min* Wasser und zwischen 1,4 und 4 *l/min* Luft, der Wert für den Prüfdruck auf Raumtemperatur soll auf 1 *bar* eingestellt werden.

Benennung	Motorölkühler-ventil	Kopf/ Block Regelventil	Schalt-ventil	Wasser-ventil	Regel-ventil	Prüfstand
	V6			V8		
Prüfdruck (Überdruck) $T_U = RT$	$p = 1 \text{ bar}$	$p = 1 \text{ bar}$	$p = 1 \text{ bar}$	$p = 1 \text{ bar}$	$p = 1 \text{ bar}$	<b><math>p = 1 \text{ bar}</math></b>
Innere Leckage <i>l/min Wasser</i>	$Q_W < 0,5$	$Q_W < 0,5$	$Q_W < 0,1$	$Q_W < 0,1$	$Q_W < 0,5$	<b><math>Q_W &lt; 0,1</math></b>
Korrelation mit Luft <i>l/min Luft</i>	$Q_L < 1,4$	$Q_L < 1,4$	$Q_L < 4$	$Q_L < 3,3$	$Q_L < 3,5$	<b><math>Q_L &lt; 1,4</math></b>

Tabelle 4: Innere Leckage des geschlossenen Ventils

Aus Abbildung 24 lässt sich ablesen, dass die strengste Vorschrift des Prüfstandes betreffs der inneren Leckage 0,1 *l/min* Wasser und die Leckage mit Luft 1,4 *l/min* ist.

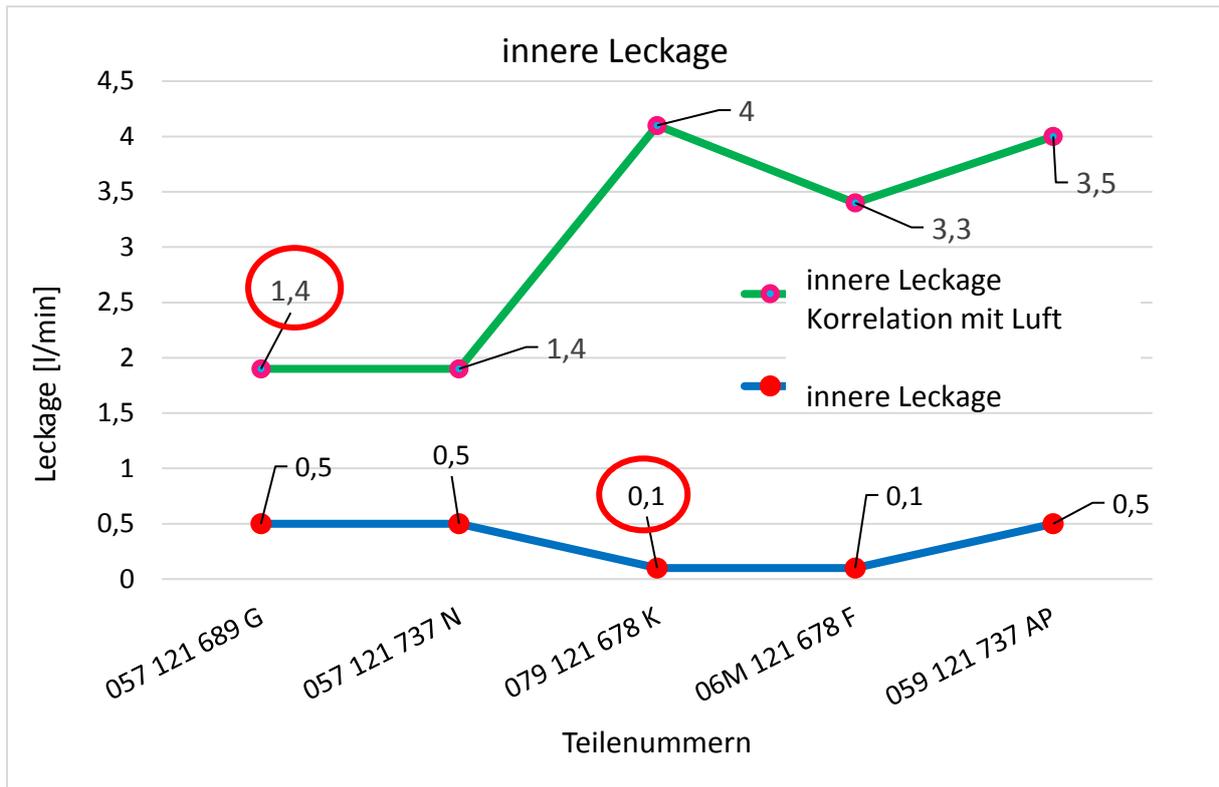


Abbildung 24: Innere Leckage

### 5.1.2. Dichtheit nach außen

Im Folgenden werden in den Tabellen [4](#) und [5](#) die Parameter für die relevante Dichtheitsprüfung nach außen und die Dichtheitsprüfung der U-Dose zusammengefasst.

Der zulässige Druckabfall bei der Dichtheitsprüfung nach außen darf den Wert von 10 *mbar* nicht überschreiten

Benennung	Motorölkühler-ventil	Kopf/ Block Regelventil	Schalt-ventil	Wasser-ventil	Regel-ventil	Prüfstand
	V6			V8		
Prüfdruck (Überdruck) $p_{Prüf}$	$p = 3 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar}$	$p = 3 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar}$	$p = 3 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar rel.}$	$p = 3 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar rel.}$	$p = 4 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar abs.}$	$p = 4 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar abs.}$
Zul. Druckabfall $p_{Abf}$	$p \leq \text{max. } 10 \text{ mbar}$	$p \leq \text{max. } 10 \text{ mbar}$	$p \leq \text{max. } 10 \text{ mbar}$	$p \leq \text{max. } 10 \text{ mbar}$	$p \leq \text{max. } 10 \text{ mbar}$	$p \leq \text{max. } 10 \text{ mbar}$
Prüfzeit $t_{Prüf}$	$t = 5 \text{ sec}$	$t = 5 \text{ sec}$	$t = 5 \text{ sec}$	$t = 5 \text{ sec}$	$t = 5 \text{ sec}$	$t = 5 \text{ sec}$

Tabelle 5: Grenzwerten zur Dichtheit nach außen

### 5.1.3. Dichtheit der U-Dose

Der Prüfdruck soll bei der geplanten Prüfanlage auf 0,5 *bar, rel.* eingestellt werden und die zulässige Leckage soll weniger als 0,015 *l/min* sein.

Benennung	Motorölkühler-ventil	Kopf/ Block Regelventil	Schalt-ventil	Wasser-ventil	Regel-ventil	Prüfstand
	V6			V8		
Prüfdruck (Unterdruck) $p_{Prüf}$	$p = 0,5 \text{ bar rel}$					
Zul. Leckage $Q_{Leck} \text{ l/min}$	$Q_{Leck} < 0,015$					
Prüfdruck ZB-Schlauch (ohne Unterdruck)	-	$p = 2,4 \text{ bar rel}$	-	-	-	$p = 2,4 \text{ bar rel}$

Tabelle 6: Grenzwerten zur Dichtheit der U-Dose

## 5.2. Schadensfall der U-Dose und zusammenfassende Tabelle mit Spezifikationen des geplanten Prüfstandes

### 5.2.1. Schaden an der Unterdruckdose des Wasserventils (06M 121 678 F)

Bei der Definition der Prüfstandspezifikationen und relevanten Grenzwerten muss der folgende Schadensfall berücksichtigt werden.

In August 2018 bei Audi Hungaria Zrt. entstand ein Schaden an der Unterdruckdose des Wasserventils (06M 121 678 F): Wasserventil schaltet wegen der Vakuumdichtigkeit der U-Dose nicht, was bei der Definition der Prüfstandspezifikationen für Vakuum-Regelventile berücksichtigt werden muss.

Das Wasserventil wird nach Zeichnungsvorgaben hinsichtlich der Maximalbelastung mit Unterdruck  $\leq -800 \text{ mbar}$  geprüft.

Die Membrane der Unterdruckdose wurde aus dem Sitz ins Innere der Unterdruckdose gedrückt, weil es oft extreme Fahrzustände herrschen, wobei einer Unterdruck von  $-1000 \text{ mbar}$  in der U-Dose auch entstehen kann.

Die Prüfung eines Nachstellversuches, wobei die Unterdruckdose des Wasserventils mit  $-971 \text{ mbar}$  beaufschlagt wurde, wurde extern bei der Firma HFG Automotive durchgeführt und wurde mit dem bei Audi Hungaria Zrt. erstellten Röntgenbild verglichen (Abbildung [25](#)).

#### Fehlerbilder

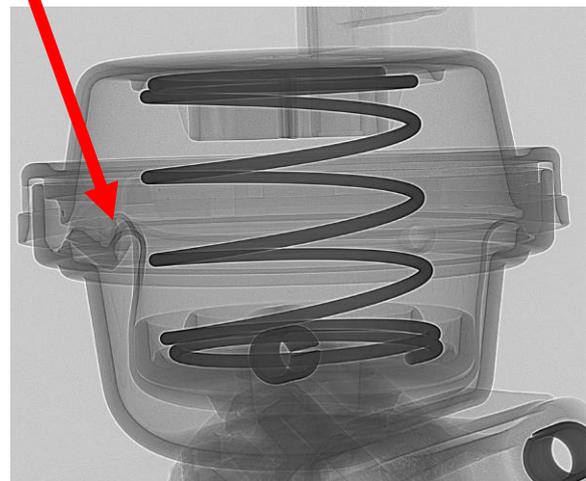


Abbildung 25: links: Schadensbild bei HFG Automotive

rechts: Röntgenbild bei Audi Hungaria

Das Wasserventil wurde durch die Beaufschlagung des maximalen Vakuums von  $-971 \text{ mbar}$  an der Unterdruckdose beschädigt.

Bei der Entwicklung des Prüfstandes ist der Unterdruck von  $-971 \text{ mbar}$  ein wichtiger Grenzparameter bei der für die Vakuumerstellung zuständigen Vakuumpumpe des Prüfstandes. Die Vakuumpumpe muss für eine relativ hohe Leistung ausgelegt werden, um den niedrigen Vakuumwert von ca.  $-1000 \text{ mbar}$ , der oft in der U-Dose des geprüften Regelventils herrscht, hergestellt werden zu können.

### 5.2.2. zusammenfassende Tabelle mit Spezifikationen des geplanten Prüfstandes

In Tabelle 6 wurden noch einmal die in den obigen Tabellen bezüglich des für den Prüfstand relevanten Grenzwerte und Parameter zusammengefasst.

<b>Prüfstand</b>	Betriebstemperaturbereiche				innere Dichtheit		
	zulässige Medientemperatur $T_m$	$\Delta T_m$	zulässige Umgebungstemperatur $T_U$	$\Delta T_U$	Prüfdruck (Überdruck) $T_U = RT$	Innere Leckage [l/min Wasser]	Korrelation mit Luft [l/min Luft]
	$-40 \text{ °C bis } 135 \text{ °C}$	$175 \text{ °C}$	$-40 \text{ °C bis } 150 \text{ °C}$	$190 \text{ °C}$	$p = 1 \text{ bar}$	$Q_W < 0,1$	$Q_L < 1,4$
	Dichtheit nach Außen				Dichtheit der U-Dose		
	Prüfdruck (Überdruck) $p_{Prüf}$	Zul. Druckabfall $p_{Prüf, Abf}$	Prüfzeit $t_{Prüf}$	Prüfdruck (Unterdruck)	Zul. Leckage [ $Q_{Leck}$ l/min]	Prüfdruck ZB-Schlauch (ohne Unterdruck)	
	$p = 3 - 4 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar, abs}$	$p \leq 10 \text{ mbar max.}$	$t = 5 \text{ sec}$	$p = 0,5 \text{ bar, rel}$	$Q_{Leck} < 0,015$	$p = 2,4 \text{ bar, rel}$	

Tabelle 7: Zusammenfassende Tabelle mit Spezifikationen und Grenzwerten des geplanten Prüfstandes für Vakuum-Regelventile

### 5.3. Statistik zur Auswertungen von Feldausfällen

Über die zwei relevanten Motorfamilien (V6, V8), in denen die Vakuum-Regelventile verbaut werden, gibt es eine Anzahl von Feldausfällen, die jedoch von der Audi Hungaria Zrt. nicht veröffentlicht werden dürfen. Wegen den Anzahl und Art der derzeitigen Feldausfälle ist eine Erweiterung des Prüfstandes vorgesehen.

Die Ausfälle wurden ab dem Datum 01.01.2016 betrachtet, weil die für den aktuellen Stand der Technik, sowohl konstruktiv als auch materialmäßig, wesentliche Anzahl von Ausfällen in diesem Zeitraum stattgefunden hat.

Nach mehreren Abstimmungen mit den für Prüfstandentwicklung verantwortlichen Ingenieuren und mit der Leitungsebene kann der statische Kühlmittelpumpenprüfstand auch für Vakuum-Regelventile sowohl konstruktiv als auch elektrisch und informationstechnisch bezüglich IT erweitert werden.

Der statische Kühlmittelpumpenprüfstand besitzt die gleichen Prüfeigenschaften, die bei Vakuum-Regelventilen gewünscht sind. Für die Prüfung der fünf relevanten Regelventile von der Motorfamilien V6 und V8 müssen die Vorrichtungen mit den einzigartigen Geometrien der Regelventile gemeinsam mit der Entwicklungsfirma HNS Múszaki Fejlesztő Kft. entwickelt werden.

Um zu verstehen, wie der statische Kühlmittelpumpenprüfstand funktioniert, wird im Folgenden ein komplexer Prüfvorgang der Kühlmittelpumpe EA888 Gen. 3 vorgestellt.

## 5.4. Definition der Lastenheftvorgaben

In den folgenden Kapiteln werden die Lastenheftvorgaben und die Kriterien der Messungen für die zur Prüfstandentwicklung zuständigen Firma HNS Műszaki Fejlesztő Kft., festgelegt. Es werden getrennt behandelt:

- die Ziele der Messung und die Messungsgrenzwerte
- Vorschriften für den Prüfstand selbst

### 5.4.1. Das Prüfverfahren

Die Prüflinge werden mittels „mass-flow“-Prüfung getestet, also mit Druck/Vakuum beaufschlagt. Die durch Leckagen aus-/eintretende Luft wird über einen thermischen Massendurchflussmesser nachgeführt und dabei wird der Massenstrom ermittelt. Die Vor- und Nachteile fasst die Tabelle [7](#) zusammen:

<b>„mass-flow“-Prüfung</b>	
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
sehr schnelle Prüfungen aufgrund des verzögerungsfreien Messsignals möglich	thermische und elastische Änderungen am Prüfling beeinflussen das Messergebnis
direkte Anzeige der Leckrate ohne Umrechnung	teurere und empfindlichere Sensorik als LFE
für Dichtheitsprüfungen und Durchflussmessungen anwendbar	
geringer Druckabfall über Messstrecke	

Tabelle 8: Vor- und Nachteile der „mass-flow“ Prüfung

Die andere Möglichkeit wäre, eine Prüfung durch Differenzdruckverfahren durchführen, wobei der Prüfling und ein dichtes Referenzvolumen mit Druck/Vakuum beaufschlagt werden und die entstehende Druckdifferenz zwischen Prüfling und Referenzvolumen gemessen und bewertet wird. Auf Grund vom Platzmangel am Prüfstand konnte diese Methode nicht angewandt werden.

Die elastischen Verformungen und die Temperaturveränderungen der geprüften Bauteile werden bei der Prüfung nach Abstimmung mit den verantwortlichen Entwicklungsingenieuren nicht berücksichtigt, weil der Prüfprozess bei Raumtemperatur  $TR = 23 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$  durchgeführt wird und keine Temperaturveränderungen und elastische Verformung hervorrufenden Faktoren auftreten.

#### 5.4.2. Die Messung und der Prüfprozess

Der Hauptzweck der Messung ist, dass die zur prüfenden Kühlmittelregelmodule den Vorschriften entsprechen (Zeichnungsvorgaben, bauteilspezifische Lastenhefte, vorherige Erfahrungen bezüglich der Messungen des ZP4-TMM-Prüfstandes). Diese Anforderungen bestimmen die Umstände der Messung, die Messintervalle, Messkurven, verschieden Betriebszustände, usw.

Zusammenfassend besitzen die Messungen folgende Ziele:

- a) Funktion: pneumatische Funktionsprüfung von Regelventilen durch die für die Vakuumherstellung zuständige Vakuumpumpe in offenem und geschlossenem Zustand
- b) Innere Undichtigkeit: Prüfung der inneren Leckage bei geschlossenem Ventil mittels „mass-flow“-Prüfung (mit Über- oder Unterdruck) mit Luft
- c) Undichtigkeit nach außen: Bestimmung der Dichtheit von Kühlmittelregler nach außen mittels Unterdruckstabilitätsprüfung
- d) Undichtigkeit der U-Dose: Messung der Dichtheit der U-Dose mittels „mass-flow“-Prüfung (mit Über- oder Unterdruck) mit Luft

Die Messumstände müssen folgenden Vorschriften entsprechen:

- a) Funktion: Die Regelventile müssen zur durchzuführenden Prüfung auf eine vorkonstruierte Vorrichtung anhand der Montierungsvorschriften aufgeschraubt werden. Das Ventil des geprüften Kühlmittelreglers muss zwischen offenem und geschlossenem Zustand gedreht werden können. Das Ventil wird durch das in der U-Dose durch die Vakuumpumpe hergestellte Vakuum geregelt. Die Messung muss auf Raumtemperatur, ohne Kühlmittel mit Luft durchgeführt werden.
- b) Innere Undichtigkeit: Die Messung soll in einem geschlossenen System und mittels Luft, bei Raumtemperatur durchgeführt werden und das Ventil muss geschlossen sein.
- a) Undichtigkeit nach außen: Die Messung soll in einem geschlossenen System und mittels Luft bei Raumtemperatur durchgeführt werden.
- b) Undichtigkeit der U-Dose: Die Undichtigkeit der U-Dose soll bei einem konstanten Druck gemessen werden.

Die Genauigkeit der Messung soll wie folgt definiert werden:

- a) Funktion: Position des Ventils entweder in offenem oder in geschlossenem Zustand. Es gibt keine Zwischenstellung.
- b) Innere Undichtigkeit:
  - Die Prüfanlage muss die Leckage mit mindestens  $1,4 \text{ l/min Luft}$  Auflösung messen.
  - Der Prüfdruck soll auf  $p_{Prüf} = 1 \text{ bar}$  eingestellt werden.
  - Die Prüfzeit soll manuell vom Prüfer einstellbar sein.
  - Die Zeichnungsvorgaben und die technischen Spezifikationen müssen berücksichtigt werden.
- c) Undichtigkeit nach außen:
  - Der zulässige Druckabfall der Prüfanlage muss  $p_{Abf} \leq \text{max. } 10 \text{ mbar}$  sein.
  - Die Prüfdrücke laut Zeichnungsvorgaben müssen auf  $p_{Prüf} = 3 - 4 \text{ bar} \pm 0,5 \text{ bar}$  eingestellt werden.
  - Die Prüfzeit soll  $t_{Prüf} = 5 \text{ sec}$  betragen.
- d) Undichtigkeit der U-Dose:
  - Die Prüfanlage muss die zulässige Leckage mit  $Q_{Leck} < 0,015 \text{ l/min Luft}$  Auflösung messen.
  - Die Prüfdruck laut Zeichnungsvorgaben muss auf  $p_{Prüf} = 0,5 \text{ bar, rel.}$  eingestellt werden.

Die Messungen müssen dokumentiert werden und somit müssen die folgenden Punkte zur Erstellung des Prüfberichtes aufgenommen werden:

- Zeitpunkt der Prüfung
- AUDI-Logo
- die Daten des geprüften Regelventils (Teilenummer, Reklamationsnummer, Produktionsdatum, Motornummer)
- die Ergebnisse der Messung
- Messdiagramme
- die Möglichkeit der Einfügung von Bemerkungen.

### 5.4.3. Anforderungen an die Prüfanlage: Prüfstands Aufbau

Bei der Prüfung der Komponenten müssen die Einstellmöglichkeiten gegeben sein, die auf den technischen Zeichnungen definiert sind.

- Der Prüfstand muss vor jeder Prüfung auf „0-Leckage“ kalibriert werden.
- Zu jedem mit unterschiedlicher Geometrie verfügbaren Regelventil soll eine eigene Vorrichtung zur Montierung auf dem Prüfstand vorhanden sein.
- Die Prüfanlage muss in kalibriertem Zustand von der Firma HNS Múszaki Fejlesztő Kft. zu Audi Hungaria Motor Zrt. geliefert werden. Regelmäßige Instandhaltungen (jährlich 1 oder 2 Mal) gehören zur Aufgabe der Firma HNS.
- Die Dokumentation und der Prüfbericht sollten neben der Sprachen Ungarisch und Deutsch auch auf Englisch verfasst werden.
- Die Anforderungen an die Arbeitssicherheit an der Prüfanlage müssen berücksichtigt werden.

### 5.5. Dichtheitsprüfung am statischen Kühlmittelpumpenprüfstand

Die Prüfung der Dichtungen findet in den meisten Fällen in drei Schritten wie folgt statt:

#### 5.5.1. Visuelle Prüfung/Sichtprüfung

Die Sichtprüfung ist naturgemäß die erste Prüfung, die an einem Bauteil vorgenommen wird. Sie ist grundsätzlich sehr einfach und im Allgemeinen ohne Hilfsmittel durchführbar.

Als Sichtprüfung bezeichnet man das Orten und Bewerten von Oberflächen:

- Qualitätsmerkmale
- Oberflächenbeschaffenheit
- Verschmutzungen
- auskristallisierte Glykol Spuren

eines Produktes mit dem menschlichen Auge ohne oder mit Nutzung optischer Hilfsmittel. [\[20\]](#)



Abbildung 26: Kühlmittelpumpe EA888 Gen. 3

Links: Ansicht von oben

Rechts: Ansicht von unten

Die oben dargestellte Abbildung [26](#) visualisiert zwei Ansichten (links: von oben, rechts: von unten) der getesteten EA888-Gen-3-Kühlmittelpumpen.

Die schwarze Kontur (Profildichtung) zeigt auf der rechten Abbildung die aufgebrauchte Schicht von Dichtungsmittel. In den Fällen, wo der Prüfer Ungenauigkeiten, kleine Verletzungen oder Risse mit den Augen sehen kann, ist die Kühlmittelpumpe mit großer Wahrscheinlichkeit undicht und dadurch wird das Kühlmittel (Wasser/Glykol-Mischung TL774) mehr oder weniger durchgelassen.

Zusätzlich können neben den Dichtungsfehlern andere Beschädigungen, Risse oder Gussungenauigkeiten an der Oberfläche der Kühlmittelpumpe und des Flügelrades auftreten.

### 5.5.2. Farbeindringprüfung

Nach der Durchführung der Sichtprüfung findet meistens die Farbeindringprüfung statt, dargestellt in Abbildung [27](#), um „Haarrisse“ am Flügelrad und Gussfehler zu entdecken.

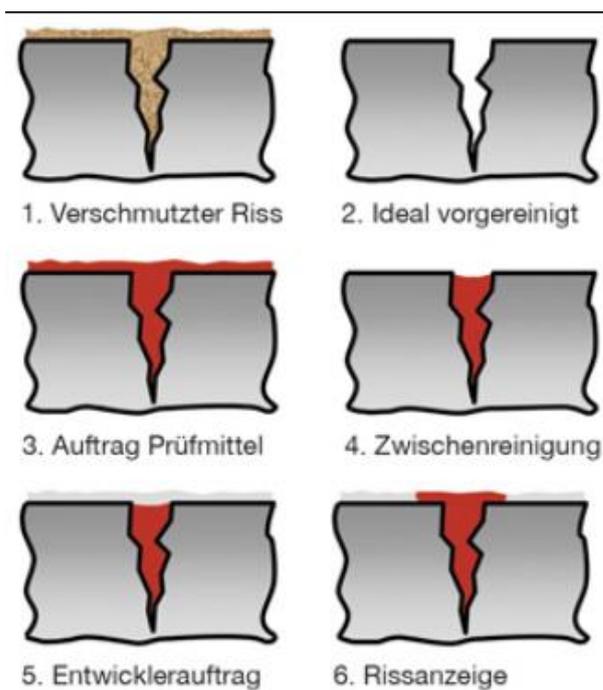


Abbildung 27: Ablauf Eindringprüfung [20]

Zuerst muss der verschmutzte Bereich des Werkstücks sorgfältig gereinigt werden (1 und 2). Nach der Reinigung der Oberfläche wird eine meist rote Flüssigkeit (Eindringmittel) auf die zu prüfende Stelle aufgebracht. Dieses Eindringmittel dringt durch die Kapillarwirkung in vorhandene Risse ein (3). Nach einer Eindringzeit von ca. 10 min. (die Zeit variiert mit dem Werkstoff) wird das Mittel von der Oberfläche gespült, in den Rissen bleibt es jedoch zurück (4). Anschließend wird ein weißer Entwickler dünn aufgetragen (5), der das Eindringmittel wieder aus dem Riss,

heraussaugt (6). Aufgrund des hohen Kontrasts zwischen (rotem) Eindringmittel und weißem Entwickler kommen die Risse deutlich hervor. Das Eindringmittel kann auch mit fluoreszierenden Stoffen versehen werden, so dass die Rissanzeige unter ultraviolettem Licht sehr kontrastreich zu erkennen ist. [20]

### 5.5.3. Dichtheitsprüfung an den Prüfständen

Statisch mit

- Überdruck (Luft)
- Vakuum (Luft)

An statischem Kühlmittelprüfstand (Leak Tester)

Dynamisch mit Kühlmittel

(Glycol/Wasser 50/50 %)

An dynamischem Kühlmittelprüfstand



Abbildung 28: Leak Tester



Dynamischer Kühlmittelprüfstand

#### 5.5.3.1. Statische Dichtheitsprüfung mit Überdruck

Bei diesem Fall geht es um eine Durchflussprüfung mit Überdruck und mit Luft. Das Ziel ist, zu überprüfen, wie viel Luft in einer bestimmten Zeit aus der Wasserpumpe bei einem Druck von 1,5 bar – 2,0 bar austritt. Die Temperatur der statischen Dichtheitsprüfung beträgt 23 C°, dabei werden die folgenden Schritte durchgeführt:

- Definition eines Prüfprogrammes mittels PC
- Verschraubung der Ausgangsvorrichtung mit Drehmomentüberwachung
- Systemkalibrierung durch „0-Leckage“
- Aufsetzen der Kühlwasserpumpe auf die vorher ausgewählte Vorrichtung

- Fixierung der Pumpe mittels der vorgeschriebenen Schrauben auf der Vorrichtung
- Das Festziehen der Schrauben mit Drehmomentüberwachung erfolgt mit dem vorgegebenen Nennmoment von  $9,50 \text{ Nm}$  nach Zeichnungsvorgabe, was die unten dargestellte rechte Abbildung [29](#) zeigt. Auf der linken Abbildung [29](#) werden die einzelnen Schrauben mit Drehmomentüberwachung festgezogen.



Abbildung 29: Links: Festziehen der Schrauben mittels Drehmomentschlüssel  
Rechts: Anlage zur Einstellung des vorgegebenen Nenndrehmoments

- Einstellung des Luftdruckes: Nennluftdruck  $1,500 \text{ bar}$
- Automatikbetrieb: Dauer  $145 \text{ sec}$

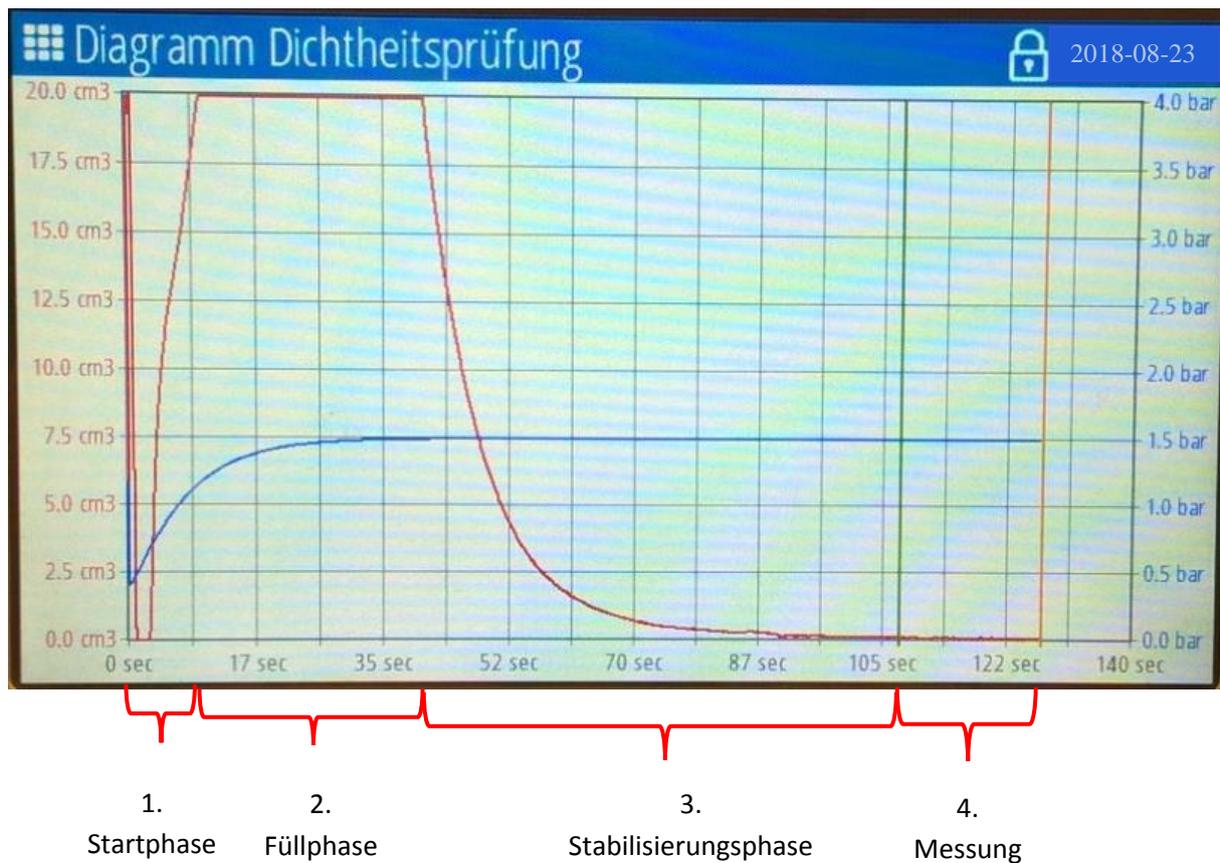


Abbildung 30: Phasen der Dichtheitsprüfung

Abbildung 30 verdeutlicht die statische Dichtheitsprüfung von Kühlmittelpumpen mit Überdruck.

In den ersten Sekunden (bis ca. 10 sec nach Start) ist die Dichtheitsprüfung noch sehr instabil, weil der Zielwert des Druckes von ca. 1,5 bar noch nicht erreicht wird.

Ab dem Zeitpunkt 9 sec – Füllphase, wo das maximale Volumen ( $20 \text{ cm}^3$ ) mit Luft gefüllt ist, wird der Druck aufgebaut.

Die tatsächliche Messung der Dichtigkeit, wo der Druck schon stabil eingestellt worden ist, nach der Stabilisierungsphase, findet ab der grünen Linie (116 sec) bis zur gelben Linie (130 sec) statt und hier wird die aus dem Inneren der Kühlmittelpumpe austretende Luft, Leckage genannt, überprüft. Die Toleranzwerte der Leckage müssen unter  $5 \text{ cm}^3/\text{min}$  liegen.

- Auswertung der Ergebnisse: Nach dem Automatikbetrieb von 145 Sekunden bekommt der Prüfer das Protokoll (Abbildung 32) über die Messergebnisse, wobei die Toleranzwerte nach Zeichnungsvorgaben in obere und untere Grenzen vorgegeben sind.  
Für die statische Dichtheitsprüfung ist der Mittelwert der Leckage in  $\text{cm}^3/\text{min}$  der wichtigste Messwert und er muss nahe an Null liegen. Bis  $5 \text{ cm}^3/\text{min}$  ist die obere Toleranzgrenze

vorgegeben. Bei der beispielhaft gezeigten Dichtheitsprüfung beträgt der Wert  $0,23 \text{ cm}^3/\text{min}$ , was bedeutet, dass die geprüfte Kühlmittelpumpe statisch dicht ist.

### 5.5.3.2. Unterdruckstabilitätsprüfung

Es wird neben der statischen Dichtheitsprüfung mit Überdruck auch die Unterdruckstabilität der Kühlmittelpumpe geprüft (Vakuumpfung Abbildung 31). Das Ziel der Prüfung ist, den Druckanstieg in einem Intervall von 60 Sekunden von einem bestimmten Minimum zu beobachten. In den meisten Fällen wird ein Unterdruck von 15 mbar angelegt und der Druckanstieg darf laut Zeichnungsvorgaben den Wert von 10 mbar nicht übertreten.

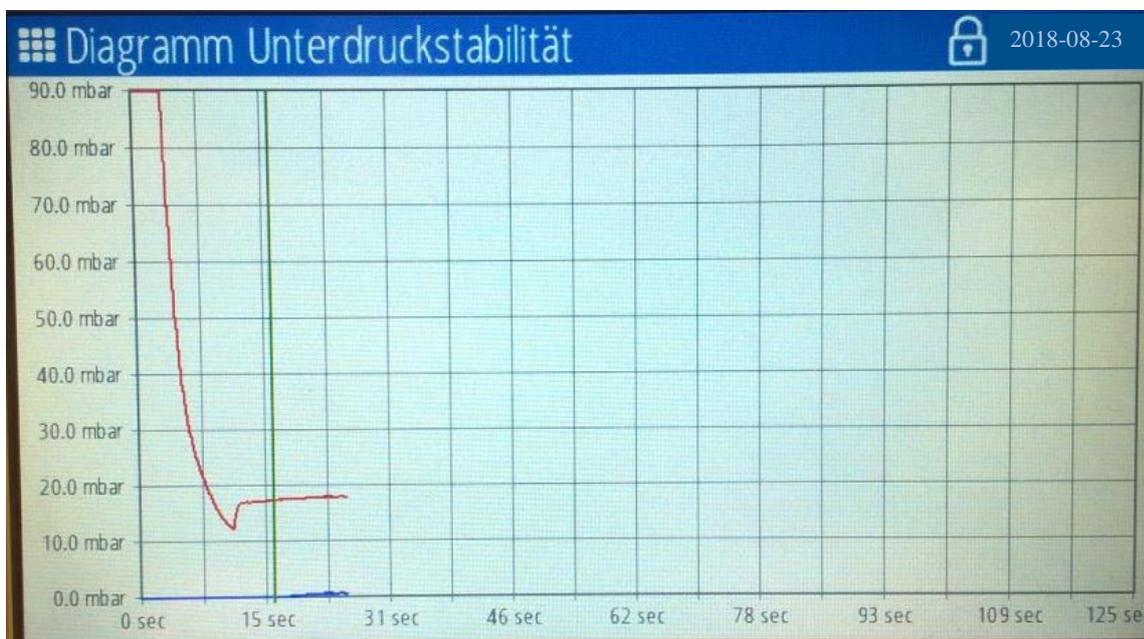


Abbildung 31: Unterdruckstabilitätsprüfung

In dem untenstehenden Protokoll ist der Mittelwert 3,6 mbar, was unter der Toleranzgrenze liegt.

<b>Protokoll</b> über Dichtheitsprüfung Kühlmittelpumpe						
Motor-Thermomanagement   ZP-4   Kühlmittelpumpe und Thermostat Prüflabor						
<b>Kühlmittelpumpe Lecktester   AHM001-02</b>				<b>AUDI Hungaria Motor Kft.</b>		
QTS-Nummer:	T000000395			 <nincs azonosító>		
Kennzeichnung:	<nincs azonosító>					
Teilenummer:	06L.121.012.A_					
Datum Sperrzettel:	2018.08.21.	Team:	G/GQ-P21			
Kostenstelle:	9474	WA:	-			
Gesperrt von:						
Prüfung:	<b>Unterdruck- und Dichtheitsprüfun</b>					
Prüfbeginn:	2018.08.21 16:29	Prüfende:	2018.08.21 16:33			
Prüfer:	Kovács Dániel					
Installationsdaten						
Vorrichtungsnummer:	12					
Anzahl der Vorrichtungsschrauben:	10 Stk.	Anzahl der Pumpenschrauben:	6 Stk.			
Messergebnisse						
Merkmal	Einheit	Toleranz		Messwerte		
		Untere Grenze	Obere Grenze	Mittelwert	Minimalwert	Maximumwert
Vorrichtung Schraubenanzugsmoment	Nm	14	18	15,99	15,7	16,24
Pumpe Schraubenanzugsmoment	Nm	8,5	10,5	9,55	9,47	9,68
Dichtheitsprüfung						
Prüfdruck	bar	1,4	1,6	1,501	1,5	1,502
Leckage	cm3/min	—	5	0,23	0,19	0,29
Unterdruckstabilitätsprüfung						
Unterdruck	mbar	15	20	17,1	—	—
Prüfzeit - t1	s	0				
Druckanstieg - t1	mbar	—	0	0	—	—
Prüfzeit - t2	s	60				
Druckanstieg - t2	mbar	—	10	3,6	—	—
Bemerkung:						
Lieferantenfehler    Transportschaden    Arbeitsausschuss    Nacharbeit    Analyse <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>						
Sperrung freigegeben <input type="radio"/> von (Stamm Nr.): .....						

Abbildung 32: Protokoll Dichtheitsprüfung Kühlmittelpumpe EA888 Gen. 3

## 6. Konzepte einer Prüfanlage für Drehschiebermodule

### 6.1. Randbedingungen für die Entwicklung des Drehschieberprüfstandes

- Drehschieber sind komplexe Komponenten, und die Module, die ausgefallen sind, können bisher nur die Lieferanten überprüfen. Intern gibt es keine Möglichkeit zur Prüfanalyse.
- Wichtig ist eine Reduzierung der Analysezeiten, die in der Lieferantenkette bisher mehrere Wochen in Anspruch nehmen.
- Die Überwachung und Prüfung von Drehschiebermodulen sind ohne Demontierung im Haus bisher nicht möglich.
- Drehschiebermodule verfügen über komplexe Geometrien und Dichtungsoberflächen, was die Entwicklung eines speziellen Prüfstandes erforderlich macht.
- Kundenreklamationen sind wegen der großen Ausfallsraten relativ hoch.
- Es ist eine Möglichkeit für Prüfung von Vorserienbauteilen und derzeit entwickelten Drehschiebermodulen zu schaffen.
- Kostenreduktion: Im Falle von schneller Fehleranalyse kann die Fehlerquelle deutlich rascher erhoben werden, dadurch werden die Lösungsmaßnahmen effizienter unterstützt.

### 6.2. Zusammenfassung der behandelten Drehschiebermodule

In der folgenden Tabelle [8](#) sind die drei relevanten Typen von Drehschiebermodulen zusammengefasst, die am Prüfstand getestet werden können:

Name des Drehschiebermoduls	Motorfamilie	Zyklus
Drehschieber 06L.121.111.	EA888 Gen3 R4-Otto 1,8 l-2,0 l	Serie
Kühlwasserregler 05E.121.111.	EA211 EVO R4 Otto 1,0 l- 1,5 l	Vorserie
eKVM 05L.121.111.	EA288 evo R4-Diesel 2,0 l	Vorserie

Tabelle 9: Aktuell benutzte Drehschiebermodule in Audi Motoren

Die in der Tabelle [8](#) aufgelisteten Bauteilen verrichten im Prinzip die gleiche Aufgabe.

Der Unterschied besteht darin, dass sie in unterschiedliche Motorfamilien eingebaut werden und nicht nur gleiche, sondern auch unterschiedliche Äste des Kühlkreislaufes regeln.

In allen Modulen befindet sich der sogenannte Drehschieber (beim Drehschieber 06L.121.111 sogar 2 – dies wird in Folge im Detail geklärt) zur Regelung des Kühlmittels, aber das eKVM (elektrische Kühlmittelverteilermodul) ist selbstverständlich elektrisch geregelt.

### 6.3. Kritische Punkte bei der Entwicklung des Prüfstandes

- Geplant ist ein Prüfstandplatz („Nest“):
  - Unter-/Überdruckmessung mit Luft
  - Durchflussmessung („mass-flow“) mit Kühlmittel
- In den neusten Revisionen der Drehschiebermodule kommen oft konstruktive Änderungen vor, die bei der Entwicklung nicht übersehen werden dürfen.
- Der Prüfstand soll bei der Firma HNS Műszaki Fejlesztő Kft. aufgebaut und abgenommen werden, dann kann die Integration bei Audi Hungaria Zrt. stattfinden.
- Einsatz von pneumatischer Filterung, damit das Durchfließen von aus Verschleiß stammenden Partikeln verhindert werden kann.
- Gedämpfte Unterlage für den Prüfstand => die Resonanz von in der Nähe fahrenden Staplern ist so stark wie möglich zu reduzieren.
- Drehmomentschlüssel und zusätzliche Drehmomentüberwachung zur Montage der Prüfling werden vorgeschlagen.

#### 6.4. Vor- und Nachteile von verschiedener Anzahl der Nester

Anzahl von Nestern	Vorteile	Nachteile
1 Nest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• platzsparend</li> <li>• Anlage ist dadurch deutlich kleiner</li> <li>• kompakt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zu komplizierte Konstruktion</li> <li>• schwierig ausführbar mit zahlreichen Schläuchen und Röhren</li> </ul>
2 Nester	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideal für Unter/Überdruck und „mass-flow“</li> <li>• konstruktionsoptimiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• teurer</li> </ul>
3 Nester	<ul style="list-style-type: none"> <li>• einfache Reparierbarkeit, Wartung und Instandhaltung</li> <li>• ergonomisch günstiger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr teuer</li> <li>• großer Platzbedarf</li> </ul>

Tabelle 10: Mögliche Anzahlen von Nestern bei Drehschieberprüfstand

#### 6.5. Lage und Terminplan des TMM-Prüfstandes für Drehschiebermodule

Die untere Abbildung [33](#) zeigt das Konzept und den geplanten Platzbedarf des Drehschieberprüfstandes. Voraussetzungen dafür sind, dass erstens für die Bewegung der Mitarbeiter (min. 1) genügend Platz vorhanden sein muss.

Zweitens müssen die zum Betrieb des Prüfstandes notwendigen Leitungssätze und Kanäle zur Verfügung gestellt werden bzw. vor der Integration aufgebaut werden.

Der neue Prüfstand für Drehschiebermodule wird im Prüflabor bei Audi Hungaria Zrt. neben einer Durchgangstür installiert. Der Aufbau wird laut des Terminplanes in Abbildung [34](#) nach der erfolgreichen Funktionstestung bei der Firma HNS Műszaki Fejlesztő Kft. am Ende Februar 2019 durchgeführt.

Ein für die Integration wesentliches Kriterium ist, dass die neben und vor dem Prüfstand durchfahrene Stapler genügend Fahrplatz zur Verfügung haben.



## 6.6. Was wird mittels des Prüfstandes an den Drehschiebermodulen geprüft?

### 1. Dichtheit nach außen in einer vordefinierten Position



Auslieferungstellung Abbildung 35: in dieser Position sind alle möglichen Äste mit bestimmtem Winkel geöffnet.

Alle äußeren Zweige müssen mittels Stoppeln geschlossen werden.

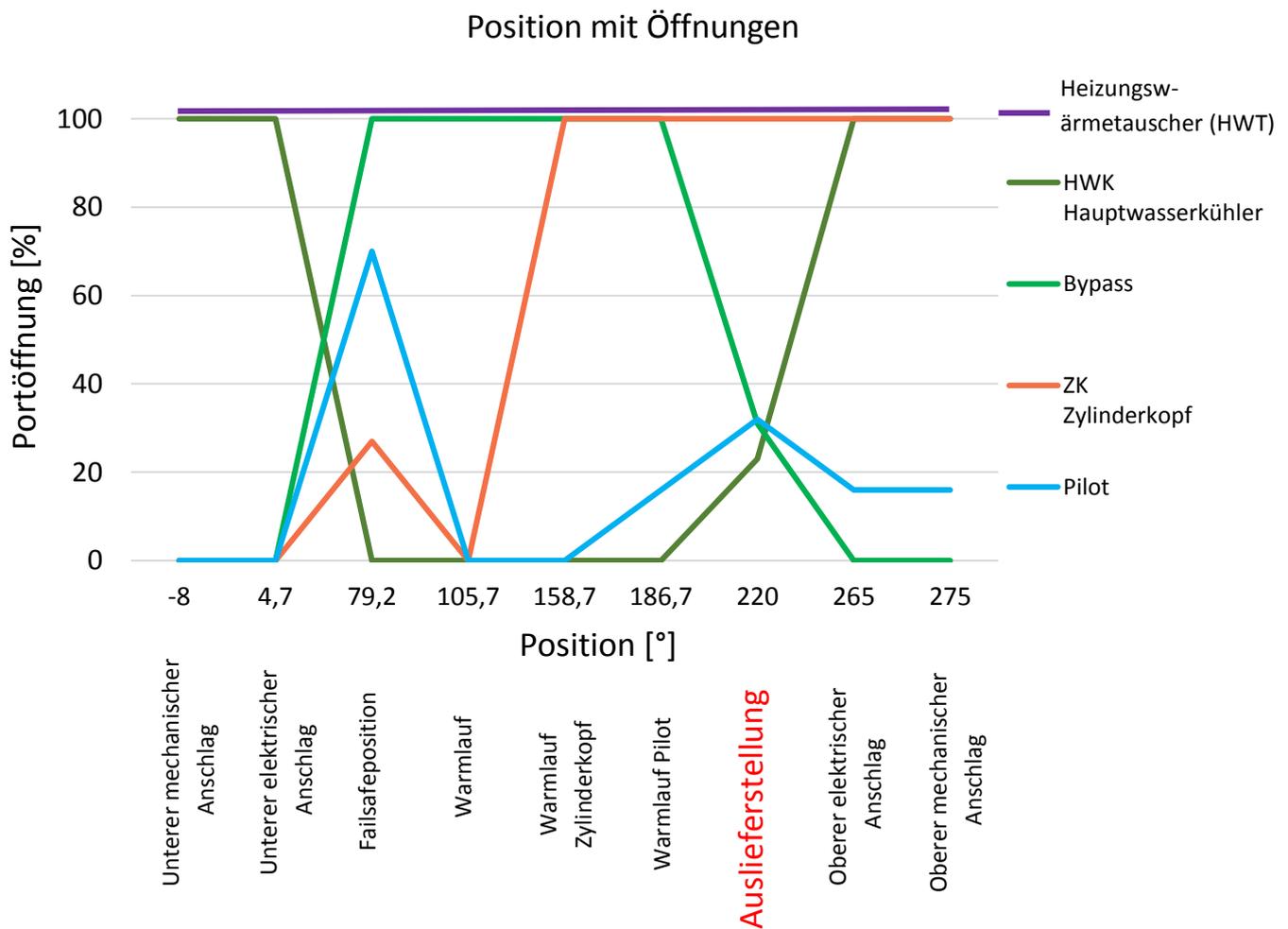


Abbildung 35: Portöffnung/Position des Drehschiebers der Baureihe EA888

Mittels:

- a. „mass-flow“ mit Überdruck
- b. Vakuumprüfung

## 2. Innere Dichtheit nur mit „mass-flow“

Ziele:

- Ist die Dichtung in ihrer ursprünglichen Position?
- Entspricht die Dichtung ihren Vorschriften?
- Ist Verschleiß auf der Oberfläche des Drehschiebers?
- Erreicht die Feder, die auf der Dichtung sitzt, die maximale Wirkung?

## 6.7. ESD-Schutz (Elektrostatische Entladung)

In der Automobilindustrie werden immer häufiger und mehr Module eingesetzt, die elektronisch geregelt sind und die sicherheitsrelevanten Funktionen in Kraftfahrzeugen übernehmen. Solche Komponenten sind oft den Auswirkungen elektrostatischer Entladung (ESD) ausgesetzt, was bis zum vollständigen Ausfall eines Systems führen kann. [8]

ESD-Voraussetzungen an dem Prüfstand:

- Bauteile müssen in ESD-Verpackung zum Prüfstand transportiert werden.
- Die auf ESD-Schutz qualifizierten Mitarbeiter müssen in ESD-Brasselett die Montierung des zu prüfenden Elements durchführen.
- Das ESD-Brasselett muss von den Mitarbeitern am Anfang jeder Schicht auf die Funktionalität geprüft und kontrolliert werden.
- Zentrale Erdung ist vorgeschrieben.

## 7. Möglichkeiten der Erweiterung des ZP4-TMM-Prüfstandes und Zusammenfassung

### 7.1. Das Thermomanagement des Audi e-tron

Ziel des Thermomanagements im elektrisch betriebenen Fahrzeug ist eine Reduzierung des Stromverbrauchs und damit die Erhöhung der Reichweite. Weiterhin soll durch dieses die Temperierung elektrischer Komponenten wie Hochvoltbatterie, Ladegeräte, Elektromotoren und ihrer vorgelagerten Bauteile gewährleistet werden. Ebenso ist die Optimierung des Temperaturkomforts im Innenraum eine Aufgabe des Thermomanagements.

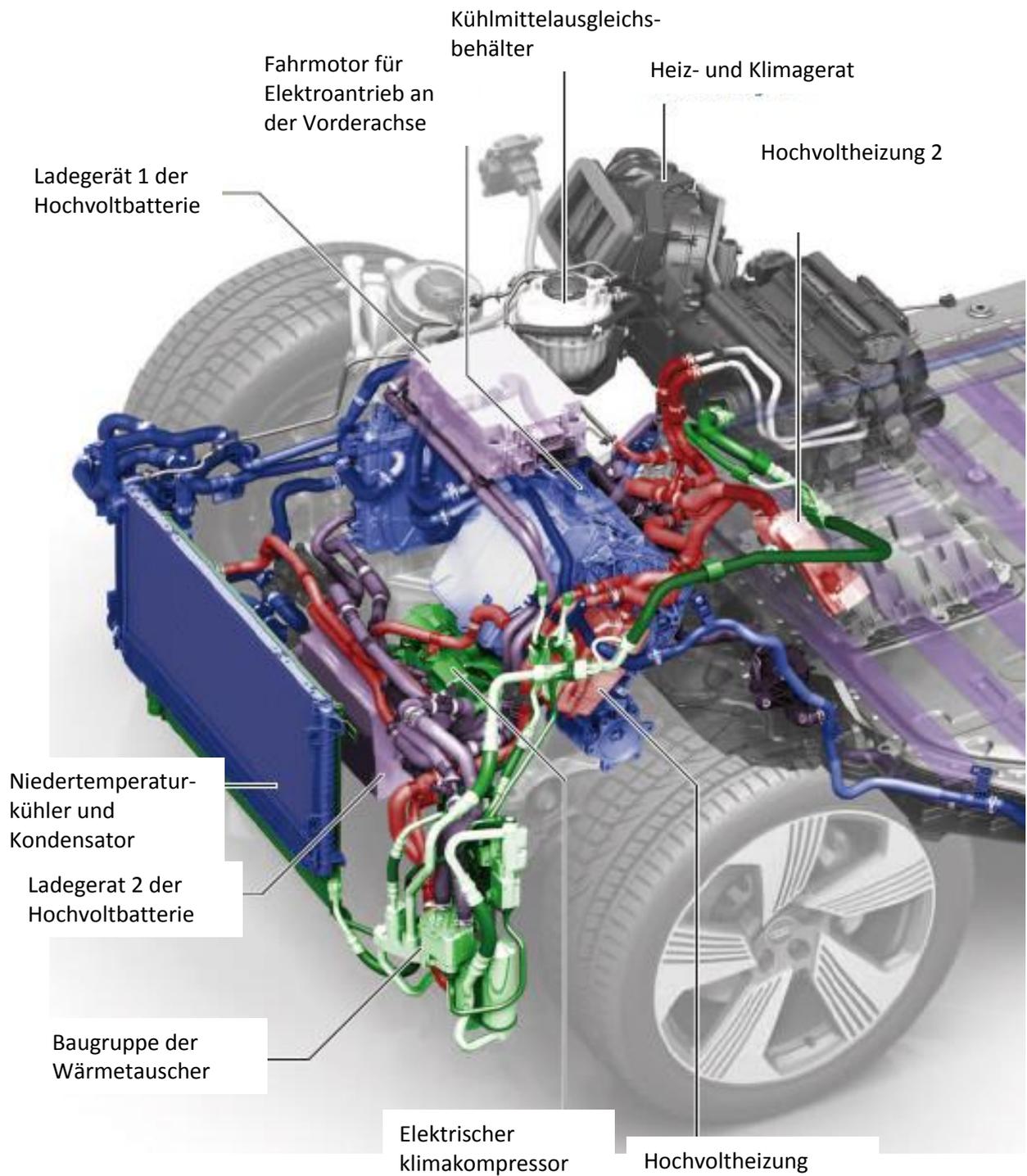
Ziel ist es, die entstehende Abwärme der elektrischen Komponenten nicht ungenutzt an die Umgebung abzuleiten, sondern vorher den thermischen Bedarf der Komponenten im Fahrzeug zu überprüfen. Das ist umso wichtiger, da z.B. der für Wärmebedarf nutzbare Temperaturunterschied von Abgastemperatur und Umgebungstemperatur eines Verbrennungsmotors viel größer ist, als dies beim Fahrmotor für Elektroantrieb (E-Maschine) der Fall ist.

Das Thermomanagement soll z.B. die Hochvoltbatterie in allen Situationen in ihrem Effizienz-optimalen Temperaturbereich von etwa 25 bis 35 °C halten. Das kann Betriebszustände vom Kaltstart in den Wintermonaten bis zu schneller Autobahnfahrt an heißen Sommertagen umfassen.

Das Thermomanagement des Audi e-tron besteht aus 4 Kreisläufen, die sich je nach Bedarf auf unterschiedliche Weise zusammenschalten lassen, um den Innenraum und die elektrischen Aggregate zu heizen oder zu kühlen. Es managed durch intelligente Verschaltungen dieser 4 Kreisläufe von Elektromotor, Leistungselektronik und Hochvoltbatterie die Abwärmn optimal. [18]

### 7.2. Übersicht und Lage des Kältemittelkreislaufs, des Heizkreislaufs und der Kühlkreisläufe

Abbildung 36 verdeutlicht die Komplexität und das Package der Leitungen und Verschlauchungen der Kältemittelkreisläufe, des Heizkreislaufs sowie der Kühlkreisläufe für die Hochvoltbatterie und für den elektrischen Antriebsstrang im Fahrzeug.



Legende

- |   |   |
|---|---|
| <span style="color: blue;">—</span> Kühlkreislauf für elektrischen Antriebsstrang | <span style="color: green;">—</span> Kältemittelkreislauf |
| <span style="color: purple;">—</span> Kühlkreislauf für Hochvoltbatterie          | <span style="color: red;">—</span> Heizkreislauf          |

Abbildung 36: Kühlmittelkreisläufen des Audi e-tron [18]

## 7.3. Erweiterung des Prüfstandes für die Thermomanagement-Komponenten des Audi e-tron

### 7.3.1. Einbauorte der Umschaltventile für Kühlmittel und Kühlmittelpumpen

Die Umschaltventile für Kühlmittel ermöglichen durch verschiedene Schaltstellungen untereinander unterschiedliche Kombinationen und Trennungen von Heizkreislauf, Kühlkreislauf für Hochvoltbatterie und Kühlkreislauf für den elektrischen Antriebsstrang. Dadurch werden die zuvor beschriebenen Anwendungsfälle des Thermomanagements umgesetzt.

Die Kühlmittelpumpen fördern den Volumenstrom des Kühlwassers im Heizkreislauf, im Kühlkreislauf für Hochvoltbatterie und im Kühlkreislauf für den elektrischen Antriebsstrang.

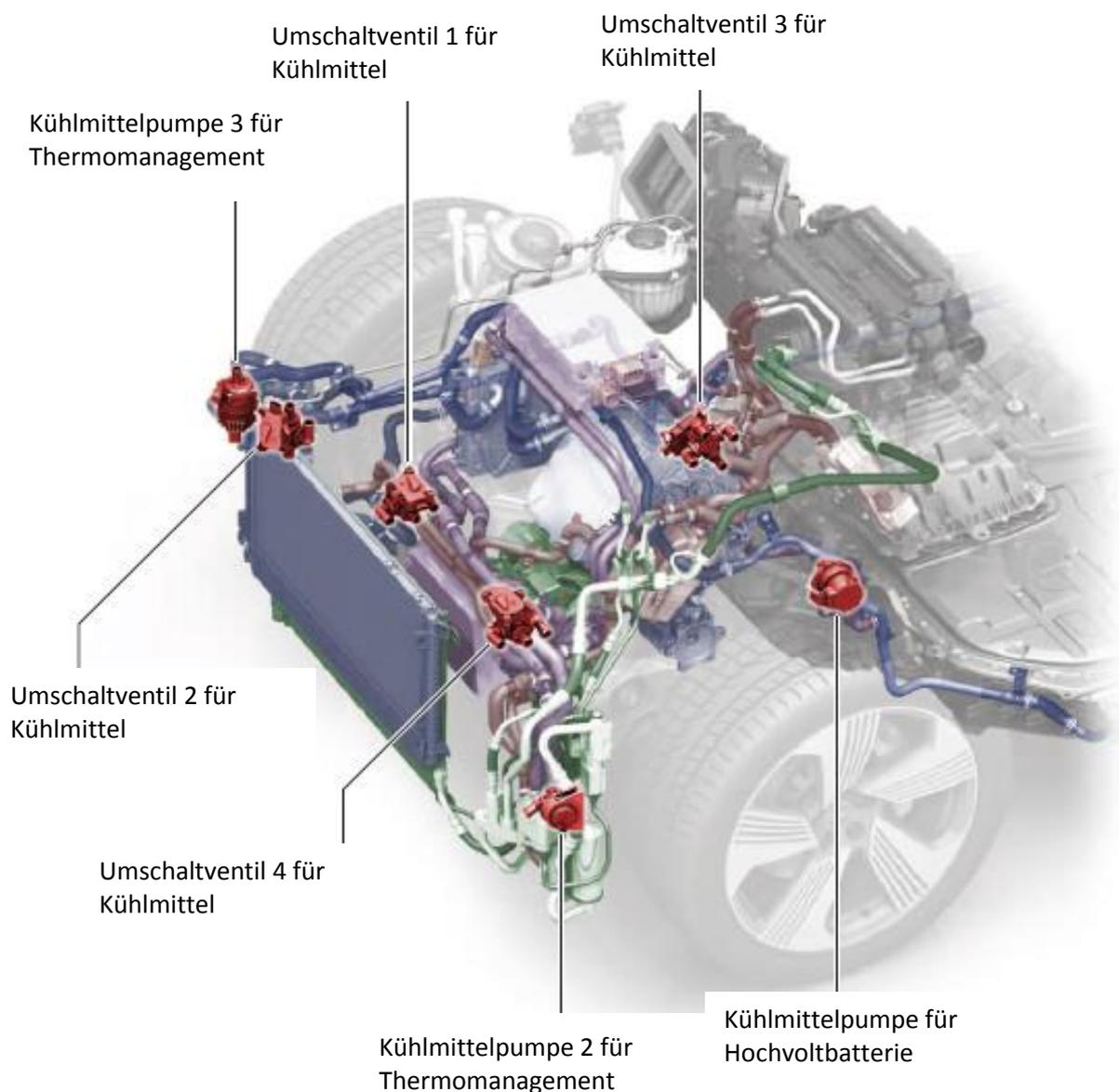


Abbildung 37: Einbauorte der Kühlmittelpumpen und Umschaltventile für Thermomanagement [18]

Die in Abbildung [37](#) kennzeichneten Komponenten öffnen und schließen die einzelnen Kreisläufe, fördern die Kühlflüssigkeit und verfügen über Dichtungen, die im Laufe der Zeit zu Leckage und auch zu Versagen des ganzen Bauteils führen könnten.

Also sind diese Komponenten im Audi e-tron funktionsmäßig identisch zu den konventionellen Regelventilen wie sie in Verbrennungskraftmaschinen eingesetzt werden; die Geometrie und die Kanäle sind aber unterschiedlich.

### **7.3.2. Vorschläge für die Erweiterung des ZP4-TMM-Prüfstandes mit den für den Audi e-tron relevanten Komponenten**

Die im Audi e-tron verbauten Kühlmittelpumpen können auf dem statischen und dynamischen Kühlmittelpumpenprüfstand getestet werden, aber neue Vorrichtungen für die jeweilige Geometrie werden benötigt.

Da die grundsätzliche Funktion der Umschaltventile, also die Trennung von Kreisläufen, gleich zu jener der bestehenden Regelventile ist, wird empfohlen, dass die genaueren Prüfparameter und Prüfgrenzwerte der Umschaltventile mit jeder der Regelventile anhand der technischen Dokumentationen, Zeichnungen und Lastenheften verglichen werden sollen, bevor ein Prüfstand für Umschaltventile entwickelt wird.

Wenn die Prüfparameter und Prüfgrenzwerte in gleichen Grenzen sind, soll nur der erweiterte statische Kühlmittelpumpenprüfstand für Regelventile auch für Umschaltventile des Audi e-tron erweitert werden.

## 7.4. Zusammenfassung

Bei der Themenauswahl meiner Masterarbeit wählte ich die Entwicklung und Erweiterung des ZP4-TMM-Prüfstandes für Vakuum-Regelventile und für Drehschiebermodule bei Audi Hungaria Zrt. im Bereich der Qualitätssicherung aus.

Im Laufe meines Praktikums arbeitete ich im Thermomanagementteam der Produkttechnik und unterstützte die bauteilverantwortlichen Ingenieure bei den täglichen Prüfvorgängen und ich wertete die Prüfergebnisse aus. Daneben führte ich auch Assistenz Tätigkeiten für meinen Vorgesetzten durch. Ausführliche Literaturrecherche wurde für ein umfassendes Verständnis der Thermomanagement-Komponenten sowohl der Audi-Verbrennungsmotoren als der E-Maschine, Hochvoltbatterie und der Kühlung von elektrischen Antriebskomponenten durchgeführt.

Gemeinsam mit den bei Audi arbeitenden Ingenieuren organisierten wir wöchentliche Abstimmungstermine mit der für die Prüfstandentwicklung zuständigen Firma, also mit HNS Múszaki Fejlesztő Kft.

Das erste Projekt, die Erweiterung des Prüfstandes für Vakuum-Regelventile, startete im August 2018. Nach der Zusammenfassung der Prüfparameter und Grenzwerte anhand der technischen Zeichnungen, Dokumentationen und bauteilspezifischen Lastenheften definierte ich die Lastenheftvorgaben bezüglich des Prüfprozesses, der Messungen und des Prüfstandsbaus für den geplanten Vakuum-Regelventilprüfstand. Der schon existierende statische Kühlmittelpumpenprüfstand besitzt die entsprechenden Prüfeigenschaften, die bei Vakuum-Regelventilen gewünscht sind. Nach mehreren Abstimmungen mit den für die Prüfstandentwicklung verantwortlichen Ingenieuren und mit der Leitungsebene konnte der statische Kühlmittelpumpenprüfstand auch für Vakuum-Regelventile sowohl konstruktiv als auch elektrisch und informationstechnisch erweitert werden. Im Zuge der Masterarbeit wurde der gesamte Prüfprozess der Kühlmittelpumpe der Motorfamilie EA888 Gen 3. durchgeführt.

Das zweite Projekt, die Entwicklung des Prüfstandes für Drehschiebermodule, startete im August 2017. In diesem Projekt konnte ich die aus der komplexen Geometrie stammenden konstruktiven Herausforderungen zur Prüfstandentwicklung erarbeiten.

Schließlich wurden im Rahmen der Masterarbeit die Thermomanagement-Komponenten des Modells Audi e-tron untersucht und Vorschläge für die Erweiterung des ZP4-TMM-Prüfstandes für die Analyse der entsprechenden Komponenten gegeben.

Mit der Abfassung der Masterarbeit ist es mir gelungen, mein fachliches und theoretisches Wissen zu vertiefen, das ich in der Zukunft auch in der Automobilindustrie umsetzen möchte.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produzierte Modelle: oben: A3 Limousine, A3 Cabriolet .....	1
Abbildung 2: Werkentwicklung [5] .....	4
Abbildung 3: Thermomanagement eines PKWs [6] .....	5
Abbildung 4: Luftkühlung [24] .....	7
Abbildung 5: Teller-Thermostat .....	9
Abbildung 6: Teller-Thermostat .....	10
Abbildung 7: Ringteller-Thermostat in offenem Zustand, Bypass geschlossen [17] .....	11
Abbildung 8: Aufbau Kugelthermostat [12] .....	12
Abbildung 9: Thermostat für kennfeldgesteuerte Motorkühlung [14] .....	14
Abbildung 10: Schaltbare kühlmittelpumpe .....	15
Abbildung 11: Kühlmittelpumpe eingeschaltet .....	16
Abbildung 12: Kühlmittelpumpe abgeschaltet .....	16
Abbildung 13: Kühlmittelpumpe ist getaktet .....	17
Abbildung 14: Aufbau des Vakuum-Regelventils .....	18
Abbildung 15: Funktion des Schaltventils im Kühlkreislauf [16] .....	20
Abbildung 16: Darstellung des Drehschiebermoduls der Baureihe EA888 [15] .....	22
Abbildung 17: Winkelposition des Drehschiebermoduls in den bestimmten Bereichen [19] .....	23
Abbildung 18: Aufbau des Kühlkreislaufes von 1,8 TFSI Motor (EA888 gen.3) [17] .....	25
Abbildung 19: Schematische Darstellung der Flüssigkeitskühlung .....	26
Abbildung 20: Anordnung der Prüfgeräte des ZP4-TMM-Prüfstandes .....	30
Abbildung 21: Flußbild des Prozesses zur Reklamation bei Audi Hungaria Zrt. ....	32
Abbildung 22: Zulässige Medientemperatur .....	36
Abbildung 23: Zulässige Umgebungstemperatur .....	36
Abbildung 24: Innere Leckage .....	38
Abbildung 25: links: Schadensbild bei HFG Automotive    rechts: Röntgenbild bei Audi Hungaria .....	40
Abbildung 26: Kühlmittelpumpe EA888 Gen. 3 .....	47
Abbildung 27: Ablauf Eindringprüfung [20] .....	48
Abbildung 28: Leak Tester    Dynamischer Kühlmittelprüfstand .....	49
Abbildung 29: Links: Festziehen der Schrauben mittels Drehmomentschlüssel .....	50
Abbildung 30: Phasen der Dichtheitsprüfung .....	51
Abbildung 31: Unterdruckstabilitätsprüfung .....	52
Abbildung 32: Protokoll Dichtheitsprüfung Kühlmittelpumpe EA888 Gen. 3 .....	53
Abbildung 33: Konzept und die geplante Lage des Drehschieberprüfstandes .....	57
Abbildung 34: Terminplan Entwicklung Drehschieberprüfstand .....	57
Abbildung 35: Portöffnung/Position des Drehschiebers der Baureihe EA888 .....	58
Abbildung 36: Kühlmittelkreisläufen des Audi e-tron [18] .....	61
Abbildung 37: Einbauorte der Kühlmittelpumpen und Umschaltventile für Thermomanagement [18] .....	62

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigenschaften der Teller- und Kugelthermostate.....	13
Tabelle 2: Vakuum-Regelventile der Motorfamilien V6 und V8 .....	34
Tabelle 3: Zulässige Medien- und Umgebungstemperaturen.....	35
Tabelle 4: Innere Leckage des geschlossenen Ventils.....	37
Tabelle 5: Grenzwerten zur Dichtheit nach außen.....	39
Tabelle 6: Grenzwerten zur Dichtheit der U-Dose .....	39
Tabelle 7: Zusammenfassende Tabelle mit Spezifikationen und Grenzwerten des geplanten Prüfstandes für Vakuum-Regelventile.....	41
Tabelle 8: Vor- und Nachteile der „mass-flow“ Prüfung .....	43
Tabelle 9: Aktuell benutzte Drehschiebermodule in Audi Motoren .....	54
Tabelle 10: Mögliche Anzahlen von Nestern bei Drehschieberprüfstand .....	56

# Literaturverzeichnis

- [1] B. Stegmann. (2015). *Ein Beitrag zur Modellierungsgenauigkeit im Bereich eindimensionaler Simulation von PKW-Kühlsystemen*. Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart, Deutschland: Springer Vieweg: Prof. Dr.- Ing. Michael Bargende, Prof. Dr. - Ing. Jochen Wiedemann, Prof. Dr. - Ing. Hans- Christian Reuss (Hrsg.).
- [2] Carl Englisch Dr. - Ing. (1952). *Die Verbrennungskraftmaschine*. Graz: Springer-Verlag: Hans List Prof. Dr. (Hrsg.).
- [3] Dr. Hannes Hick. *Skriptum zur Vorlesung Maschinenelemente I*.
- [4] Dr. Hannes Hick. *Skriptum zur Vorlesung Maschinengestaltung*.
- [5] <https://portal.epp.audi.vwg/wps/myportal>
- [6] <http://www.hella.com/hella-com/Thermo-Management-3071.html>.
- [7] <http://www.kfz-tech.de/Biblio/Kuehlung/Luftkuehlung.htm>.
- [8] <https://www.qz-online.de/qz-zeitschrift/archiv/artikel/pro-esd-schutzmassnahmen-in-der-automobil--und-zulieferindustrie-743335.html>).
- [9] Jahannes Liebl Dr. (2014). Internationaler Motorkongress. Moosburg, Deutschland: Springer Fachmedien Wiesbaden 2014.
- [10] Kocsis J. (2008). Belsőégésű motorok kiegészítő berendezései. Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet (Hrsg.).
- [11] Koncz A. (2015). A 8D problémamegoldó technika, Repüléstudományi közlemények.
- [12] Minőségbiztosítás a gyakorlatban, Hűtőkör vizsgálópad a motorgyárban, Audi Hungaria. (2018). Dancsecs Róbert, Kovács Dániel, Győr.
- [13] Selbststudienprogramme 497: Das innovative Thermomanagement. (2011). Wolfsburg Volkswagen AG, Deutschland.
- [14] Selbststudienprogramme 222: Elektronisch geregeltes Kühlsystem: Konstruktion und Funktion. (1999). Wolfsburg Volkswagen AG, Deutschland.
- [15] Selbststudienprogramm 606: Audi 1,8l- und 2,0l- TFSI- Motoren der baureihe EA888 (3. Generation). (2012). Ingolstadt AUDI AG, Deutschland.
- [16] Selbststudienprogramm 607: Audi 4,0l-V8-TFSI-Motor mit Biturboaufladung. (2012). Ingolstadt AUDI AG, Deutschland.
- [17] Selbststudienprogramme 626: Audi Grundlagen Motorentechnik. (2014). Ingolstadt AUDI AG, Deutschland.
- [18] Selbststudienprogramme 675: Audi e-tron (Typ GE). (2018). Ingolstadt AUDI AG, Deutschland.

- [19] Selbststudienprogramme 522: Der 2,0l-162 kW/ 169 kW-TSI-Motor: Konstruktion und Funktion. (2013). Wolfsburg Volkswagen AG, Deutschland.
- [20] Skriptum zur Vorlesung Zerstörungsfreie Prüfverfahren. (kein Datum). Dr. L. Bösch.
- [21] Stefan Pischinger, U. S. (2016). *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [22] Szilágyi Gy, L. K. (2014). A QS 9000 és a VDA szerinti hibamód és - hatáselemzések összehasonlítása, Repüléstudományi közlemények.
- [23] Thomas Schütz Dr.-Ing. (2013). *Hucho – Aerodynamik des Automobils*. München: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [24] Todsén U. (2012). *Verbrennungsmotoren*. Carl Hanser Verlag GmbH & CO. KG (Hrsg.).
- [25] Ulrich Poestgens. (1999). *Thermostatische Regeltechnik im Automobil: intelligente Temperaturregelung für Kühlkreisläufe*. Verl. Moderne Industrie (Hrsg.).