



Entwurf und Aufbau eines Prüfstandes zur Untersuchung des Lagerspaltes einer mit mechanischen Reglern betriebenen hydrostatischen Lagerung

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
an der Technischen Universität Graz

vorgelegt von
Georg Mörwald

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Heinrich Gregor Hochleitner
Institut für Fertigungstechnik, TU Graz

2012

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 entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, den 7. September 2012

Ort, Datum

(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.

Graz, 7. September 2012

date

(signature)

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Heinrich Gregor Hochleitner und Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Jörg Edler für ihre Assistenz bei der Erstellung dieser Diplomarbeit bedanken.

Ein weiterer Dank gilt auch dem gesamten Team des Institutes für Fertigungstechnik für die Unterstützung bei der Realisierung dieser Arbeit.

Kurzfassung

Hydrostatische Lagerungen gewinnen aufgrund ihres einfachen Aufbaus sowie ihrer Verschleißfreiheit einen immer größeren Stellenwert vor allem im Bereich des Werkzeugmaschinenbaus. Ungewollte Erscheinungen wie der *“Stick-Slip Effekt”* entfallen bei dieser Art der Lagerung ebenfalls. Bislang werden solche Lager über Drosseln, Blenden, separate Pumpen oder über Progressivmengenregler versorgt. Für hochpräzise Lagerungsaufgaben ist eine genaue Regelung des Lagerspalts erforderlich. In dieser Arbeit wird ein Prüfstand für solche Regler konstruiert und aufgebaut. Mit diesem Prüfstand können verschiedene Betriebszustände am Lager simuliert, und das Verhalten der hydrostatischen Lagerung durch Messeinrichtungen erfasst werden. Im Anschluss an die Inbetriebnahme des Prüfstandes werden Messungen im Betrieb mit Blenden, einstellbaren Drosseln und mit zugekauften mechanisch arbeitenden Progressivmengenregler bei verschiedenen Betriebsbedingungen durchgeführt. Aus den Messungen geht hervor, dass keine exakte Lagerspalthöhenregelung, mit diesem Versuchsaufbau möglich ist. Der Prüfstand dient zur Grundlagenforschung für die Entwicklung von mechanisch arbeitenden Reglern.

Abstract

Hydrostatic bearings gain significance in machine tool building due to their simple design and wear-free characteristics (performance). Unwanted effects such as the *“stick-slip effect”* do not occur with this type of bearings. Up to now hydrostatic bearings are mostly built with throttles, capillaries, separate pumps or progressive rate controllers. For high-precision bearings a more accurate control of the bearing gap is required. This paper shows the construction of a test bed for such a controller. The test bed can simulate several operating conditions and the behaviour of the controller can be measured. Various measurements are performed with a progressive rate controller and with adjustable apertures. The measurements show that a bearing gap height control is not accurate enough with the chosen setup. However the test bed provides a basis for the development of controllers for hydrostatic bearings.

Formelzeichen

| Abkürzung | Einheit | Bezeichnung |
|---------------|----------|------------------------------|
| A | mm^2 | Querschnittsfläche |
| A_D | mm^2 | Drosselquerschnittsfläche |
| A_{min} | mm^2 | minimale Querschnittsfläche |
| A_{eff} | mm^2 | effektive Fläche |
| A_{effT} | mm^2 | effektive Taschenfläche |
| b | mm | Abströmlänge |
| b_e | mm | Taschenbreite |
| d | mm | Stabdurchmesser |
| d_{min} | mm | minimaler Stabdurchmesser |
| d_m | mm | mittlerer Taschendurchmesser |
| C | mm/N | Federkonstante |
| E | N/mm^2 | Elastizitätsmodul Stahl |
| E_{Feder} | Nm | Federenergie |
| E_{pot} | Nm | potentielle Energie |
| F | N | Kraft |
| F_0 | N | Grundbelastungskraft |
| F_{max} | N | maximale Lagerkraft |
| F_{Feder} | N | Federkraft |
| F_{Impuls} | N | Impulskraft |
| g | m/s^2 | Erdbeschleunigung |
| H | mm^2 | Fallhöhe |
| h | μm | Spalthöhe |
| h_1 | μm | Spalthöhe Lagertasche 1 |
| h_2 | μm | Spalthöhe Lagertasche 2 |
| h_3 | μm | Spalthöhe Lagertasche 3 |
| h_{Ring} | μm | Spalthöhe Lagerring |
| I_s | A | Sensorstrom |
| l | mm | Stegbreite |
| l_1 | mm | Abströmlänge 1 |
| l_2 | mm | Abströmlänge 2 |
| l_e | mm | Taschenlänge |
| m | kg | Masse |
| Kr | – | Reglersteigung |
| p_0 | bar | Umgebungsdruck |
| p_P | bar | Pumpendruck |
| p_T | bar | Taschendruck |
| $p_{T_{max}}$ | bar | maximaler Taschendruck |
| Q | cm^3/s | Volumenstrom |

| | | |
|-------------------|-------------|-------------------------------------|
| Q_0 | cm^3/s | Volumenstrom bei 0 bar Taschendruck |
| Q_{Bezug} | cm^3/s | Bezugsvolumenstrom |
| Q_D | cm^3/s | Drosselvolumenstrom |
| Q_{gesamt} | cm^3/s | Gesamtvolumenstrom |
| Q_P | cm^3/s | Volumenstrom bei Pumpendruck |
| Q_{Regler} | cm^3/s | Reglervolumenstrom |
| Q_T | cm^3/s | Taschenvolumenstrom |
| p_1 | bar | Taschendruck 1 |
| p_2 | bar | Taschendruck 2 |
| p_3 | bar | Taschendruck 3 |
| R_e | N/mm^2 | Streckgrenze |
| R_m | Ω | Messwiderstand |
| r_a | mm | äußerer Taschenradius |
| r_D | mm | Drosselradius |
| r_i | mm | innerer Taschenradius |
| S | – | Sicherheit |
| T | $^{\circ}C$ | Temperatur |
| t | s | Zeit |
| U_m | V | Messspannung |
| α_{Stahl} | K^{-1} | Wärmeausdehnungskoeffizient Stahl |
| α_D | – | Blendenfaktor |
| α_K | – | Kerbzahl |
| σ_{max} | N/mm^2 | maximale Spannung |
| σ_{zul} | N/mm^2 | zulässige Spannung |
| $\rho_{\dot{O}l}$ | g/cm^3 | Dichte Hydrauliköl |
| ρ_k | g/cm^3 | Dichte Stahlkugel |
| η | $mPas$ | dynamische Viskosität |
| $\eta_{\dot{O}l}$ | $mPas$ | dynamische Viskosität Hydrauliköl |
| η_{Bezug} | $mPas$ | dynamische Bezugsviskosität |

Abkürzungen

PM-Regler Progressivmengenregler

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Aufgabenstellung | 2 |
| 3. Hydrostatische Lagerung | 3 |
| 3.1. Funktionsprinzip | 3 |
| 3.2. Berechnung | 3 |
| 4. Lagerprüfstand | 5 |
| 4.1. Allgemeine Beschreibung der Baugruppen | 5 |
| 4.2. Hydraulikschaltplan | 10 |
| 4.3. Pneumatikschaltplan | 11 |
| 5. Hydrostatisches Lager | 12 |
| 5.1. Kurzbeschreibung der Baugruppe | 12 |
| 5.2. Taschenscheibe | 14 |
| 5.2.1. Taschenauslegung | 15 |
| 5.2.2. Reglerauswahl | 16 |
| 5.3. Lagerring | 20 |
| 5.4. Gwichtsbolzen | 25 |
| 5.5. Zugbolzen | 27 |
| 5.6. Einfaltenbalg | 30 |
| 6. Inbetriebnahme | 32 |
| 6.1. Montage | 32 |
| 6.2. Spülung | 32 |
| 6.3. Benutzeroberfläche | 32 |
| 6.4. Durchführung einer Messung | 33 |
| 7. Vorabmessungen | 35 |
| 7.1. Messaufbau | 35 |
| 7.2. Ermittlung von Dichte und Viskosität | 38 |
| 7.2.1. Dichte | 38 |
| 7.2.2. Viskosität | 39 |
| 7.3. Ermittlung der Reglerkennlinien | 42 |
| 8. Prüfstandsmessungen | 48 |
| 8.1. Warmlauf | 49 |
| 8.1.1. Warmlauf - PM-Regler | 50 |
| 8.1.2. Warmlauf - Blende | 52 |
| 8.2. Einschaltssprung | 55 |

| | |
|--|-----------|
| 8.2.1. Einschaltssprung PM-Regler | 55 |
| 8.2.2. Einschaltssprung Blende | 56 |
| 8.3. Treppenförmiges Lastkollektiv | 60 |
| 8.3.1. Treppenförmiges Lastkollektiv PM-Regler | 60 |
| 8.3.2. Treppenförmiges Lastkollektiv Blende | 62 |
| 8.4. Stoßbelastung | 64 |
| 8.4.1. Stoßbelastung PM-Regler | 64 |
| 8.4.2. Stoßbelastung Blende | 64 |
| 8.5. Sinusförmige Belastung | 67 |
| 8.5.1. Sinus PM-Regler | 67 |
| 8.5.2. Sinus Blende | 73 |
| 9. Zusammenfassung und Ausblick | 78 |
| Literaturverzeichnis | 80 |
| A. Anhang | 81 |
| A.1. Werkstattzeichnungen | 81 |
| A.1.1. Stückliste | 82 |
| A.1.2. Hydrostatisches Lager | 86 |
| A.1.3. Fallvorrichtung | 110 |
| A.1.4. Tisch | 119 |
| A.1.5. Pneumatik | 124 |
| A.2. Messdaten PM-Regler | 125 |
| A.2.1. Warmlauf | 126 |
| A.2.2. Einschaltssprung | 135 |
| A.2.3. Treppenförmiges Lastprofil | 153 |
| A.2.4. Ölpalt durchdrücken | 159 |
| A.2.5. Sinus 0.1Hz (3/1.6)kN | 163 |
| A.2.6. Sinus 0.5Hz (3/1.6)kN | 167 |
| A.2.7. Sinus 1Hz (3/1.6)kN | 171 |
| A.2.8. Sinus 0.5Hz (6.6/1.6)kN | 175 |
| A.2.9. Sinus 1Hz (6.6/1.6)kN | 179 |
| A.2.10. Sinus 1.5Hz (6.6/1.6)kN | 183 |
| A.2.11. Sinus 2Hz (6.6/1.6)kN | 187 |
| A.2.12. Stoss 100N | 191 |
| A.3. Messdaten Blende | 195 |
| A.3.1. Warmlauf | 196 |
| A.3.2. Einschaltssprung | 205 |
| A.3.3. Treppenförmiges Lastprofil | 217 |
| A.3.4. Ölpalt durchdrücken | 223 |
| A.3.5. Sinus 0.1Hz (3/1.6)kN | 227 |

| | |
|---|-----|
| A.3.6. Sinus 0.5Hz (3/1.6)kN | 231 |
| A.3.7. Sinus 1Hz (3/1.6)kN | 235 |
| A.3.8. Sinus 0.5Hz (6.6/1.6)kN | 239 |
| A.3.9. Sinus 1Hz (6.6/1.6)kN | 243 |
| A.3.10. Sinus 1.5Hz (6.6/1.6)kN | 247 |
| A.3.11. Sinus 2Hz (6.6/1.6)kN | 251 |
| A.3.12. Sinus 1-2Hz (3/1.6)kN | 255 |
| A.3.13. Sinus 0.5Hz (6.6/0-2)kN | 257 |
| A.3.14. Stoss 100N | 259 |
| A.4. Datenblätter | 263 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 3.1. Prinzip hydrostatisches Lager | 3 |
| 3.2. Hydrostatische Lagertasche schematisch | 4 |
| 3.3. Druckverteilung im Lager | 4 |
| 4.1. Lagerprüfstand | 5 |
| 4.2. Lagerprüfstand Abmaße | 6 |
| 4.3. Zusammenstellung Lager | 7 |
| 4.4. Zusammenstellung Fallvorrichtung | 7 |
| 4.5. Zusammenstellung Tisch | 8 |
| 4.6. Zusammenstellung Hydraulik | 8 |
| 4.7. Hydraulikschaltplan | 10 |
| 4.8. Pneumatikschaltplan | 11 |
| 5.1. Hydrostatisches Lager mit Komponentenbezeichnung | 12 |
| 5.2. Taschenscheibe | 14 |
| 5.3. Schnittansicht einer Tasche | 15 |
| 5.4. Taschen - Regler - Volumenströme | 17 |
| 5.5. Gesamtvolumenstrom - Taschendruck - Verlauf | 17 |
| 5.6. Lagerspalt - Taschendruck - Verlauf | 19 |
| 5.7. Lagerspalt - Volumenstrom - Verlauf | 19 |
| 5.8. Reglersteilheit - Nullvolumenstrom | 20 |
| 5.9. Lagerring | 21 |
| 5.10. Lagerring Drossel | 21 |
| 5.11. Kräfte am Lagerring | 22 |
| 5.12. Lagerring Tasche | 22 |
| 5.13. Lagerring Volumenstrom-Kraftverlauf | 23 |
| 5.14. Lagerring Toleranzen | 24 |
| 5.15. Gewichtsbolzen | 26 |
| 5.16. Zugbolzen | 28 |
| 5.17. Smith-Diagramm 42CrMo4[2] | 29 |
| 5.18. Einfaltenbalg Einbauraum [1] | 30 |
| 5.19. Einfaltenbalg Kraft-Weg-Diagramm [1] | 31 |
| 6.1. Benutzeroberfläche | 33 |
| 6.2. Messfile | 34 |
| 7.1. Messaufbau Blockschaltbild | 36 |
| 7.2. Messwiderstand | 37 |
| 7.3. Messung der Dichte | 38 |
| 7.4. Messaufbau Kugelfallviskosimeter | 39 |
| 7.5. Kugelfallviskosimeter | 40 |
| 7.6. Viskositätsverlauf | 41 |
| 7.7. Messaufbau Reglervermessung | 42 |

| | |
|--|----|
| 7.8. Reglervolumenströme gemessen | 45 |
| 7.9. Reglervolumenströme gemessen Detailansicht | 46 |
| 7.10. Spalthöhenverläufe der gemessenen Regler | 47 |
| 8.1. Messaufbau für Reglerbetrieb | 48 |
| 8.2. Messaufbau für Blendenbetrieb | 49 |
| 8.3. Temperaturverlauf PM-Regler | 50 |
| 8.4. Beginn Warmverlauf PM-Regler (Einschaltvorgang) | 51 |
| 8.5. Ende Warmverlauf PM-Regler (Abschaltvorgang) | 52 |
| 8.6. Temperaturverlauf Blende | 53 |
| 8.7. Beginn Warmverlauf Blende (Detail) | 54 |
| 8.8. Ende Warmverlauf Blende (Detail) | 55 |
| 8.9. Einschaltprung PM-Regler | 57 |
| 8.10. Einschaltprung Blende | 59 |
| 8.11. Treppenförmiges Lastkollektiv PM-Regler | 61 |
| 8.12. Treppenförmiges Lastkollektiv Blende | 63 |
| 8.13. Stoßbelastung PM-Regler | 65 |
| 8.14. Stoßbelastung Blende | 66 |
| 8.15. Sinus 0.1Hz PM-Regler | 69 |
| 8.16. Sinus 2Hz PM-Regler | 70 |
| 8.18. Sinus 2Hz Blende | 74 |
| 8.17. Sinus 0.1Hz Blende | 75 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| 5.1. Parameter für Lagertasche | 16 |
| 5.2. Parameter für Progressivmengenregler | 18 |
| 5.3. Parameter Lagerring | 25 |
| 5.4. Parameter Gewichtsbolzen | 27 |
| 5.5. Parameter Zugbolzen | 30 |
| 5.6. Einfallenbalg statische Kennwerte [1] | 31 |
| 7.1. Messwiderstandswerte | 37 |
| 7.2. Dichte des verwendeten Hydrauliköls | 39 |
| 7.3. dynamische Viskosität des verwendeten Hydrauliköls | 40 |
| 7.4. Maximal- und Mittelwerte der Abweichungen | 43 |
| 8.1. Parameter der Messungen | 48 |
| 8.2. Ergebnisse Warmlauf PM-Regler | 50 |
| 8.3. Ergebnisse Warmlauf Blende | 53 |
| 8.4. Abweichungen Warmlauf Blende | 54 |
| 8.5. Einschaltprung Blende | 58 |
| 8.6. Sinusförmige Belastung PMRegler 234 0.1Hz | 71 |
| 8.7. Sinusförmige Belastung PMRegler 234 2Hz | 72 |

| | |
|--|----|
| 8.8. Sinusförmige Belastung Blende 0.1Hz | 76 |
| 8.9. Sinusförmige Belastung Blende 2Hz | 77 |

1. Einleitung

Der ständige Fortschritt in der industriellen Fertigungstechnik stellt immer höhere Ansprüche an Präzision und Genauigkeit. Vor allem im Bereich von Werkzeugmaschinen spielt Präzision bei gleichzeitig hoher Dynamik eine große Rolle. Führungsaufgaben werden vorwiegend mit reibungsbehafteten Systemen wie zum Beispiel mit Kugelumlauf Führungen oder Gleitführungen gelöst. Diese Systeme sind aber reibungsbehaftet, haben geringere Dämpfungseigenschaften und verursachen mechanischen Verschleiß, wodurch wiederum die Genauigkeit beeinträchtigt wird. Mit Hilfe einer hydrostatischen Lagerung kann Verschleiß vermieden werden, da diese quasi reibungsfrei arbeiten. Unerwünschte Effekte wie der *“Stick-Slip Effekt”* bei Bewegungen mit niedrigen Verfahrgeschwindigkeiten werden ebenfalls unterbunden. Durch den relativ einfachen Aufbau eines hydrostatischen Lagers ist auch der Herstellungsaufwand deutlich geringer als zum Beispiel bei Linearführungen mit Kugelumlauf lagern. Für den Betrieb einer hydrostatischen Lagerung wird ein Hydraulikversorgungssystem benötigt. Bei der hydrostatischen Lagerung wird der für die Lagerung benötigte Schmierfilm durch ein externes System aufgebaut und agiert daher unabhängig, im Gegensatz zur hydrodynamischen Lagerung, welche vom Bewegungszustand der Lagerkomponenten abhängt. Ist das System in Betrieb, wird kein Reibungsgebiet durchlaufen solange die Existenz eines tragenden Schmierfilmes gewährleistet ist. Um den Schmierfilm konstant zu halten bedarf es einer Regelung. Der Lagerspalt wird in der Industrie mit Blenden, Drosseln, Pumpen oder Progressivmengenreglern eingestellt. Um den hohen Anforderungen in der Fertigungstechnik gerecht zu werden, werden ebenfalls hohe Ansprüche an die Regelung des tragenden Schmierfilmes im Lagerspalt gestellt. Einen Lagerspalt im Mikrometerbereich unabhängig von dessen Belastung konstant zu halten, ist ohne genaue Regelung nicht möglich. Da hydrostatische Lager ölhdraulisch betrieben werden, müssen bei deren Regelung sämtliche Faktoren welche einen Einfluss auf den tragenden Schmierfilm haben, berücksichtigt werden. Dabei spielt vor allem die Betriebstemperatur des verwendeten Hydrauliköls eine entscheidende Rolle, da die Viskosität des Öls temperaturabhängig ist. Diese Abhängigkeit sollte, neben zusätzlichen anderen Faktoren, mit dem Regelungssystem kompensiert werden. Die zu regelnde Größe ist die Spalthöhe zwischen den Lagerkomponenten. Diese ist vom Ölvolumenstrom, dem Taschendruck und der Viskosität abhängig. Die Geometrie des Lagers hat ebenfalls einen Einfluss auf die Lager spalthöhe. Diese ist aber konstant. Der Taschendruck wird wiederum von der Belastung der Lagerung beeinflusst. Diese kann sich zum Beispiel durch wechselnde Schnittkräfte im Arbeitsbetrieb rasch ändern. Um diese Schwankungen auszugleichen ist die Dynamik einer Regelung gefordert. Letzte Anforderung an ein Regelungssystem ist eine Ausführung in kleinster Bauweise. Dies würde einen Einbau direkt in eine Lagertasche ermöglichen und somit störende Einflüsse wie zum Beispiel lange Zuleitungen zur Lagerstelle entfallen lassen, sowie die Dynamik und Steifigkeit erhöhen.

2. Aufgabenstellung

Im Zuge dieser Diplomarbeit soll ein Prüfstand für die Untersuchung von Reglern für hydrostatische Lagerungen entworfen und realisiert werden. Der Prüfstand soll ein hydrostatisches Lager beinhalten, welches mit verschiedenen Reglern, aber auch ohne Regler betrieben werden kann. Dem Lager sollen sowohl statische als auch dynamische Kräfte aufgeprägt werden können. Eine Belastung durch stoßartige Kräfte ist ebenfalls wünschenswert. Die hydraulische Ölversorgung wird dabei von einem externen Hydraulikaggregat bereitgestellt. Die Fertigung der Komponenten soll von den Werkstätten am Institut durchgeführt werden. Gegebenenfalls können benötigte Komponenten zugekauft werden. Die Finanzierung wird vom Institut für Fertigungstechnik übernommen.

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme sollen Messungen durchgeführt und ausgewertet werden. Diese sollen das Verhalten des Lagers vor allem mit Hauptaugenmerk auf den tragenden Lagerspalt untersuchen. Die Messungen beinhalten auch den Betrieb des Prüfstandes mit einem zugekauften Progressivmengenregler der Firma *Hyprostatik Schönfeld GmbH*.

Der Prüfstand soll als Grundlage für nachfolgende Eigenentwicklungen von Reglern für hydrostatische Lager dienen.

3. Hydrostatische Lagerung

Bei einer hydrostatischen wie auch hydrodynamischen Lagerung werden aufeinander gleitende Flächen durch ein Fluid getrennt. Im Gegensatz zur hydrodynamischen Lagerung, wird der für den tragenden Schmierfilm benötigte Öldruck, von einer externen Quelle erzeugt. Diese Art der Lagerung trennt aufeinander gleitende Maschinenteile unabhängig von ihrem Bewegungszustand, da die Ölversorgung von einem außerhalb der Lagerung angeordneten System bereitgestellt wird. Verschleißfreies Arbeiten der Gleitpaare, sowie ruckgleitfreies Bewegungen (Stick-Slip) bei geringen Geschwindigkeiten sind wesentliche Vorteile dieser Art der Lagerung. Da kein Haft- bzw. Mischreibungsbereich durchlaufen wird, sind den Materialpaarungen praktisch keine Grenzen gesetzt. Grundvoraussetzung für die Funktion einer hydrostatischen Lagerung ist die Gewährleistung des tragenden Schmierfilmes. [3]

3.1. Funktionsprinzip

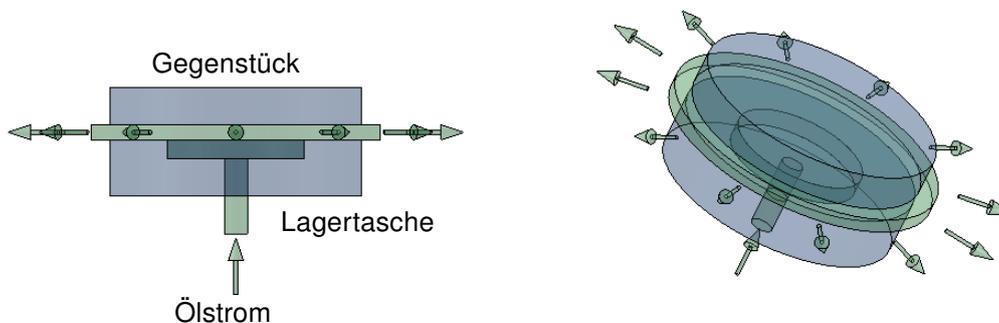


Abbildung 3.1 – Prinzip hydrostatisches Lager

In Abbildung 3.1 ist der prinzipielle Aufbau einer hydrostatischen Lagertasche dargestellt. Diese besteht aus dem Grundkörper mit Lagertasche und dem Gegenstück. Die Lagertasche wird von einem Ölstrom durchflossen, welcher zwischen den beiden Lagerteilen in die Umgebung abströmt und dabei einen tragenden Schmierfilm aufbaut.

3.2. Berechnung

Grundlage für die Berechnung einer hydrostatischen Lagertasche ist das Gesetz von *Hagen-Poiseuille*. Das Gesetz beschreibt die Strömung in einem Parallelspalt. [3]

$$Q = \frac{\Delta p \cdot b \cdot h^3}{12 \cdot \eta \cdot l} \quad (3.1)$$

Aus Gleichung 3.1 wird der benötigte Ölvolumenstrom Q für die Lagertasche ermittelt. Abbildung 3.2 verdeutlicht schematisch den grundsätzlichen Aufbau einer hydrostatischen Führung. Die Tasche ist eine eingearbeitete Ausnehmung. Sie beinhaltet die Zuflussbohrung zur Ölversorgung. Umgeben ist die Tasche vom Steg, über welchen das Öl von der Tasche in die Umgebung abfließt. Zwischen Steg und Lagergegenstück bildet sich der Ölspace mit der Höhe h aus. Dieser soll zwischen $20\mu\text{m} \leq h \leq 80\mu\text{m}$ liegen.

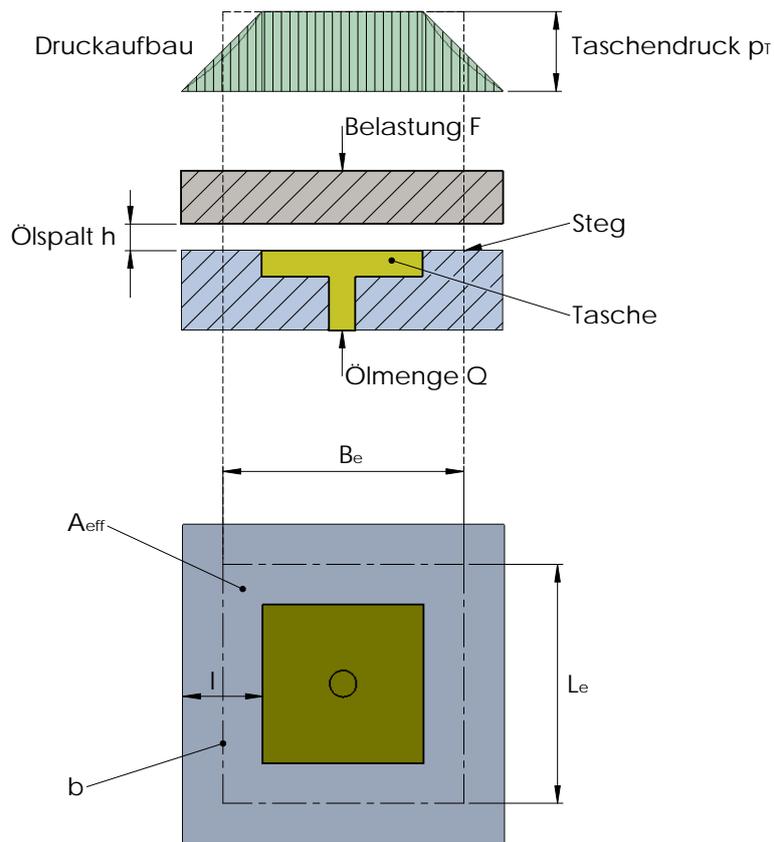


Abbildung 3.2 – Hydrostatische Lagertasche schematisch

Die Druckdifferenz Δp zwischen Tasche und Umgebung ist $p_T - p_0$. Da der Umgebungsdruck (Atmosphärendruck) p_0 mit Null angenommen werden kann, wird mit einem $\Delta p = p_T$ gerechnet. Dieses Δp wird über die Stegbreite l abgebaut. Linearer Druckabfall kann bei geraden, linearen Stegen und druckgetriebener Strömung angenommen werden. Der Druckverlauf im Lager wird auf eine effektive Fläche A_{eff} reduziert, mit welcher bei der Lagerauslegung gerechnet wird. Abbildung 3.3 veranschaulicht diesen Vorgang.

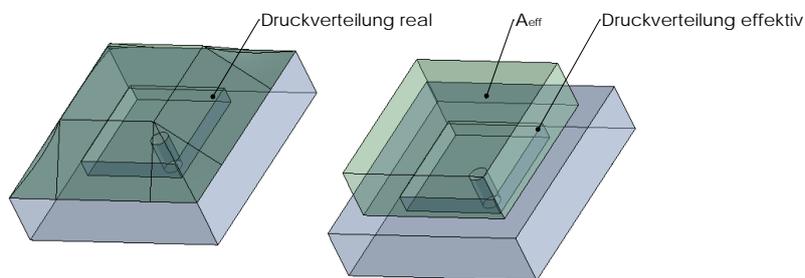


Abbildung 3.3 – Druckverteilung im Lager

4. Lagerprüfstand

4.1. Allgemeine Beschreibung der Baugruppen

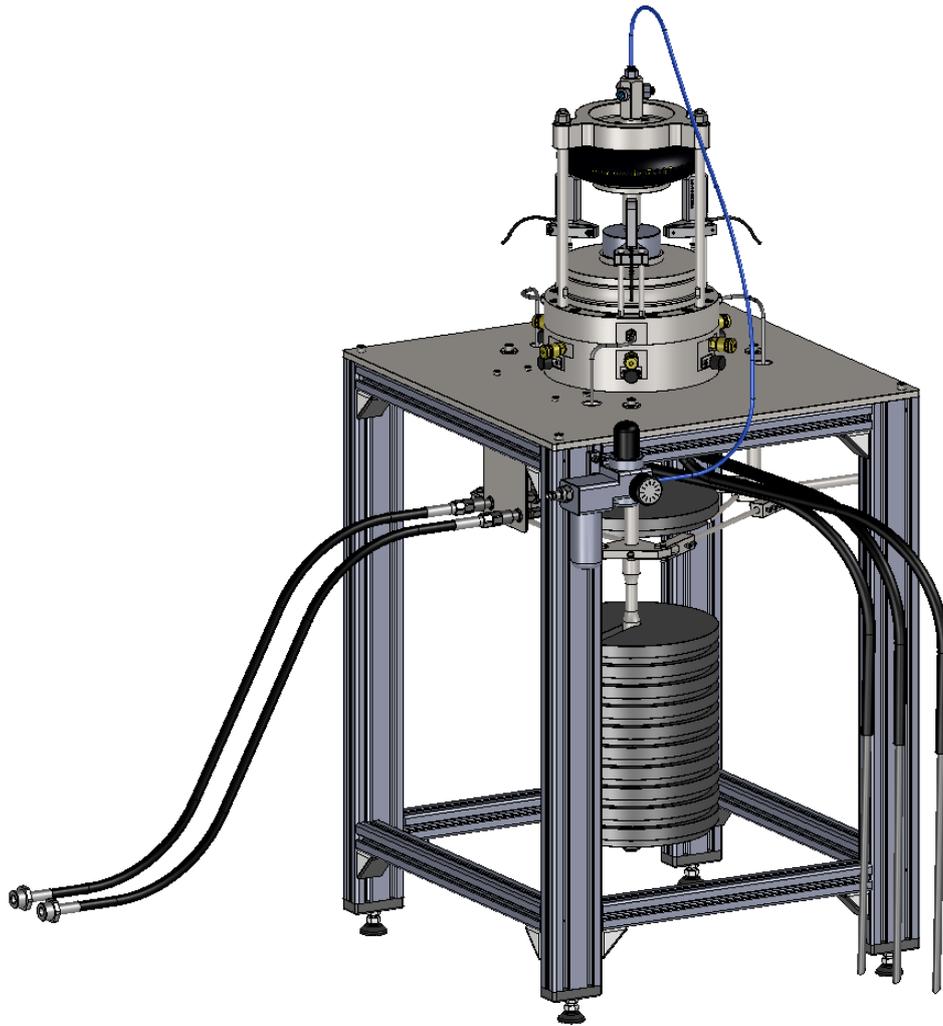


Abbildung 4.1 – Lagerprüfstand

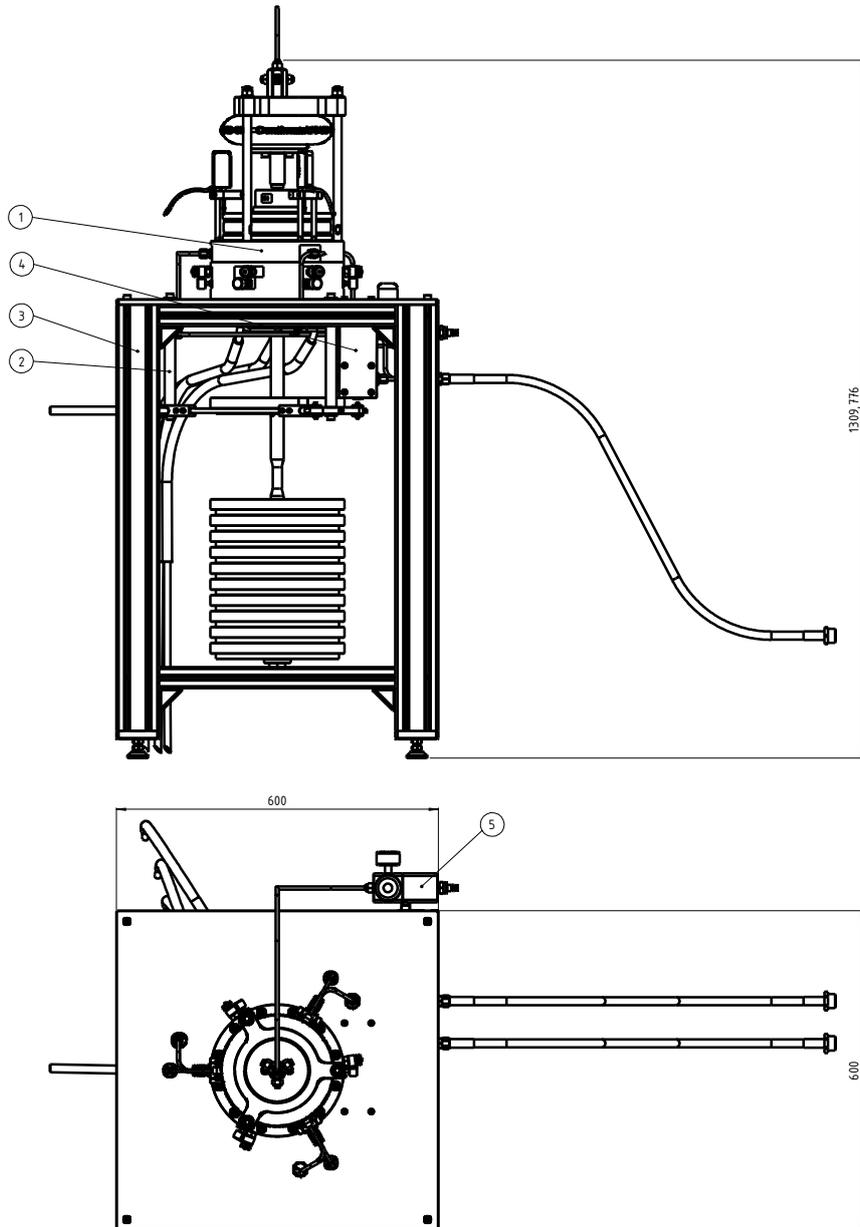


Abbildung 4.2 – Lagerprüfstand Abmaße

In den Abbildungen 4.1 und 4.2 ist der fertig aufgebaute Lagerprüfstand dargestellt. Dieser besteht im Wesentlichen aus folgenden Baugruppen:

1. Hydrostatisches Lager

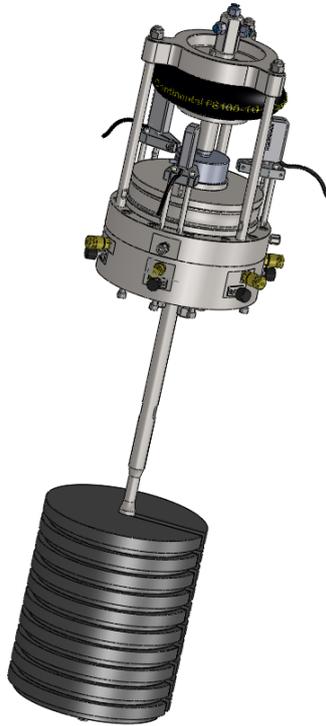


Abbildung 4.3 – Zusammenstellung Lager

An dieser Stelle wird auf das Kapitel 5 verwiesen, wo eine ausführliche Beschreibung des hydrostatischen Lagers zu finden ist.

2. Fallvorrichtung

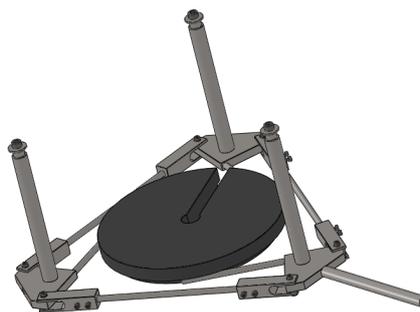


Abbildung 4.4 – Zusammenstellung Fallvorrichtung

Abbildung 4.4 zeigt die Fallvorrichtung. Sie ist an der Unterseite der Tischplatte montiert. Mit dieser Vorrichtung kann, während des Betriebes der hydrostatischen Lagerung, ein Impuls in diese eingeleitet werden. Eine eingespannte Gewichtscheibe, kann durch Betätigung des Auslösegriffes, aus einer bestimmten Höhe zu Fall gebracht werden. Die

potentielle Energie der Gewichtscheibe wird dann in das hydrostatische Lager eingeleitet. Nähere Information folgen im Abschnitt 5.4. Detailinformationen zur Ausführung der Einzellkomponenten sind im Anhang zu finden.

3. Tischgestell



Abbildung 4.5 – Zusammenstellung Tisch

In Abbildung 4.5 ist das Grundgestell des Prüfstandes dargestellt. Am Tischgestell werden die einzelnen Baugruppen montiert. Es besteht aus Aluminiumfunktionsprofilen und ist mit einer Tischplatte aus Baustahl ausgestattet. Die eingebauten Verstellfüße ermöglichen ein exaktes Ausrichten des gesamten Prüfstandes. Detailinformationen zur Ausführung der Einzellkomponenten sind im Anhang zu finden.

4. Hydraulik

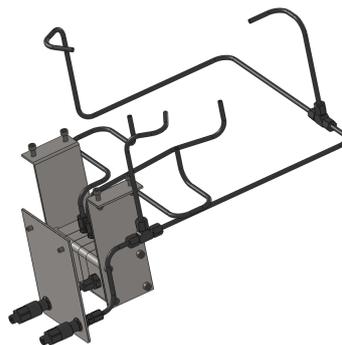


Abbildung 4.6 – Zusammenstellung Hydraulik

Die in Abbildung 4.6 gezeigte Hydraulik besteht aus Progressivmengenreglern in Reihenschaltung, sowie Verrohrungen. Über zwei Schnellkupplungen wird die Lagerhydraulik mit einem Hydraulikaggregat verbunden. Die Regler haben die Aufgabe den benötigten Ölvolumenstrom der jeweiligen Lagertaschen, abhängig vom Belastungsfall, zu regulieren. Die Verrohrung stellt die Verbindung zu den einzelnen Lagertaschen her. Den

Hydraulikschaltplan des Prüfstandes zeigt Abbildung 4.7. Für nähere Informationen zur Dimensionierung der Komponenten wird auf Abschnitt 5.2 verwiesen. Detailinformationen zur Ausführung der Einzellkomponenten sind im Anhang zu finden.

5. Pneumatik

Die Pneumatik des Prüfstandes besteht aus drei Komponenten:

- Wartungseinheit
- Proportionalregelventil: Mit diesem Ventil kann der Druck im Einfaltenbalg analog einer Spannung eingestellt werden. Es lassen sich entsprechend Ventilkennlinie und Anschlussvolumen unterschiedliche Lastkurvenformen realisieren.
- Einfaltenbalg: Mit dem Balg können Kräfte auf das Lager ausgeübt werden (siehe Abschnitt 5.6).

Einen Überblick über die Prüfstandspneumatik gibt Abbildung 4.8.

4.2. Hydraulikschaltplan

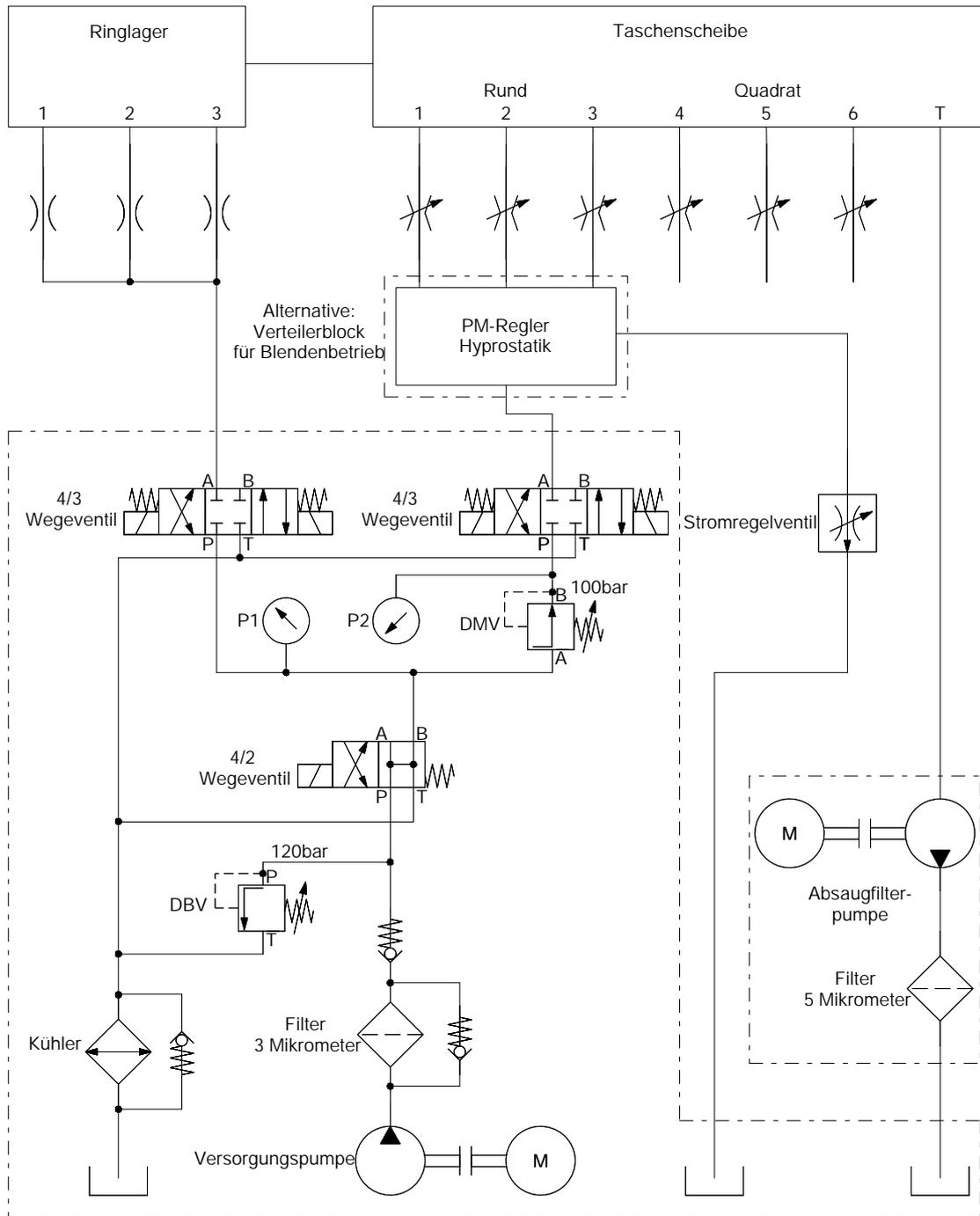


Abbildung 4.7 – Hydraulikschaltplan

4.3. Pneumatikschaltplan

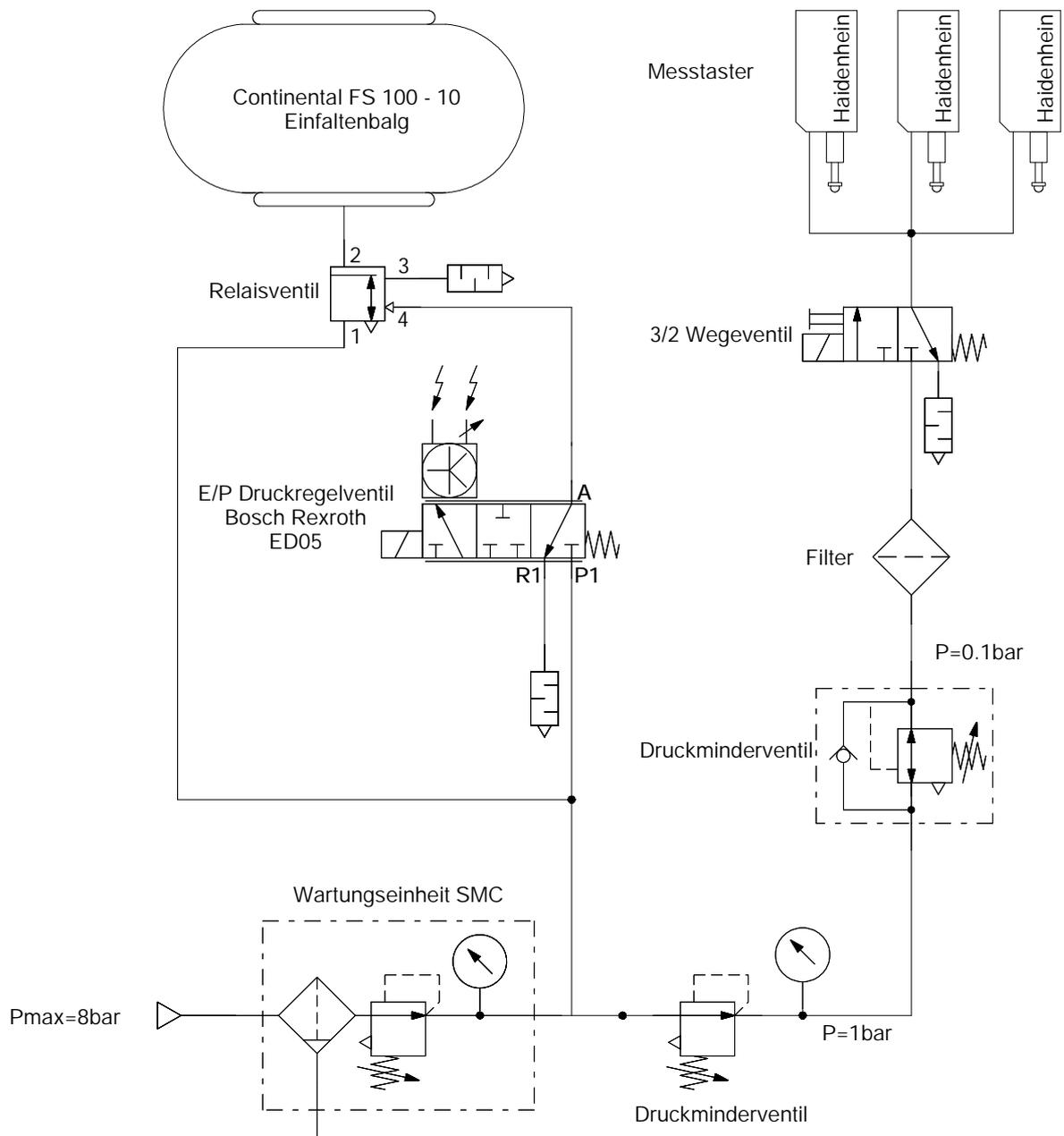


Abbildung 4.8 – Pneumatikschaltplan

5. Hydrostatisches Lager

In diesem Kapitel wird der Aufbau sowie die Funktion des hydrostatischen Lagers behandelt. Des Weiteren sind in den folgenden Abschnitten einzelne Komponenten angeführt, welche einer genaueren Beschreibung bezüglich ihrer Auslegung und Dimensionierung bedürfen.

5.1. Kurzbeschreibung der Baugruppe

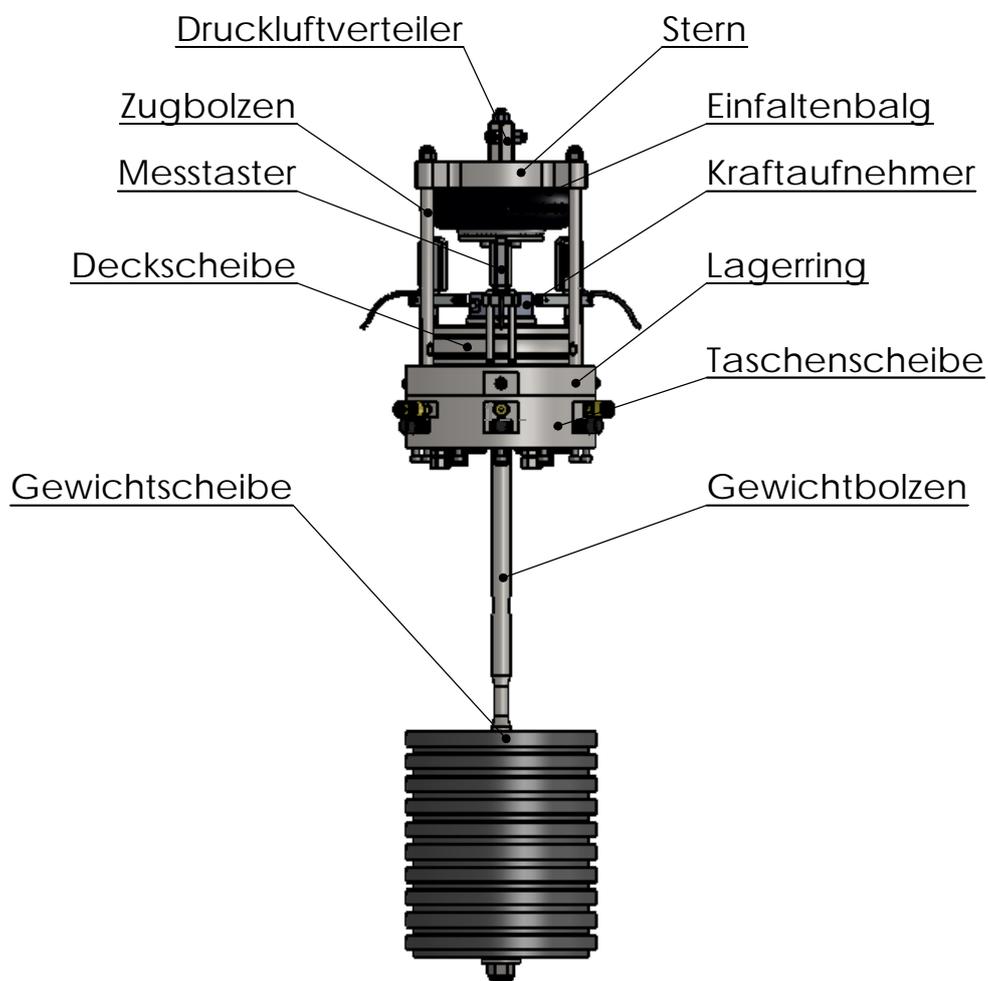


Abbildung 5.1 – Hydrostatisches Lager mit Komponentenbezeichnung

- *Taschenscheibe*: Die Taschenscheibe bildet das Kernstück des Lagers. In ihr sind sämtliche Taschen, Bohrungen für den Ölfluss, Drosseln, sowie Messanschlüsse eingebettet. Für detaillierte Informationen siehe Kapitel 5.2.

- *Lagerring*: Der Lagerring ist auf die Taschenscheibe aufgeschraubt. Im Lagerring befinden sich die Lagertaschen für das Radiallager. Er hat die Aufgabe die Deckscheibe einzuspannen und zu zentrieren. Für detaillierte Informationen siehe Kapitel 5.3.
- *Deckscheibe*: Die Deckscheibe ist das Gegenstück zur Taschenscheibe. Zusammen mit Lagerring und Taschenscheibe bilden sie die hydrostatische Lagerung.
- *Gewichtsbolzen*: Über den Gewichtsbolzen werden die Grundlast F_0 sowie die Impulskräfte F_{Impuls} in das Lager eingeleitet. Er führt durch eine Bohrung in der Taschenscheibe in die Deckscheibe und ist mit dieser verschraubt. Auf dem Gewichtsbolzen aufgereiht sind die *Gewichtscheiben*. Diese erzeugen die Grundlast F_0 . Für detaillierte Informationen siehe Kapitel 5.4.
- *Einfaltenbalg*: Der Einfaltenbalg dient dazu, Kräfte auf das Lager auszuüben. Er wird mit Druckluft über den Druckluftverteiler beaufschlagt. Zur schnelleren Ansteuerung des Balges, wurde später der Druckluftverteiler durch ein pneumatisches Relaisventil ersetzt. Durch seine Einspannung wird, hervorgerufen durch den Druck, eine Kraft erzeugt. Für detaillierte Informationen siehe Kapitel 5.6.
- *Zugbolzen*: Die Zugbolzen verbinden die Taschenscheibe mit dem Stern und schließen den Kraftfluss. Für detaillierte Informationen siehe Kapitel 5.5.

5.2. Taschenscheibe

Die Taschenscheibe ist das Kernstück des Prüfstandes. Sie beinhaltet die Lagertaschen. Für den Betrieb sind jeweils drei Lagertaschen erforderlich. Es wurden zwei unterschiedliche Taschenformen eingearbeitet. Die Inbetriebnahme und die anschließenden Messungen wurden ausschließlich mit den runden Taschen durchgeführt. In Abbildung 5.2 ist eine Modellansicht der Taschenscheibe dargestellt.

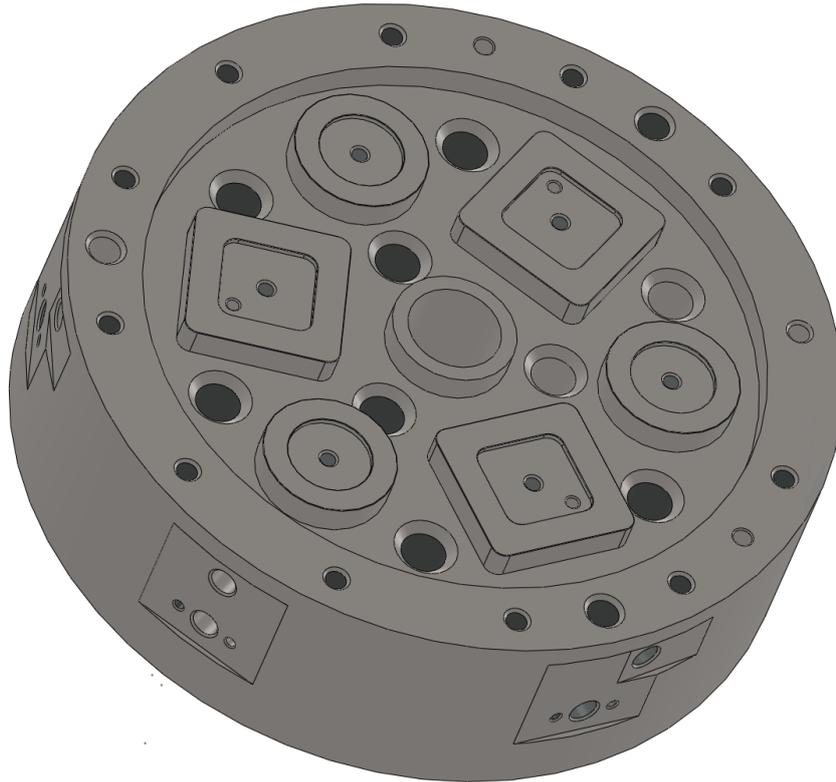


Abbildung 5.2 – Taschenscheibe

Einen Schnitt durch eine Lagertasche der Taschenscheibe zeigt Abbildung 5.3. Die nummerierten Teile in der Abbildung haben folgende Funktion:

1. Anschlussbohrung für einen Drucksensor.
2. Bohrung für die Blende. In diese wird ein Blendenstift eingeschraubt.
3. Zulaufbohrung für die Ölversorgung der Tasche.
4. Eingearbeitete Tasche.
5. Eine Rücklaufbohrung.

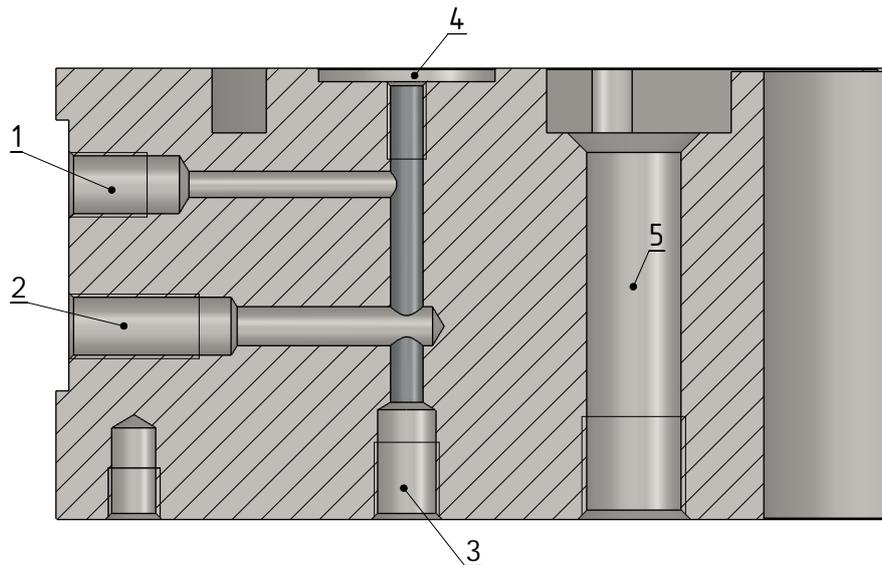


Abbildung 5.3 – Schnittansicht einer Tasche

5.2.1. Taschenauslegung

Für die Taschendimensionierung wird zunächst ein Arbeitspunkt bestimmt. Dieser liegt am Schnittpunkt zwischen der Volumenstromkennlinie des Lagers und jener des Reglers (siehe Abbildung 5.4). Der Arbeitspunkt wird bei einem Taschendruck von $p_T = 5\text{bar}$ fixiert. Damit die Tasche nicht zu groß beziehungsweise zu klein ausfällt, wird die Grundlast F_0 mit 1.2kN festgelegt. Diese setzt sich aus den Gewichtskräften der Deckscheibe, des Gewichtsbolzen und der Gewichtsscheiben zusammen. Mit diesen Werten wird nun die effektive Taschenfläche berechnet (siehe Gleichung 5.1). Da dies die Gesamtfläche ist, errechnet sich mit Gleichung 5.2 die effektive Fläche für eine Lagertasche.

$$A_{eff} = \frac{F_0}{p_T} \quad (5.1)$$

$$A_{effT} = \frac{A_{eff}}{3} \quad (5.2)$$

$$p_{Tmax} = \frac{F_{max}}{A_{eff}} \quad (5.3)$$

$$d_m = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{effT}}{\pi}} \quad (5.4)$$

Die maximal auftretende Lagerkraft wird durch den Einfaltenbalg und der Grundlast bestimmt. Diese beträgt $F_{max} = 15\text{kN}$. Daraus kann der maximale Taschendruck bestimmt werden (siehe Gleichung 5.3). Aus der effektiven Taschenfläche wird mit Hilfe der Kreisflächengleichung der mittlere Taschendruckmesser mit Gleichung 5.4 errechnet.

Der Druckabfall über die Steglänge $l = 8\text{mm}$ wird linear gerechnet. Gleichung 5.5 zeigt den Druckverlauf. Hierbei ist x die Laufvariable, welche Werte von $0 - l$ annehmen kann. Der mittlere Durchmesser trennt die Druckfläche zwischen Innen- und Außenradius. Durch Gleichsetzen der Flächen erhält man die beiden Radien aus den Gleichungen 5.6 und 5.7

$$p(x) = p_T \cdot \frac{l - x}{x} \quad (5.5)$$

$$r_i = -l + \frac{d_m}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot l \quad (5.6)$$

$$r_a = r_i + l \quad (5.7)$$

Der Taschenvolumenstrom wird mit der Ringspaltgleichung berechnet (siehe Gleichung 5.8)[6]. Eine Umrechnung auf die Bezugsviskosität $\eta = 10\text{mPas}$ erfolgt durch die vom Reglerhersteller angegebene Gleichung 5.9. Der Verlauf dieser Volumenströme ist in Abbildung 5.4 dargestellt.

$$Q_T = \frac{\pi \cdot d_m \cdot h^3 \cdot p_T}{12 \cdot (r_a - r_i) \cdot \eta} \quad (5.8)$$

$$Q_{T\text{Bezug}} = Q_T \cdot \frac{\eta}{\eta_{\text{Bezug}}} \quad (5.9)$$

Im Arbeitspunkt wird die Lagerspalthöhe mit $h = 30\mu\text{m}$ festgelegt. Sämtliche Taschenparameter sind in Tabelle 5.1 zusammengefasst.

Tabelle 5.1 – Parameter für Lagertasche

| Formelzeichen | Bezeichnung | Wert | Einheit |
|-----------------------|--------------------------------------|-------|---------|
| F_{min} | minimale Taschenbelastung | 1.2 | kN |
| F_{max} | maximale Taschenbelastung | 15 | kN |
| p_{Tmin} | minimaler Taschendruck | 5 | bar |
| p_{Tmax} | maximaler Taschendruck | 63.33 | bar |
| d_m | mittlerer Taschendurchmesser | 31.92 | mm |
| r_i | innerer Taschenradius | 13.61 | mm |
| r_a | äußerer Taschenradius | 21.61 | mm |
| l | Steglänge | 8 | mm |
| h | Lagerspalthöhe im Arbeitspunkt | 30 | μm |
| η_{Bezug} | dynamische Bezugsviskosität des Öls | 10 | $mPas$ |
| η | dynamische Viskosität des realen Öls | 42 | $mPas$ |

5.2.2. Reglerauswahl

Die Wahl des Reglers fiel auf einen *Progressivmengenregler* der Firma *HYPROSTATIK Schönfeld GmbH*. Für jede Lagertasche wird ein eigener PM-Regler benötigt. Im Folgenden ist die Bestimmung der Reglerparameter für eine Tasche angeführt.

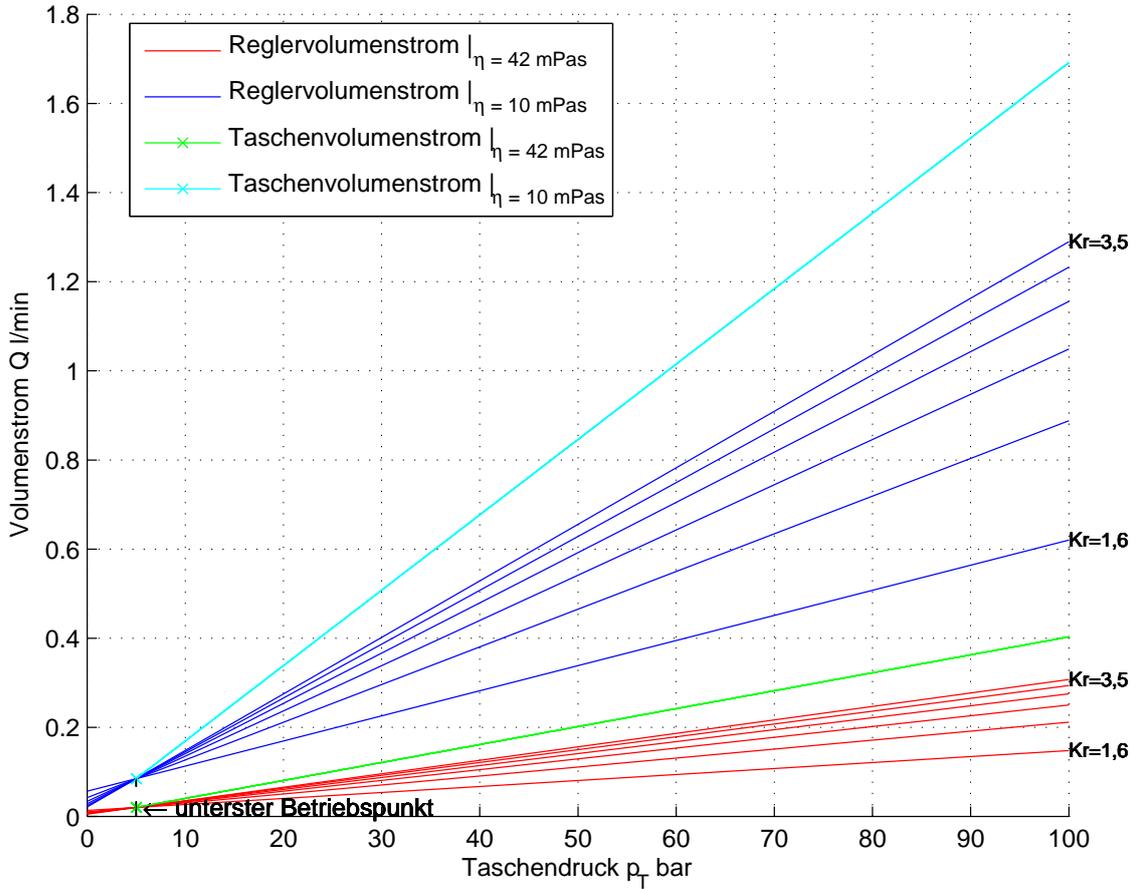


Abbildung 5.4 – Taschen - Regler - Volumenströme

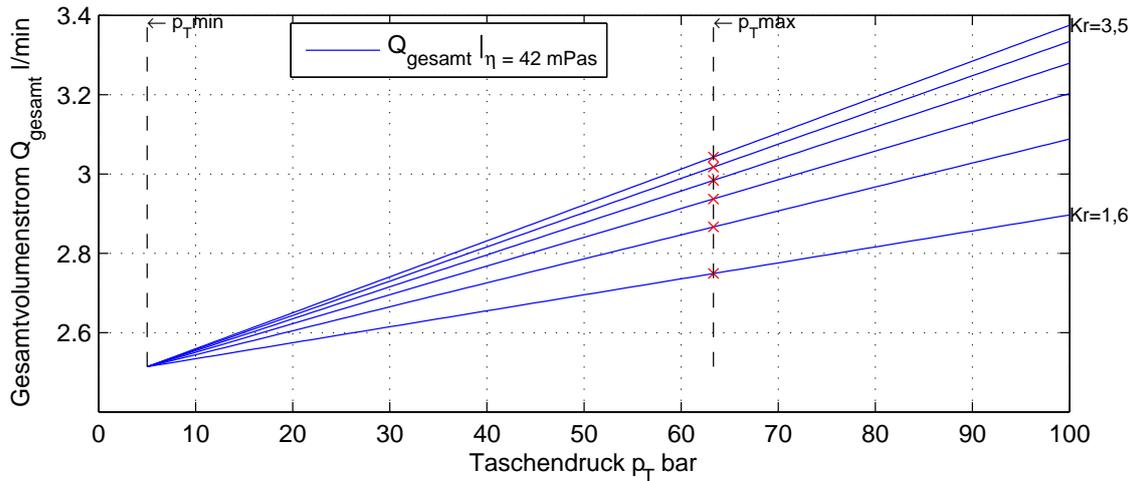


Abbildung 5.5 – Gesamtvolumenstrom - Taschendruck - Verlauf

Für den Reglerhersteller sind folgende Parameter aus Tabelle 5.2 von Bedeutung:

Tabelle 5.2 – Parameter für Progressivmengenregler

| Formelzeichen | Bezeichnung | Wert | Einheit |
|-----------------------|---|------|------------------------|
| p_P | maximaler Pumpendruck | 100 | bar |
| $Q_{0\text{Bezug}}$ | Durchfluss bei Taschendruck $p_T = 0\text{bar}$ | 0,56 | cm^3/s |
| K_r | Steilheit der Reglerkennlinie | 2,5 | – |
| η_{Bezug} | dynamische Bezugsviskosität des Öls | 10 | mPas |
| η | dynamische Viskosität des realen Öls | 42 | mPas |

Sämtliche Werte des PM-Reglers sind auf eine dynamische Viskosität von $\eta_{\text{Bezug}} = 10\text{mPas}$ bezogen. Die Umrechnung auf andere Ölviskositäten erfolgt mit Gleichung 5.10. Q_{neu} entspricht dabei dem Durchfluss des realen Öls.

$$Q_{\text{neu}} = Q_{\text{Bezug}} \cdot \frac{\eta_{\text{Bezug}}}{\eta} \quad (5.10)$$

Die Durchflussdaten eines Reglers sind durch die Durchflusswerte Q_0 (bei $p_T = 0\text{bar}$) und Q_P (bei $p_T = p_P$) sowie dem Pumpendruck p_P definiert. Aus diesen Werten wird die Steilheit der Reglerkennlinie bestimmt. Lieferbar sind, laut Firmenangabe, Regler mit K_r -Werten von 1,6 bis 3,5.

$$K_r = \frac{Q_P}{Q_0} \quad (5.11)$$

Mit dem Wert K_r , bei 10mPas Ölviskosität und dem Taschendruck p_T liefert der Regler den Volumenstrom aus Gleichung 5.12.

$$Q_{\text{Regler}}(p_T) = Q_0 \cdot \left(1 + (K_r + 1) \cdot \frac{p_T}{p_P}\right) \quad (5.12)$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{Regler}} \cdot 12 \cdot (r_a - r_i) \cdot \eta}{\pi \cdot d_m \cdot p_T}} \quad (5.13)$$

Der Taschendruck kann maximal den Wert $p_T = 0,9 \cdot p_P$ erreichen. Durchflussverläufe für verschiedene Reglersteilheiten sind in Abbildung 5.4 eingetragen.

In Abbildung 5.6 und Abbildung 5.7 ist der Lagerspaltverlauf mit verschiedenen Reglersteilheiten dargestellt. Dieser errechnet sich mit Gleichung 5.13.

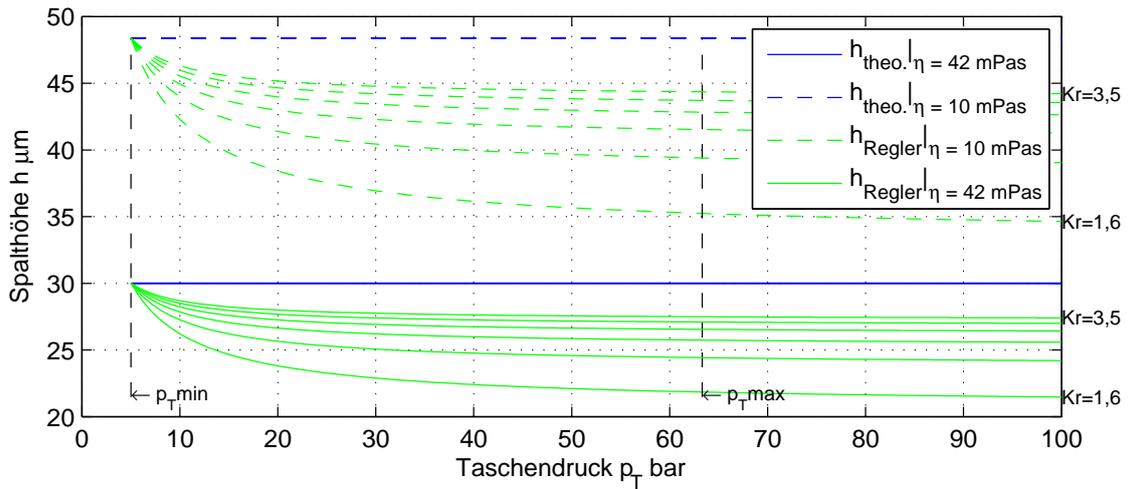


Abbildung 5.6 – Lager spalt - Taschendruck - Verlauf

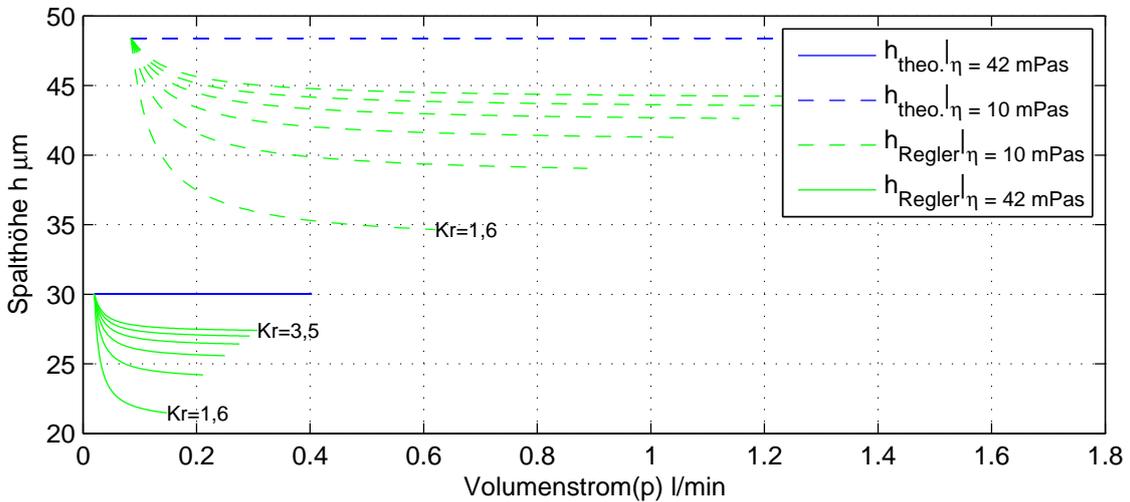


Abbildung 5.7 – Lager spalt - Volumenstrom - Verlauf

Den Abbildungen ist zu entnehmen, dass die theoretische Lager spalthöhe vom Regler unterschritten wird. Ausgehend vom Auslegungspunkt bei $p_T = 5\text{bar}$ bilden sich die Kurven vorerst stark abfallend und mit zunehmenden Taschendruck immer flacher werdend aus. Die theoretische Spalthöhe ist der Idealfall und ist über den gesamten Arbeitsbereich des Lagers konstant. Es ist ebenfalls zu erkennen, dass die Lager spalthöhe mit steigender dynamischer Viskosität abfällt. Die Auswahl des Reglers fällt auf jenen mit dem höchsten K_r - Wert, da mit steigender Steilheit die Abweichung von der idealen Spalthöhe am geringsten ist. In Abbildung 5.8 sind die Q_0 -Werte den jeweiligen K_r -Werten zugeordnet. Hieraus erhält man das $Q_{0\text{Bezug}}$ mit $0.56\text{cm}^3/\text{s}$ bei einer dynamischen Viskosität von $\eta_{\text{Bezug}} = 10\text{mPas}$ für die Reglerauswahl.

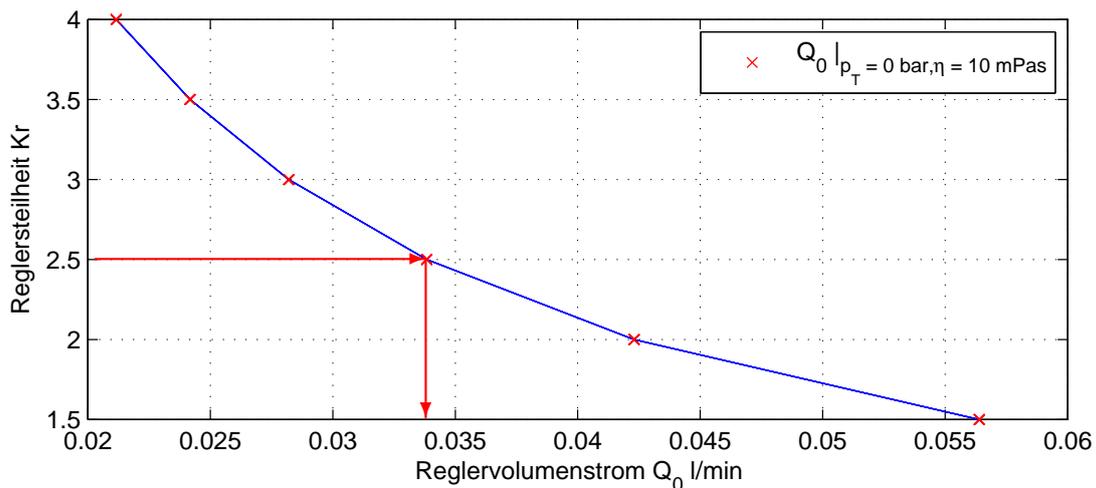


Abbildung 5.8 – Reglersteilheit - Nullvolumenstrom

Aus liefertechnischen Gründen seitens der Firma *HYPROSTATIK Schönfeld GmbH*, musste auf einen Regler mit einer Steilheit von $K_r = 2,5$ zurückgegriffen werden. Der eingesetzte Regler ist in Reihenbauweise ausgeführt. Ein Vorteil dieser Ausführung ist die selbsttätige, kontinuierliche Entlüftung bei einer Einbaulage mit den Taschenanschlüssen nach oben. Nachteilig ist die Verbindung mittels Hydraulikrohren zu den Lagertaschen zu erwähnen. Die Ölsäule in den Rohrleitungen stellt eine hydraulische Feder dar. Die Federwirkung, herrührend aus der Rohrelastizität, kann in diesem Fall vernachlässigt werden. Aus diesem Grund sind die Versorgungsleitungen zu den Taschen in gleicher Länge ausgeführt, um gleiche Bedingungen für alle Taschen zu schaffen.

Wie aus den späteren Messungen hervorgehen wird, besitzt die Reglerkennlinie eine geringere Steigung als jene aus den Berechnungen. Dies führt dazu, dass der Schnittpunkt von Reglerkennlinie und Taschenkennlinie nicht mehr im Arbeitspunkt bei $p_T = 5\text{bar}$ ist. Dies führt zu einer Spalthöhenreduktion auf $h = 20\mu\text{m}$ im ursprünglichen Arbeitspunkt. Nähere Informationen sind Kapitel 7.3 zu entnehmen.

5.3. Lagerring

Der Lagerring ist in Abbildung 5.9 dargestellt. Seine Aufgabe besteht darin, die Deckscheibe in Position zu halten und zu zentrieren. Am Umfang sind jeweils um 120° versetzt hydrostatische Lagertaschen eingearbeitet. Die Taschen werden mit Hydrauliköl versorgt und erzeugen Druckkräfte, welche die Deckscheibe einspannen. Die Oberseite des Lagerringes ist mit einer Nut versehen um nach oben hin strömendes Öl zu sammeln. Ein Rückfließen des Öles wird durch zahlreiche Ablaufbohrungen in der Nut ermöglicht. Durch diese kann das Hydrauliköl in die Taschenscheibe zurückfließen und wieder dem Ölkreislauf zugeführt werden.



Abbildung 5.9 – Lagerring

In die Zulaufbohrung der Taschen werden Drosseln eingeschraubt, um den Ölvolumenstrom vorzugeben (siehe Abbildung 5.10). Am äußeren Umfang des Ringes wird mittels Hydraulikverschraubungen eine Verbindung mit der Ölversorgungsleitung hergestellt.

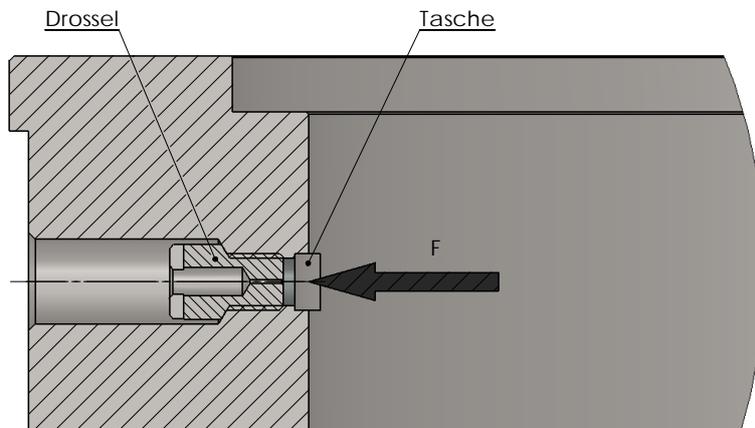


Abbildung 5.10 – Lagerring Drossel

Abbildung 5.11 veranschaulicht die Kräftesituation am Lagerring. Durch die rotationssymmetrische Anordnung der Lagertaschen wird die Deckscheibe exakt zentriert.

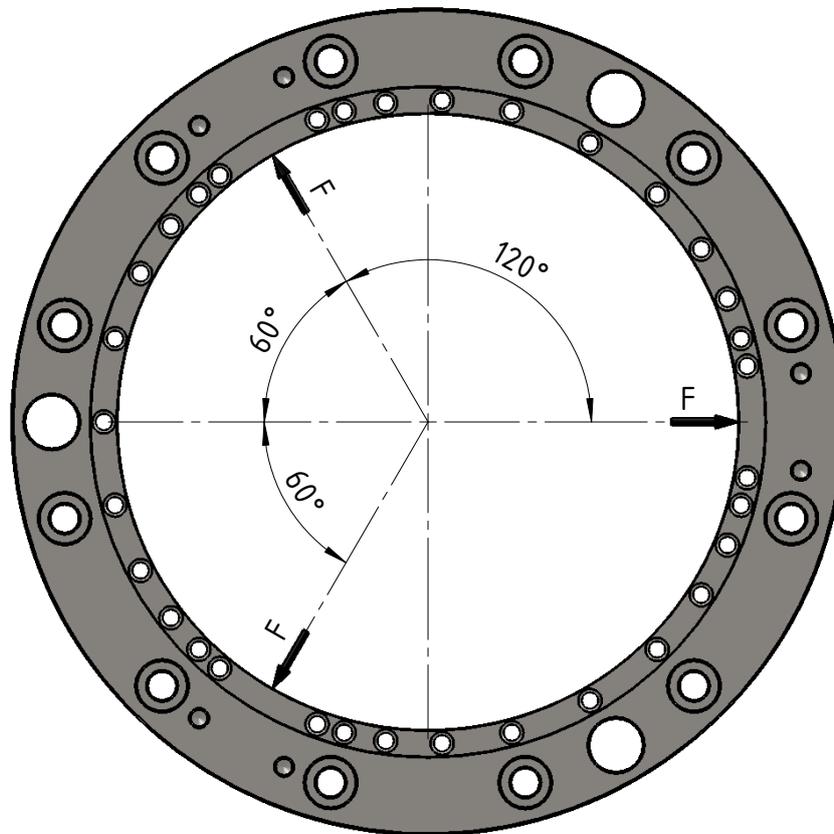


Abbildung 5.11 – Kräfte am Lagerring

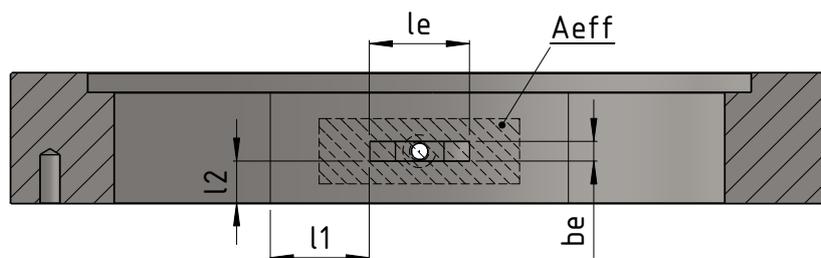


Abbildung 5.12 – Lagerring Tasche

Ein Schnitt durch den Lagerring veranschaulicht die Geometrie einer der drei Lagertaschen (siehe Abbildung 5.12). Für die Berechnungen werden die projizierten Werte der Taschenabmessungen verwendet. Die Abströmlänge l_1 ist mit 30mm angenommen. Der Blendenfaktor α_D liegt zwischen 0.6 und 1.2 und ist auf 1 festgelegt.

Da der Quotient aus Länge und Durchmesser sehr klein ist, wird für die Berechnung des Volumenstromes durch die Drosselstelle die *Blendengleichung* 5.16 herangezogen. Die Tem-

peraturabhängigkeit wird vernachlässigt.

$$A_D = r_D^2 \cdot \pi \quad (5.14)$$

$$\Delta p = p_P - p_T \quad (5.15)$$

$$Q_D = \alpha_D \cdot A_D \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (5.16)$$

Q_D ist der von der Drossel für die Lagertasche bereitgestellte Ölvolumenstrom. Durch Umformen der Gleichung 5.18 und Einsetzen von p_T aus Gleichung 5.17, erhält man die Lagerkraft F in Gleichung 5.19.

$$p_T = \frac{F}{A_{eff}} \quad (5.17)$$

$$Q_{Tasche} = \frac{p_T \cdot h^3}{12 \cdot \eta} \cdot 2 \cdot \left(\frac{b_e}{l_1} + \frac{l_e}{l_2} \right) \quad (5.18)$$

$$F = \frac{Q_{Tasche} \cdot A_{eff} \cdot 12 \cdot \eta}{2 \cdot \left(\frac{b_e}{l_1} + \frac{l_e}{l_2} \right) \cdot h^3} \quad (5.19)$$

Abbildung 5.13 zeigt den Verlauf des Volumenstromes Q_{Tasche} sowie jenen der Lagerkraft F für eine Lagertasche bei einem Versorgungsdruck p_P von 0 – 150bar. p_P ist mit 100bar festgelegt. Dies entspricht dem gleichen Druck mit welchem der Regler für die Taschenscheibe versorgt wird.

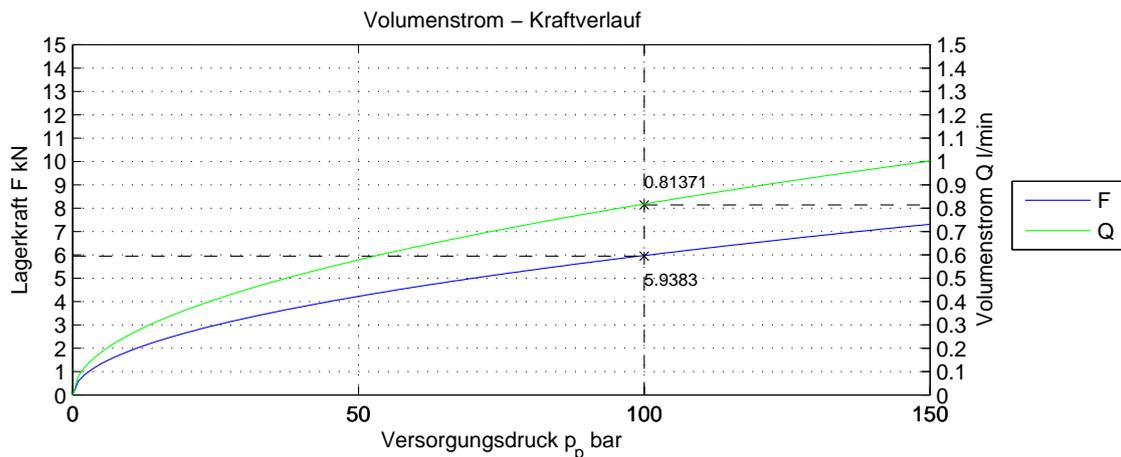


Abbildung 5.13 – Lagerring Volumenstrom-Kraftverlauf

$$Q_{gesamt} = 3 \cdot Q_{Tasche} \quad (5.20)$$

Da der Lagerring mit drei gleichen Taschen versehen ist, folgt aus Gleichung 5.20 der Ge-

samtvolumenstrom Q_{gesamt} .

Um eine gleichmäßige Spalthöhe zu erreichen, müssen Form- und Lagetoleranzen eingehalten werden. Neben Rundlauf, Zylindrizität und Rechtwinkeligkeit zur Bezugsfläche, ist auch die Oberfläche von großer Bedeutung. In Abbildung 5.14 sind die für die Fertigung notwendigen Toleranzen dargestellt. Für detaillierte, fertigungstechnische Informationen zum Lagerring wird auf die Zeichnungsnummer 01 – 00 – 02 im Anhang verwiesen.

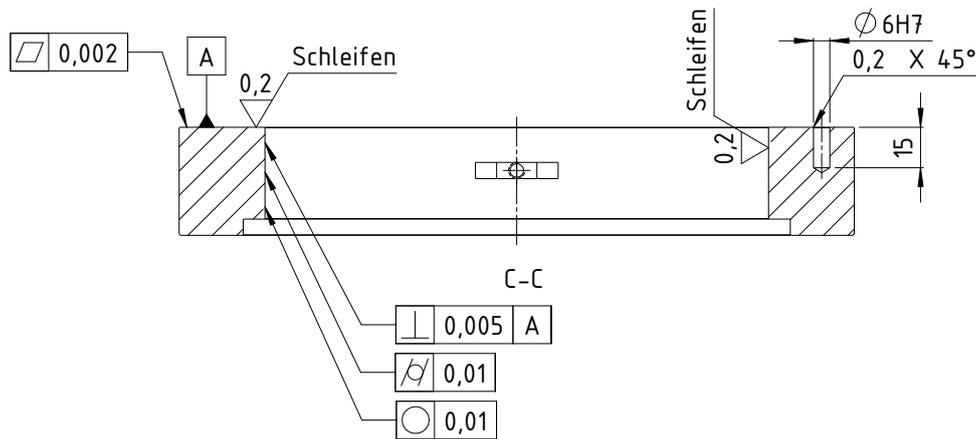


Abbildung 5.14 – Lagerring Toleranzen

In Tabelle 5.3 sind sämtliche Parameter des Lagerrings zusammengefasst.

Tabelle 5.3 – Parameter Lagerring

| Formelzeichen | Bezeichnung | Wert | Einheit |
|------------------------|-----------------------|--------|----------|
| | Lagerringtasche | | |
| p_P | Versorgungsdruck | 100 | bar |
| p_T | Taschendruck | 50 | bar |
| A_{eff} | Effektive Fläche | 0.0011 | m^2 |
| F | Lagerkraft | 5.9383 | kN |
| Q_{Tasche} | Taschenvolumenstrom | 0.8137 | l/min |
| Q_{gesamt} | Gesamt volumenstrom | 2.4411 | l/min |
| l_e | Taschenlänge | 30 | mm |
| b_e | Taschenbreite | 6 | mm |
| l_1 | Stegbreite 1 | 30 | mm |
| l_2 | Stegbreite 2 | 13 | mm |
| h_{Ring} | Spalthöhe | 50 | μm |
| | Drossel | | |
| α_D | Blendenfaktor | 1 | – |
| r_D | Drosselradius | 0.2 | mm |
| A_D | Drosselquerschnitt | 0.1257 | mm^2 |
| | Hydrauliköl HLP 46 | | |
| $\rho _{T=40^\circ C}$ | Dichte | 850 | kg/m^3 |
| $\eta _{T=40^\circ C}$ | Dynamische Viskosität | 42 | mPas |

5.4. Gwichtsbolzen

Der Gewichtsbolzen wird mit der Deckscheibe verschraubt, welche vom Ölfilm getragen wird. Es können einzelne Gewichtsscheiben auf den Stab aufgereiht werden. Somit werden über ihn statische Gewichtskräfte in das Lager eingeleitet. Ausserdem besteht die Möglichkeit über die Fallvorrichtung eine Gewichtsscheibe auf die bereits vorhandenen Scheiben herunterfallen zu lassen. Durch Auftreffen der Scheibe auf die gestapelten Scheiben entsteht eine Impulskraft, welche ebenfalls über die bereits vorhanden Scheiben und den Gewichtsbolzen in das Lager eingeleitet wird. Eine Verjüngung des Stabquerschnittes ermöglicht ein Einfädern der Gewichtsscheiben. Sie ist mit Radien versehen um die Kerbwirkung möglichst gering zu halten.



Abbildung 5.15 – Gewichtsbolzen

Die Auslegung erfolgt über die Betrachtung der eingeleiteten Energie. Zunächst wird der Gewichtsbolzen als Feder betrachtet.

$$E_{Feder} = \int F_{Feder} d\Delta l = C \cdot \int d\Delta l = C \cdot \frac{\Delta l^2}{2} \quad (5.21)$$

Die Federenergie aus Gleichung 5.21 wird mit der potentiellen Energie der Gewichtsscheibe gleichgesetzt. Hinzu kommt der potentielle Energieanteil durch die Dehnung des Stabes Δl (siehe Gleichung 5.22). Die Beschleunigung der Masse der am Gewichtsbolzen befindlichen Gewichtsscheiben, sowie deren Dämpfungswirkung wurde vernachlässigt. Da es sich hierbei um Energieverluste handelt, wirkt sich diese Vernachlässigung nicht negativ auf die Sicherheit des Gewichtsbolzen aus.

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot (H + \Delta l) \quad (5.22)$$

Durch Umformen und Einsetzen der Federkonstante aus Gleichung 5.23 erhält man die in den Gewichtsbolzen eingeleitete Impulskraft aus Gleichung 5.24.

$$C = \frac{E \cdot A}{l} \quad (5.23)$$

$$F_{Impuls} = \frac{m \cdot g}{C} + \sqrt{\frac{m \cdot g^2}{C} + 2 \cdot \frac{m \cdot g}{C} \cdot H} \quad (5.24)$$

Die Impulskraft wird zusammen mit der Grundlast F_0 für die Auslegung am minimalen Quer-

schnitt des Bolzens herangezogen. Der minimale Querschnitt befindet sich an den beiden Gewindefreistichen. Diese werden mit der Kerbzahl α_K [4] bewertet.

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad (5.25)$$

$$A_{min} = \frac{d_{min}^2 \cdot \pi}{4} \quad (5.26)$$

$$F_{max} = F_{Impuls} + F_0 \quad (5.27)$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_{min}} \cdot \alpha_K \quad (5.28)$$

$$S = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} \quad (5.29)$$

Tabelle 5.4 – Parameter Gewichtsbolzen

| Formelzeichen | Bezeichnung | Wert | Einheit |
|----------------|-----------------------------|-------------|----------|
| | Bolzen | | |
| l | Stablänge | 725 | mm |
| d | Stabdurchmesser | 24 | mm |
| d_{min} | minimaler Stabdurchmesser | 20 | mm |
| A_{min} | minimaler Stabquerschnitt | 314, 16 | mm^2 |
| g | Erdbeschleunigung | 9, 81 | m/s^2 |
| m | Masse einer Gewichtsscheibe | 10 | kg |
| H | Fallhöhe | 220 | mm |
| F_0 | Grundkraft | 1, 2 | kN |
| F_{Impuls} | Impulskraft im Stab | 76, 5 | kN |
| F_{max} | maximale Stabkraft | 76, 5 | kN |
| C | Federkonstante | 131036, 912 | N/mm |
| σ_{zul} | max. zulässige Spannung | 750 | N/mm^2 |
| σ_{max} | maximale Stabspannung | 582 | N/mm^2 |
| α_K | Kerbzahl | 2, 39 | – |
| S | Sicherheit | 1, 288 | – |
| | Stahl 42CrMo4 | | |
| E | Elastizitätsmodul | 210000 | N/mm^2 |
| R_e | minimale Streckgrenze | 750 | N/mm^2 |

5.5. Zugbolzen

Im Prüfstand werden drei Zugbolzen verwendet. Sie haben die Aufgabe den Aufbau über der Deckscheibe zu tragen, sowie den Kraftfluss, hervorgerufen durch die Druckkraft vom Einfaltenbalg, zu schließen. Die maximale Druckkraft, welche der Einfaltenbalg aufbringen kann beträgt $13, 8kN$. Für die Berechnung des Zugbolzens ist diese Kraft auf $15kN$ aufgerundet.

Da es sich um drei symmetrisch angeordnete Bolzen handelt, entfällt eine Kraft von $5kN$ auf jeden Einzelnen. Die folgende Berechnung ist auf den kleinsten Querschnitt am Gewindefreistich bezogen.



Abbildung 5.16 – Zugbolzen

Der verwendete Werkstoff ist ein Vergütungsstahl $42CrMo4$. Er hat im vorvergütetem Lieferzustand eine minimale Streckgrenze von $R_e = 750N/mm^2$. Die maximale Zugspannung im Stab wird mittels Gleichung 5.31 ermittelt. Die Stabsicherheit ergibt sich aus Gleichung 5.32.

$$A_{min} = \frac{d_{min}^2 \cdot \pi}{4} \quad (5.30)$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_{min}} \cdot \alpha_K \quad (5.31)$$

$$S = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} \quad (5.32)$$

Die Kerbzahl α_K ist immer größer als die Kerbwirkzahl β_K , dies ergibt für statische Belastung eine zusätzliche Sicherheit [4]. Wegen der einfacheren Ermittlung der Kerbzahl α_K wird diese verwendet. Die Sicherheit S ist für den statischen Maximallastfall bestimmt, da die dynamischen Lastkollektive beliebig variieren können. Aufgrund der Aufrundung von F_{max} und α_K , sollte die ermittelte Sicherheit den Anforderungen standhalten.

Abbildung 5.17 gibt einen quantitativen Einblick für die Dauerfestigkeit. Der Zugbolzen wird schwelend beansprucht. Durch den Einfluss der Kerbwirkzahl reduziert sich die vom Material zulässige Spannung auf die blaue Linie. Die Kurve für $50CrMo4$ ist auch für $42CrMo4$ gültig. Der Schnittpunkt mit der Mittelspannung ergibt die zulässige Schwellspannung. Die maximal

auftretende Schwellspannung ist durch den grünen Pfeil dargestellt. Diese liegt deutlich im zulässigen Bereich.[5]

Die Parameter für den Zugbolzen sind in Tabelle 5.5 zusammengefasst.

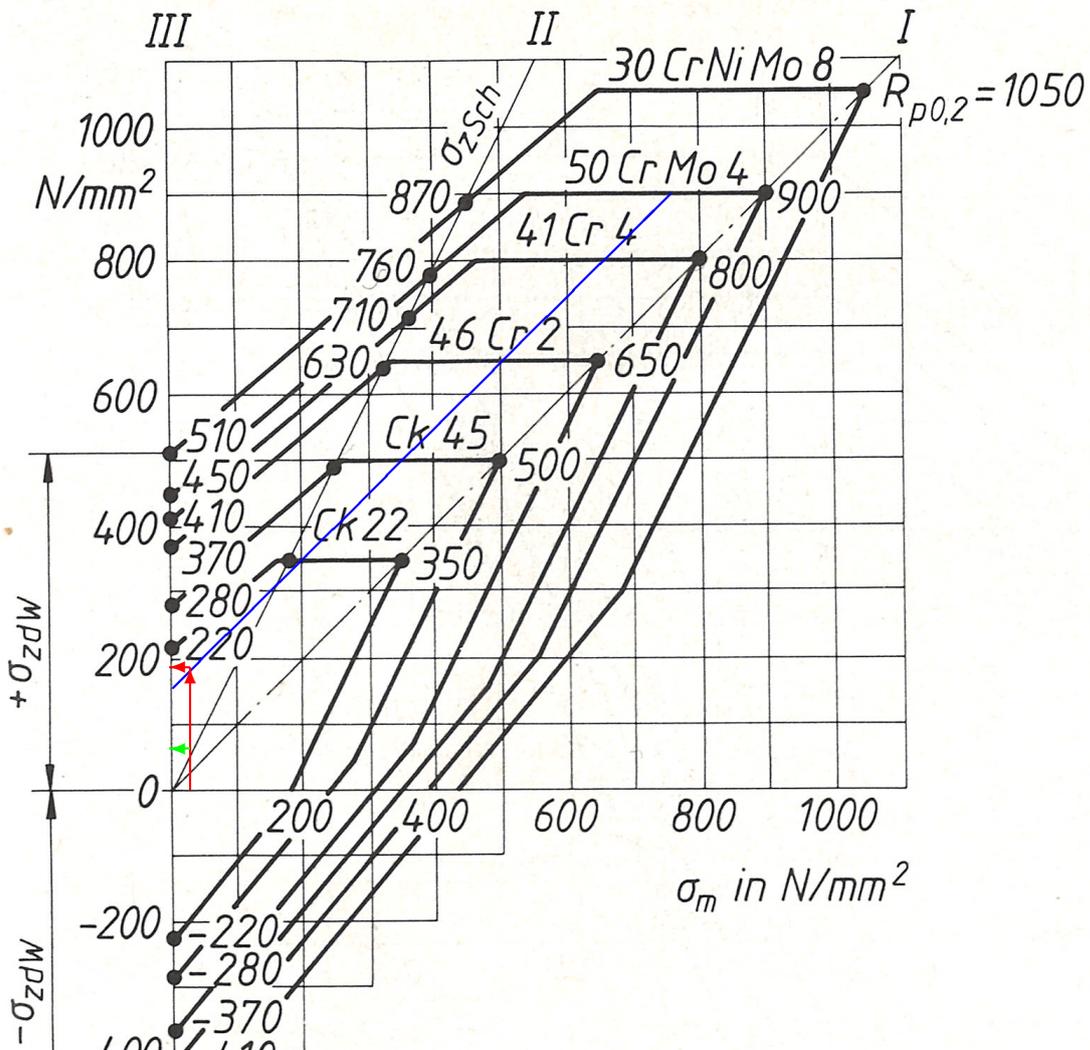


Abbildung 5.17 – Smith-Diagramm 42CrMo4[2]

Tabelle 5.5 – Parameter Zugbolzen

| Formelzeichen | Bezeichnung | Wert | Einheit |
|----------------|---------------------------|---------|----------|
| | Bolzen | | |
| l | Stablänge | 330 | mm |
| d | Stabdurchmesser | 15 | mm |
| d_{min} | minimaler Stabdurchmesser | 9,4 | mm |
| A_{min} | minimaler Stabquerschnitt | 69,3978 | mm^2 |
| F_{max} | maximale Stabkraft | 5 | kN |
| σ_{zul} | max. zulässige Spannung | 750 | N/mm^2 |
| σ_{max} | maximale Stabspannung | 180,12 | N/mm^2 |
| α_K | Kerzbzahl | 2,5 | – |
| S | Sicherheit | 4.1639 | – |
| | Stahl 42CrMo4 | | |
| E | Elastizitätsmodul | 210000 | N/mm^2 |
| R_e | minimale Streckgrenze | 750 | N/mm^2 |

5.6. Einfaltenbalg

Der Einfaltenbalg wurde von der Firma *ContiTech Luftfedersysteme GmbH* zur Verfügung gestellt. Der Balg wird mit Druckluft versorgt. Die Ansteuerung erfolgt über ein *EP-Regelventil*. Mit dieser Kombination ist es möglich, verschiedene Belastungen mit unterschiedlichen zeitlichen Verläufen auf das hydrostatische Lager auszuüben.

Vom Hersteller ist eine minimale Einbauhöhe bei statischer Belastung vorgeschrieben. Sie ist mit $70mm$ angegeben. Auf diesen Wert ist auch der Prüfstand dimensioniert, da sich bei $70mm$ Einbauhöhe und einem maximal zulässigen Betriebsdruck von $8bar$ eine maximale Druckkraft von $13,8kN$ ergibt (siehe Abbildung 5.18 und 5.19, sowie Tabelle 5.6).

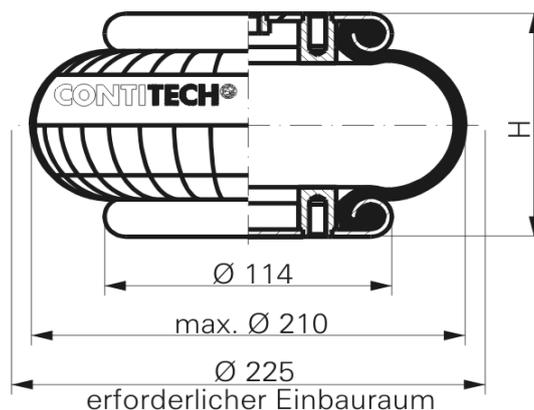


Abbildung 5.18 – Einfaltenbalg Einbauraum [1]

Tabelle 5.6 – Einfaltenbalg statische Kennwerte [1]

Kraft F [kN]

| Druck p | [bar] | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Vol.[l] |
|-------------|-------|-----|-----|-----|------|------|------|---------|
| Höhe H [mm] | 130 | 2,0 | 2,7 | 3,5 | 4,3 | 5,2 | 6,1 | 2,13 |
| | 110 | 3,4 | 4,5 | 5,7 | 7,0 | 8,3 | 9,6 | 1,87 |
| | 90 | 4,3 | 5,8 | 7,3 | 8,9 | 10,4 | 12,0 | 1,58 |
| | 70 | 5,0 | 6,6 | 8,4 | 10,2 | 12,0 | 13,8 | 1,25 |

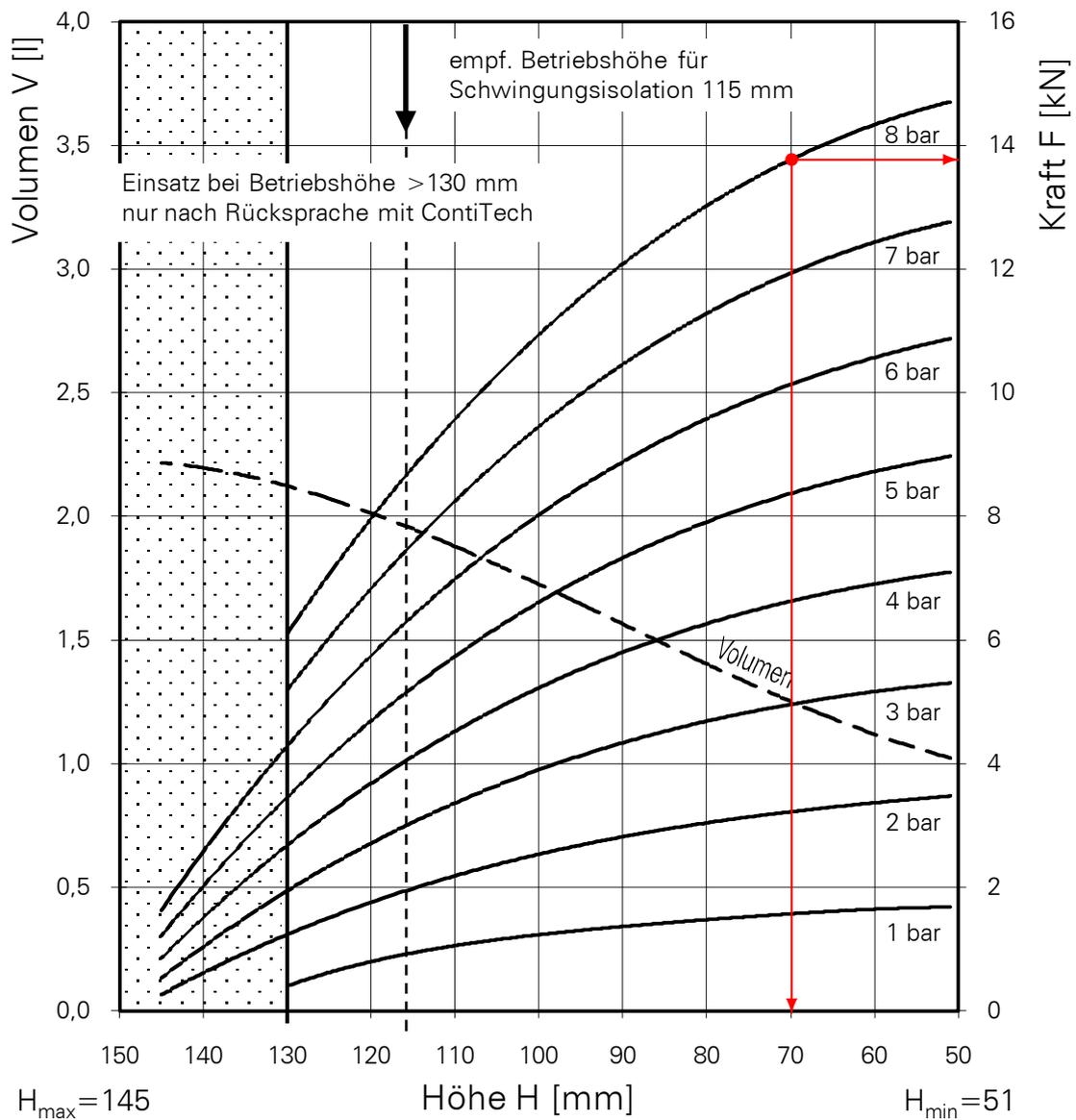


Abbildung 5.19 – Einfaltenbalg Kraft-Weg-Diagramm [1]

6. Inbetriebnahme

6.1. Montage

Vor der Montage wurden alle Komponenten einer Reinigung unterzogen. Mittels Druckluft wurden Staub, Späne und andere lose Verunreinigungen entfernt. Kühlschmiermittelrückstände wurden mit Reinigungsalkohol und Reinigungstücher beseitigt. Sämtliche Komponenten, welche später mit Hydrauliköl durchströmt werden, sind einer Säuberung mit *Ballistol* Reinigungsöl und Kosmetiktüchern unterzogen worden. Vor allem Bohrungen und Gewinde wurden gründlich auf Verschmutzung untersucht und gereinigt.

Nach dem Reinigungsprozess wurden die Komponenten eingebaut. Besonderes Augenmerk wurde auf die Hydraulik gerichtet. Alle Hydraulikkomponenten wurden laut den vom Hersteller vorgegebenen Richtlinien verbaut.

6.2. Spülung

Vor jeder Erstinbetriebnahme bzw. nach Reparatur- oder Umbauarbeiten ist eine Hydraulikanlage einem Spülvorgang zu unterziehen. Ziel dieses Vorganges ist es sämtliche Verunreinigungen, welche sich noch im System befinden, zu beseitigen. Auf Schmutz besonders empfindliche Komponenten wie zum Beispiel Stetigventile sind zu entfernen und gegen Spülplatten zu ersetzen. Im Falle dieses Prüfstandes wurde lediglich der PM-Regler gegen einen Spülverteiler ersetzt. Der Spülvorgang erfolgte bereits mit dem später verwendeten Hydrauliköl. Das verwendete Hydraulikaggregat ist mit einem $3\mu\text{m}$ Filter ausgestattet.

6.3. Benutzeroberfläche

In Abbildung 6.1 ist die Benutzeroberfläche zur Durchführung der Messungen dargestellt. Sie wurde mittels dem Programm *Labview* realisiert.

Nach dem Programmstart werden Zielordner und Messfilename abgefragt. Sind diese erfolgreich eingegeben, beginnt der Abgleich der Messeinrichtung. Sobald im Dialogfeld (linke obere Ecke) der Hinweis "*Dose entlasten und OK Button drücken*" erscheint, muss der Abgleichvorgang mit dem *OK-Button* rechts neben dem Dialogfeld bestätigt werden. Der Abgleichvorgang ist abgeschlossen. Um Messwerte zu speichern, muss der *OK-Button "Drücken um Werte zu speichern"* betätigt werden. Gleiches gilt, um die Speicherung wieder zu stoppen. Wird die Speicherung aktiviert so werden Zahlenkolonnen in das zu Beginn angegebene Textfile geschrieben. Abbildung 6.2 zeigt ein Beispiel für solch ein Messfile. Bezeichnung und Einheiten sind hier nur informativ eingetragen und werden im Messfile nicht gespeichert.

Mit dem *Sinus Button* oder dem *Dreieck Button* wird die Ansteuerung des Einfaltenbalges aktiviert beziehungsweise wieder deaktiviert. Frequenz, Mittelwert und Amplitude können in den nebenstehenden Feldern variiert werden.

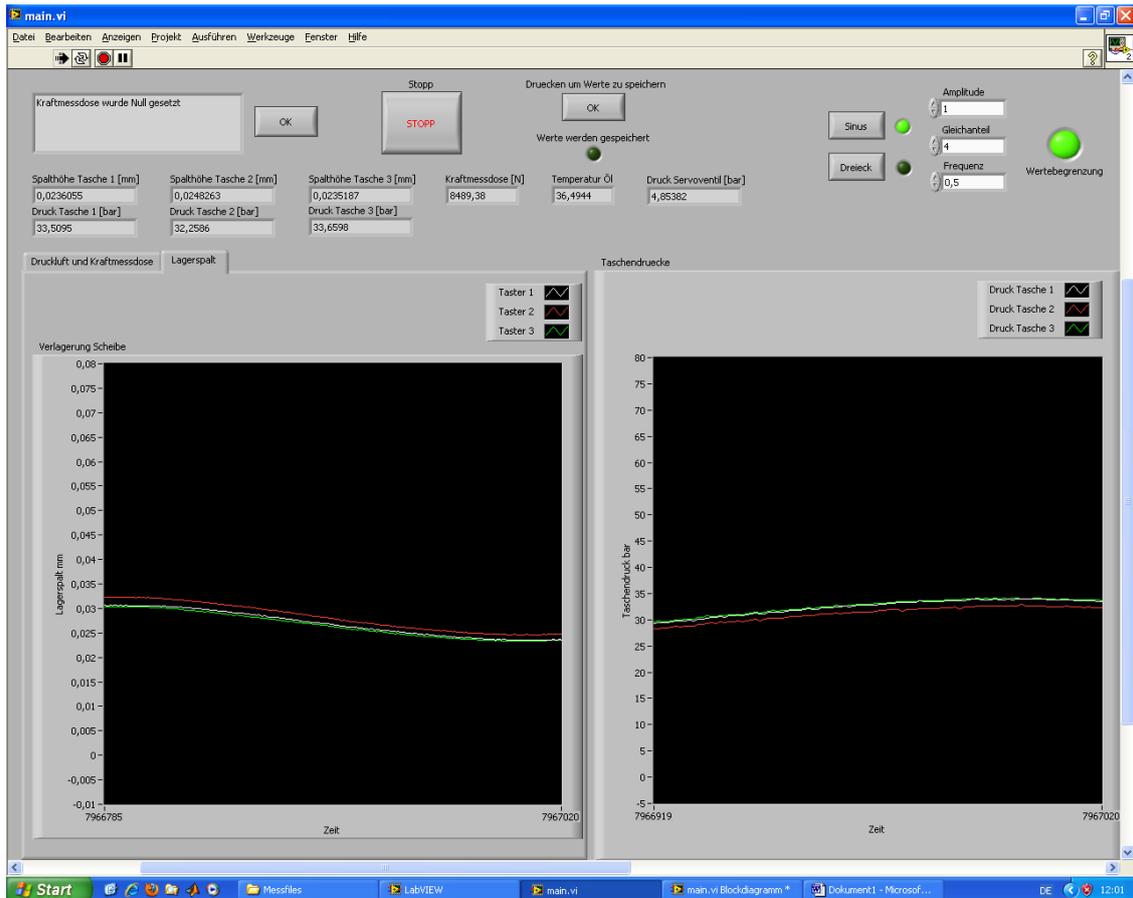


Abbildung 6.1 – Benutzeroberfläche

Alle übrigen Elemente auf der Oberfläche dienen der Anzeige. Dabei werden Druck, Spalthöhen, Temperatur und Kraft sowohl grafisch als auch numerisch angezeigt.

6.4. Durchführung einer Messung

Für die richtige Durchführung einer Messung sollte in folgender Reihenfolge vorgegangen werden:

1. Es muss sichergestellt sein, dass alle Geräte und Komponenten richtig angeschlossen sind.
2. Die richtigen Stromversorgungen sicherstellen
3. Die Druckluftversorgung darf einen Druck von $p_{max} = 8\text{bar}$ nicht überschreiten.
4. Beim Hydraulikaggregat ist der Ölstand, Ölfilteranzeige sowie die richtige Drehrichtung der Pumpe zu prüfen.
5. Einschalten der Absaugpumpe
6. Abgleich der Messeinrichtungen über die Benutzeroberfläche

- 7. Einschalten des Hydraulikaggregates
- 8. Start der Messaufgabe gegebenenfalls speichern der Messwerte (Benutzeroberfläche)
- 9. Stoppen der Messaufgabe (Benutzeroberfläche)
- 10. Abschalten des Hydraulikaggregates
- 11. Abschalten der Absaugpumpe
- 12. Abschalten sämtlicher Stromversorgungen sowie der Druckluft

| Kraft | W | p1 bar | p2 bar | p3 bar | Druck bar | Servo | Temperatur c | h1 mm | h2 mm | h3 mm | zeit ms |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 6.103516E-1 | 6.909180E-2 | 8.650391E-2 | 1.070508E-2 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -1.999246E-4 | -5.968750E-6 | 1.370414E-4 | -1.370414E-4 | 1.370414E-4 | 1.767100E+4 |
| 0.000000E+0 | 8.650391E-2 | 3.903678E+1 | 1.070508E-2 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -1.398680E-4 | -7.921875E-6 | -4.071924E-6 | -4.071924E-6 | -4.071924E-6 | 1.767400E+4 |
| -6.103516E-1 | 1.911621E-1 | 1.933154E-1 | 7.174023E-2 | 2.838135E-2 | 3.904455E+1 | -2.106688E-4 | -2.233594E-5 | -2.138335E-5 | -2.138335E-5 | -2.138335E-5 | 1.767700E+4 |
| 6.103516E-1 | 1.301270E-1 | 1.475391E-1 | 5.648145E-2 | 2.838135E-2 | 3.902125E+1 | -3.122293E-4 | -3.789063E-7 | 6.670264E-6 | 6.670264E-6 | 6.670264E-6 | 1.767900E+4 |
| -1.220703E+0 | 1.911621E-1 | 1.627979E-1 | 1.175166E-1 | 2.838135E-2 | 3.904455E+1 | -1.510965E-4 | -4.503906E-6 | 6.624058E-5 | 6.624058E-5 | 6.624058E-5 | 1.773800E+4 |
| -6.103516E-1 | 6.909180E-2 | -5.048828E-3 | -1.418828E-1 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -1.403543E-4 | -3.039062E-6 | 4.475620E-5 | 4.475620E-5 | 4.475620E-5 | 1.774000E+4 |
| 2.441406E+0 | 5.383301E-2 | 5.598633E-2 | 1.070508E-2 | 2.838135E-2 | 3.902902E+1 | -2.135965E-4 | -2.801197E-5 | -8.170864E-5 | -8.170864E-5 | -8.170864E-5 | 1.774300E+4 |
| 6.103516E-1 | 1.911621E-1 | 1.627979E-1 | 5.648145E-2 | 2.868652E-2 | 3.905231E+1 | -2.951395E-4 | -2.550781E-6 | 1.472953E-4 | 1.472953E-4 | 1.472953E-4 | 1.774500E+4 |
| -6.103516E-1 | 9.960937E-2 | 8.650391E-2 | -4.533711E-3 | 2.868652E-2 | 3.904455E+1 | -1.427937E-4 | -3.527344E-6 | 1.787451E-6 | 1.787451E-6 | 1.787451E-6 | 1.775300E+4 |
| 2.441406E+0 | 8.435059E-2 | 1.322803E-1 | 7.174023E-2 | 2.929687E-2 | 3.904455E+1 | -3.073465E-4 | -1.574219E-6 | 7.158545E-6 | 7.158545E-6 | 7.158545E-6 | 1.776000E+4 |
| 3.051758E+0 | 6.909180E-2 | 4.072754E-2 | 1.070508E-2 | 2.899170E-2 | 3.903678E+1 | -2.292215E-4 | -3.527344E-6 | 8.333042E-5 | 8.333042E-5 | 8.333042E-5 | 1.776200E+4 |
| 0.000000E+0 | 9.960937E-2 | 1.170215E-1 | 7.174023E-2 | 2.746582E-2 | 3.903678E+1 | -1.637918E-4 | -2.989453E-5 | 4.817417E-5 | 4.817417E-5 | 4.817417E-5 | 1.776500E+4 |
| 0.000000E+0 | 8.435059E-2 | 4.072754E-2 | -9.610645E-2 | 2.868652E-2 | 3.903678E+1 | -2.507059E-4 | -6.455239E-6 | -4.655239E-6 | -4.655239E-6 | -4.655239E-6 | 1.777000E+4 |
| -6.103516E-1 | 5.383301E-2 | 7.124512E-2 | -6.558887E-2 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -1.310770E-4 | -1.307422E-5 | 1.790073E-5 | 1.790073E-5 | 1.790073E-5 | 1.779000E+4 |
| 6.103516E-1 | 1.606445E-1 | 1.170215E-1 | -6.558887E-2 | 2.899170E-2 | 3.902902E+1 | -1.916238E-4 | -5.626172E-5 | 3.010776E-5 | 3.010776E-5 | 3.010776E-5 | 1.778200E+4 |
| -1.220703E+0 | 1.606445E-1 | 1.933154E-1 | 7.174023E-2 | 2.746582E-2 | 3.905231E+1 | -2.026980E-4 | -4.992187E-6 | 8.479376E-5 | 8.479376E-5 | 8.479376E-5 | 1.778500E+4 |
| 6.103516E-1 | 9.960937E-2 | 1.170215E-1 | 2.596387E-2 | 2.807617E-2 | 3.903678E+1 | -1.818382E-4 | -1.329297E-5 | 6.233435E-5 | 6.233435E-5 | 6.233435E-5 | 1.779600E+4 |
| -1.831055E+0 | 2.216797E-1 | 2.238330E-1 | 7.174023E-2 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -2.258035E-4 | -1.768750E-5 | -5.338833E-5 | -5.338833E-5 | -5.338833E-5 | 1.779900E+4 |
| 0.000000E+0 | 5.383301E-2 | 4.072754E-2 | -3.507129E-2 | 2.868652E-2 | 3.902902E+1 | -3.122293E-4 | -5.480469E-6 | 2.371390E-4 | 2.371390E-4 | 2.371390E-4 | 1.780100E+4 |
| 0.000000E+0 | 1.911621E-1 | 1.780566E-1 | 7.174023E-2 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -1.852762E-4 | -5.772656E-5 | -7.536099E-5 | -7.536099E-5 | -7.536099E-5 | 1.781600E+4 |
| 0.000000E+0 | 8.435059E-2 | 7.124512E-2 | -1.981250E-2 | 2.868652E-2 | 3.904455E+1 | -2.941639E-4 | -1.426953E-5 | 1.355755E-4 | 1.355755E-4 | 1.355755E-4 | 1.781800E+4 |
| 1.220703E+0 | 3.31543E-2 | -3.596641E-2 | -1.266240E-1 | 2.899170E-2 | 3.903678E+1 | -1.393777E-4 | -4.773438E-6 | 4.320131E-5 | 4.320131E-5 | 4.320131E-5 | 1.782100E+4 |
| 6.103516E-1 | 5.383301E-2 | 1.020996E-2 | -6.558887E-2 | 2.868652E-2 | 3.903678E+1 | -2.116434E-4 | -3.282422E-5 | -9.391567E-5 | -9.391567E-5 | -9.391567E-5 | 1.782300E+4 |
| 1.220703E+0 | 2.331543E-2 | 1.017627E-1 | 4.122266E-2 | 2.777100E-2 | 3.903678E+1 | -2.990457E-4 | -1.182812E-5 | 1.355755E-4 | 1.355755E-4 | 1.355755E-4 | 1.783600E+4 |
| 1.220703E+0 | 8.435059E-2 | 1.170215E-1 | 7.174023E-2 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -1.340066E-4 | -3.265622E-5 | 5.208042E-5 | 5.208042E-5 | 5.208042E-5 | 1.783700E+4 |
| 1.831055E+0 | -3.771973E-2 | -5.048828E-3 | -1.113652E-1 | 2.838135E-2 | 3.905231E+1 | -2.458230E-4 | -1.502734E-5 | -6.120083E-5 | -6.120083E-5 | -6.120083E-5 | 1.784000E+4 |
| 6.103516E-1 | 1.148682E-1 | 2.546875E-2 | -1.113652E-1 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -3.063699E-4 | -7.433594E-6 | 1.892875E-4 | 1.892875E-4 | 1.892875E-4 | 1.784200E+4 |
| 6.103516E-1 | 1.148682E-1 | 1.017627E-1 | 7.174023E-2 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -1.258934E-5 | -1.258934E-5 | 1.784500E+4 | 1.784500E+4 | 1.784500E+4 | 1.784500E+4 |
| -6.103516E-1 | 2.216797E-1 | 1.475391E-1 | -3.507129E-2 | 2.807617E-2 | 3.905231E+1 | -1.984598E-4 | -5.976562E-6 | -1.129586E-4 | -1.129586E-4 | -1.129586E-4 | 1.785700E+4 |
| 6.103516E-1 | 1.453857E-1 | 1.933154E-1 | 1.022578E-1 | 2.929687E-2 | 3.902902E+1 | -2.653343E-4 | -9.386719E-6 | 9.211948E-5 | 9.211948E-5 | 9.211948E-5 | 1.786000E+4 |
| 1.220703E+0 | 6.909180E-2 | 5.598633E-2 | -1.981250E-2 | 2.807617E-2 | 3.903678E+1 | -1.486551E-4 | -2.647656E-5 | 4.622104E-5 | 4.622104E-5 | 4.622104E-5 | 1.786200E+4 |
| 0.000000E+0 | 1.301270E-1 | 1.017627E-1 | -4.533711E-3 | 2.929687E-2 | 3.903678E+1 | -2.301980E-4 | -1.307422E-5 | -5.241177E-5 | -5.241177E-5 | -5.241177E-5 | 1.786500E+4 |
| 2.441406E+0 | 3.857422E-2 | 4.072754E-2 | -1.981250E-2 | 2.807617E-2 | 3.903678E+1 | -2.712137E-4 | -5.480469E-6 | 1.795218E-5 | 1.795218E-5 | 1.795218E-5 | 1.787000E+4 |
| -6.103516E-1 | 1.453857E-1 | 1.780566E-1 | 4.122266E-2 | 2.838135E-2 | 3.902902E+1 | -1.799051E-4 | -5.772656E-5 | 4.670933E-5 | 4.670933E-5 | 4.670933E-5 | 1.787900E+4 |
| 0.000000E+0 | 3.857422E-2 | 4.072754E-2 | -1.981250E-2 | 2.899170E-2 | 3.902902E+1 | -2.736531E-4 | -1.258934E-5 | 5.549893E-5 | 5.549893E-5 | 5.549893E-5 | 1.788100E+4 |
| 1.220703E+0 | 5.383301E-2 | 1.020996E-2 | -5.033008E-2 | 2.838135E-2 | 3.903678E+1 | -2.043191E-4 | -1.915234E-5 | 1.318202E-5 | 1.318202E-5 | 1.318202E-5 | 1.788400E+4 |
| -6.103516E-1 | 1.301270E-1 | 1.017627E-1 | 1.070508E-2 | 2.777100E-2 | 3.903678E+1 | -1.510965E-4 | -1.574219E-6 | 4.963901E-5 | 4.963901E-5 | 4.963901E-5 | 1.788600E+4 |
| 0.000000E+0 | 5.383301E-2 | 7.124512E-2 | 5.648145E-2 | 2.807617E-2 | 3.903678E+1 | -2.702371E-4 | 9.167969E-6 | -9.635708E-5 | -9.635708E-5 | -9.635708E-5 | 1.789000E+4 |
| 2.441406E+0 | 3.857422E-2 | 2.546875E-2 | -1.981250E-2 | 2.960205E-2 | 3.903678E+1 | -2.238304E-4 | 6.726536E-6 | 6.135776E-5 | 6.135776E-5 | 6.135776E-5 | 1.790100E+4 |
| 6.103516E-1 | 9.960937E-2 | 1.020996E-2 | -1.113652E-1 | 2.868652E-2 | 3.903678E+1 | -2.283904E-4 | -4.942578E-5 | 4.573276E-5 | 4.573276E-5 | 4.573276E-5 | 1.790300E+4 |
| 0.000000E+0 | 1.148682E-1 | 1.475391E-1 | 5.648145E-2 | 2.868652E-2 | 3.902902E+1 | -2.565652E-4 | -1.453906E-5 | -8.366177E-5 | -8.366177E-5 | -8.366177E-5 | 1.790500E+4 |
| 4.272461E+0 | -7.202148E-3 | -5.048828E-3 | -1.981250E-2 | 2.868652E-2 | 3.902125E+1 | -2.326395E-4 | -1.133984E-5 | 1.922171E-4 | 1.922171E-4 | 1.922171E-4 | 1.791800E+4 |
| -6.103516E-1 | 3.857422E-2 | 1.020996E-2 | -9.610645E-2 | 2.746582E-2 | 3.904455E+1 | -1.979715E-4 | -4.844922E-5 | 3.596714E-5 | 3.596714E-5 | 3.596714E-5 | 1.792000E+4 |
| 1.220703E+0 | 5.383301E-2 | 8.650391E-2 | -1.981250E-2 | 2.807617E-2 | 3.902902E+1 | -2.961160E-4 | -3.796875E-6 | 1.365531E-4 | 1.365531E-4 | 1.365531E-4 | 1.792200E+4 |
| -6.103516E-1 | 1.148682E-1 | 1.322803E-1 | -5.033008E-2 | 2.777100E-2 | 3.903678E+1 | -1.676980E-4 | -1.182812E-5 | 4.817417E-5 | 4.817417E-5 | 4.817417E-5 | 1.792400E+4 |
| 0.000000E+0 | 3.857422E-2 | 2.546875E-2 | -4.533711E-3 | 2.899170E-2 | 3.904455E+1 | -1.662332E-4 | -2.891797E-5 | 4.138236E-5 | 4.138236E-5 | 4.138236E-5 | 1.792700E+4 |
| 0.000000E+0 | 1.606445E-1 | 1.475391E-1 | 8.699902E-2 | 2.746582E-2 | 3.904455E+1 | -2.966043E-4 | -3.789063E-7 | -3.434336E-5 | -3.434336E-5 | -3.434336E-5 | 1.793900E+4 |
| -6.103516E-1 | 8.435059E-2 | 8.650391E-2 | 4.122266E-2 | 2.868652E-2 | 3.902902E+1 | -1.886941E-4 | -1.280469E-5 | 3.938511E-5 | 3.938511E-5 | 3.938511E-5 | 1.794100E+4 |
| 1.220703E+0 | 1.301270E-1 | 1.017627E-1 | 1.070508E-2 | 2.900733E-2 | 3.902902E+1 | -1.803934E-4 | -5.821484E-5 | 3.010776E-5 | 3.010776E-5 | 3.010776E-5 | 1.794400E+4 |
| 0.000000E+0 | 5.383301E-2 | -5.048828E-3 | -8.084766E-2 | 2.807617E-2 | 3.904455E+1 | -3.176004E-4 | -9.386719E-6 | 6.184604E-5 | 6.184604E-5 | 6.184604E-5 | 1.794700E+4 |
| -6.103516E-1 | 1.606445E-1 | 1.322803E-1 | 4.122266E-2 | 2.868652E-2 | 3.902902E+1 | -1.989480E-4 | -1.133984E-5 | 1.136039E-4 | 1.136039E-4 | 1.136039E-4 | 1.795900E+4 |
| -1.220703E+0 | 1.148682E-1 | 1.017627E-1 | -5.033008E-2 | 2.899170E-2 | 3.903678E+1 | -2.873270E-4 | -1.574219E-6 | 2.083304E-4 | 2.083304E-4 | 2.083304E-4 | 1.796400E+4 |
| -6.103516E-1 | 1.148682E-1 | 1.017627E-1 | 1.022578E-1 | 2.868652E-2 | 3.903678E+1 | -1.471902E-4 | -3.796875E-6 | 4.228857E-6 | 4.228857E-6 | 4.228857E-6 | 1.796700E+4 |
| 6.103516E-1 | 3.857422E-2 | 8.650391E-2 | 1.070508E-2 | 2.838135E-2 | 3.902902E+1 | -2.121316E-4 | -3.673047E-5 | -9.049771E-5 | -9.049771E-5 | -9.049771E-5 | 1.798000E+4 |
| -6.103516E-1 | 1.606445E-1 | 5.598633E-2 | -6.558887E-2 | 2.900733E-2 | 3.902902E+1 | -1.584207E-4 | -5.480469E-6 | 2.766636E-5 | 2.766636E-5 | 2.766636E-5 | 1.798200E+4 |
| 0.000000E+0 | 8.435059E-2 | 4.072754E-2 | -1.981250E-2 | 2.868652E-2 | 3.902125E+1 | -2.033426E-4 | -4.551953E-5 | -1.432583E-5 | -1.432583E-5 | -1.432583E-5 | 1.798500E+4 |
| 1.220703E+0 | 1.301270E-1 | 1.627979E-1 | 1.022578E-1 | 2.868652E-2 | 3.903678E+1 | -3.053934E-4 | -5.968750E-6 | 1.438773E-4 | 1.438773E-4 | 1.438773E-4 | 1.798800E+4 |
| 2.441406E+0 | 8.056641E-3 | 4.072754E-2 | -1.266240E-1 | 2.868652E-2 | 3.902902E+1 | -1.637918E-4 | -7.433594E-6 | 6.965835E-5 | 6.965835E-5 | 6.965835E-5 | 1.800200E+4 |
| -6.103516E-1 | 1.453857E-1 | 2.085742E-1 | 1.327754E-1 | 2.899170E-2 | 3.902902E+1 | -3.132059E-4 | -3.527344E-6 | 1.414359E-4 | 1.414359E-4 | 1.414359E-4 | 1.800300E+4 |
| 1.220703E+0 | 5.383301E-2 | 5.598633E-2 | -5.033008E-2 | 2.868652E-2 | 3.902902E+1 | -1.730691E-4 | -7.433594E-6 | 8.108887E-7 | 8.108887E-7 | 8.108887E-7 | 1.800600E+4 |
| 1.220703E+0 | 3.857422E-2 | 1.017627E-1 | 8.699902E-2 | 2.838135E-2 | 3.904455E+1 | -1.926004E-4 | -5. | | | | |

7. Vorabmessungen

Fertigung, Aufbau und Inbetriebnahme des Lagerprüfstandes, sowie die Durchführung der Messungen wurden in der Zentralwerkstätte des *Institutes für Fertigungstechnik* getätigt. Da der Systemdruck der Druckluftversorgung der Werkstätte *6bar* beträgt, konnten die Messungen bis $2/3$ des Prüfstands-Auslegungsdruckes durchgeführt werden. Fallweise kam es zu elektromagnetischen Störungen, hervorgerufen durch das in der Werkstätte befindliche Fräsbearbeitungszentrum, welche sich durch ein Rauschen auf manchen Messsignalen zeigen.

7.1. Messaufbau

Abbildung 7.1 zeigt das Blockschaltbild der Messelektronik. Es beinhaltet sämtliche am Prüfstand befindlichen Sensoren. Die *Heidenhain* Wegsensoren dienen zur Messung der Lagerpalte der Lagertaschen eins bis drei. Ihre Auswertung erfolgt mit der zugehörigen Messkarte *Ik220*. Alle übrigen Sensorsignale werden in der Messbox gesammelt. In dieser werden die Messsignale jener Sensoren, welche über eine Stromschnittstelle verfügen, mittel Messwiderstand auf ein dementsprechendes Spannungssignal umgewandelt. Über eine analoge Eingangs-Ausgangskarte (National Instruments BNC2110) werden anschließend die Spannungssignale dem Rechnersystem zugeführt.

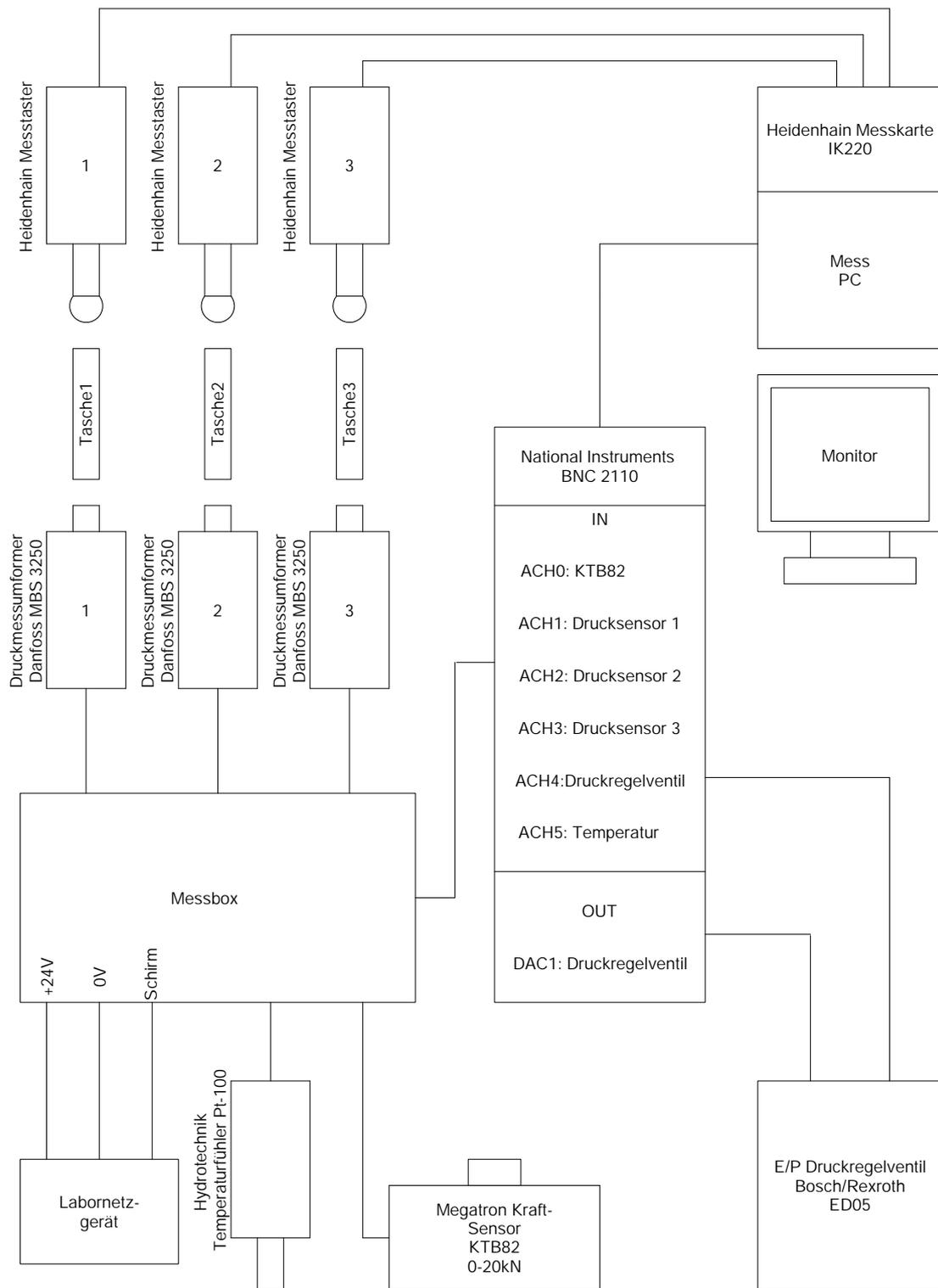


Abbildung 7.1 – Messaufbau Blockschaltbild

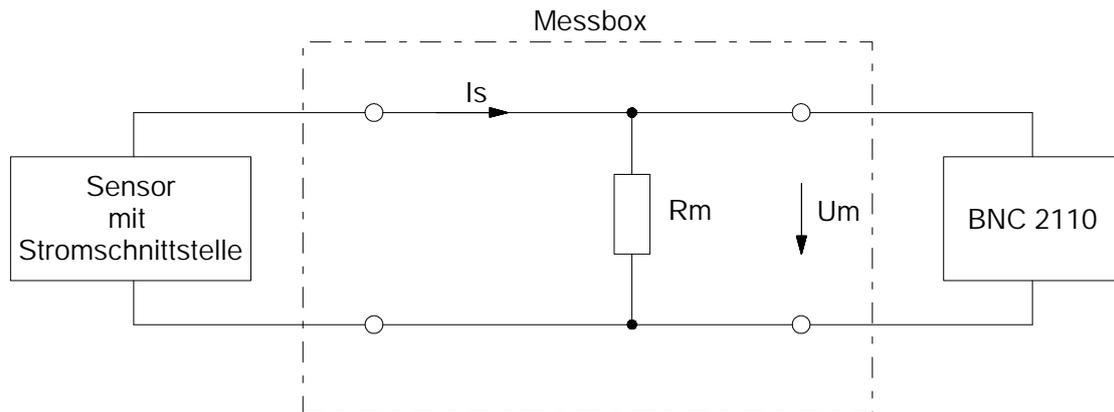


Abbildung 7.2 – Messwiderstand

Abbildung 7.2 zeigt einen Kanal zur Umwandlung eines Stromsignals in ein Spannungssignal mittels Messwiderstand R_m . Grundlage hierfür ist das *Ohm'sche* Gesetz (siehe Gleichung 7.1).

$$U_m = R_m \cdot I_s \quad (7.1)$$

In Tabelle 7.1 sind die Messbereiche sowie die zugehörigen Messwiderstände jener Sensoren zusammengefasst, welche mit einer Stromschnittstelle ausgestattet sind.

Die Prüfstandselektronik wurde so ausgelegt, dass alle elektrischen Verbraucher mit einer Spannung von $24V$ versorgt werden. Durch den hohen Strombedarf der Schaltventile am Hydraulikaggregat werden diese mit einem gesonderten Netzgerät mit einer Spannung von $24V$ und einer Stromstärke von bis zu $3A$ versorgt. Die Spannungsversorgung des *E/P Druckregelventiles* sollte wegen elektromagnetischer Störungen nicht über die Messbox erfolgen.

Tabelle 7.1 – Messwiderstandswerte

| Sensor | Bezeichnung | Messbereich | I_m | U_m | R_m |
|------------|----------------|----------------------|--------------|-----------|------------------|
| Druck | <i>MBS3250</i> | $0 - 100bar(600bar)$ | $4 - 6.67mA$ | $3 - 5V$ | 750Ω 0.1% |
| Temperatur | <i>PT100</i> | $-50 - +200^\circ C$ | $0 - 20mA$ | $0 - 10V$ | 500Ω 0.1% |

7.2. Ermittlung von Dichte und Viskosität

Um die tatsächlichen Parameter des verwendeten Öls zu erhalten, wurden diese durch Messung ermittelt. Die wichtigsten Werte hierbei sind die Dichte $\rho_{\text{Öl}}$ und die dynamische Viskosität $\eta_{\text{Öl}}$. Die Messungen wurden im Hydrauliklabor des Institutes durchgeführt. Eine Ölprobe zur Durchführung der Messungen wurde aus dem verwendeten Hydraulikaggregat entnommen.

7.2.1. Dichte

Die Dichte $\rho_{\text{Öl}}$ wurde mit einem *Aräometer* ermittelt. Das zu messende Öl wird dabei in ein schmales, hohes Glasgefäß gefüllt und über ein Wasserbad auf die gewünschte Messtemperatur erwärmt.



Abbildung 7.3 – Messung der Dichte

Abbildung 7.3 zeigt den Messaufbau zur Durchführung der Dichtemessung. Die Öltemperatur wurde mit einem digitalen Temperaturmessgerät gemessen. Bei Erreichen der gewünschten Temperatur wird der Wert der Dichte an der Skala des Aräometers an der Oberfläche des Öls abgelesen. Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 7.2 zusammengefasst. Der erste Messwert ist durch die Raumtemperatur mit $T = 23^{\circ}\text{C}$ vorgegeben. Die Änderung der Werte in diesem Temperaturbereich lässt erkennen, dass diese keinen wesentlichen Einfluss auf den Lagerspalt haben wird.

Tabelle 7.2 – Dichte des verwendeten Hydrauliköls

| Temperatur | Bezeichnung | Wert | Einheit |
|------------|--------------------|-------|----------|
| 23°C | $\rho_{\text{Öl}}$ | 0.870 | g/cm^3 |
| 40°C | $\rho_{\text{Öl}}$ | 0.860 | g/cm^3 |

7.2.2. Viskosität

Die dynamische Viskosität des Öls wurde mit einem Kugelfallviskosimeter *System Höppler* bestimmt. Hierbei wird die Fallzeit einer im Öl befindlichen Kugel gemessen. Das Öl befindet sich in einer Apparatur und wird über ein Wasserbad auf Temperatur gebracht (siehe Abbildungen 7.4 und 7.5). Für jeden Messpunkt werden zwei Wiederholungen durchgeführt. Anschließend werden die Werte gemittelt. Der Aufheizvorgang beträgt 15 Minuten für jeden Messpunkt. Mit dieser Zeit wird gewährleistet, dass das Öl die eingestellte Messtemperatur erreicht hat.

Sämtliche Werte und Berechnungsformeln entstammen dem Handbuch des Kugelfallviskosimeters. Verwendet wird Kugel Nummer 3. Sie hat einen Durchmesser von 15.611mm , eine Dichte ρ_k von 8.13g/cm^3 , und eine Kugelkonstante $k = 0.0806$. Die Dichte des Öls beträgt $\rho_{\text{Öl}} = 0.860\text{g/cm}^3$ bei einer Temperatur von 40°C . Aus diesen Werten errechnet sich die dynamische Viskosität nach Gleichung 7.2. Tabelle 7.3 enthält die Ergebnisse dieser Berechnung, welche in Abbildung 7.6 grafisch dargestellt sind.

Es zeigt sich, dass die tatsächliche dynamische Viskosität bei einer Prüfstandbetriebstemperatur von 40°C deutlich abweicht. Anstelle von $\eta = 42\text{mPas}$ (laut Datenblatt) hat das Öl eine Viskosität von $\eta = 35.15\text{mPas}$. Dies entspricht einer Abweichung von minus 16.3%.

$$\eta_{\text{Öl}} = t \cdot (\rho_k - \rho_{\text{Öl}}) \cdot k \quad (7.2)$$

**Abbildung 7.4** – Messaufbau Kugelfallviskosimeter



Abbildung 7.5 – Kugelfallviskosimeter

Tabelle 7.3 – dynamische Viskosität des verwendeten Hydrauliköls

| Temperatur | Fallzeit | dynamische Viskosität |
|-----------------|----------|-----------------------|
| $38.5^{\circ}C$ | 65s | 38.00mPas |
| $39.0^{\circ}C$ | 63s | 36.91mPas |
| $40.0^{\circ}C$ | 60s | 35.16mPas |
| $41.5^{\circ}C$ | 57s | 33.34mPas |
| $45.0^{\circ}C$ | 49s | 28.00mPas |

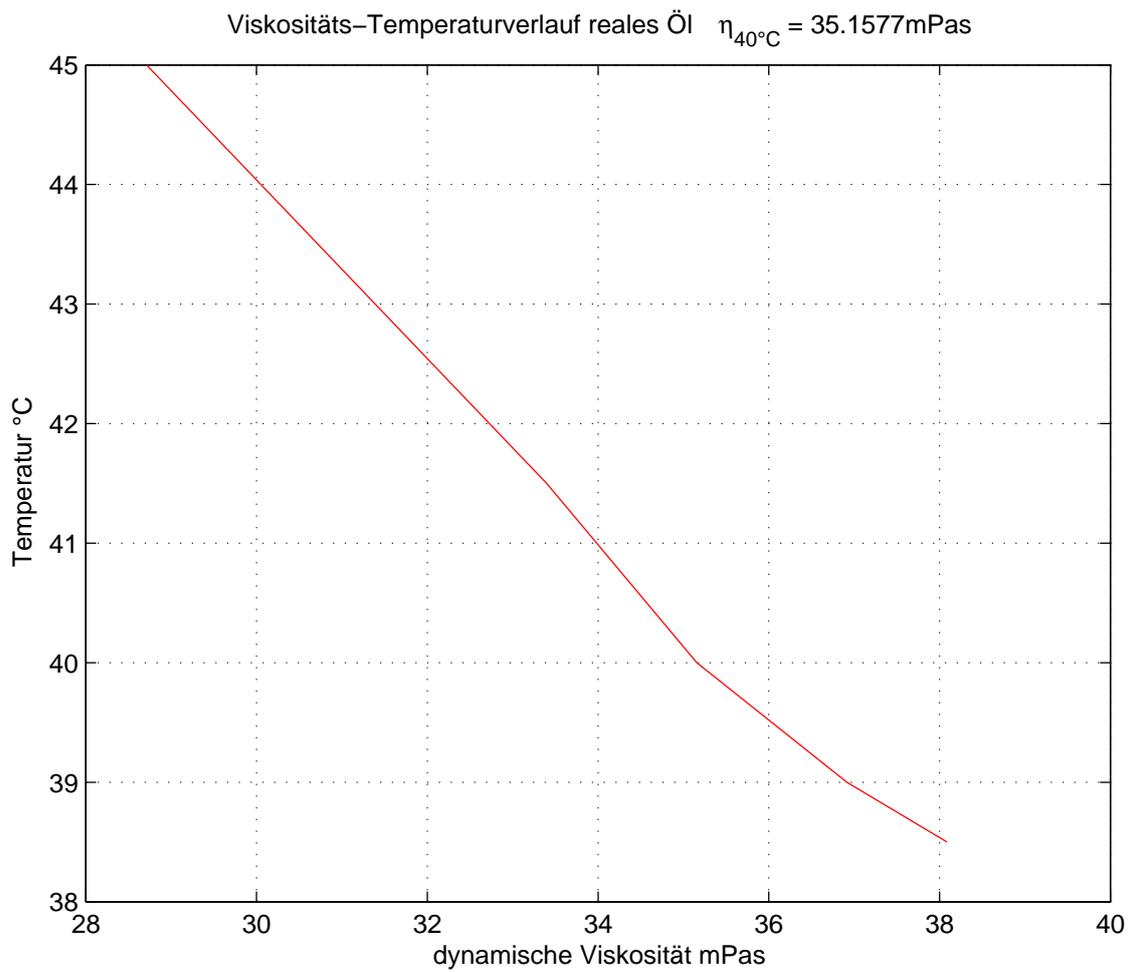


Abbildung 7.6 – Viskositätsverlauf

7.3. Ermittlung der Reglerkennlinien

Um Abweichungen der einzelnen Regler von der Sollkennlinie festzustellen, wurden diese gesondert vermessen. Abbildung 7.7 zeigt die Messanordnung.

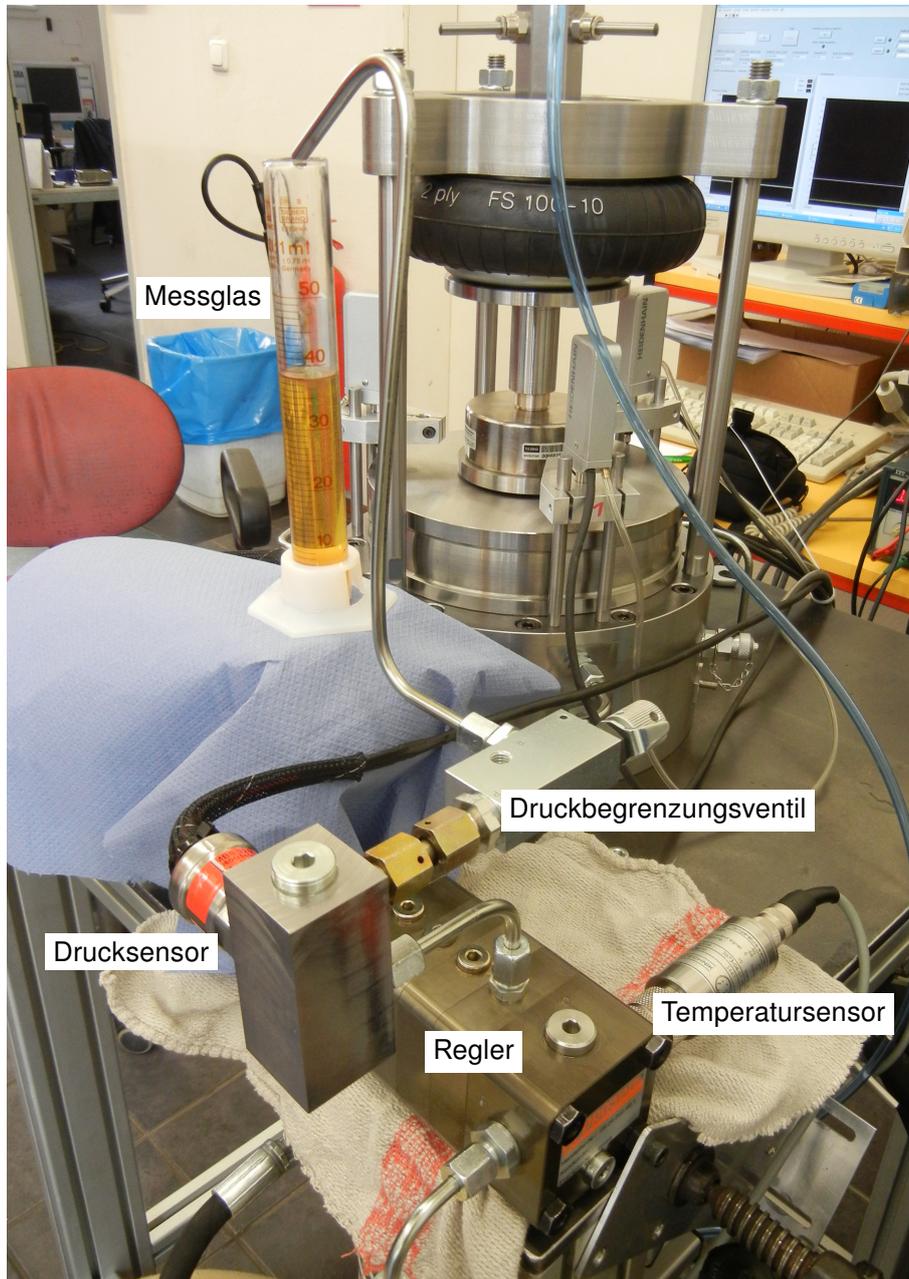


Abbildung 7.7 – Messaufbau Reglervermessung

Der Reglerblock wird, wie im normalen Betriebszustand, mit Hydrauliköl versorgt. Das Öl hat dabei eine Temperatur von 40°C . In der Anschlussplatte des Reglers wird die Öltemperatur gemessen. In Abbildung 7.7 ist Reglerplatte eins angeschlossen. Die übrigen drei sind mit Blindverschraubungen versehen. Auf diese Weise werden die Regler eins bis vier ein-

zeln vermessen. An dem zu messenden Regler ist ein Rohr angeschlossen, welches in einem Verteilerblock endet. In diesem Block befindet sich ein Drucksensor. Der Druck wird über das ebenfalls im Block befindliche Druckbegrenzungsventil für jeden Messpunkt eingestellt und geregelt. Am Tankanschluss des Druckbegrenzungsventils ist ein offenes Rohrende angebracht, durch welches das Öl in das darunter befindliche Messgefäß läuft. Das Messvolumen für jeden Punkt beträgt 50ml . Für die Ermittlung des Volumenstromes wurde die Zeit mittels Stoppuhr gemessen, welche benötigt wird um das Messvolumen aufzufüllen. In Abbildung 7.8 sind die tatsächlichen Volumenströme der Regler eingetragen. Die in der Abbildung schwarz dargestellte Linie ist die Sollkurve nach welcher die Regler bestellt wurden. Die durchgezogenen farbigen Linien sind die Reglerkurven bei einem Pumpenversorgungsdruck von $p_P = 100\text{bar}$ und die strichlierten Linien bei einem Pumpenversorgungsdruck von $p_P = 70\text{bar}$. Durch Variation des Versorgungsdruckes lassen sich die Reglerkennlinien in einem gewissen Bereich horizontal verschieben. Dabei ist zu beachten, dass der Druck den Wert $p_P = 0.9 * P_{T_{max}}$ nicht unterschreitet. Der maximal auftretende Taschendruck ist $p_{T_{max}}$. Im Falle dieses Prüfstandes beträgt dieser 63bar . Aus der Abbildung ist weiter ersichtlich, dass die Volumenstromkurven keinen linearen Verlauf aufweisen. Dies steht im Widerspruch zur Herstellerangabe. Eine Detailansicht dieser Nichtlinearität zeigt Abbildung 7.9. Erst ab einem Taschendruck von $p_T = 20\text{bar}$ sind die Kennlinien annähernd linear. Mit Ausnahme von Regler 3 (blaue Linie) befinden sich die Volumenstromkurven deutlich unter der Soll-Kennlinie. Dies bewirkt eine Verkleinerung des Lagerspaltes. Des Weiteren ist zu bemerken, dass bei einer Reduktion des Pumpendruckes auf 70% die Kurven deutlich vor den zulässigen Druckwerten abfallen.

In Tabelle 7.4 sind die Werte der maximalen Abweichungen sowie deren Mittelwerte angegeben. Zu beachten ist, dass sich die Maximalwerte auf einen Messpunkt beziehen, und die Mittelwerte auf den gesamten Messbereich.

Tabelle 7.4 – Maximal- und Mittelwerte der Abweichungen

| | | Regler 1 | Regler 2 |
|--------------|------------------------|------------------|-----------------|
| Volumenstrom | ΔQ | | |
| Maximalwert | cm^3/s | -0.0277(-15.99%) | -0.0085(-5.53%) |
| Mittelwert | cm^3/s | -0.0223(-11.51%) | -0.0050(-2.57%) |
| Spalthöhe | Δh | | |
| Maximalwert | μm | -1.96(-8.82%) | -1.36(-6.11%) |
| Mittelwert | μm | -1.47(-9.99%) | -1.01(-6.84%) |
| | | Regler 3 | Regler 4 |
| Volumenstrom | ΔQ | | |
| Maximalwert | cm^3/s | -0.0007(-0.44%) | -0.0104(-5.40%) |
| Mittelwert | cm^3/s | +0.0031(+1.62%) | -0.0049(-2.56%) |
| Spalthöhe | Δh | | |
| Maximalwert | μm | -1.06(-4.78%) | -1.23(-5.55%) |
| Mittelwert | μm | -0.80(-5.41%) | -1.00(-6.81%) |

Sämtliche Reglerkennlinienabweichungen bewirken im Schnitt eine Spalthöhenminderung von -5 bis -10% der Soll-Spalthöhe. Besonders ausgeprägt ist die Abweichung bei Regler eins (rote Linie), weshalb für die Messungen die Regler zwei, drei und vier herangezogen wurden.

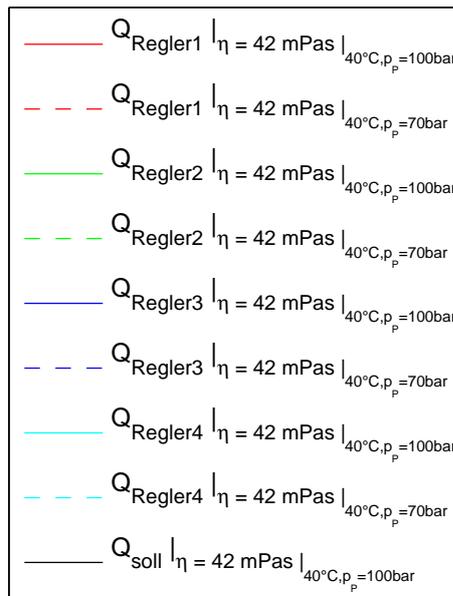
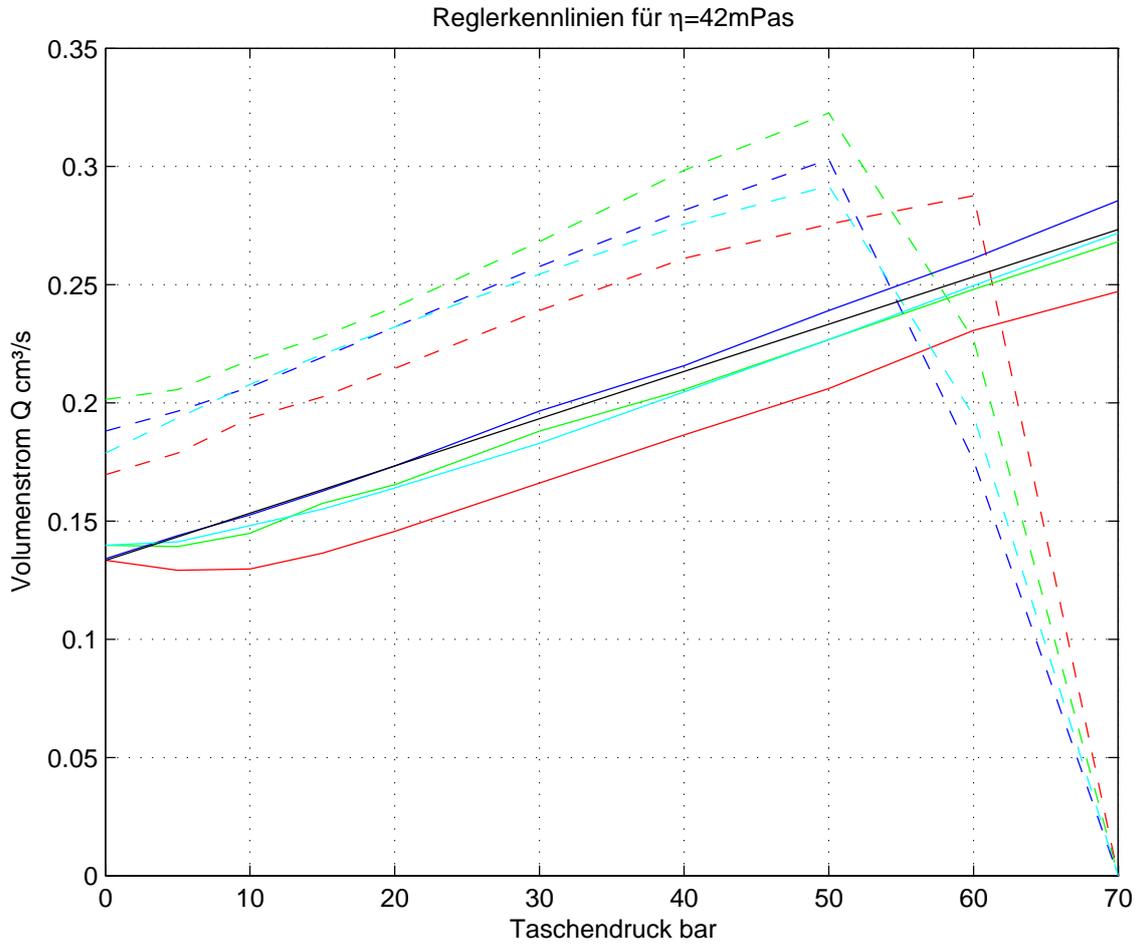


Abbildung 7.8 – Reglervolumenströme gemessen

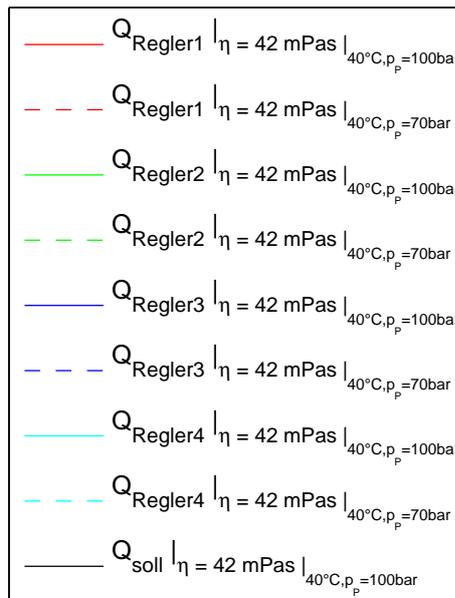
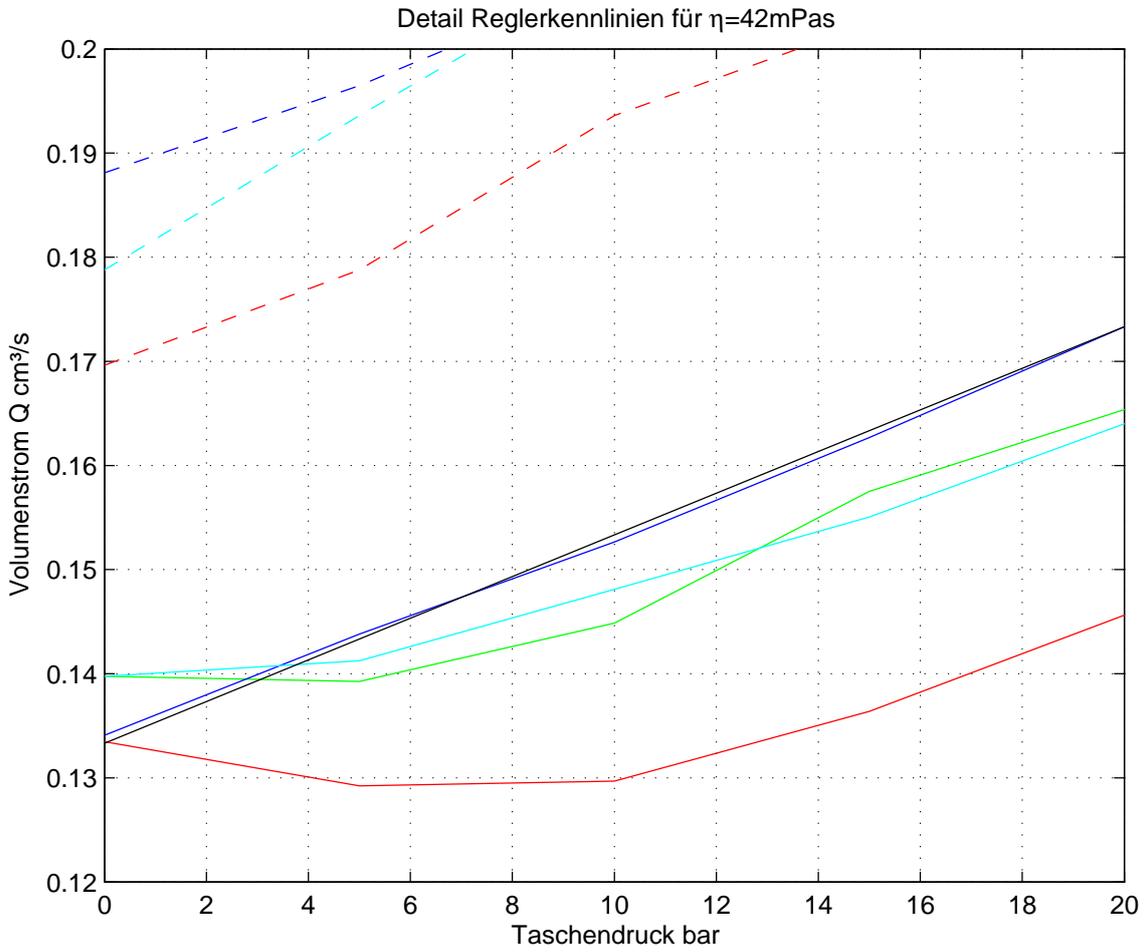


Abbildung 7.9 – Reglervolumenströme gemessen Detailansicht

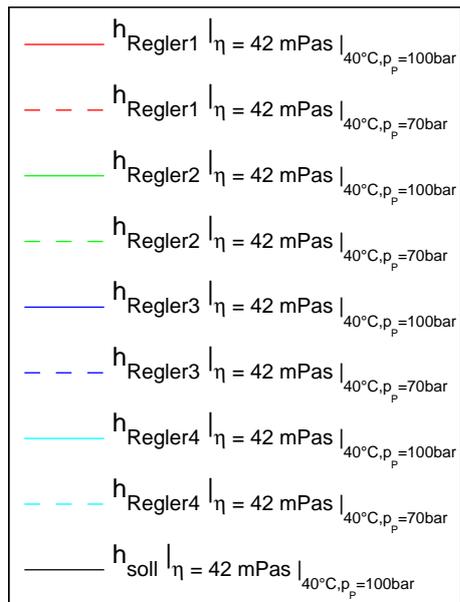
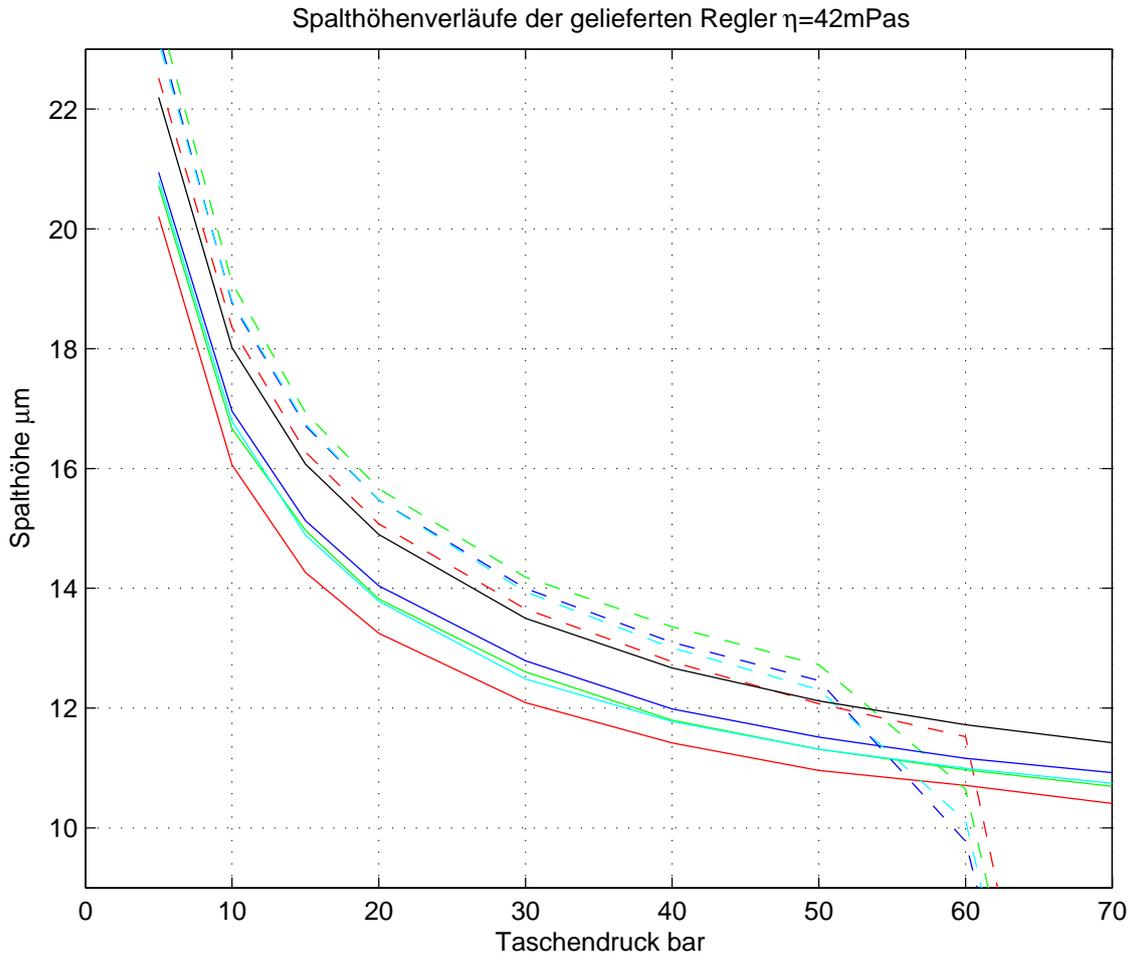


Abbildung 7.10 – Spalthöhenverläufe der gemessenen Regler

8. Prüfstandsmessungen

Die Messungen am Prüfstand wurden in zwei unterschiedlichen Varianten durchgeführt. Zum einen mit einem Progressivmengenregler der Firma *Hyprostatik Schönfeld GmbH*, zum anderen mit den in der Taschenscheibe eingebauten Blenden. Letztere wurden auf eine Lager-spalthöhe von $h = 60\mu\text{m}$ bei einem Pumpendruck von $p_P = 100\text{bar}$ eingestellt.

Tabelle 8.1 bietet einen Überblick über die gemessenen Parameter.

Tabelle 8.1 – Parameter der Messungen

| Bezeichnung | Kürzel | Einheit |
|---------------|-----------------|--------------------|
| Lagerspalte | h_1, h_2, h_3 | μm |
| Taschendrücke | p_1, p_2, p_3 | bar |
| Temperatur | T | $^{\circ}\text{C}$ |
| Belastung | F | kN |
| Messdauer | t | s |

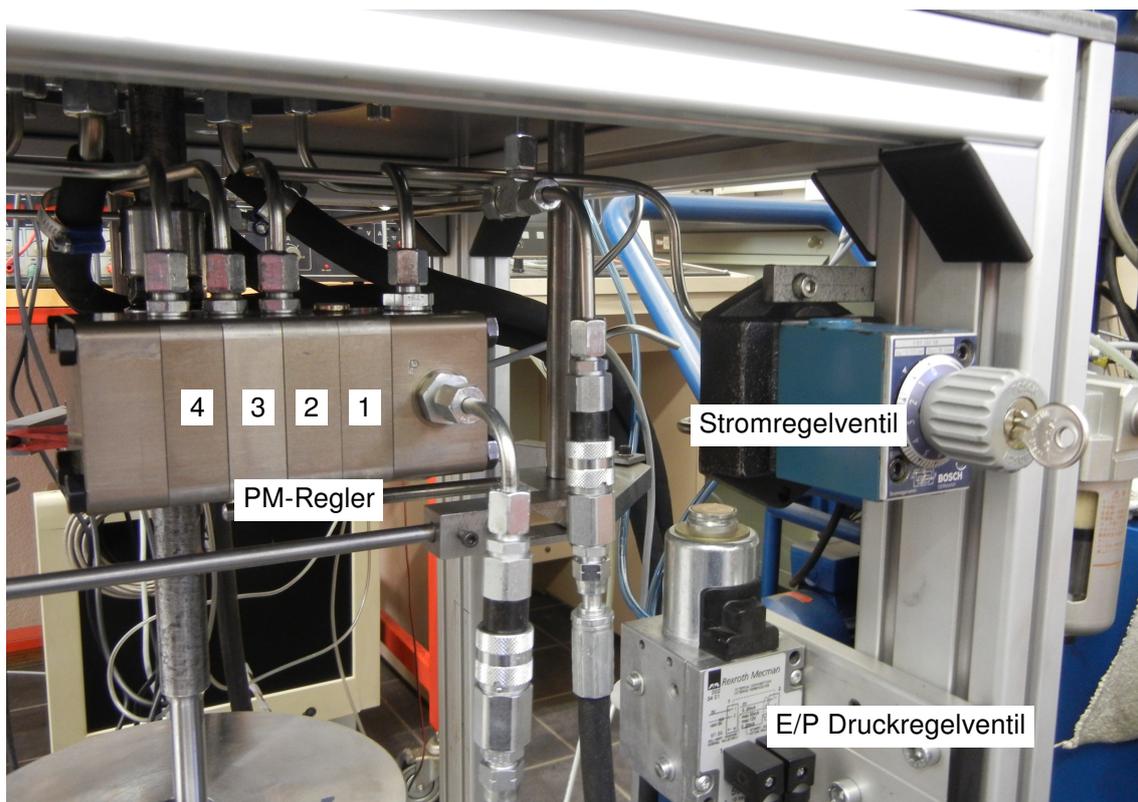


Abbildung 8.1 – Messaufbau für Reglerbetrieb

Abbildung 8.1 zeigt den Prüfstandsaufbau für Messungen im Reglerbetrieb. Die einzelnen Regler sind mit eins bis vier nummeriert.

Diese sind wie folgt angeschlossen:

Regler zwei → Lagertasche eins

Regler drei → Lagertasche zwei

Regler vier → Lagertasche drei

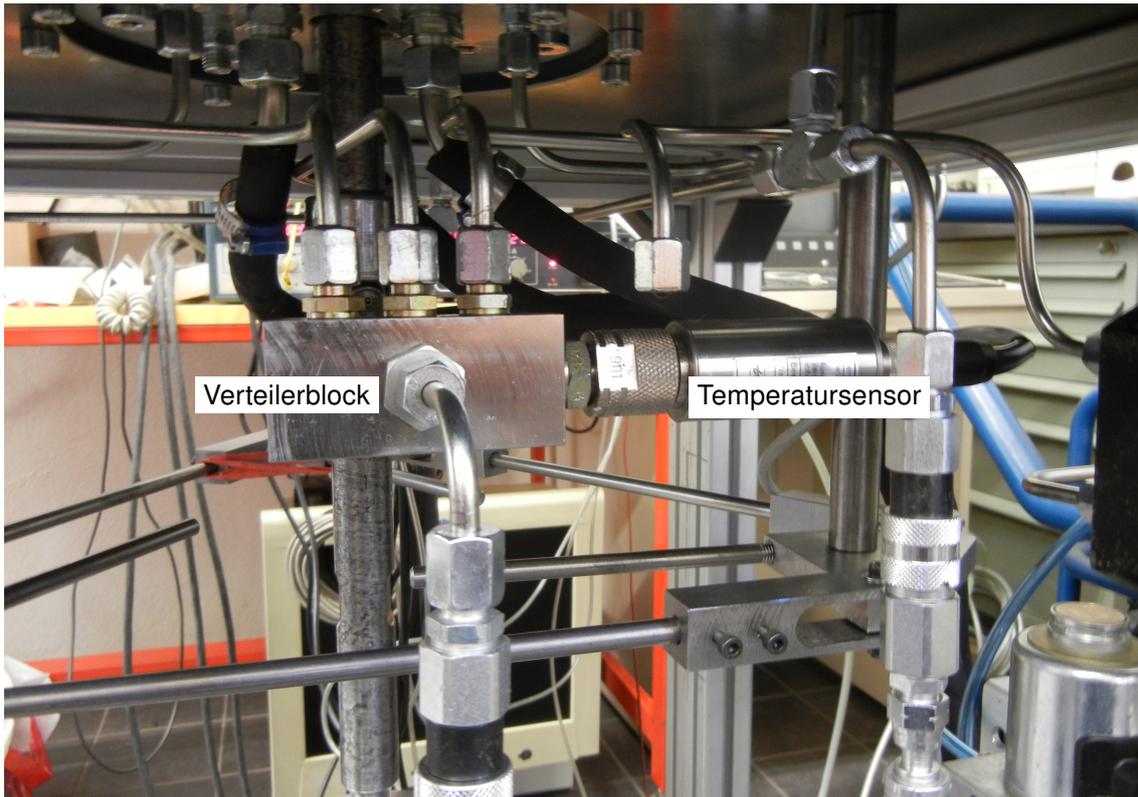


Abbildung 8.2 – Messaufbau für Blendenbetrieb

Der Messaufbau für Messungen im Blendenbetrieb ist in Abbildung 8.2 ersichtlich. Der Verteilerblock stellt die Verbindung für die Ölversorgung zu den einzelnen Lagertaschen her.

8.1. Warmlauf

Der Prüfstand ist für eine Betriebstemperatur von $T = 40^{\circ}\text{C}$ konzipiert. Um das Hydrauliköl und die mit diesem in Verbindung stehenden Komponenten auf Betriebstemperatur zu bringen, bedarf es einer gewissen Zeit. In diesem Kapitel wird der Erwärmungsvorgang von Umgebungstemperatur auf Betriebstemperatur behandelt. Dabei spielt auch die Wärmeausdehnung von Prüfstandskomponenten eine wichtige Rolle.

8.1.1. Warmlauf - PM-Regler

Die Erwärmung des Prüfstandes auf Betriebstemperatur dauert zirka 115min. Abbildung 8.3 ist zu entnehmen, dass sich mit Zunahme der Temperatur auch die Lagerspalte scheinbar erhöhen. Hauptgrund für diesen Vorgang ist die Wärmeausdehnung der Deckscheibe. Aus diesem Grund ist ein neuerlicher Abgleich der Messvorrichtungen nach Erreichen der Betriebstemperatur unerlässlich.

Beginn und Ende der Messung sind in Abbildung 8.4 und 8.5 detailliert angeführt. Die Differenz von Messpunkt zwei (Abbildung 8.5) und Messpunkt drei (Abbildung 8.4) ergibt die Zunahme der Lagerspalte und der Temperatur nach der Erwärmung (siehe Tabelle 8.2).

Tabelle 8.2 – Ergebnisse Warmlauf PM-Regler

| | | |
|--------------|-------------|-------|
| Δh_1 | μm | 16.63 |
| Δh_2 | μm | 16.34 |
| Δh_3 | μm | 19.18 |
| ΔT | $^{\circ}C$ | 14.28 |

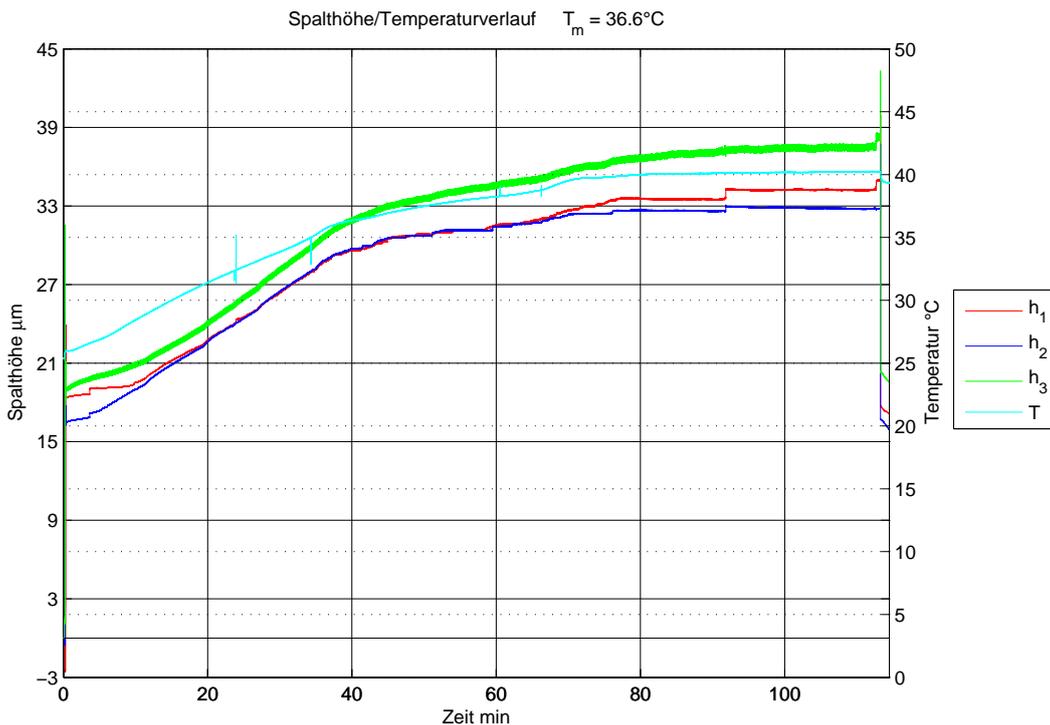


Abbildung 8.3 – Temperaturverlauf PM-Regler

Die Deckscheibe hat eine Dicke von $h_0 = 92mm$. Berechnet man die Ausdehnung der Deckscheibe mit einem $\Delta T = 14.28^{\circ}C$ und einem Wärmeausdehnungskoeffizienten für Stahl mit $\alpha_{Stahl} = 13 * 10^{-6}K^{-1}$, dann erhält man mit Gleichung 8.1 ein $\Delta h = 17.07\mu m$. Vergleicht man diesen Wert mit den gemessenen Spalthöhenänderungen, ist zu erkennen, dass es sich

hierbei hauptsächlich um die Wärmeausdehnung der Deckscheibe handelt.

$$\Delta h = h_0 \cdot (1 + \alpha_{Stahl} \cdot \Delta T) - h_0 \tag{8.1}$$

Um den Einfluss der Wärmeausdehnung zu umgehen, sollte nach Erreichen der Betriebstemperatur immer ein neuer Abgleich der Messeinrichtung getätigt werden. Nachfolgende Messungen sollten immer bei konstanter Betriebstemperatur durchgeführt werden. Um den Einfluss der Wärmeausdehnung zu umgehen, müsste der Lagerspalt direkt gemessen werden. Dies würde einen Umstieg auf ein anderes Messsystem erfordern, was jedoch aus Kostengründen im Rahmen dieser Arbeit nicht gemacht werden konnte.

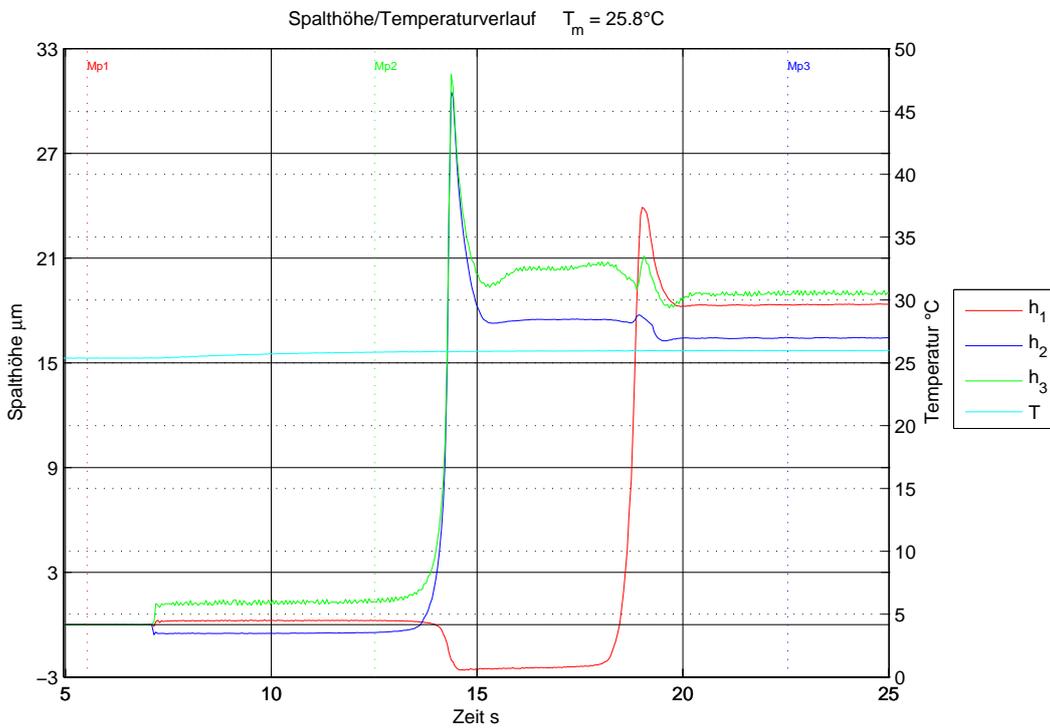


Abbildung 8.4 – Beginn Warmverlauf PM-Regler (Einschaltvorgang)

Messpunkt 3 siehe Abbildung 8.4

| | | | | | |
|-------|---------|-------------------|-------|-------------|-------------------|
| h_1 | μm | $1.830468e + 001$ | p_1 | bar | $4.692505e + 000$ |
| h_2 | μm | $1.643603e + 001$ | p_2 | bar | $5.076128e + 000$ |
| h_3 | μm | $1.894043e + 001$ | p_3 | bar | $5.000329e + 000$ |
| F | kN | $1.200610e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $2.596780e + 001$ |
| t | s | $2.255100e + 001$ | | | |

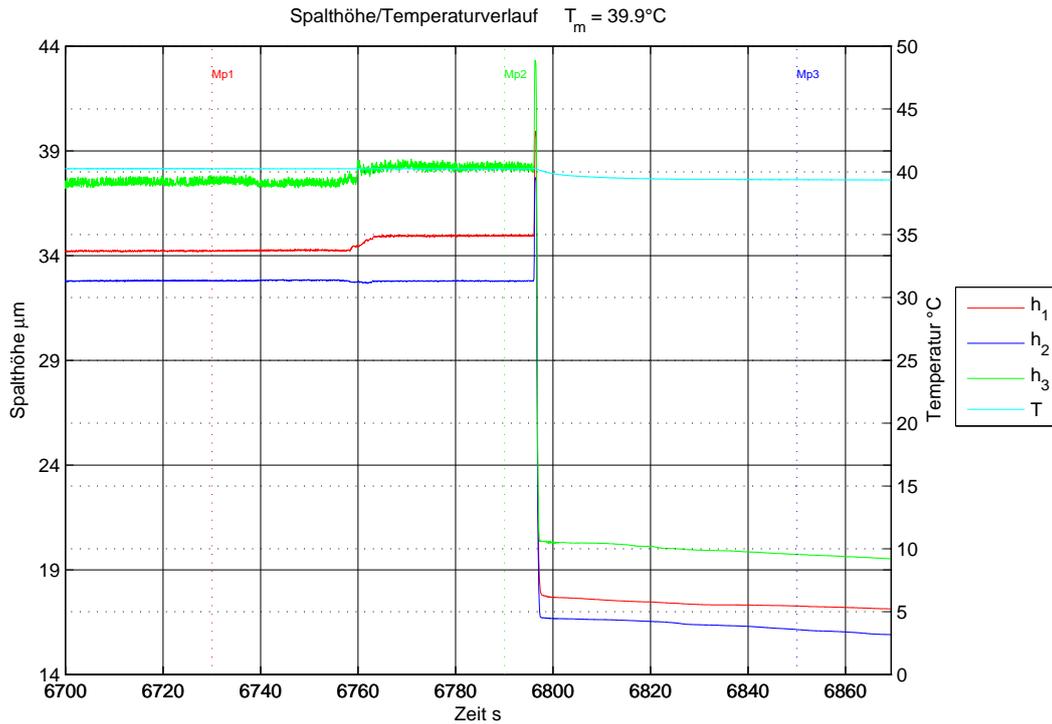


Abbildung 8.5 – Ende Warmverlauf PM-Regler (Abschaltvorgang)

Messpunkt 2 siehe Abbildung 8.5

| | | | | | |
|-------|---------------|-------------------|-------|------------------|-------------------|
| h_1 | μm | $3.493847e + 001$ | p_1 | bar | $4.280518e + 000$ |
| h_2 | μm | $3.277832e + 001$ | p_2 | bar | $4.633623e + 000$ |
| h_3 | μm | $3.812159e + 001$ | p_3 | bar | $4.451013e + 000$ |
| F | kN | $1.200610e + 000$ | T | $^\circ\text{C}$ | $4.024040e + 001$ |
| t | s | $6.790025e + 003$ | | | |

8.1.2. Warmlauf - Blende

Beim Warmlauf im Blendenbetrieb wurde auf die gleiche Weise vorgegangen wie beim Reglerbetrieb. Die Öltemperatur erreicht bereits nach zirka 30min die Betriebstemperatur. Damit alle Komponenten die Betriebstemperatur erreichen sind zirka 60min Aufwärmzeit erforderlich. Der Verlauf des Aufheizvorganges ist in Abbildung 8.6 dargestellt. Detaildarstellungen von Beginn und Ende der Messung sind den Abbildungen 8.7 und 8.8 zu entnehmen.

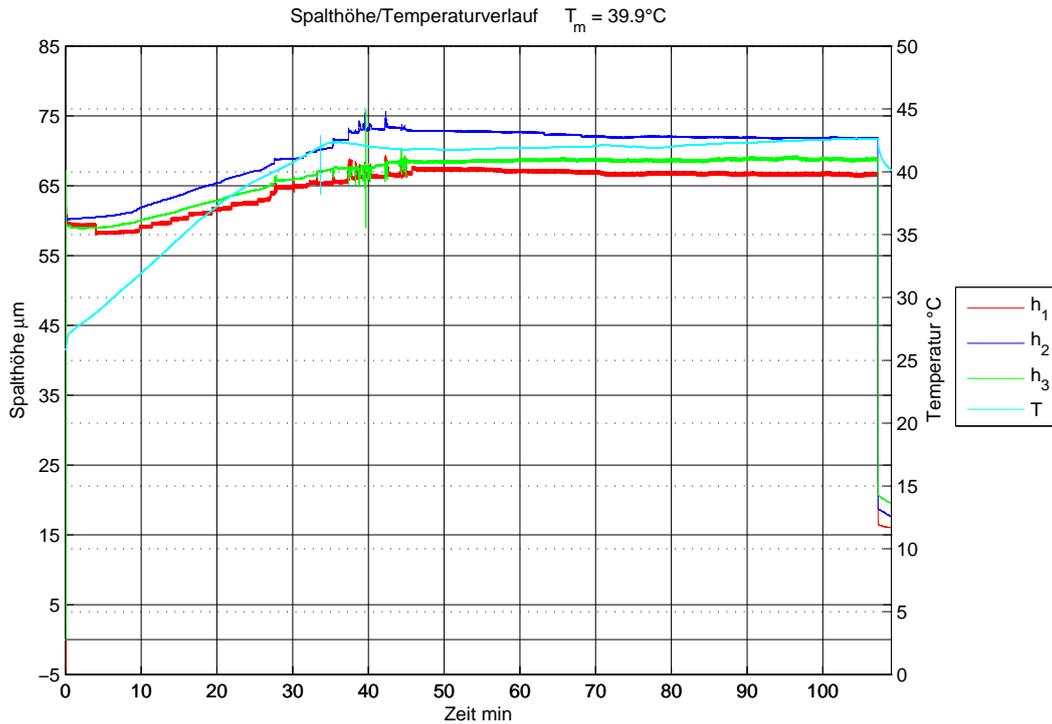


Abbildung 8.6 – Temperaturverlauf Blende

Zu Beginn der Messung sind die Spalthöhen h_1 bis h_3 auf $60\mu m$ eingestellt. Die Spalthöhenänderung durch die Erwärmung errechnet sich aus der Differenz von Messpunkt eins in Abbildung 8.8 und Messpunkt zwei in Abbildung 8.7 (siehe Tabelle 8.3).

Tabelle 8.3 – Ergebnisse Warmlauf Blende

| | | |
|--------------|-------------|-------|
| Δh_1 | μm | 6.03 |
| Δh_2 | μm | 11.22 |
| Δh_3 | μm | 9.18 |
| ΔT | $^{\circ}C$ | 16.44 |

Die erhaltenen Spalthöhenabweichungen sind geringer als im Reglerbetrieb. Grund dafür ist die Abnahme der dynamischen Viskosität des Hydrauliköls. Bei einer Erwärmung des Öls von $20^{\circ}C$ auf $40^{\circ}C$ halbiert sich diese annähernd. Da der Blendenspalt konstant ist und keine Regelfunktion besitzt, reduziert sich die Lagerspalthöhe aufgrund eines zu geringen Ölvolu-menstromes bei Viskositätsabnahme. Betrachtet man Messpunkt 2 in Abbildung 8.8, so erhält man nach Abschaltung des Pumpendruckes die tatsächlichen, durch die Wärmeausdehnung hervorgerufenen Abweichungen (siehe Tabelle 8.4). Diese Werte entsprechen wieder der Wärmeausdehnung der Deckscheibe.

Ebenso wie im Reglerbetrieb ist im Blendenbetrieb ein erneuter Abgleich der Messeinrichtung nach Erreichen der Betriebstemperatur erforderlich.

Tabelle 8.4 – Abweichungen Warmlauf Blende

| | | |
|--------------|-------------|-------|
| Δh_1 | μm | 16.05 |
| Δh_2 | μm | 17.69 |
| Δh_3 | μm | 19.64 |
| ΔT | $^{\circ}C$ | 14.04 |

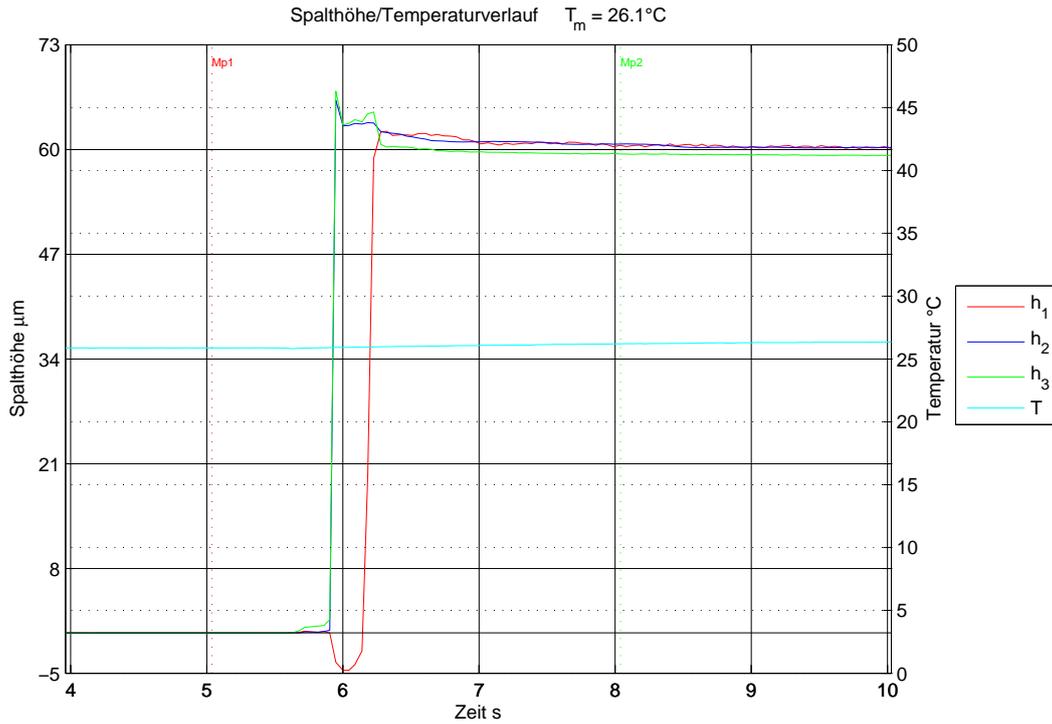


Abbildung 8.7 – Beginn Warmverlauf Blende (Detail)

Messpunkt 2 siehe Abbildung 8.7

| | | | | | |
|-------|---------|-------------------|-------|-------------|-------------------|
| h_1 | μm | $6.052832e + 001$ | p_1 | bar | $4.906128e + 000$ |
| h_2 | μm | $6.068164e + 001$ | p_2 | bar | $4.831987e + 000$ |
| h_3 | μm | $5.944825e + 001$ | p_3 | bar | $4.878259e + 000$ |
| F | kN | $1.199390e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $2.620853e + 001$ |
| t | s | $8.039000e + 000$ | | | |

Messpunkt 1 siehe Abbildung 8.8

| | | | | | |
|-------|---------|-------------------|-------|-------------|-------------------|
| h_1 | μm | $6.655518e + 001$ | p_1 | bar | $4.478882e + 000$ |
| h_2 | μm | $7.191016e + 001$ | p_2 | bar | $4.374224e + 000$ |
| h_3 | μm | $6.863184e + 001$ | p_3 | bar | $4.313684e + 000$ |
| F | kN | $1.200610e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.264764e + 001$ |
| t | s | $6.430033e + 003$ | | | |

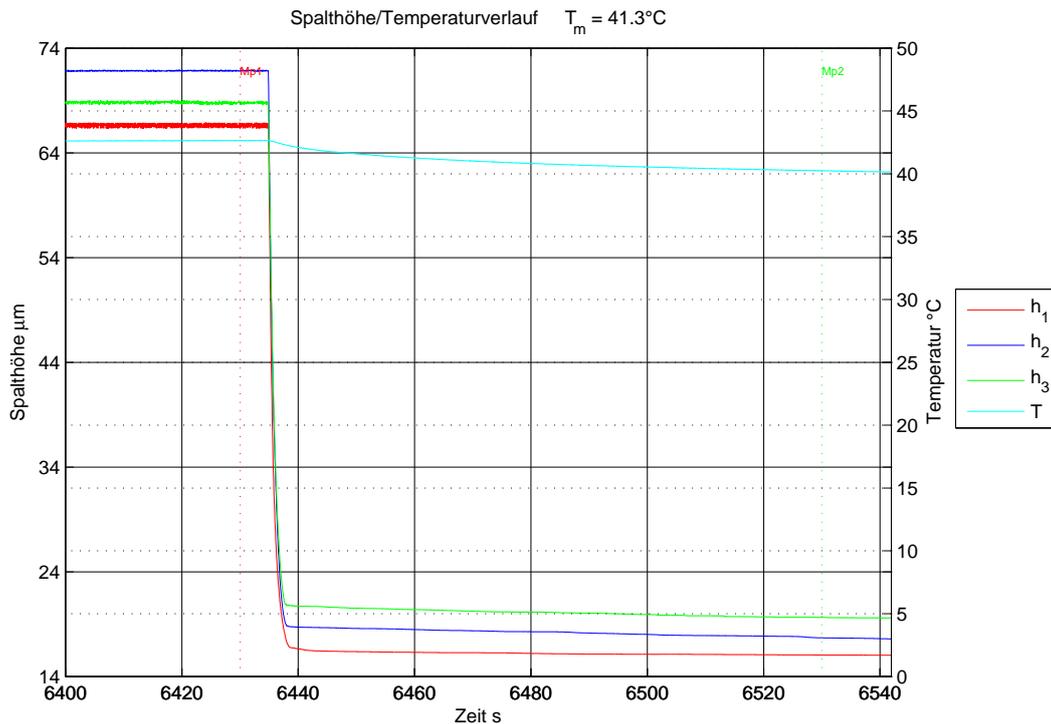


Abbildung 8.8 – Ende Warmverlauf Blende (Detail)

Messpunkt 2 siehe Abbildung 8.8

| | | | | | |
|-------|---------|-------------------|-------|-------------|-------------------|
| h_1 | μm | $1.605225e + 001$ | p_1 | bar | $2.216797e - 001$ |
| h_2 | μm | $1.769336e + 001$ | p_2 | bar | $5.598633e - 002$ |
| h_3 | μm | $1.964844e + 001$ | p_3 | bar | $1.070508e - 002$ |
| F | kN | $1.201831e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.024817e + 001$ |
| t | s | $6.530007e + 003$ | | | |

8.2. Einschalt sprung

In diesem Abschnitt wird das Verhalten beim Einschalten untersucht. Die Messungen wurden mit drei unterschiedlichen statischen Belastungen durchgeführt. Diese betragen $1.2kN$, $5kN$ und $10kN$. Im vorliegenden Fall beträgt die Last $5kN$. Zur Einsicht auf die anderen Belastungsfälle wird an dieser Stelle auf den Anhang verwiesen.

8.2.1. Einschalt sprung PM-Regler

Ein Einschaltvorgang im Reglerbetrieb ist in Abbildung 8.9 zu sehen. Nach Abgleich der Messeinrichtung wird zum Zeitpunkt $t = 5.75s$ die Hydraulikölversorgung für den Regler eingeschaltet. Dies verursacht ein kurzes Schwingen am Prüfstand, welches in $0.5s$ abklingt. Die Frequenz dieser Schwingung beträgt $f = 48.6Hz$. Nach dem Einschalten bauen sich die Taschendrucke p_1 bis p_3 ebenso wie die Ölspalte h_1 bis h_3 auf. Deutlich zu erkennen ist,

das Druck und Ölspalt in Tasche eins um drei Sekunden verzögert aufgebaut werden. Grund dafür sind reglerinterne Vorgänge. Nachdem in den Taschen zwei und drei die Ölspalte vor Tasche eins aufgebaut sind, kippt die Deckscheibe und Ölspalt $h1$ sinkt auf $-1\mu m$. Bis sich alle Lagerspalte aufgebaut und eingependelt haben, verstreicht nach dem Einschaltzeitpunkt eine Zeit von $7.75s$.

Beim Abschalten des Pumpendruckes zum Zeitpunkt $t = 14.3s$ ist ein deutliches Überschwingen der Lagerspalte zu beobachten. Grund für dieses Überschwingen ist das Öffnen der Blende im Regler nach dem Abfall des Pumpendruckes. Dieses Öffnen verursacht einen kurzzeitigen Anstieg des Ölvolumenstromes, hervorgerufen durch den Abbau des Restdruckes im Regler, das ein Überschwingen zu erkennen ist.

Messpunkt 1 siehe Abbildung 8.9

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-------------|--------------------|
| $h1$ | μm | $-6.201200e - 002$ | $p1$ | bar | $-1.292725e - 001$ |
| $h2$ | μm | $5.712900e - 002$ | $p2$ | bar | $-9.660156e - 002$ |
| $h3$ | μm | $-4.951175e - 001$ | $p3$ | bar | $-1.876592e - 001$ |
| F | kN | $4.995166e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $3.812048e + 001$ |
| t | s | $5.751000e + 000$ | | | |

Messpunkt 2 siehe Abbildung 8.9

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $9.830078e + 000$ | $p1$ | bar | $1.683850e + 001$ |
| $h2$ | μm | $8.980957e + 000$ | $p2$ | bar | $1.787825e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.838378e + 000$ | $p3$ | bar | $1.745150e + 001$ |
| F | kN | $5.009204e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $3.895913e + 001$ |
| t | s | $1.350000e + 001$ | | | |

Messpunkt 3 siehe Abbildung 8.9

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.363280e - 001$ | $p1$ | bar | $2.647827e + 000$ |
| $h2$ | μm | $7.656250e - 001$ | $p2$ | bar | $1.749712e + 000$ |
| $h3$ | μm | $2.490235e - 001$ | $p3$ | bar | $1.658654e + 000$ |
| F | kN | $5.042163e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $3.886595e + 001$ |
| t | s | $1.550000e + 001$ | | | |

8.2.2. Einschaltsprung Blende

In Abbildung 8.10 ist ein Einschaltsprung im Blendenbetrieb ersichtlich. Im Gegensatz zum Reglerbetrieb beträgt die Zeit vom Einschaltzeitpunkt bis hin zum Erreichen der Lagerspalthe nur $0.5s$. Durch den raschen Anstieg der Spalthöhen wird die gesamte Masse der Grundlast $F_0 = 1.2kN$ beschleunigt. Dies verursacht eine gedämpfte Schwingung beim Einschalt ebenso wie beim Abschaltvorgang. Dieser Vorgang ist am Verlauf von $h3$ (grüne Linie) besonders gut zu erkennen. Anhand von Messpunkt eins und Messpunkt drei in Abbildung 8.10

8. Prüfstandsmessungen

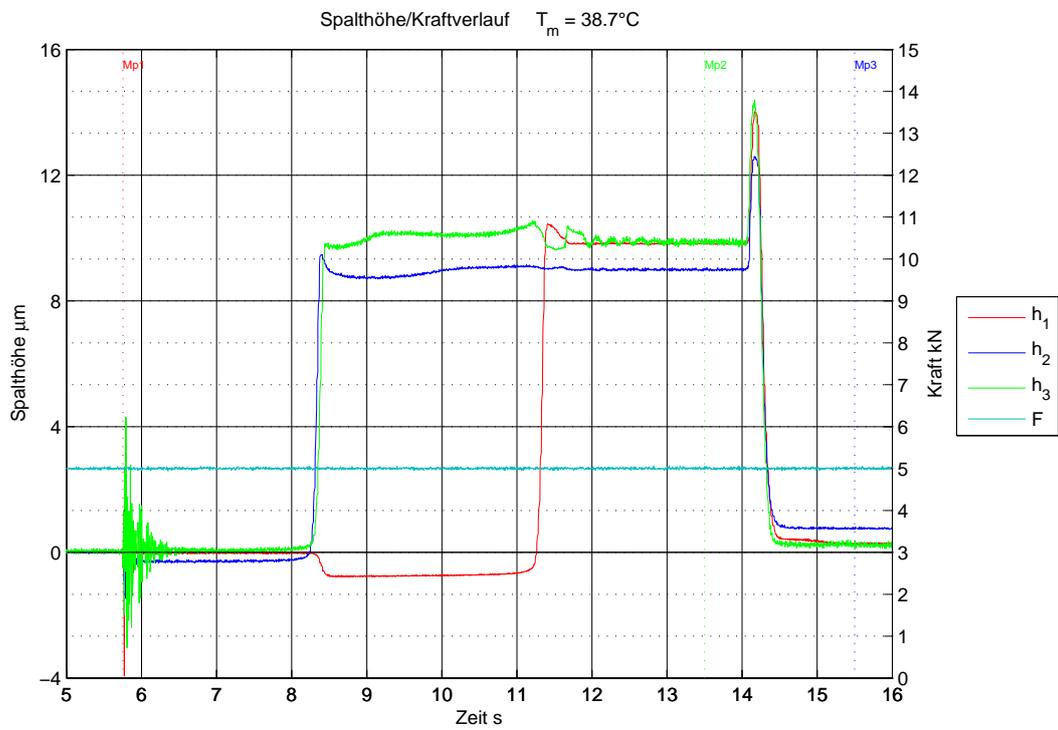
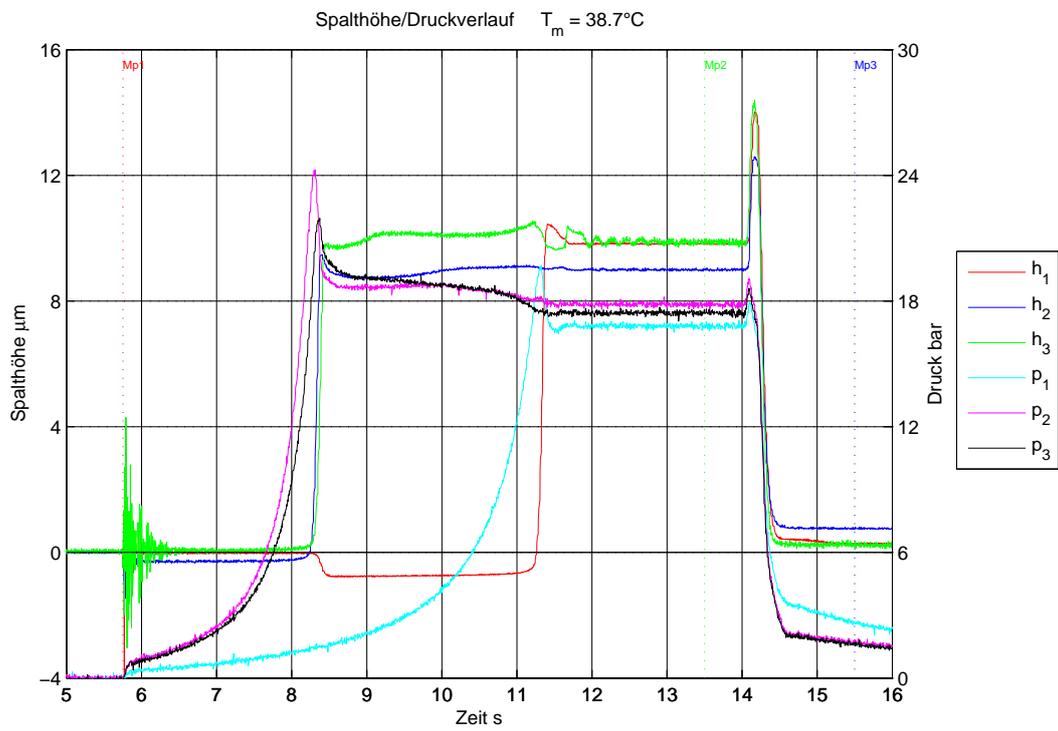


Abbildung 8.9 – Einschaltsprung PM-Regler

kann man erkennen, dass sich die Spalthöhen $h1$ bis $h3$ in der Größenordnung von $-1\mu m$ bewegen. Grund dafür ist die Belastung von $F = 5kN$. Der Abgleich der Messeinrichtung erfolgt nur mit der Grundlast $F_0 = 1.2kN$. Da sich im Lagerspalt immer ein Restölfilm befindet, ist ein negatives Spaltmaß nach Aufbringen einer zusätzlichen Belastung möglich. Diese negativen Werte bilden die eigentliche Nulllinie und müssen anschließend zu den Spalthöhen addiert werden. Daraus ergeben sich die Werte für die Spalthöhen in Tabelle 8.5.

Tabelle 8.5 – Einschaltsprung Blende

| | | |
|-------------|---------|-------|
| $\Delta h1$ | μm | 37.74 |
| $\Delta h2$ | μm | 33.78 |
| $\Delta h3$ | μm | 38.04 |

Die Spalthöhen wurden am Prüfstand mittels der Blenden und einer Belastung von $F_0 = 1.2kN$ auf $60\mu m$ eingestellt. Da diese Einstellung von Hand erfolgt, ist es schwierig alle drei Blenden identisch einzustellen. Aus diesem Grund und der zusätzlichen Belastung kommt es zu deutlichen Abweichungen der Spaltwerte untereinander. Zu erwähnen ist, dass die Taschendrücke den Wert Null nicht erreichen. Aufgrund von Lecköl der Schaltventile am Hydraulikaggregat stellen sich bei dieser Messung Taschendrücke von $p_T = 3bar$ ein.

Messpunkt 1 siehe Abbildung 8.10

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $-1.421875e + 000$ | $p1$ | bar | $2.998779e + 000$ |
| $h2$ | μm | $-1.285644e + 000$ | $p2$ | bar | $2.909380e + 000$ |
| $h3$ | μm | $-1.041992e + 000$ | $p3$ | bar | $2.970910e + 000$ |
| F | kN | $4.987231e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $3.939398e + 001$ |
| t | s | $2.725100e + 001$ | | | |

Messpunkt 2 siehe Abbildung 8.10

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.628613e + 001$ | $p1$ | bar | $1.696057e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.249951e + 001$ | $p2$ | bar | $1.772566e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.700000e + 001$ | $p3$ | bar | $1.763461e + 001$ |
| F | kN | $5.032397e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $3.948717e + 001$ |
| t | s | $2.825000e + 001$ | | | |

Messpunkt 3 siehe Abbildung 8.10

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $-7.573240e - 001$ | $p1$ | bar | $4.585693e + 000$ |
| $h2$ | μm | $-1.332519e + 000$ | $p2$ | bar | $3.123003e + 000$ |
| $h3$ | μm | $-8.037109e - 001$ | $p3$ | bar | $3.092980e + 000$ |
| F | kN | $5.006763e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $3.912996e + 001$ |
| t | s | $3.175000e + 001$ | | | |

8. Prüfstandsmessungen

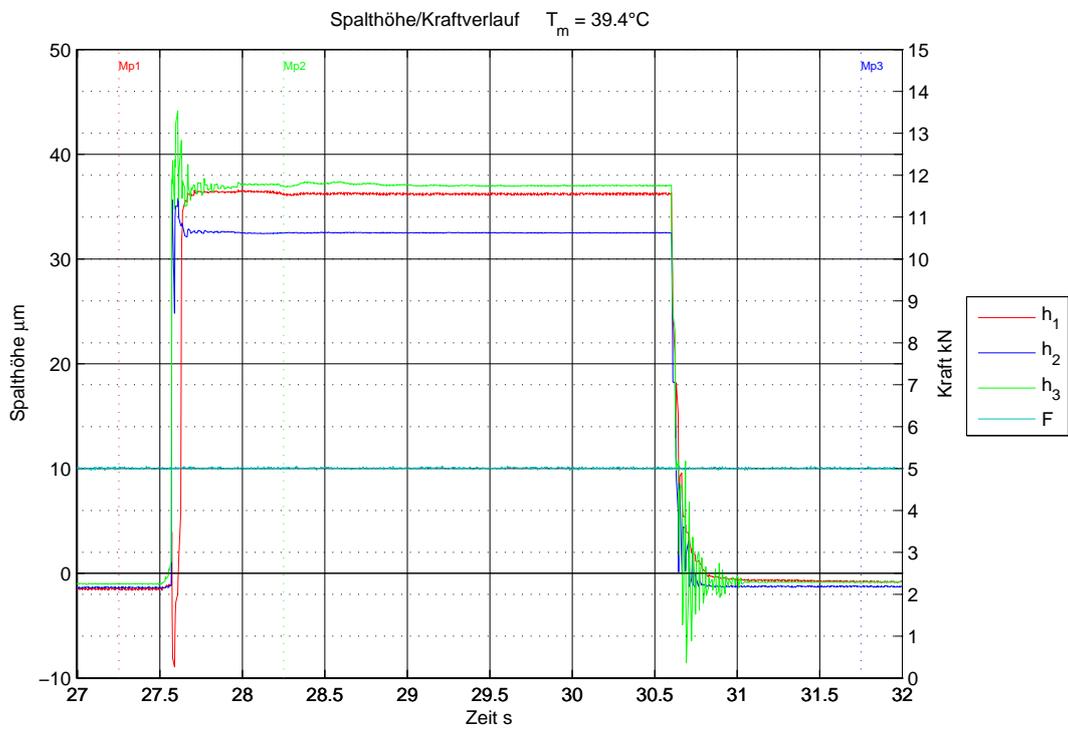
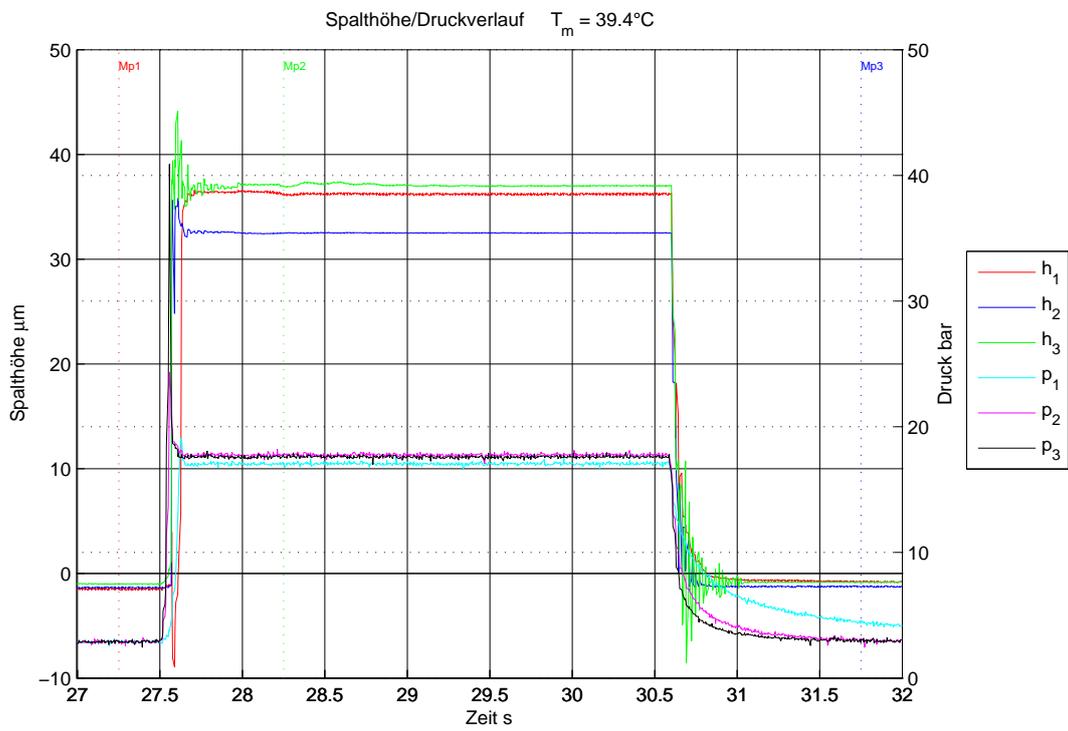


Abbildung 8.10 – Einschaltprung Blende

8.3. Treppenförmiges Lastkollektiv

Als Bei diesem Versuch wird auf das Lager ein treppenförmiges Lastkollektiv aufgebracht. Dies erfolgt durch stufenweises Erhöhen der Kraft im Bereich von $F_0 = 1.2kN$ bis $F_{max} = 11.9kN$. Der Prüfstand ist für $F_{max} = 15kN$ ausgelegt, aufgrund der Druckluftversorgung von $p = 6bar$ können lediglich $11.9kN$ erzielt werden.

8.3.1. Treppenförmiges Lastkollektiv PM-Regler

Am Beginn dieser Messung wird das Lager mit einer Kraft von $F_0 = 1.2kN$ belastet. Dabei stellen sich die Lagerspalte auf $16\mu m$ ein (siehe Messpunkt eins Abbildung 8.11). Ausgehend von $F_0 = 1.2kN$ wird die Kraft stufenweise bis auf $F_{max} = 11.9kN$ erhöht. Bei diesem Vorgang erhöhen sich die Taschendrücke in der gleichen Form wie die Belastung. Die Verringerung der Lagerspalte ist zu Beginn hoch, wird aber mit zunehmend höheren Taschendrücken immer niedriger. Dies ist auf die Form der Reglerkennlinien zurückzuführen. Dabei reduzieren sich die Lagerspalthöhen auf 35% der Ausgangshöhen ($20\mu m$ im Reglerbetrieb). Ein weiteres Merkmal ist das verzögerte Ansprechen der Regler. Bei jeder sprunghaften Lasterhöhung brechen die Lagerspalte stark ein. Vor allem im Bereich bis $F = 6kN$ ist dieses Verhalten ausgeprägt. Bei der ersten Stufe erreicht $h1 = -1\mu m$. Dies bedeutet, dass an dieser Stelle der Lagerspalt durchgedrückt wird. Mit zunehmenden Taschendrücken verbessert sich das Ansprechverhalten der Regler. Ab einer Kraft von $8kN$ ist ein Einschwingvorgang mit einer Frequenz von $f = 9Hz$ der Kraft zu beobachten. Dieser Vorgang überträgt sich auf das Lager und ist auch an den Spalthöhen deutlich zu erkennen. Diese Schwingungen werden durch das Pneumatik Servoventil hervorgerufen. Dieses ist mit Sitzventilen ausgestattet und regelt den Druck durch Taktung. Aus Zeitgründen konnte die Ursache für diese Schwingungen nicht behoben werden. Durch den Einsatz eines Servoventiles in Schieberausführung kann diese Erscheinung unterbunden werden. Nach Erreichen der maximalen Belastung stellen sich die Spalthöhen $h1 = 5.99\mu m$, $h2 = 5.23\mu m$ und $h3 = 6.98\mu m$ ein (siehe Messpunkt zwei in Abbildung 8.11). Es ist anzunehmen, dass mit steigender Belastung die Lagerspalte weiter sinken werden. Nach dem Wegschalten der Belastung durch den Luftbalg stellen sich wieder die Ausgangsspalthöhen ein.

Messpunkt 1 siehe Abbildung 8.11

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.623584e + 001$ | $p1$ | bar | $4.158447e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.526660e + 001$ | $p2$ | bar | $4.191118e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.589892e + 001$ | $p3$ | bar | $4.222131e + 000$ |
| F | kN | $1.200000e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.204195e + 001$ |
| t | s | $1.520100e + 002$ | | | |

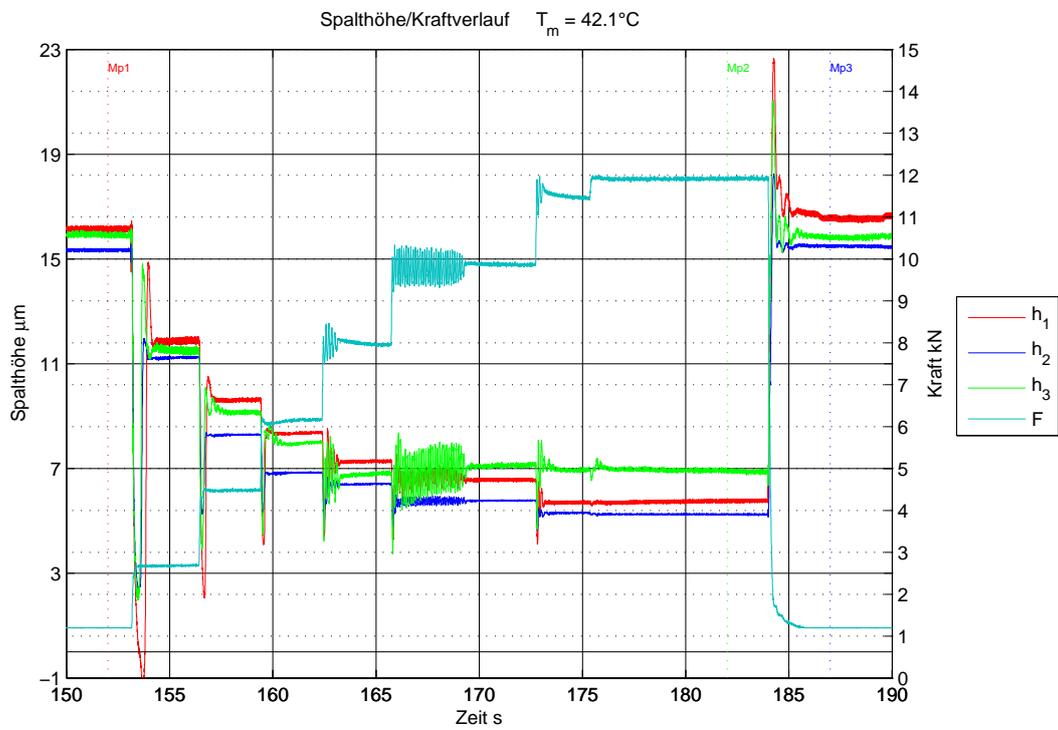
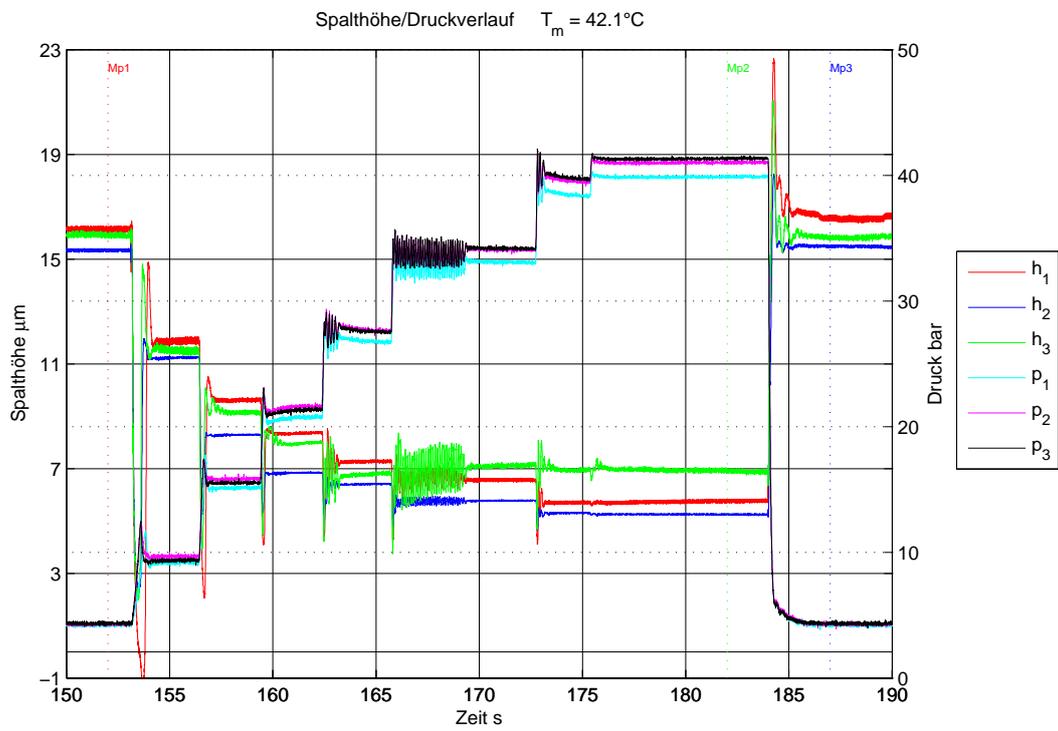


Abbildung 8.11 – Treppenförmiges Lastkollektiv PM-Regler

Messpunkt 2 siehe Abbildung 8.11

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $5.699219e + 000$ | $p1$ | bar | $3.992505e + 001$ |
| $h2$ | μm | $5.230469e + 000$ | $p2$ | bar | $4.107161e + 001$ |
| $h3$ | μm | $6.986817e + 000$ | $p3$ | bar | $4.139254e + 001$ |
| F | kN | $1.189885e + 001$ | T | $^{\circ}C$ | $4.212737e + 001$ |
| t | s | $1.820100e + 002$ | | | |

Messpunkt 3 siehe Abbildung 8.11

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.645312e + 001$ | $p1$ | bar | $4.204224e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.550195e + 001$ | $p2$ | bar | $4.328447e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.586963e + 001$ | $p3$ | bar | $4.313684e + 000$ |
| F | kN | $1.199390e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.215843e + 001$ |
| t | s | $1.870020e + 002$ | | | |

8.3.2. Treppenförmiges Lastkollektiv Blende

Abbildung 8.12 zeigt die Messung mit verschiedenen konstanten Belastungen im Blendenbetrieb. Gleich wie im Reglerbetrieb wird auch hier die Belastung, ausgehend von $F_0 = 1.2kN$, stufenweise bis $F_{max} = 11.9kN$ erhöht. In diesem Bereich reduzieren sich die Lagerspalte auf 38% ihrer Ausgangshöhe ($60\mu m$ im Blendenbetrieb). Im Gegensatz zum Reglerbetrieb ist im Blendenbetrieb kein verzögertes Ansprechen, und damit kein starker Einbruch der Spalthöhen, zu erkennen. Den selben Verlauf wie im Reglerbetrieb zeigt die Kraftkurve. Hierbei tritt wiederum ab einer Kraft von $8kN$ ein Einschwingvorgang auf.

Messpunkt 1 siehe Abbildung 8.12

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.197901e + 001$ | $p1$ | bar | $4.356812e + 000$ |
| $h2$ | μm | $5.854345e + 001$ | $p2$ | bar | $4.114824e + 000$ |
| $h3$ | μm | $6.328223e + 001$ | $p3$ | bar | $4.283166e + 000$ |
| F | kN | $1.201221e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.019381e + 001$ |
| t | s | $1.755080e + 002$ | | | |

Messpunkt 2 siehe Abbildung 8.12

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.404004e + 001$ | $p1$ | bar | $3.981824e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.165185e + 001$ | $p2$ | bar | $4.140730e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.527197e + 001$ | $p3$ | bar | $4.209445e + 001$ |
| F | kN | $1.187261e + 001$ | T | $^{\circ}C$ | $4.020934e + 001$ |
| t | s | $1.955030e + 002$ | | | |

8. Prüfstandsmessungen

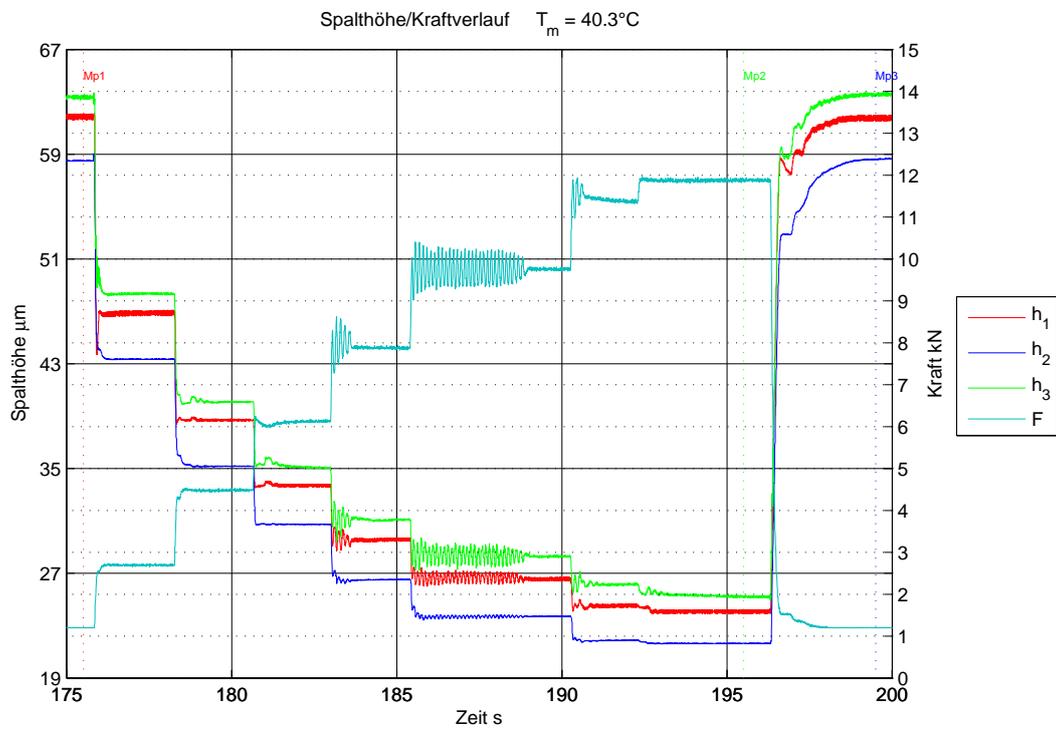
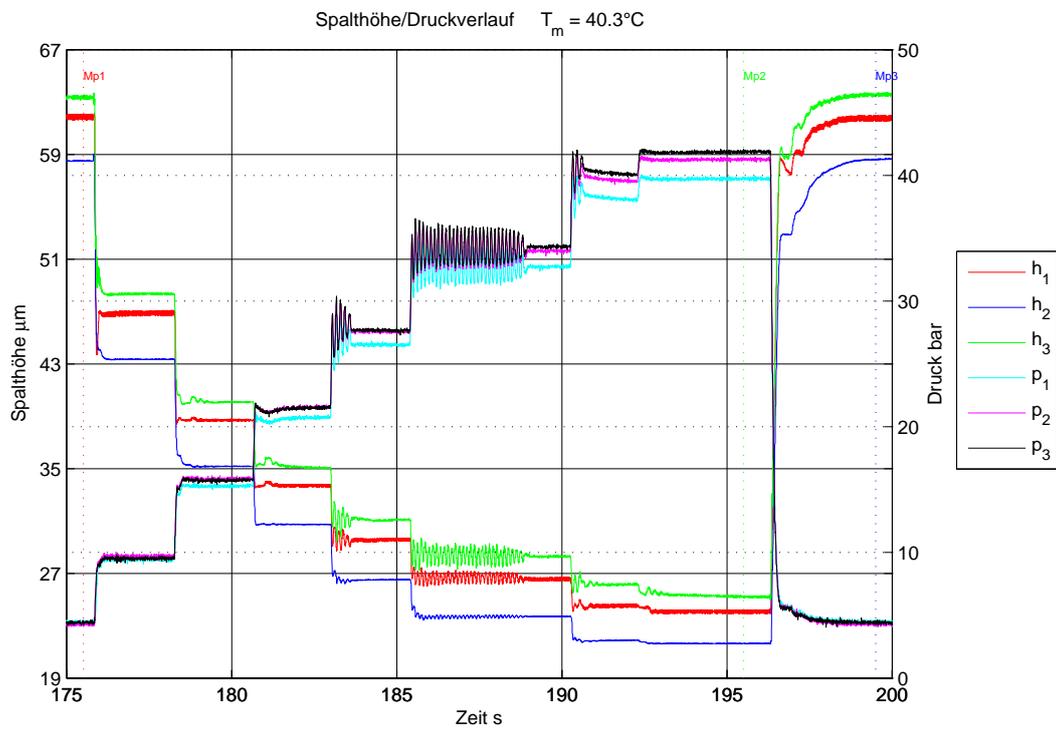


Abbildung 8.12 – Treppenförmiges Lastkollektiv Blende

Messpunkt 3 siehe Abbildung 8.12

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.177588e + 001$ | $p1$ | bar | $4.631470e + 000$ |
| $h2$ | μm | $5.865088e + 001$ | $p2$ | bar | $4.404741e + 000$ |
| $h3$ | μm | $6.347412e + 001$ | $p3$ | bar | $4.527307e + 000$ |
| F | kN | $1.198779e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.018604e + 001$ |
| t | s | $1.995020e + 002$ | | | |

8.4. Stoßbelastung

Mit Hilfe der Fallvorrichtung ist es möglich stoßartige Belastungen zu erzeugen. Dabei wird eine Gewichtsscheibe mit der Masse $m = 10kg$ aus einer Differenzhöhe von $h = 220mm$ zur ersten Grundscheibe fallen gelassen. Die potentielle Energie der Scheibe wird über die Massen der Gewichtsscheiben, des Gewichtsbolzens und der Deckscheibe in das Lager eingeleitet. Diese errechnet sich mit der Erdbeschleunigung $g = 9.81m/s^2$ (siehe Gleichung 8.2).

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h \quad (8.2)$$

$$E_{pot} = 21.58Nm \quad (8.3)$$

8.4.1. Stoßbelastung PM-Regler

In Abbildung 8.13 ist die Aufzeichnung einer Stoßbelastung im Reglerbetrieb dargestellt. Dem Diagramm sind Lagerspalte von $+470\mu m$ bis $-290\mu m$ zu entnehmen. Diese Werte übersteigen die eigentliche Lagerspalthöhe um ein Vielfaches. Beim Einleiten der Energie der Gewichtsscheibe wird der gesamte Prüfstand in Schwingung versetzt. Auch die Messtaster und deren Halterungen werden beschleunigt. Dies ist der Grund für das Zustandekommen dieser hohen Messwerte. Wird die Messung in dieser Form durchgeführt, ist das Messergebnis unbrauchbar. Eine Abhilfe dieses Problems wäre eine Versteifung der Tischplatte und des gesamten Prüfstands. Besser wäre der Umstieg auf ein Messsystem, welches durch mechanische Schwingungen nicht beeinflusst wird.

8.4.2. Stoßbelastung Blende

Eine Stoßbelastung wurde auch im Blendenbetrieb durchgeführt. Sie ist in Abbildung 8.14 ersichtlich. Ebenso wie im Reglerbetrieb liefert auch dieser Versuch kein brauchbares Ergebnis. Hier ist ebenfalls eine Versteifung des Prüfstands beziehungsweise ein anderes Wegmesssystem erforderlich. Um bessere Messkurven zu erhalten, müsste die Abtastrate höher sein. Mit dem vorhandenen Messcomputer war dies nicht möglich, da die maximale Anzahl der möglichen Stützpunkte ausgeschöpft wurde.

8. Prüfstandsmessungen

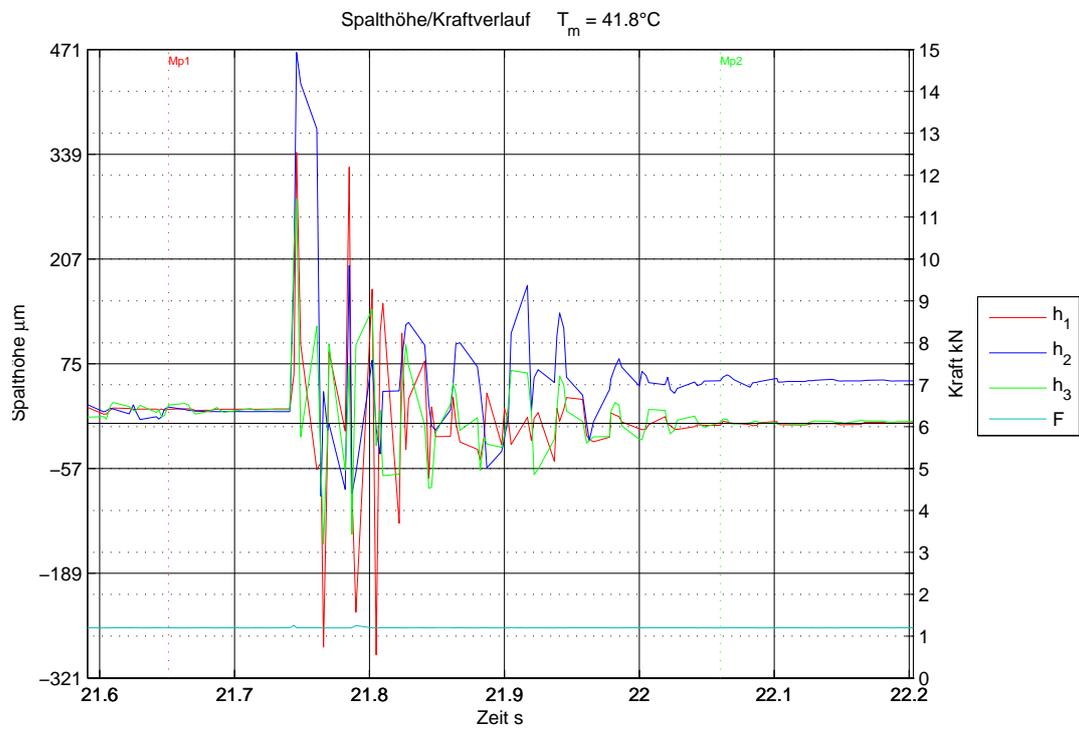
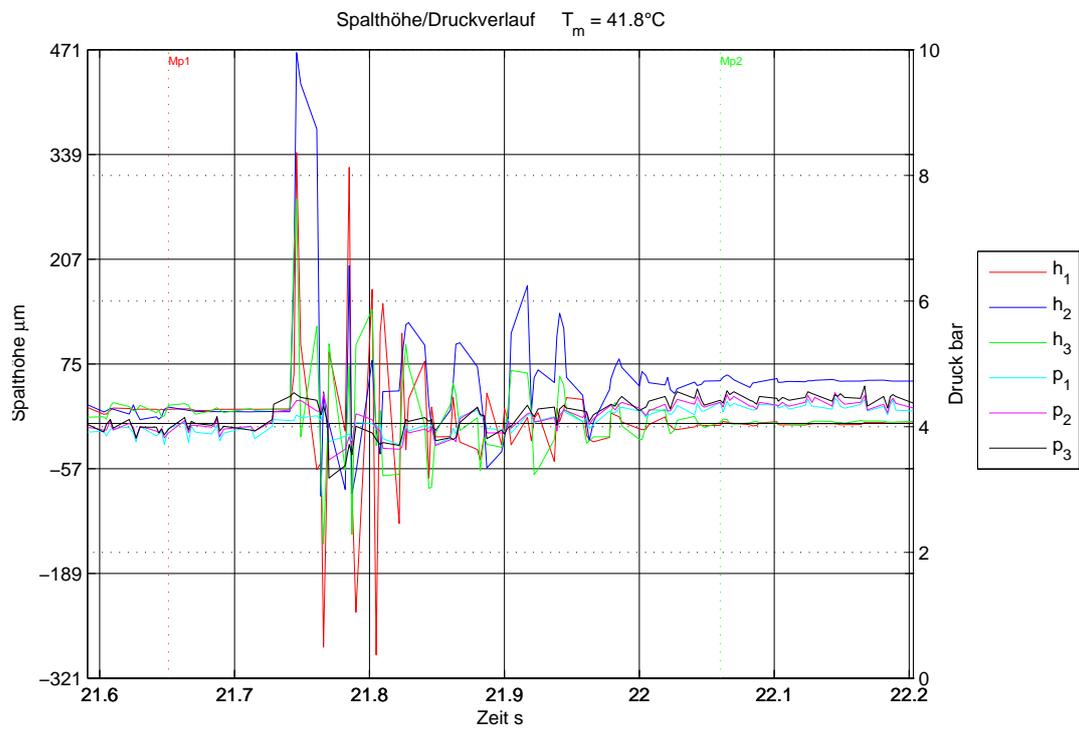


Abbildung 8.13 – Stoßbelastung PM-Regler

8. Prüfstandsmessungen

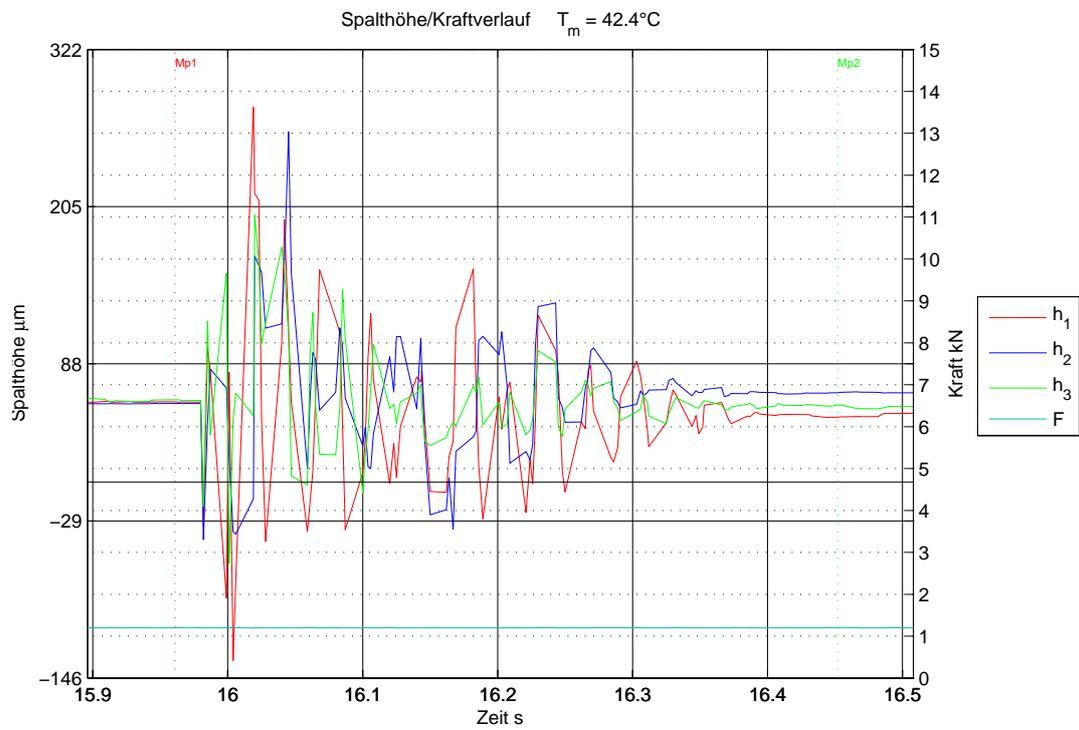
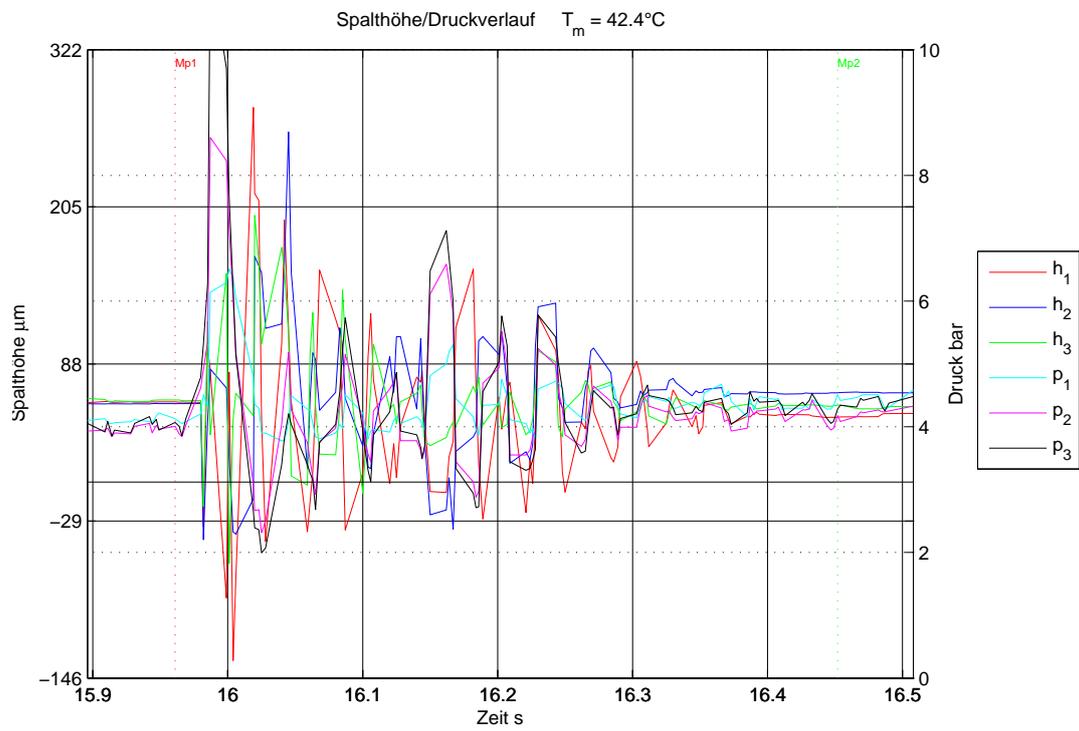


Abbildung 8.14 – Stoßbelastung Blende

8.5. Sinusförmige Belastung

In den folgenden Messungen wird das Lager mit einer sinusförmigen Kraft beansprucht. Hierbei werden die Frequenz, die Amplitude und der Gleichanteil der Kraft variiert. Aus den Messungen geht hervor, dass ein Betrieb des Prüfstandes im Frequenzbereich von $0 - 2\text{Hz}$ sinnvoll ist. Es wurden insgesamt sieben Messungen mit unterschiedlichen Frequenzen, Amplituden und Gleichanteilen sowohl im Reglerbetrieb als auch im Blendenbetrieb durchgeführt. In den folgenden Unterabschnitten sind jeweils eine Messung mit niedriger und eine mit hoher Frequenz angeführt. Für einen Einblick auf alle Messungen wird an dieser Stelle auf den Anhang verwiesen.

8.5.1. Sinus PM-Regler

Abbildung 8.15 zeigt eine Sinuskurve mit einer Frequenz von $f = 0.1\text{Hz}$, einer Amplitude von 1.6kN und einem Gleichanteil von 4.2kN . Der Verlauf der Kraftkurve weist an den Umschaltpunkten (siehe X Markierung in der Abbildung) zwischen Aufblasvorgang und Ablassvorgang einen kleinen Sprung auf. Dieser bewirkt sowohl in den Druckkurven als auch in den Spaltverläufen eine Unstetigkeit. Die Druckkurven folgen der Lastkurve und weisen einen gleichförmigen Sinusverlauf auf. Die Drücke erreichen im Verlauf einer Sinusschwingung folgende über alle drei Taschen gemittelten Werte:

$$p_{max} = 20.4 \text{ bar}$$

$$p_{mittel} = 14.36 \text{ bar}$$

$$p_{min} = 8.7 \text{ bar}$$

Die Spalthöhenverläufe weisen große Differenzen untereinander auf. Vor allem die positive Amplitude von $h2$ fällt deutlich geringer aus als bei den anderen Taschen. Es werden folgende Maximalwerte erzielt:

$$h1_{max} = 13.25\mu\text{m}$$

$$h2_{max} = 11.71\mu\text{m}$$

$$h3_{max} = 13.99\mu\text{m}$$

Im Mittel betragen diese:

$$h1_{mittel} = 11.19\mu\text{m}$$

$$h2_{mittel} = 10.62\mu\text{m}$$

$$h3_{mittel} = 11.37\mu\text{m}$$

Bei einem optimalen Regler wären die Spalthöhen $h1$ bis $h3$ konstant. Da die Regler im Vergleich zur Taschenkennlinie relativ flache Kennlinien haben, können diese den Spalt nicht ausregeln und folgen den Belastungsänderungen. Der Abbildung kann entnommen werden,

dass h_2 am besten geregelt wird. Tasche zwei wird mit Regler Nummer drei versorgt. Wie bereits im Abschnitt Reglervermessung zu sehen war, liegt Regler Nummer drei am nächsten zur Soll-Kennlinie. In Tabelle 8.6 sind die Daten für diesen Messausschnitt zusammengefasst.

In Abbildung 8.16 ist ein Sinusverlauf mit einer Frequenz von $f = 2Hz$, einer Amplitude von $1.6kN$ und einer Mittellast von $8kN$ dargestellt. Anhand der Kurven kann man einen sinusförmigen Verlauf nur mehr erahnen. Begrenzt ist die Betriebsfrequenz durch den Einfaltenbalg. Seine Befüllbohrung stellt einen Flaschenhals dar. Da Druckluft ein kompressibles Medium ist, müssen bei höheren Drücken immer größere Volumenströme durch die Befüllöffnung strömen. Dieser Vorgang benötigt Zeit. Aus diesem Grund ist ein Betrieb mit einer Frequenz größer $2Hz$ nicht mehr sinnvoll.

Berechnet man die Differenz der maximalen und der minimalen Spalthöhe, erhält man folgende Werte:

$$\Delta h_{1_{2Hz}} = 6.22\mu m$$

$$\Delta h_{1_{0.1Hz}} = 3.73\mu m$$

$$\Delta h_{2_{2Hz}} = 3.19\mu m$$

$$\Delta h_{2_{0.1Hz}} = 2.04\mu m$$

$$\Delta h_{3_{2Hz}} = 5.43\mu m$$

$$\Delta h_{3_{0.1Hz}} = 4.75\mu m$$

Man sieht, dass Δh_2 jeweils den niedrigsten Wert hat. Wie schon im vorangegangenen Versuch ($f = 0.1Hz$) liefert der Regler für Tasche zwei das bessere Ergebnis. Beide Versuche wurden mit der gleichen Kraftamplitude durchgeführt. Der Gleichanteil hingegen wurde beim Versuch mit $f = 2Hz$ verdoppelt und beträgt $8kN$. Durch den erhöhten Mittelwert arbeiten die Regler bei einem höheren Druckniveau, was einen größeren Ölvolumenstrom zur Folge hat. Dies liefert höhere Amplituden und somit größere Δ -Werte. Ein erhöhter Mittelwert liefert bessere Messergebnisse, aber mit höherer Frequenz steigen die Amplituden.

8. Prüfstandsmessungen

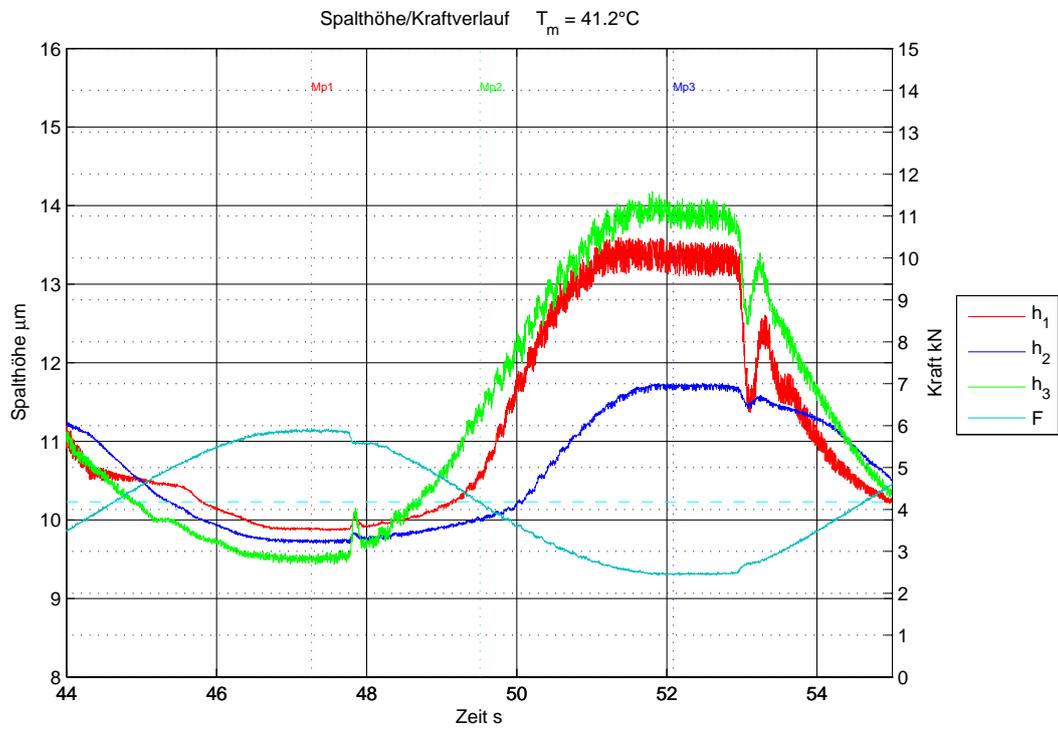
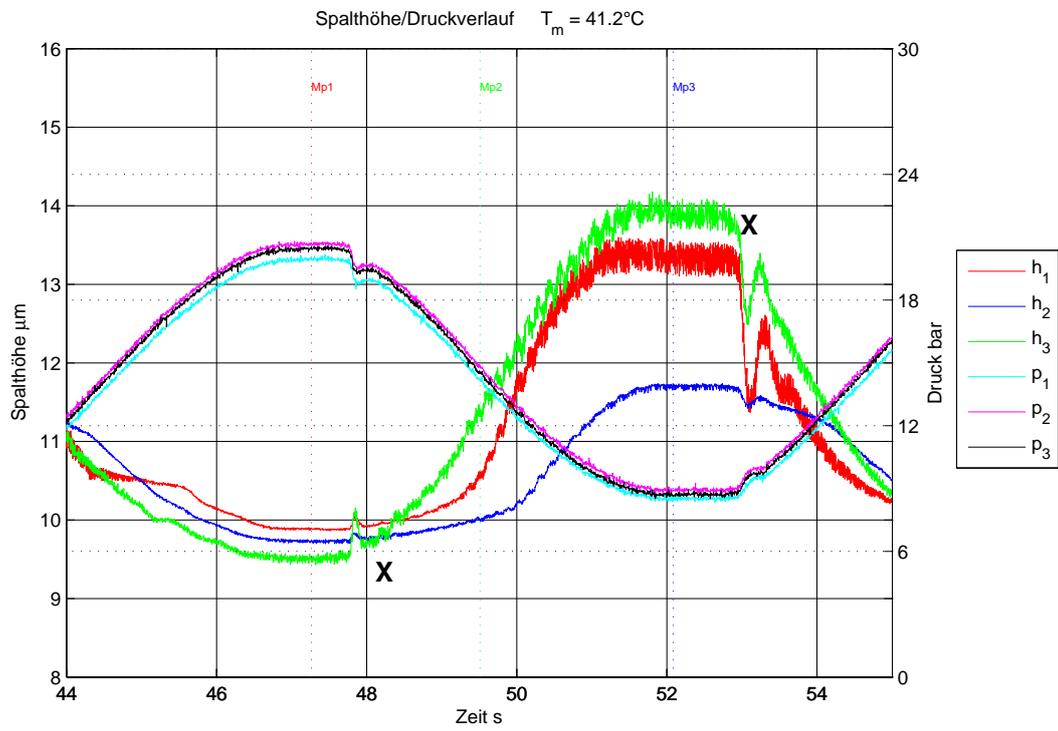


Abbildung 8.15 – Sinus 0.1Hz PM-Regler

8. Prüfstandsmessungen

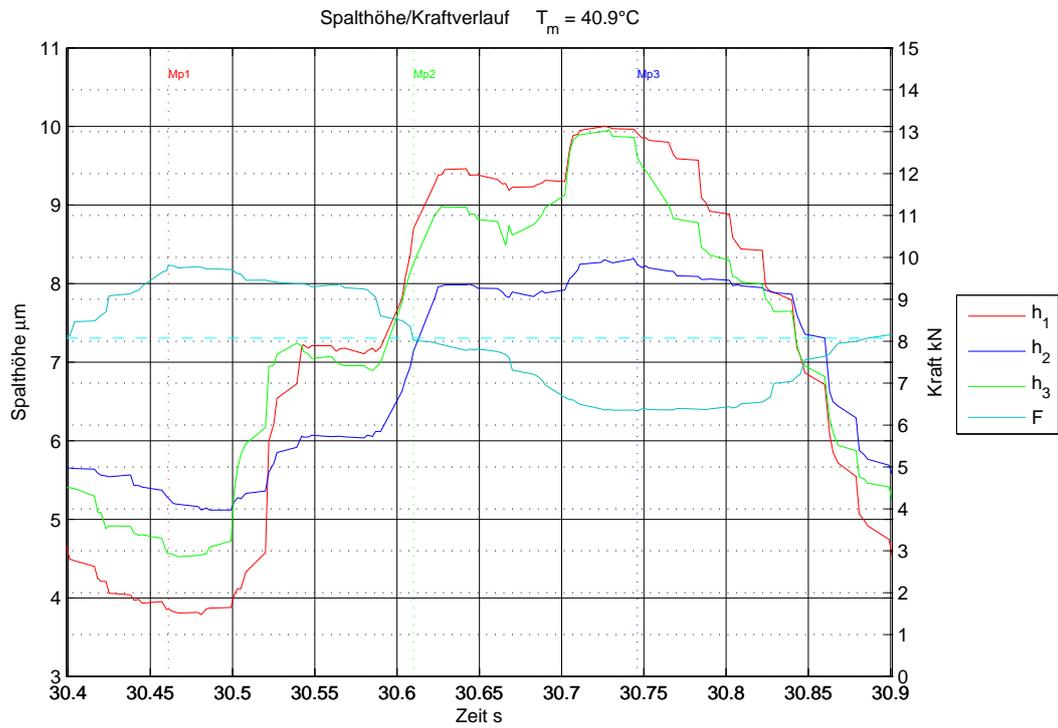
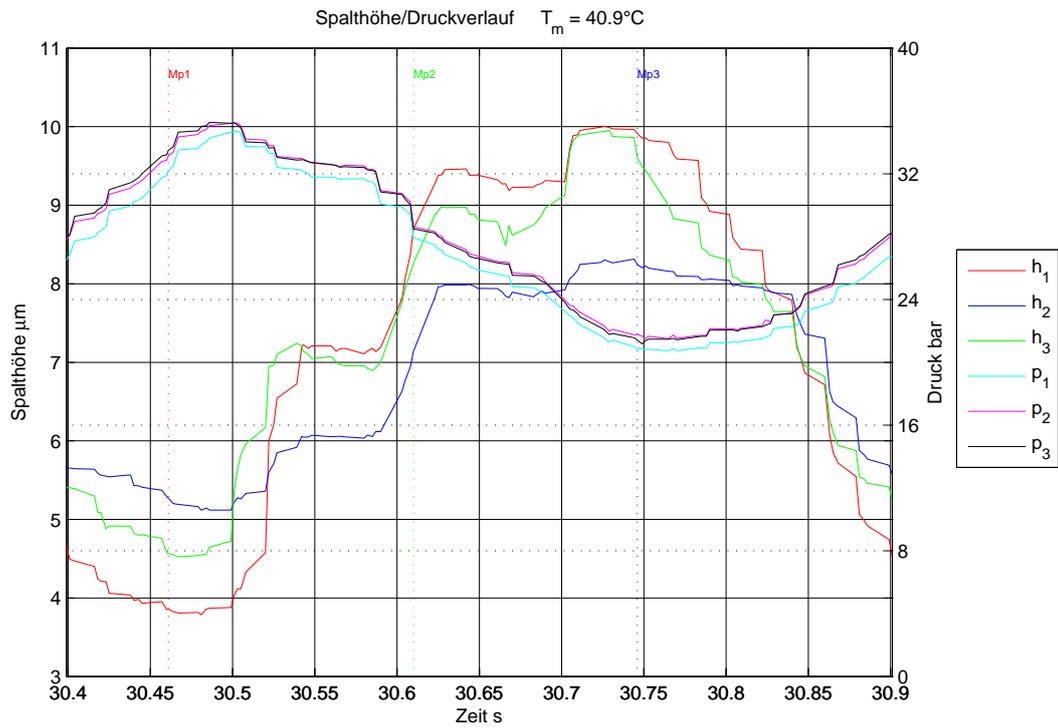


Abbildung 8.16 – Sinus 2Hz PM-Regler

Tabelle 8.6 – Sinusförmige Belastung PMRegler 234 0.1Hz

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-------------|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.359814e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.016492e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $1.118962e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.404382e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $9.859863e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $8.339355e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $1.173828e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.080794e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.062034e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.462700e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $9.696778e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $8.616167e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.418017e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.059481e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.136707e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.439761e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $9.428711e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $8.509851e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.935107e + 000$ | T_{max} | $^{\circ}C$ | $4.131201e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.118293e + 000$ | T_{mittel} | $^{\circ}C$ | $4.122528e + 001$ |
| F_{min} | kN | $2.424365e + 000$ | T_{min} | $^{\circ}C$ | $4.111788e + 001$ |
| | | | ΔT | $^{\circ}C$ | $1.941300e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $9.886719e + 000$ | $p1$ | bar | $1.995129e + 001$ |
| $h2$ | μm | $9.736817e + 000$ | $p2$ | bar | $2.070113e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.466309e + 000$ | $p3$ | bar | $2.056429e + 001$ |
| F | kN | $5.935107e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.121883e + 001$ |
| t | s | $4.726400e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.053662e + 001$ | $p1$ | bar | $1.422925e + 001$ |
| $h2$ | μm | $1.000439e + 001$ | $p2$ | bar | $1.488753e + 001$ |
| $h3$ | μm | $1.140429e + 001$ | $p3$ | bar | $1.459811e + 001$ |
| F | kN | $4.148608e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.123436e + 001$ |
| t | s | $4.951100e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.324804e + 001$ | $p1$ | bar | $8.583496e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.170996e + 001$ | $p2$ | bar | $8.936602e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.399023e + 001$ | $p3$ | bar | $8.616662e + 000$ |
| F | kN | $2.424365e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.125765e + 001$ |
| t | s | $5.208400e + 001$ | | | |

Tabelle 8.7 – Sinusförmige Belastung PMRegler 234 2Hz

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-------------|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.000684e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.472180e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $7.166291e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.694321e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $3.786133e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $2.072949e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $8.313965e + 000$ | $p2_{max}$ | bar | $3.524275e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $6.818138e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.782260e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $5.117676e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $2.150984e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $9.958496e + 000$ | $p3_{max}$ | bar | $3.527377e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $7.264517e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.781363e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $4.524414e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $2.117465e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.812671e + 000$ | T_{max} | $^{\circ}C$ | $4.097034e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $8.022538e + 000$ | T_{mittel} | $^{\circ}C$ | $4.094244e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.339771e + 000$ | T_{min} | $^{\circ}C$ | $4.091598e + 001$ |
| | | | ΔT | $^{\circ}C$ | $5.436000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.858886e + 000$ | $p1$ | bar | $3.217358e + 001$ |
| $h2$ | μm | $5.270020e + 000$ | $p2$ | bar | $3.315230e + 001$ |
| $h3$ | μm | $4.566407e + 000$ | $p3$ | bar | $3.350375e + 001$ |
| F | kN | $9.812671e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.093151e + 001$ |
| t | s | $3.046100e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $8.699218e + 000$ | $p1$ | bar | $2.794690e + 001$ |
| $h2$ | μm | $7.140137e + 000$ | $p2$ | bar | $2.862044e + 001$ |
| $h3$ | μm | $8.258789e + 000$ | $p3$ | bar | $2.849886e + 001$ |
| F | kN | $8.021289e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.093151e + 001$ |
| t | s | $3.061000e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $9.914062e + 000$ | $p1$ | bar | $2.085156e + 001$ |
| $h2$ | μm | $8.245117e + 000$ | $p2$ | bar | $2.178450e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.608887e + 000$ | $p3$ | bar | $2.141879e + 001$ |
| F | kN | $6.339771e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.094704e + 001$ |
| t | s | $3.074600e + 001$ | | | |

8.5.2. Sinus Blende

Die erste Messung im Blendenbetrieb wurde ebenfalls wie im Reglerbetrieb mit einer Frequenz von $f = 0.1Hz$, einer Amplitude von $1.6kN$ und einem Mittelwert von $4.2kN$ durchgeführt (siehe Abbildung 8.17). Ebenso wie im Reglerbetrieb weist auch hier die Kurve für den Kraftverlauf Unstetigkeitsstellen (siehe X Markierung in der Abbildung) beim Wechsel zwischen Aufblas- und Ablassbetrieb auf. Diese Unstetigkeiten wirken sich sowohl auf die Druckkurven als auch auf die Lagerspaltverläufe als Sprung aus. Beim Anstieg der positiven Amplitude der Lagerspalte ist die Taktung des Regelventiles in Stufenform deutlich sichtbar. Während die Kurven $h1$ und $h3$ gleich verlaufen, weicht die Kurve $h2$ ein wenig ab. Grund für diese Abweichung ist das Einstellen der Blende von Hand. Wie schon erwähnt ist eine gleiche Einstellung der Blenden von Hand schwierig. Die Lagerspalte ändern sich bei dieser Messung um folgende Werte:

$$\Delta h_{10.1Hz} = 14.02\mu m$$

$$\Delta h_{20.1Hz} = 12.46\mu m$$

$$\Delta h_{30.1Hz} = 13.91\mu m$$

Die gemittelten Lagerspalte betragen in diesem Fall:

$$h_{1mittel} = 39.49\mu m$$

$$h_{2mittel} = 37.78\mu m$$

$$h_{3mittel} = 39.20\mu m$$

Die Lagerspalte reduzieren sich bei dieser Messung von den eingestellten $60\mu m$ um $1/3$. Zum Vergleich wird eine Messung mit einer Frequenz von $f = 2Hz$, einer Amplitude von $1.6kN$ und einem Gleichanteil von $8kN$ durchgeführt (siehe Abbildung 8.18). Bei dieser Messung erreichen die Spalthöhen folgende Werte:

$$\Delta h_{10.1Hz} = 6.43\mu m$$

$$\Delta h_{20.1Hz} = 4.91\mu m$$

$$\Delta h_{30.1Hz} = 7.50\mu m$$

Die gemittelten Lagerspalte betragen nun:

$$h_{1mittel} = 29.25\mu m$$

$$h_{2mittel} = 27.98\mu m$$

$$h_{3mittel} = 29.39\mu m$$

Man sieht, dass sich bei dieser Messung die gemittelten Spalthöhen um zirka 50%, der voreingestellten Spalthöhen von $60\mu m$, reduzieren. Auch die Amplitudenwerte der Lagerspalte reduzieren sich bei einer Verdoppelung der Mittellast um zirka 50%. Die erhöhte Frequenz

8. Prüfstandsmessungen

verursacht, ebenso wie im Reglerbetrieb, eine deutliche Verschlechterung der Kurvenformen. In den Tabellen 8.8 und 8.9 sind die Zahlenwerte der beiden Messungen erfasst.

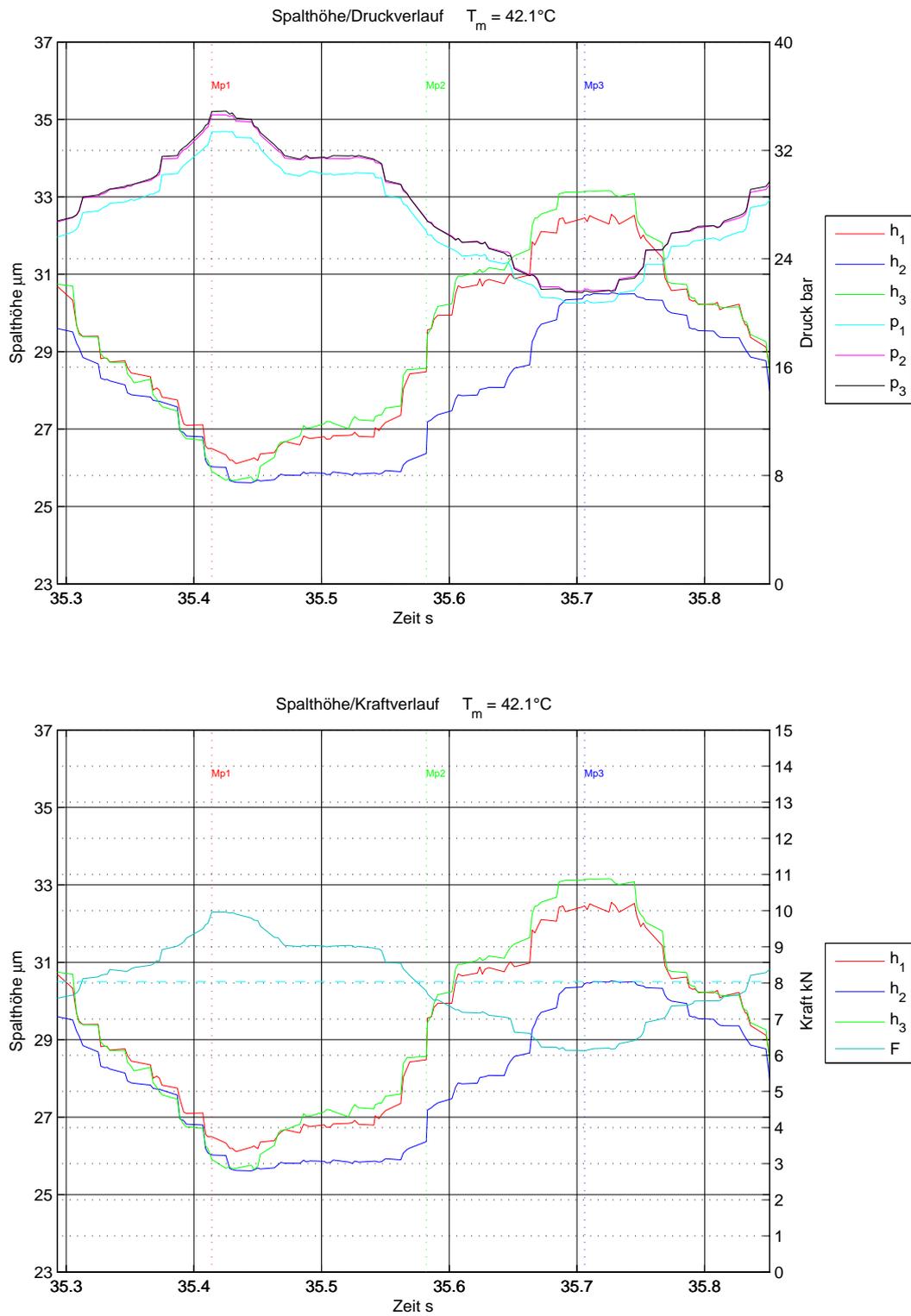


Abbildung 8.18 – Sinus 2Hz Blende

8. Prüfstandsmessungen

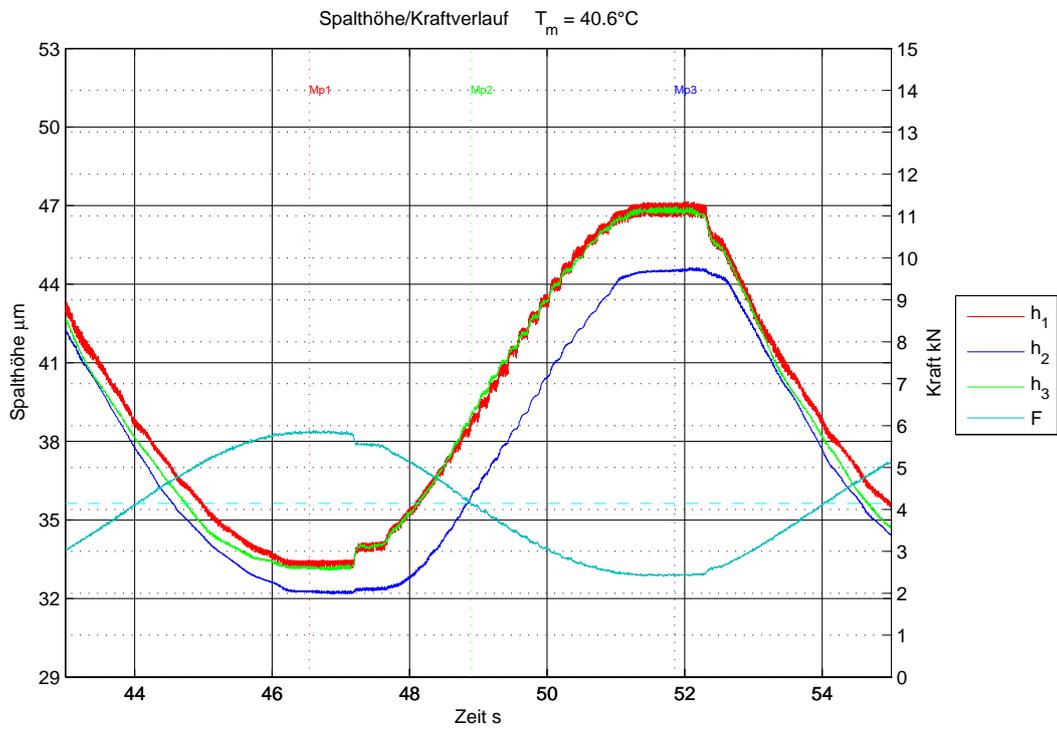
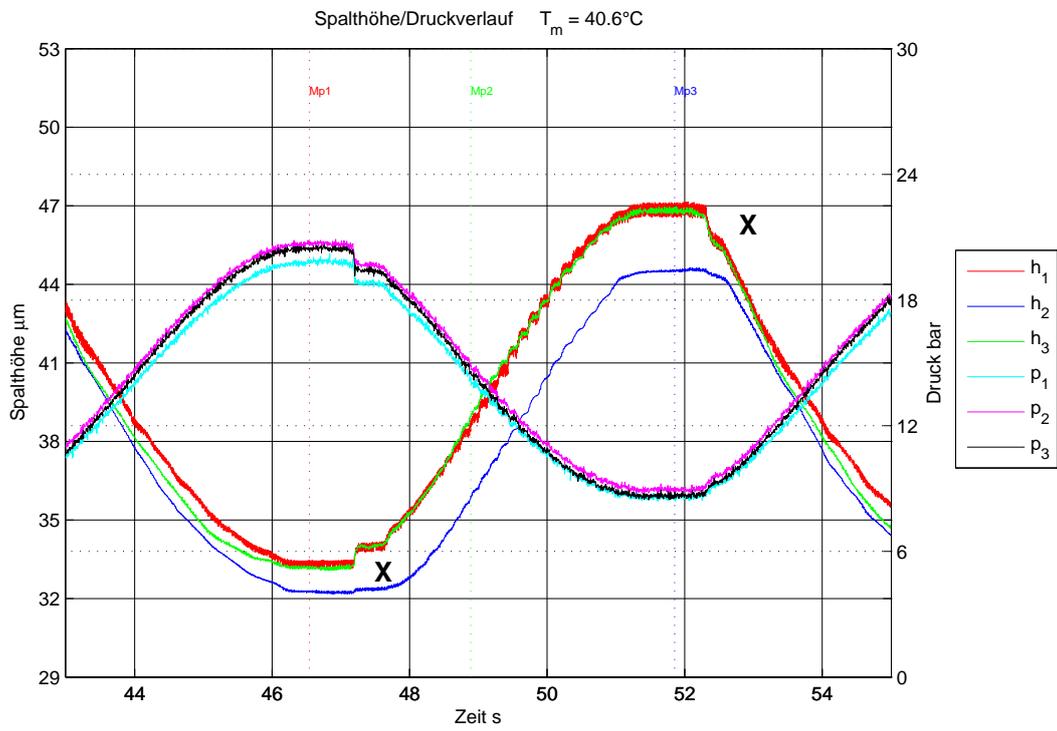


Abbildung 8.17 – Sinus 0.1Hz Blende

Tabelle 8.8 – Sinusförmige Belastung Blende 0.1Hz

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-------------|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.714404e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.021069e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.948736e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.402937e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $3.312500e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $8.400391e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $4.462890e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.089949e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.777910e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.467010e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $3.216943e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $8.707720e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.697022e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.065585e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.920077e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.439267e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $3.306543e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $8.464074e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.889941e + 000$ | T_{max} | $^{\circ}C$ | $4.066749e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.094576e + 000$ | T_{mittel} | $^{\circ}C$ | $4.058805e + 001$ |
| F_{min} | kN | $2.395068e + 000$ | T_{min} | $^{\circ}C$ | $4.050442e + 001$ |
| | | | ΔT | $^{\circ}C$ | $1.630700e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.345898e + 001$ | $p1$ | bar | $1.973767e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.224707e + 001$ | $p2$ | bar | $2.062483e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.321533e + 001$ | $p3$ | bar | $2.045748e + 001$ |
| F | kN | $5.889941e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.058984e + 001$ |
| t | s | $4.654000e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.882275e + 001$ | $p1$ | bar | $1.419873e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.586572e + 001$ | $p2$ | bar | $1.482649e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.895264e + 001$ | $p3$ | bar | $1.450655e + 001$ |
| F | kN | $4.138232e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.055878e + 001$ |
| t | s | $4.888900e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $4.659765e + 001$ | $p1$ | bar | $8.476685e + 000$ |
| $h2$ | μm | $4.448291e + 001$ | $p2$ | bar | $8.890825e + 000$ |
| $h3$ | μm | $4.694727e + 001$ | $p3$ | bar | $8.677697e + 000$ |
| F | kN | $2.395068e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.058984e + 001$ |
| t | s | $5.185400e + 001$ | | | |

Tabelle 8.9 – Sinusförmige Belastung Blende 2Hz

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-------------|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.254639e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.339429e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.924999e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.676806e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $2.610937e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $2.072949e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.052148e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.461714e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.798983e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.779306e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $2.561230e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $2.158614e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.315625e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.490756e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.939539e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.784551e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $2.565136e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $2.149508e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.959766e + 000$ | T_{max} | $^{\circ}C$ | $4.215066e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $7.944859e + 000$ | T_{mittel} | $^{\circ}C$ | $4.211582e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.120654e + 000$ | T_{min} | $^{\circ}C$ | $4.207301e + 001$ |
| | | | ΔT | $^{\circ}C$ | $7.765000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.649560e + 001$ | $p1$ | bar | $3.336377e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.602246e + 001$ | $p2$ | bar | $3.461714e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.590869e + 001$ | $p3$ | bar | $3.486178e + 001$ |
| F | kN | $9.959766e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.213513e + 001$ |
| t | s | $3.541400e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.848096e + 001$ | $p1$ | bar | $2.605481e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.636767e + 001$ | $p2$ | bar | $2.695723e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.857129e + 001$ | $p3$ | bar | $2.689669e + 001$ |
| F | kN | $7.782031e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.211184e + 001$ |
| t | s | $3.558200e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-------------|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.245557e + 001$ | $p1$ | bar | $2.082104e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.045312e + 001$ | $p2$ | bar | $2.172347e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.314160e + 001$ | $p3$ | bar | $2.161715e + 001$ |
| F | kN | $6.120654e + 000$ | T | $^{\circ}C$ | $4.212737e + 001$ |
| t | s | $3.570600e + 001$ | | | |

9. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein funktionstüchtiger Reglerprüfstand für hydrostatische Lager realisiert. Es ist Verbesserungspotential vorhanden, welches in den folgenden Punkten aufgezeigt wird.

Mechanik:

Aufgrund der Tatsache, dass der Einfaltenbalg bei Belastung nicht exakt zentrisch drückt und eine leichte Drehung ausführt, könnte das Verbindungsstück zwischen Einfaltenbalg und Kraftmessaufnehmer mit einer Führung gegen Verkipfung und Verdrehung versehen werden. Dämpfende Maßnahmen zur Schwingungsreduktion des Prüfstandes wären an der Tischplatte von Nöten.

Pneumatik:

Beim bisher verwendeten EP-Druckregelventil ergeben sich Drucksprünge, hervorgerufen durch die Taktung des Sitzventiles, in den Druckkurven. Diese könnten durch Einsatz eines Servoschieberventiles wegfallen. Des Weiteren kann man eine Regelschleife zwischen Kraftmessaufnehmer und Regelventil realisieren um exakte Druckkurvenverläufe zu erhalten.

Messtechnik:

Um Einflüsse von Wärmeausdehnungen, mechanischen Verformungen und Schwingungen bei der Lagerspaltmessung zu minimieren, wäre der Umstieg auf ein anderes Wegmesssystem empfehlenswert. Die bisherige Lagerspaltmessung, welche mittels mechanischen Wegmesstastern realisiert ist, könnte beispielsweise durch ein System mit Wirbelstrommessensoren realisiert werden. Die Installation würde nur einen geringen Aufwand an Umbauarbeiten erfordern. Eine direkte Messung des Lagerspaltes, zum Beispiel durch die zahlreichen Ablaufbohrungen an der Unterseite der Taschenscheibe, wäre damit möglich. Ein entscheidender Vorteil von Wirbelstromsensoren ist, dass diese, unbeeinflusst vom Medium, im Spalt messen.

Hydraulik:

Der in diesem Prüfstand eingesetzte Progressivmengenregler besitzt einen zu geringen Volumenstrom. Dies wirkt sich mindernd auf die Lagerspalte aus. Nach Rücksprache mit dem Hersteller ist eine Nacharbeit am Regler nicht sinnvoll. Aus diesem Grund müsste ein neuer Regler eingebaut werden. Ein weiterer Punkt ist die Steigung der Reglerkennlinie. Sie wird umso steiler, je größer Q_0 ist. Da im vorliegenden Anwendungsfall die Volumenströme sehr gering sind, fällt die Reglerkennlinie relativ flach im Vergleich zur Volumenstrombedarfskennlinie der Taschen aus. Dies bewirkt eine deutlich schlechtere Regelung der Spalthöhe. Bei Verwendung eines Reglers mit größeren Volumenströmen würde dies einen starken Anstieg der Lagerspalte bedeuten, was eigentlich nicht erwünscht ist.

Der Prüfstand stellt den Grundbaustein zur Untersuchung von mechanisch arbeitenden Reglern für hydrostatische Lager dar. Ein alternativer Regler könnte zum Beispiel mit einem Schieberventil mit vorgegebener Öffnungs-Hubkennlinie entsprechend dem erforderlichen Taschen-durchfluss realisiert werden. Um den Lagerspalt exakt konstant zu halten, wäre eine Angleichung der Reglerkennlinie an die Durchflusskennlinie der Lagertasche erforderlich. Ebenso wünschenswert ist ein Regler in Miniaturausführung, um diesen gegebenenfalls direkt in die Lagertasche zu integrieren.

Literatur

- [1] *Datenblatt FS100-10*. Contitech.
- [2] *Maschinenelemente 11.Auflage*. Roloff/Matek, 1987.
- [3] *Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme Band 2*. VDI Verlag, 1991.
- [4] *Köhler/Rögnitz Maschinenteile 1*. Teubner, 2003.
- [5] *Maschinenelemente 3.Auflage*. Decker, 2008.
- [6] *Fluidtechnik I*. TUGraz, 2009.
- [7] *Werkzeugmaschinen*. TUGraz, 2011.

A. Anhang

A.1. Werkstattzeichnungen

A.1.1. Stückliste

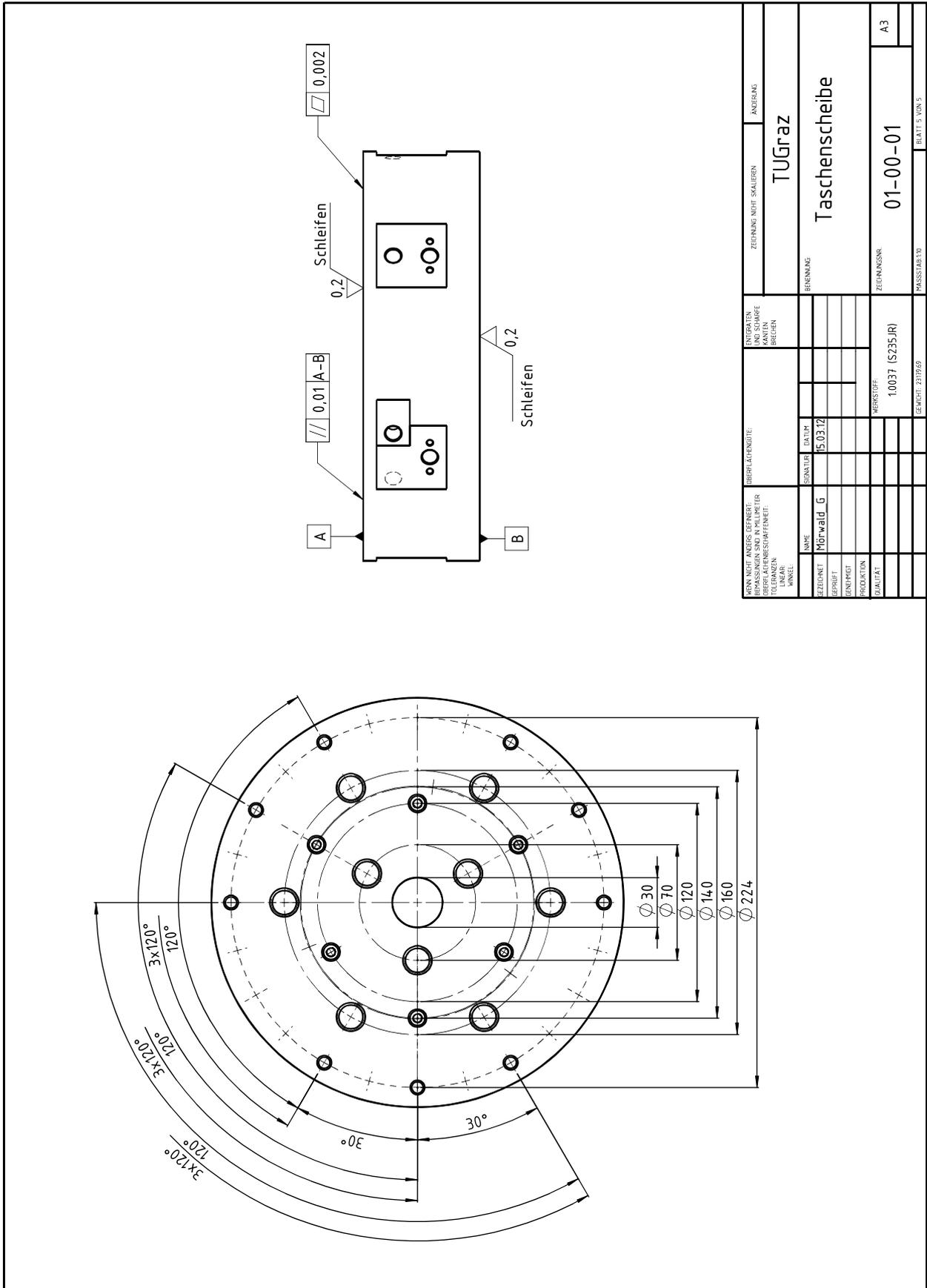
| POS-NR. | BENENNUNG | BESCHREIBUNG | MENGE |
|---------|--------------------------------|---------------------|-------|
| 100 | Taschenscheibe | Zeichn.Nr. 01-00-01 | 1 |
| 101 | Lagerring | Zeichn.Nr. 01-00-02 | 1 |
| 102 | Deckscheibe | Zeichn.Nr. 01-00-03 | 1 |
| 103 | Gewichtbolzen | Zeichn.Nr. 01-00-05 | 1 |
| 104 | Unterlegscheibe | Zeichn.Nr. 01-00-11 | 1 |
| 105 | Gewichtscheibe | Zeichn.Nr. 01-00-07 | 10 |
| 106 | Zugbolzen | Zeichn.Nr. 01-00-06 | 3 |
| 107 | Stern | Zeichn.Nr. 01-00-04 | 1 |
| 108 | Verbindungsstück Balg KTB82 | Zeichn.Nr. 01-00-10 | 1 |
| 109 | Haltestift | Zeichn.Nr. 01-00-13 | 6 |
| 110 | Tasterhalterung | Zeichn.Nr. 01-00-12 | 3 |
| 111 | Adapterscheibe KTB82 | Zeichn.Nr. 01-00-08 | 1 |
| 112 | Druckluftverteiler | Zeichn.Nr. 01-00-09 | 1 |
| 113 | Drossel | Zeichn.Nr. 01-00-14 | 3 |
| 114 | Blendenplatte | Zeichn.Nr. 01-00-17 | 6 |
| 115 | Blendenstift | Zeichn.Nr. 01-00-15 | 3 |
| 116 | Blendenstift lang | Zeichn.Nr. 01-00-16 | 3 |
| 200 | Lenkplatte | Zeichn.Nr. 02-00-04 | 3 |
| 201 | Auslösestift | Zeichn.Nr. 02-00-02 | 3 |
| 202 | Verbindungsstück | Zeichn.Nr. 02-00-08 | 6 |
| 203 | Stift | Zeichn.Nr. 02-00-06 | 6 |
| 204 | Verbindungsstange | Zeichn.Nr. 02-00-07 | 3 |
| 205 | Montagestab | Zeichn.Nr. 02-00-05 | 3 |
| 206 | Beilagscheibe | Zeichn.Nr. 02-00-03 | 6 |
| 207 | Gewichtscheibe | Zeichn.Nr. 01-00-07 | 1 |
| 208 | Auslösegriff | Zeichn.Nr. 02-00-01 | 1 |
| 300 | Tischplatte | Zeichn.Nr. 03-00-01 | 1 |
| 301 | Item Profil 80x40 natur 800 | Zeichn.Nr. 03-00-02 | 4 |
| 302 | Item Profil 40x40 natur 520 | Zeichn.Nr. 03-00-03 | 4 |
| 303 | Item Profil 40x40 natur 440 | Zeichn.Nr. 03-00-04 | 4 |
| 400 | Rohr 1 | Zeichn.Nr. 04-00-01 | 2 |
| 401 | Rohr 2 | Zeichn.Nr. 04-00-02 | 1 |
| 402 | Rohr 3 | Zeichn.Nr. 04-00-03 | 1 |
| 403 | Rohr 4 | Zeichn.Nr. 04-00-04 | 1 |
| 404 | Rohr 5 | Zeichn.Nr. 04-00-05 | 1 |
| 405 | Rohr 6 | Zeichn.Nr. 04-00-06 | 1 |
| 406 | Rohr 7 | Zeichn.Nr. 04-00-07 | 1 |
| 407 | Rohr 8 | Zeichn.Nr. 04-00-08 | 1 |

A. Anhang

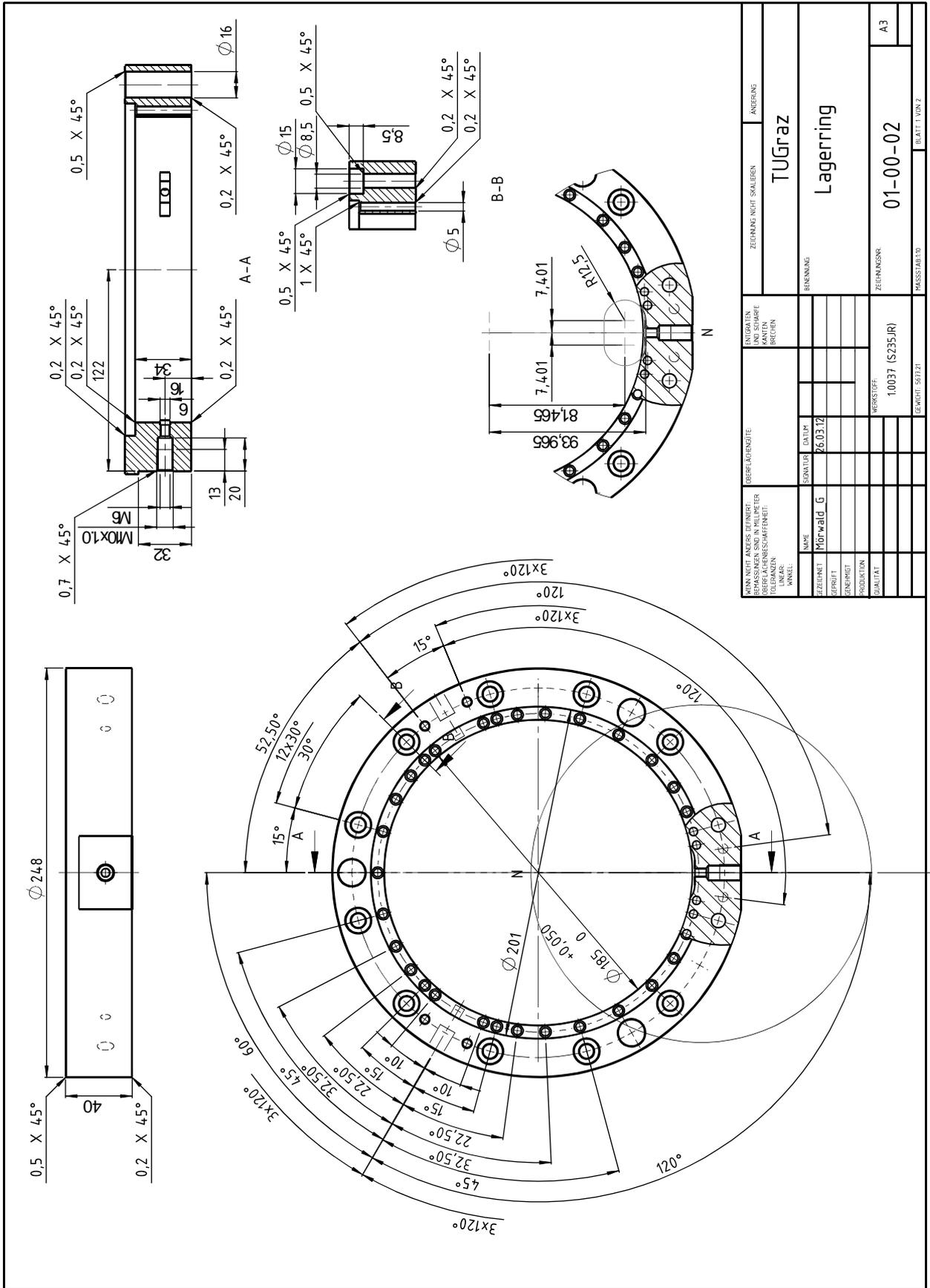
| POS-NR. | BENENNUNG | BESCHREIBUNG | MENGE |
|---------|---|---|-------|
| 408 | Blechwinkel | Zeichn.Nr. 04-00-11 | 2 |
| 409 | Halteblech | Zeichn.Nr. 04-00-12 | 1 |
| 451 | Rohr 9 | Zeichn.Nr. 04-00-09 | 1 |
| 452 | Rohr 10 | Zeichn.Nr. 04-00-10 | 1 |
| 411 | Ablauf | Zeichn.Nr. 04-02-00 | 3 |
| 117 | Einfaltenbalg | Contitech Einfaltenbalg FS 100-10 CL Art.Nr. 65745 | 1 |
| 410 | PM-Regler Hyprostatik | PM-Regler Hyprostatik Schönfeld GmbH | 1 |
| 118 | Kraftsensor KTB82 | Megatron KTB82 0-20kN | 1 |
| 119 | Messtaster | Heidenhain MT1200 | 3 |
| 121 | Drehknopf | Drehknopf mit Klemmteil für Achsdurchmesser 6mm | 6 |
| 307 | item standard verbindungssatz | Artikel: 0.0.026.07 | 16 |
| 306 | item winkelsatz 40 | Artikel: 0.0.411.15 | 16 |
| 305 | item stellfuss M10x80 | Artikel: 0.0.265.74 | 4 |
| 304 | item fussplatte 80x40 M10 | Artikel: 0.0.440.71 | 4 |
| 120 | DIN 711 - 51204 | Axialrillenkugellager SKF 51204 | 1 |
| 122 | Oring | Hydraulik O-Ring 3 x 1,5 | 12 |
| 413 | Wagener Flat Face Stecker BG 0 | Wagener Flat Face Kupplung A- Serie Stecker Best.Nr:1810-A-B | 2 |
| 414 | Wagener Flat Face Muffe BG 0 | Wagener Flat Face Muffe Best. Nr. 1820-A-6L | 2 |
| 125 | Ermetoverschraubung M10x1 | Part No. GE-06-LM-ED-CF | 9 |
| 416 | Ermeto Verschraubung | Part No. GE-06-LR-ED-CF | 5 |
| 415 | Ermeto Verschraubung | Part No. GE-06-LR1/4-ED-CF | 1 |
| 123 | Ermetoverschraubung M16x1,5 | Part No. GE-12-LM-ED-CF | 3 |
| 418 | Ermeto Blindverschraubung G0.25 zoll | Verschluss-Stopfen VSTI 1/4 EDCF | 3 |
| 124 | Ermeto Blindverschraubung M16x1,5 | Verschluss-Stopfen VSTI 16x1.5EDCF | 6 |
| 417 | Ermeto T Verschraubung | Ermeto T-Verschraubung T06LCF mit Mutter und Schneidring | 2 |
| | Hydraulikrohr | Ermeto Rohr R06X1CF | 3,1m |
| | Hydraulikrohr | Ermeto Rohr R12X1CF | 1,7m |

A. Anhang

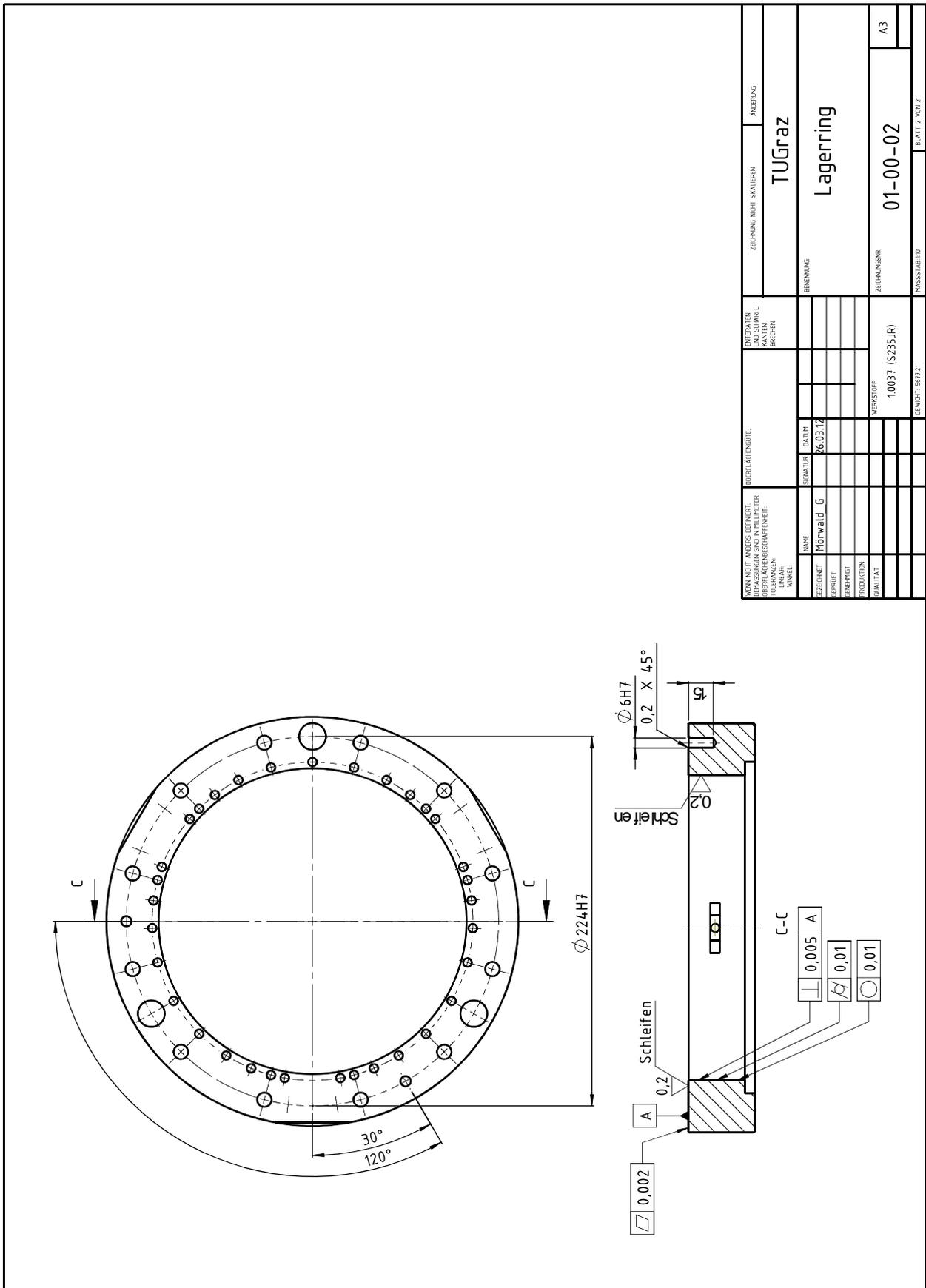
| POS-NR. | BENENNUNG | BESCHREIBUNG | MENGE |
|---------|---|---|-------|
| 412 | Hydraulik Schlauch Versorgung 100bar | Hydraulikschlauch 100bar di=4mm, l=1500mm, M12x1,5mm 6L, G3/4" Außengewinde | 2 |
| 450 | Ablaufschlauch | Hydraulikschlauch di=12mm, l=1500mm Betrieb drucklos | 3 |
| | | Schlauchklemmen für Ablaufschlauch | 6 |
| 126 | Minimesskupplung 1620 | Minimess p/T-Kupplung 1620 M10x1 Form F | 6 |
| 1 | Wartungseinheit | Fa. SMC 0.05-0.85 MPa | 1 |
| 3 | Schlauch 6mm | Druckluftschlauch 6mm Außendurchmesser | 1 |
| 4 | Kupplungsstecker KS4-1 4- A-R | Kupplungsstecker Außengewinde G1/4" | 1 |
| 2 | festo Steckverschraubung | Pneumatiksteckverschraubung G1/4" 6mm | 2 |
| 127 | festo Steckverschraubung | Pneumatiksteckverschraubung G1/4" 6mm | 4 |
| | | | 6 |
| 134 | DIN 912 M4 x 8 | Innensechskantschraube M4 x 8 8.8 | 12 |
| 210 | DIN 912 M4 x 8 | Innensechskantschraube M4 x 8 8.8 | 24 |
| | | | 36 |
| 133 | DIN 6912 - M4 x 16 | Innensechskantschraube M4 x 16 8.8 | 3 |
| 132 | DIN 6912 - M4 x 40 | Innensechskantschraube M4 x 40 8.8 | 3 |
| 419 | DIN 912 M6 x 10 | Innensechskantschraube M6 x 10 8.8 | 10 |
| 420 | DIN 912 M6 x 25 | Innensechskantschraube M6 x 25 8.8 | 4 |
| 4 | DIN 912 M6 x 25 | Innensechskantschraube M6 x 25 8.8 | 2 |
| | | | 6 |
| 131 | DIN 912 M8 x 16 | Innensechskantschraube M8 x 16 8.8 | 7 |
| 209 | DIN 912 M8 x 16 | Innensechskantschraube M8 x 16 8.8 | 6 |



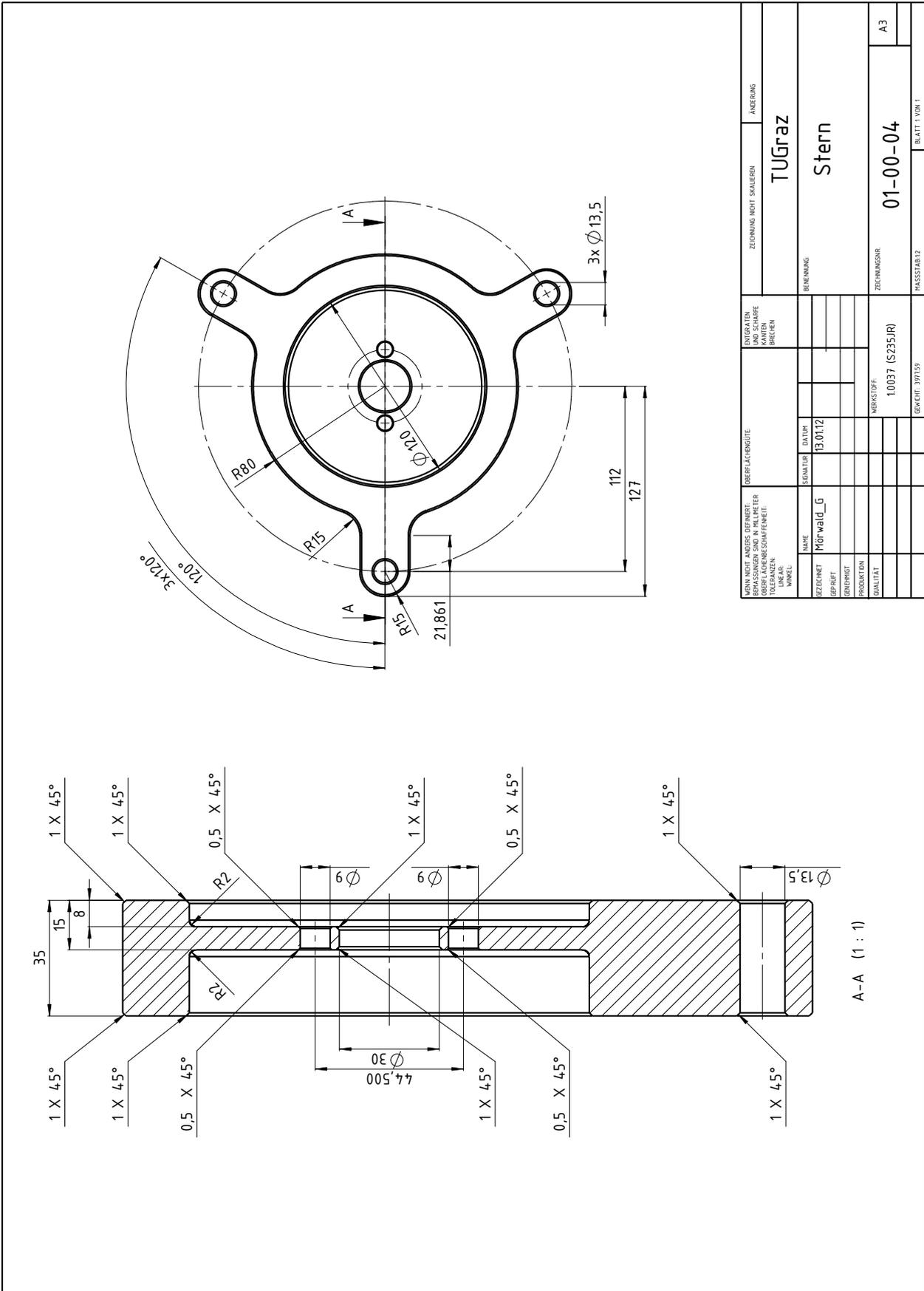
| | | | | | | | |
|---|--|----------------------------------|--|---------------------------|--|-----------------|--|
| NOMENKLATUR UND BESCHREIBUNG BEZUGSMESSSTAB IN MILLIMETER TOLERANZEN NENNUNG WINKEL | | BEREICHENDE KANTEN, BIEGEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ANDERUNG | |
| NAME Mörwald G | | GRUNDRISSE DATUM 15.03.12 | | BESCHREIBUNG TUGraz | | TASCHENSCHLEIBE | |
| ZEICHNET GEPRÜFT | | ZEICHNUNG | | ZEICHNUNGSNR. 01-00-01 | | A3 | |
| PRODUKTION | | WERKSTOFF: 1.0037 (S235JR) | | MASSSTAB: 1:1 | | BLATT 5 VON 5 | |
| ZUSATZ | | GEWICHT: 237,69g | | | | | |



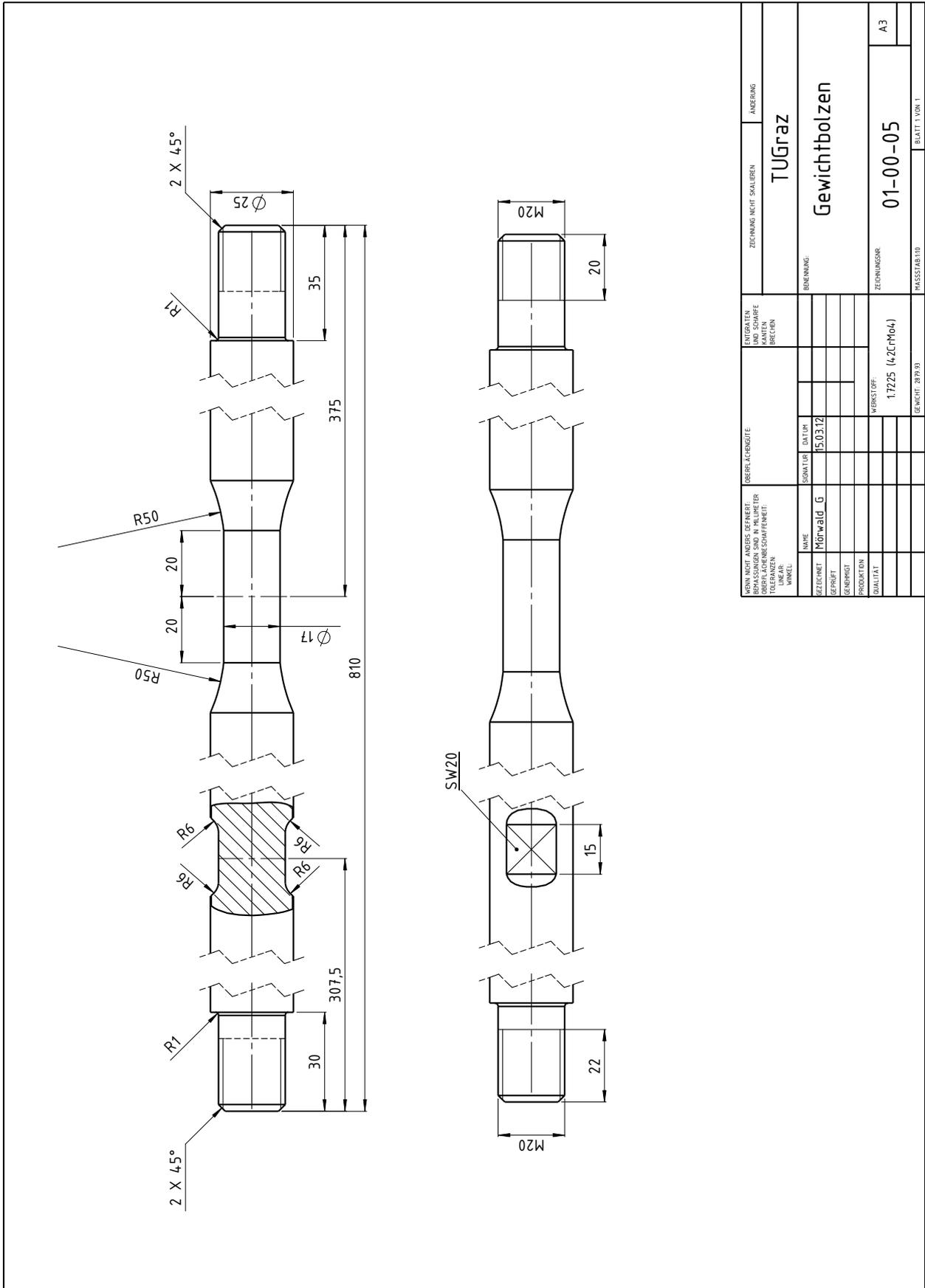
| | | | | | | | |
|-------------------------|--|-------------------|--|-------------------------|--|---------------|--|
| NAME: Morwald G | | ÜBERLÄGENGTE: | | ZEHNUNG NICHT SKALIEREN | | ANMERKUNG: | |
| ZEICHNET: Morwald G | | DATE: 26.03.12 | | TUGraz | | Lagerring | |
| PROJEKT: 10037 (S235JR) | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSKR.: 01-00-02 | | A3 | |
| QUALITÄT: | | IB-NRCHT: 5617.21 | | MASSSTAB: 1:1 | | BLATT 1 VON 2 | |



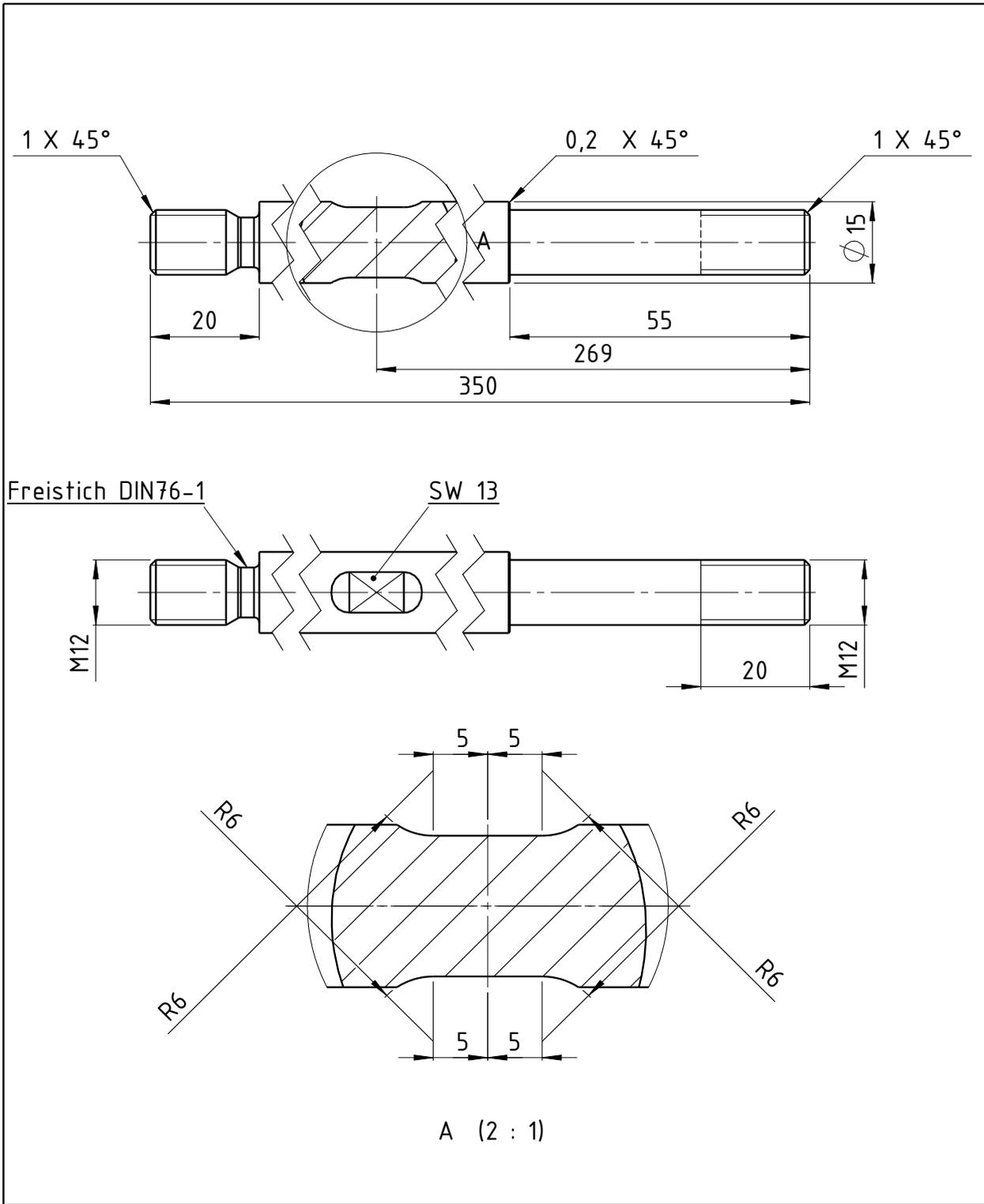
| NAME UND ANSICHTSZEICHEN BEZUGSMESSSTAB IN MILLIMETER TOLERANZEN WINKEL | | BEREICHENDE GRADUS BOGEN | | ENTWERFEN UND SCHREIBEN KANTEN BEZEICHNEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ANLEGER | |
|--|------------|--------------------------------|-------|--|--|---------------------------|--|--------------------------|--|
| NAMEN | Mörwald, G | GRADUS | BOGEN | | | BEREICHENDE | | TU Graz | |
| ZEICHNET | | GRADUS | BOGEN | | | BEREICHENDE | | Lagerring | |
| BEPROBT | | GRADUS | BOGEN | | | BEREICHENDE | | 01-00-02 | |
| ZENHMIST | | GRADUS | BOGEN | | | BEREICHENDE | | A3 | |
| PRODUKTION | | GRADUS | BOGEN | | | BEREICHENDE | | 10037 (S235JR) | |
| SKALIEREN | | GRADUS | BOGEN | | | BEREICHENDE | | WEKSTOFF: 10037 (S235JR) | |
| | | GRADUS | BOGEN | | | BEREICHENDE | | GEWICHT: 567,21 | |
| | | GRADUS | BOGEN | | | BEREICHENDE | | MASSSTAB: 1:0 | |
| | | GRADUS | BOGEN | | | BEREICHENDE | | BLATT 2 VON 2 | |



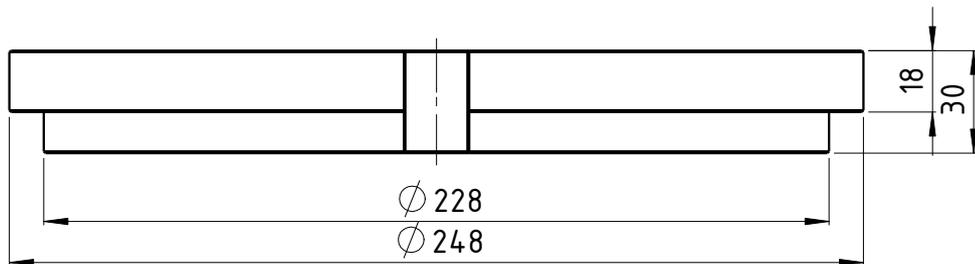
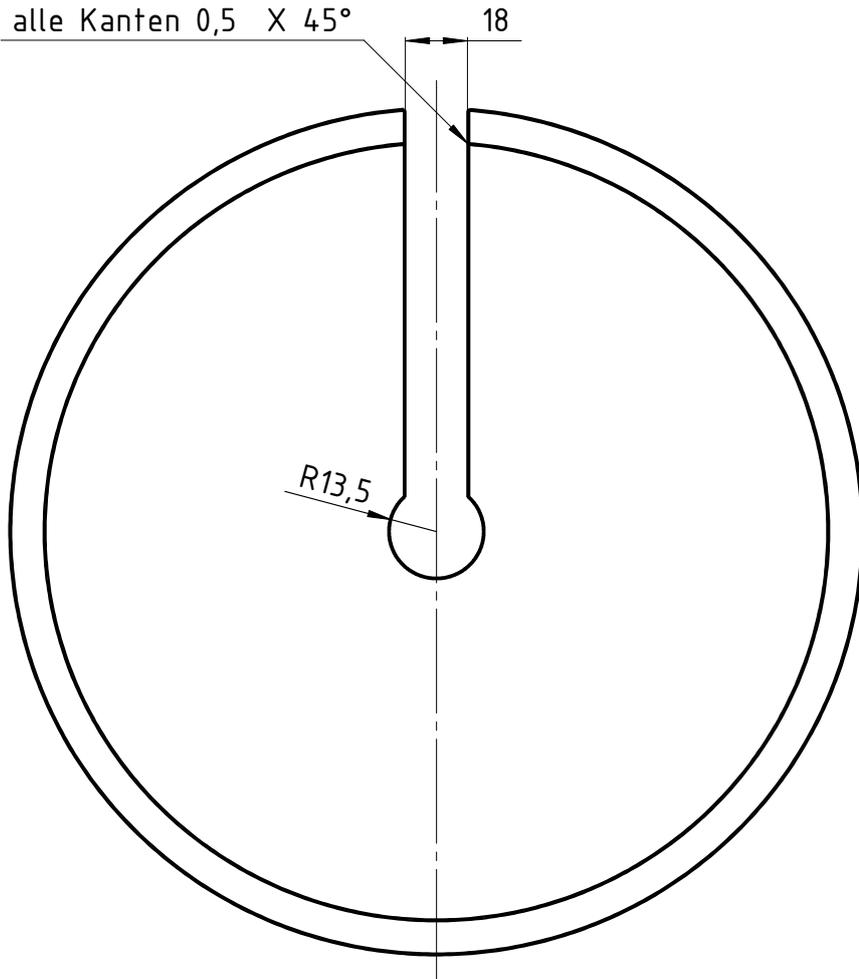
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: ABMESSUNGEN SIND IN MILLIMETER ANGABEN IN KLEINEREN SCHRIFTGRÖßEN SIND TOLERANZEN LINIEAR- WINKEL | | BEREICHENGÜTE | | ENTWURFEN UND RECHENEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
|--|------------|----------------|----------|------------------------------|-------------|---------------------------|----------------|---------------|---------------|
| NAMME | BEZUGSSTAB | DATUM | ZEICHNER | PROJEKTLEITER | PROJEKTNAME | PROJEKTNUMMER | PROJEKTSTADIUM | PROJEKTLEITER | PROJEKTNUMMER |
| Mörwald_G | | 13.01.12 | | | TUGraz | | | | |
| BEZEICHNET | | | | | STERN | | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | | | | | | |
| WERKSTOFF: | | 10037 (S235JR) | | ZEICHNUNGSNR. | | 01-00-04 | | A3 | |
| BEZUGSSTAB: | | 1:1 | | MATERIAL: | | BLATT 1 VON 1 | | | |



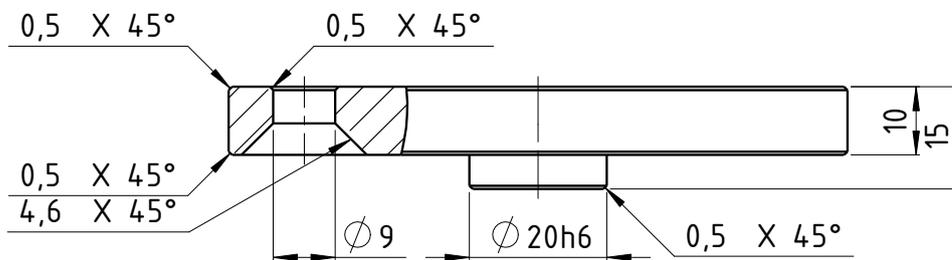
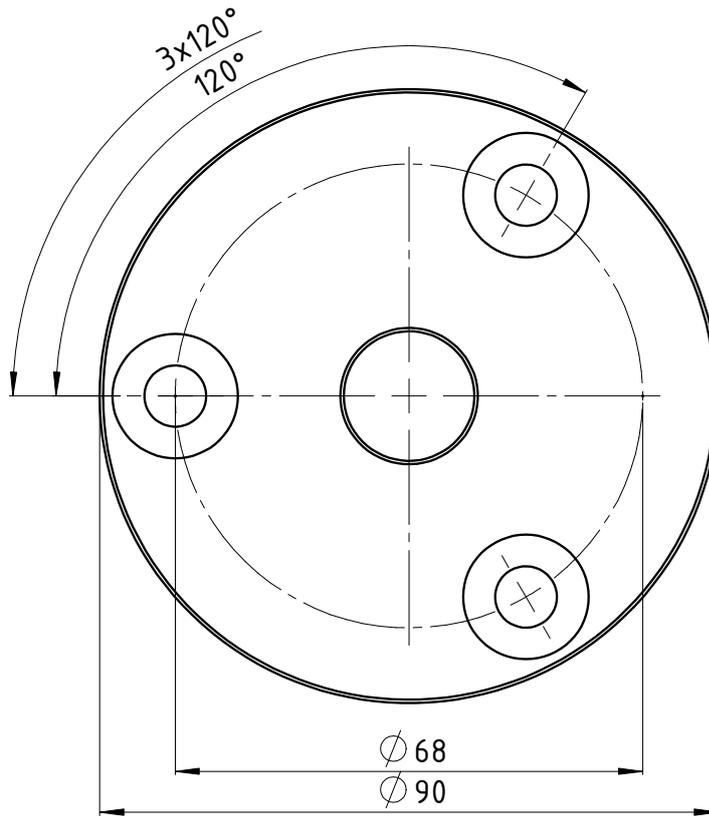
| | | | | | | | | | |
|--|-----------|----------------|-------|--------------------------------|---------------|---------------------------|--|----------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: ALLE DIMENSIONEN SIND IN MILLIMETER TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | BEREICHENDEUTE | | ENTGRATEN KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| NAME | Mörwald_G | SONSTIG | DATEI | 15.03.12 | TUGraz | | | | |
| GEZEICHNET | | GEPRÜFT | | | Gewichtbolzen | | | | |
| PROJEKTION | | PROJEKTION | | | BEZEICHNUNG | | | | |
| QUALITÄT | | QUALITÄT | | | 01-00-05 | | | | |
| | | WERKSTÜCK | | 1.7225 (42CrMo4) | ZEICHNUNGSNR. | | | | |
| | | GEWICHT | | 20/9,93 | MASSSTAB 1:1 | | | | |
| | | | | | BLATT 1 VON 1 | | | | |



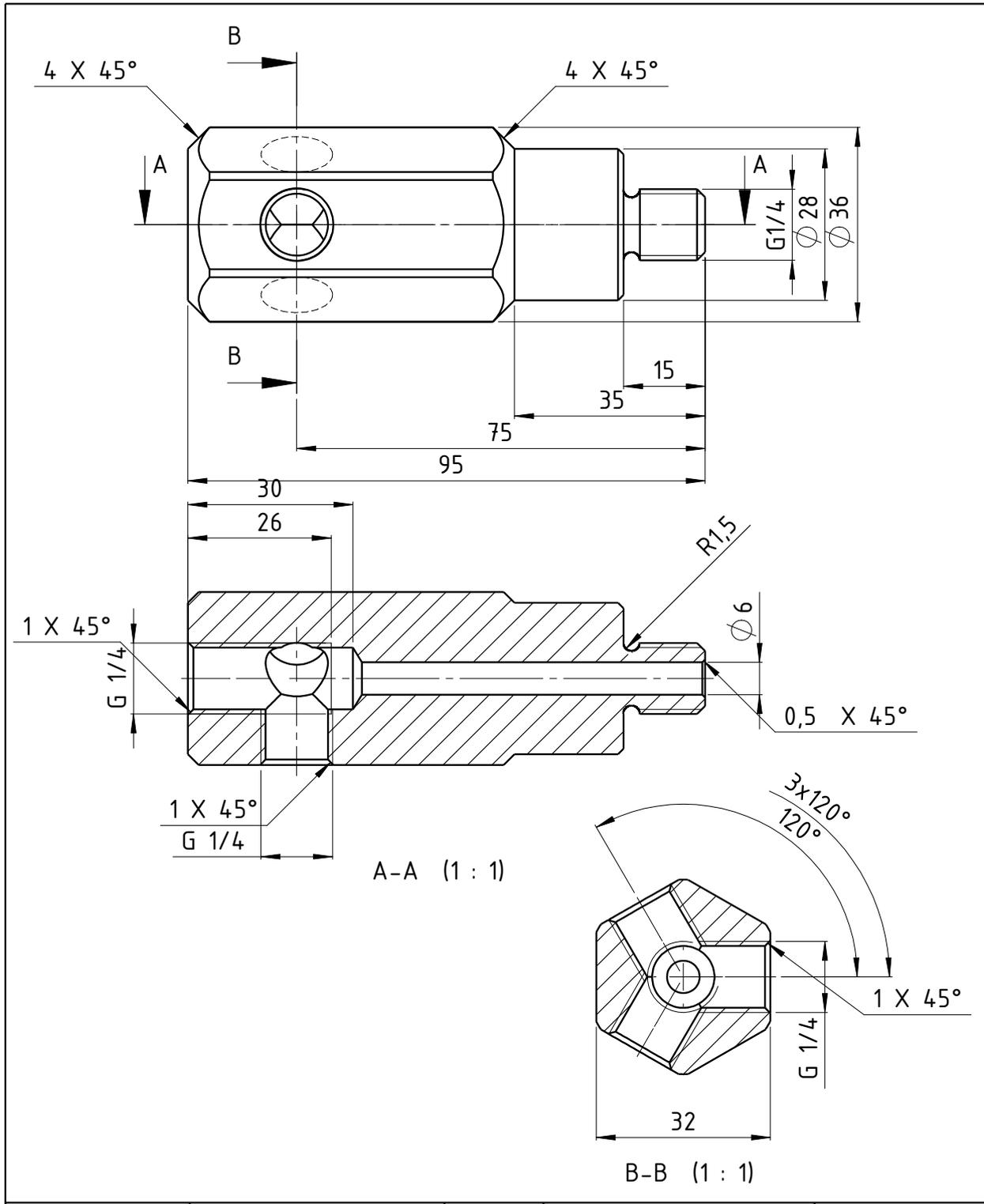
| | | | | | | | |
|---|-----------|------------------|----------|---|--|---------------------------|---------------|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | ÄNDERUNG |
| | | | | | | TUGraz | |
| GEZEICHNET | NAME | SIGNATUR | DATUM | BENENNUNG: | | | |
| | Mörwald G | | 12.12.11 | Zugbolzen | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | |
| | | | | 1.7225 (42CrMo4) | | 01-00-06 | |
| | | | | GEWICHT: 442.08 | | MASSSTAB:1:1 | BLATT 1 VON 1 |



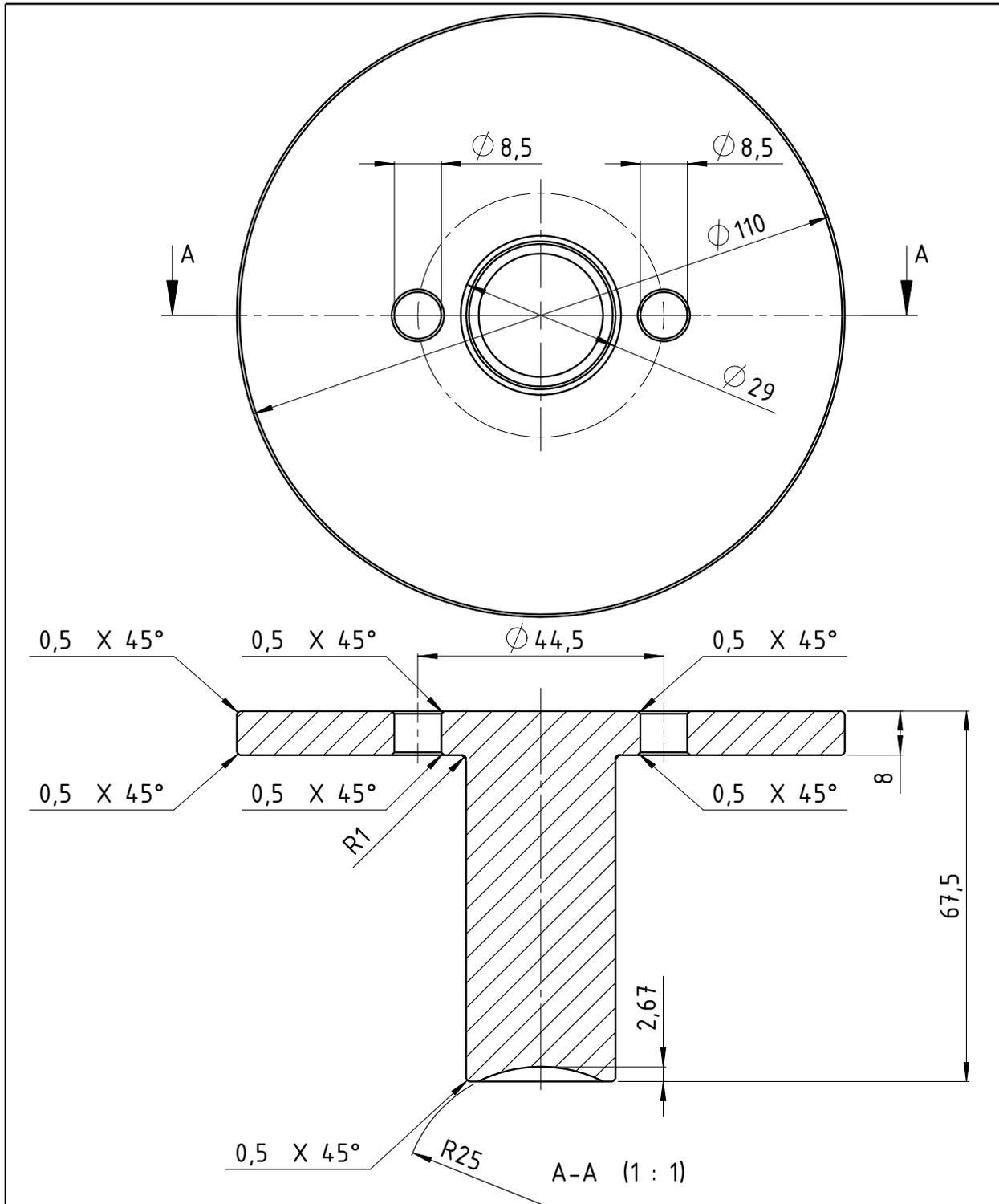
| | | | | | | | |
|---|-----------|------------------|----------|-------------------|---|---------------------------|----------|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | ÄNDERUNG |
| | | | | | TUGraz | | |
| GEZEICHNET | NAME | SIGNATUR | DATUM | | Gewichtscheibe | | |
| | Mörwald G | | 22.03.12 | | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | ZEICHNUNGSNR. | 01-00-07 | |
| | | | | 10037 (S235JR) | | | |
| | | | | GEWICHT: 10014,14 | MASSSTAB:15 | BLATT 1 VON 1 | |



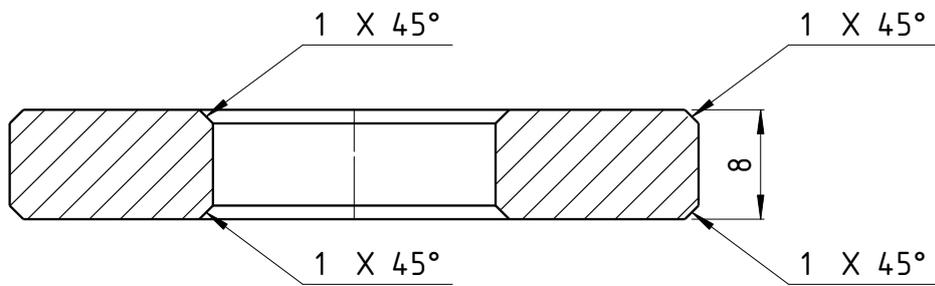
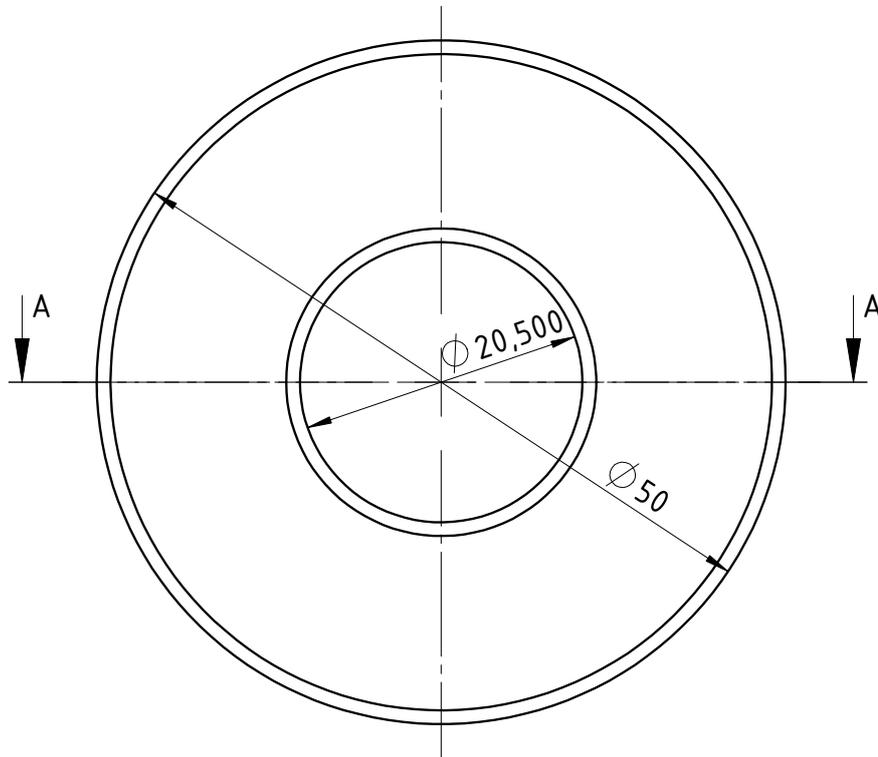
| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|-----------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | | | |
| GEZEICHNET | | Mörwald G | | 13.01.12 | | Adapterscheibe KTB82 | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | A4 | |
| | | | | 1.0037 (S235JR) | | 01-00-08 | | | |
| | | | | GEWICHT: 483.38 | | MASSTAB:1:1 | | BLATT 1 VON 1 | |



| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|---------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| | | | | | | Druckluftverteiler | | | |
| NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | | | |
| Mörwald G | | | | 13.01.12 | | | | | |
| GEZEICHNET | | GEPRÜFT | | GENEHMIGT | | ZEICHNUNGSNR. | | | |
| | | | | | | 01-00-09 | | | |
| PRODUKTION | | QUALITÄT | | WERKSTOFF: | | MASSSTAB:1:2 | | BLATT 1 VON 1 | |
| | | | | 1.0037 (S235JR) | | | | A4 | |
| | | | | GEWICHT: 451.45 | | | | | |

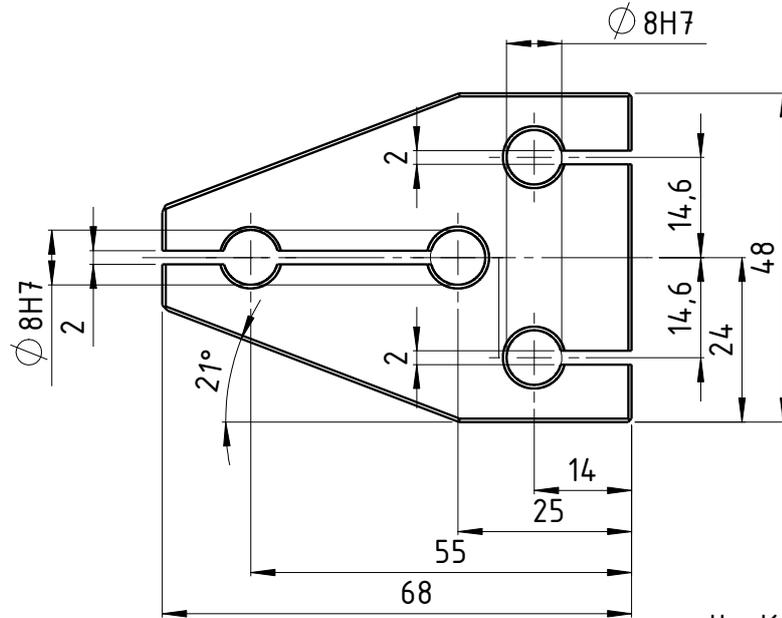


| | | | | | | | | | |
|---|------|------------------|-------------------|---|--|---|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| | | | | | | BENENNUNG: Verbindungsstück Balg KTB82 | | | |
| GEZEICHNET Mörwald G | NAME | SIGNATUR | DATUM 12.12.11 | | | ZEICHNUNGSNR. 01-00-10 | | A4 | |
| GEPRÜFT | | | GENEHMIGT | | | WERKSTOFF: 1.0037 (S235JR) | | MASSSTAB:1:2 | |
| PRODUKTION | | | QUALITÄT | | | GEWICHT: 846.71 | | BLATT 1 VON 1 | |

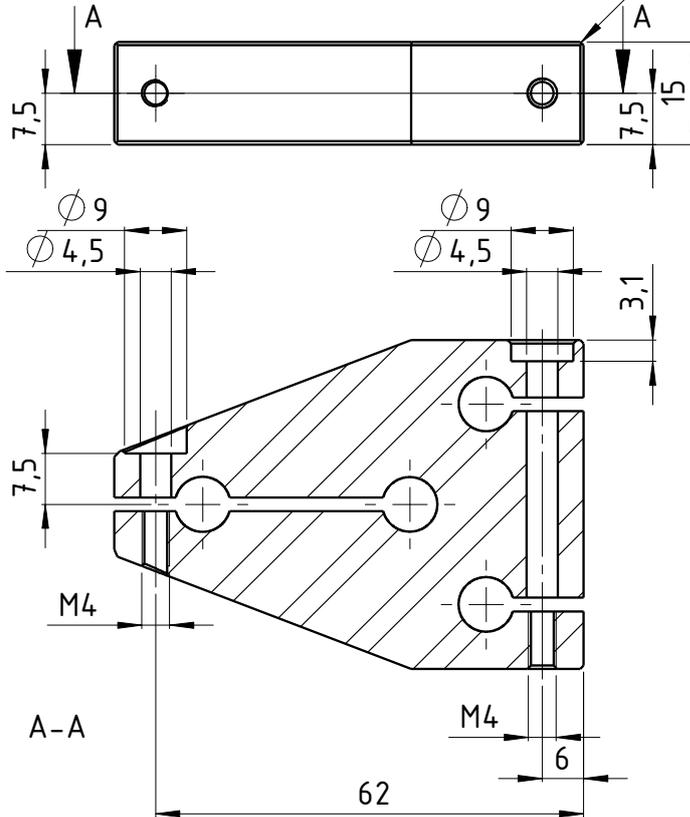


A-A

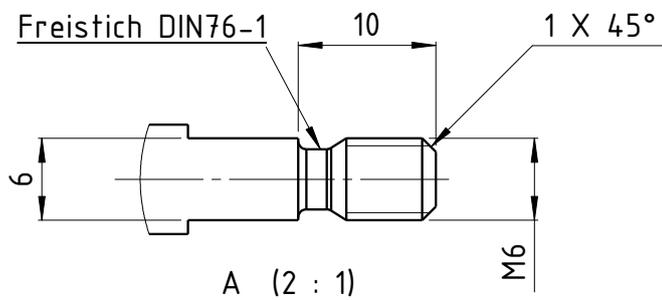
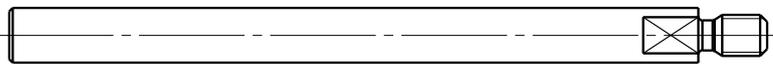
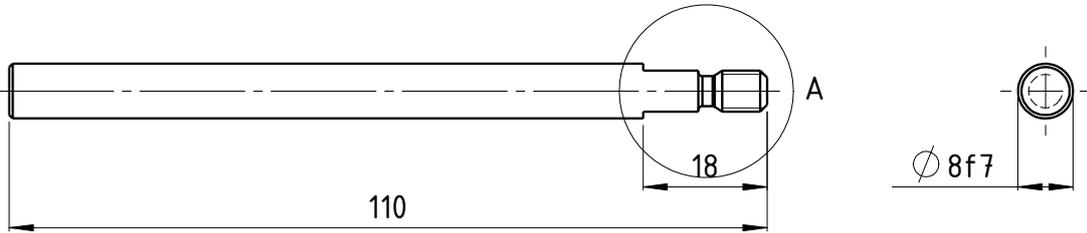
| | | | | | | | |
|---|----------|-------------------|--|---|--|--------------------------------------|---------------|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | ÄNDERUNG |
| | | | | | | TUGraz | |
| | | | | | | BENENNUNG: Unterlegscheibe | |
| GEZEICHNET Mörwald G | SIGNATUR | DATUM 12.12.11 | | | | ZEICHNUNGSNR. 01-00-11 | A4 |
| GEPRÜFT | | | | | | MASSSTAB: 2:1 | BLATT 1 VON 1 |
| GENEHMIGT | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: 1.0037 (S235JR) | | | |
| | | | | GEWICHT: 100.20 | | | |



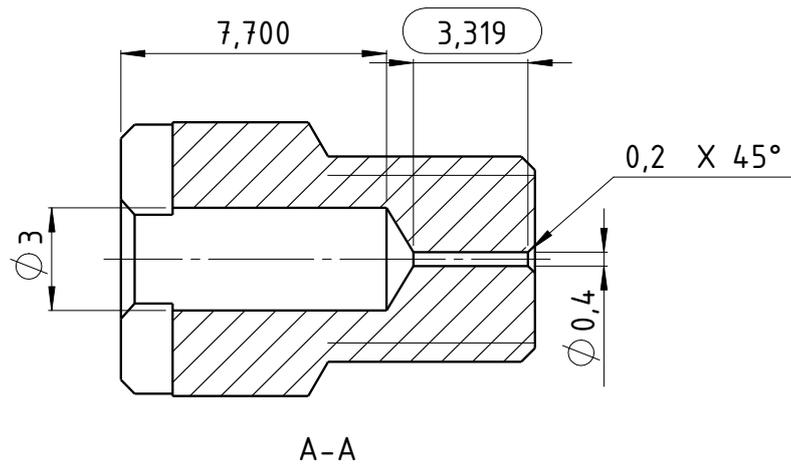
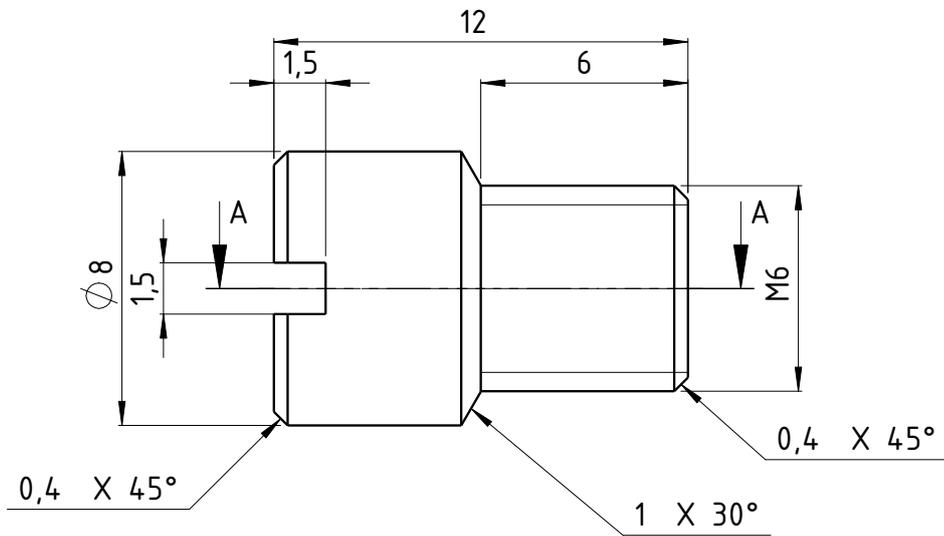
alle Kanten 0,5 x 45°



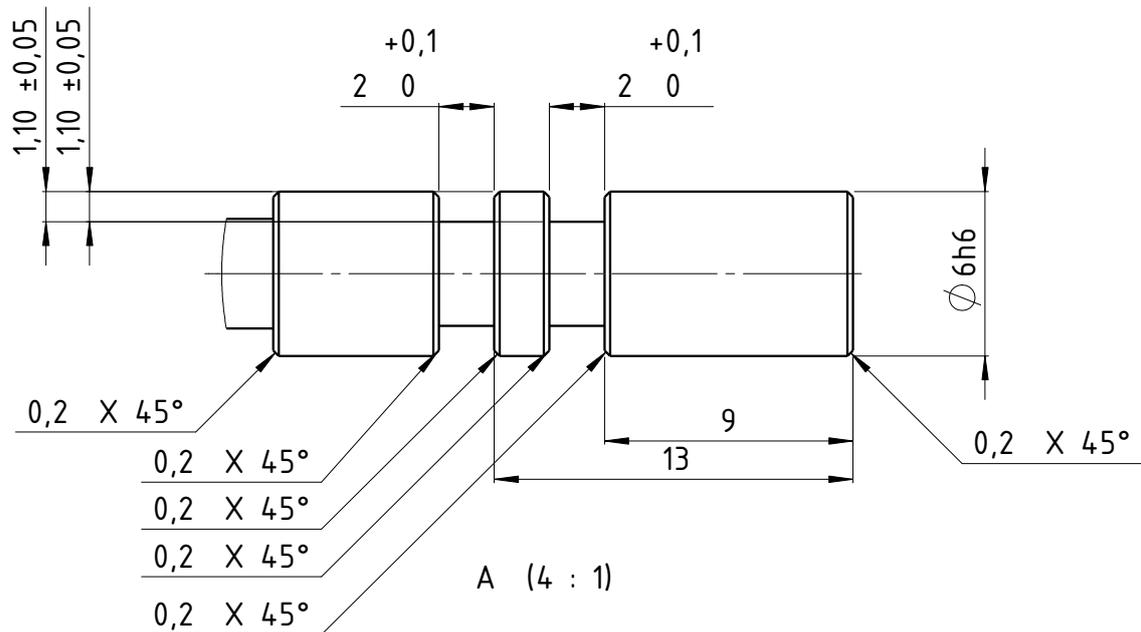
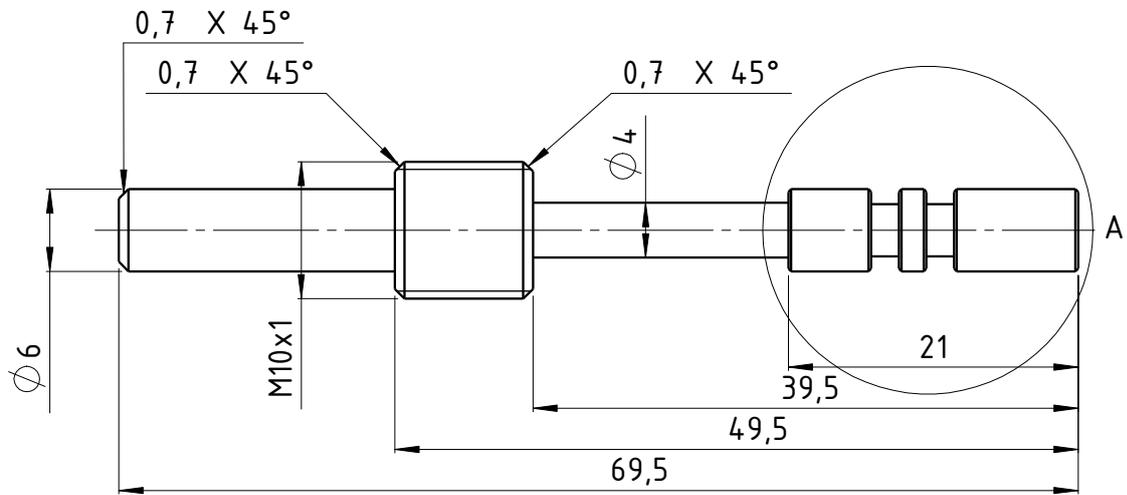
| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|---------------------------|--|-----------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| GEZEICHNET | | NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | |
| | | Mörwald G | | | | 12.12.11 | | Tasterhalterung | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | |
| | | | | | | 3.0205 (EN AW-1200) | | 01-00-12 | |
| | | | | | | GEWICHT: 87.83 | | MASSSTAB:1:1 | |
| | | | | | | | | BLATT 1 VON 1 | |
| | | | | | | | | A4 | |



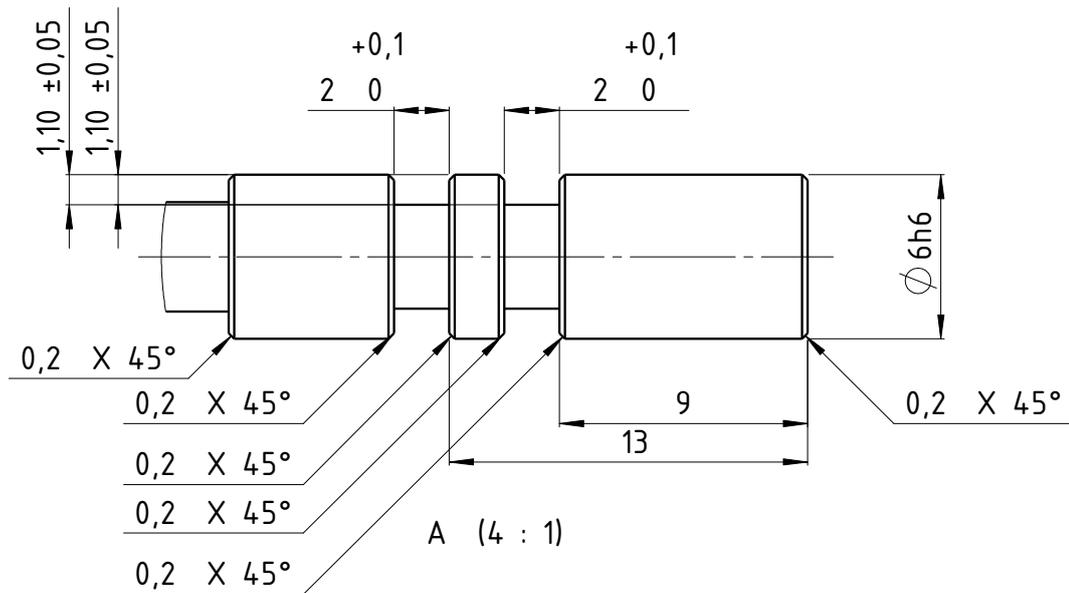
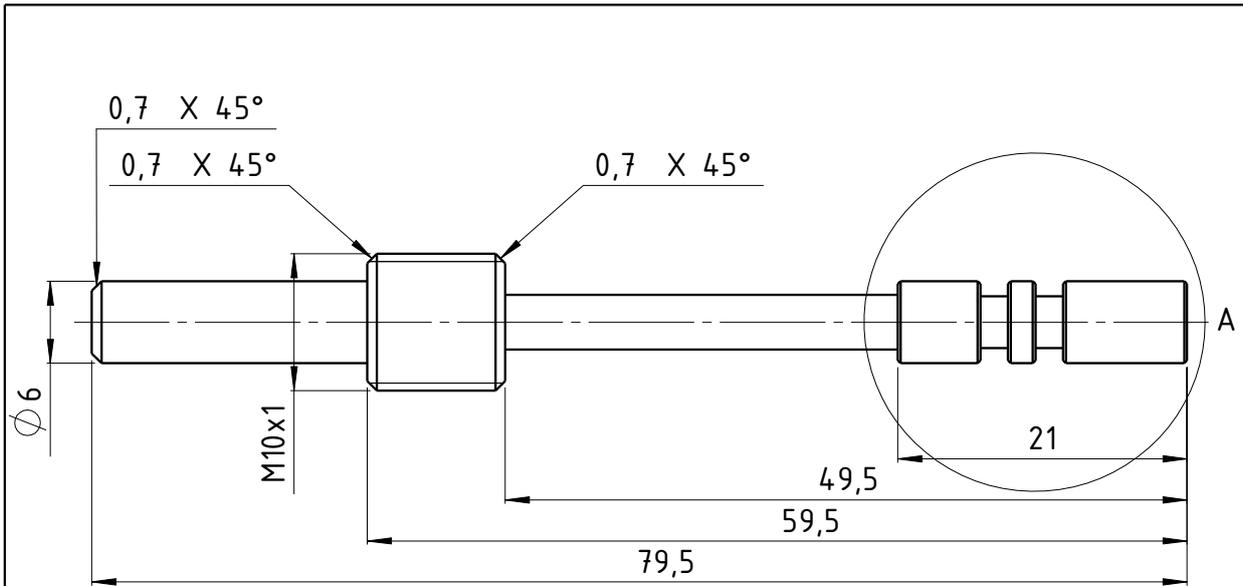
| | | | | | | | |
|---|------|------------------|-------|------------------|---|---------------------------|----------|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | ÄNDERUNG |
| | | | | | TUGraz | | |
| GEZEICHNET | NAME | SIGNATUR | DATUM | | BENENNUNG: Haltestift | | |
| GEPÜFT | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | ZEICHNUNGSNR. | A4 | |
| | | | | 1.7225 (42CrMo4) | 01-00-13 | | |
| | | | | GEWICHT: 40.58 | MASSSTAB:1:1 | BLATT 1 VON 1 | |



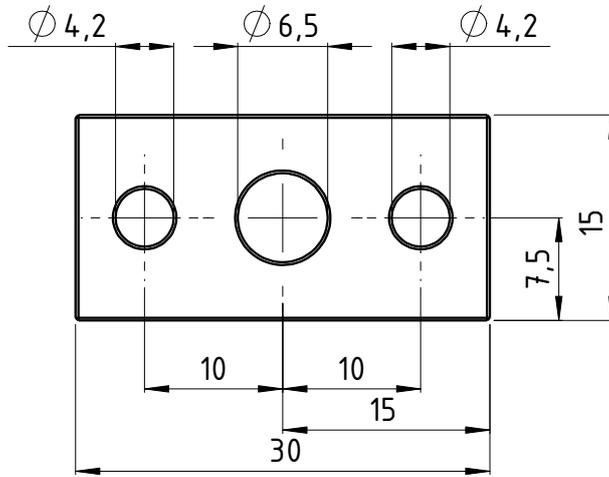
| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|---------------------------|--|----------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| GEZEICHNET | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | | | |
| Mörwald G | | | | 26.03.12 | | TUGraz Drossel | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | ZEICHNUNGSNR. | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | 01-00-14 | | | |
| PRODUKTION | | | | | | A4 | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | MASSTAB:5:1 | | | |
| | | | | 10037 (S235JR) | | BLATT 1 VON 1 | | | |
| | | | | GEWICHT: 3.06 | | | | | |



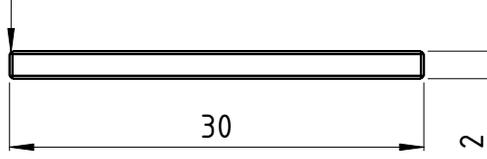
| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|---------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| GEZEICHNET | | SIGNATUR | | DATUM | | TUGraz Blendenstift | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | A4 | |
| | | | | 10037 (S235JR) | | 01-00-15 | | | |
| | | | | GEWICHT: 16.29 | | MASSTAB:1:1 | | BLATT 1 VON 1 | |



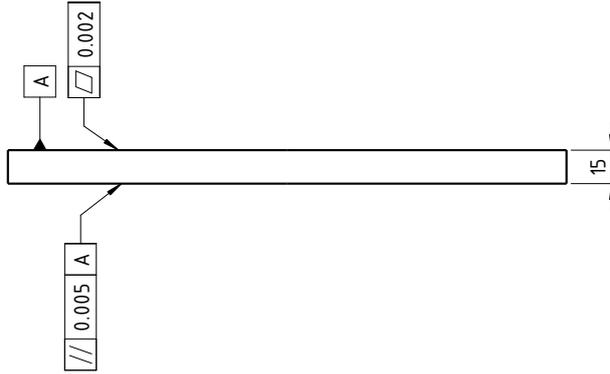
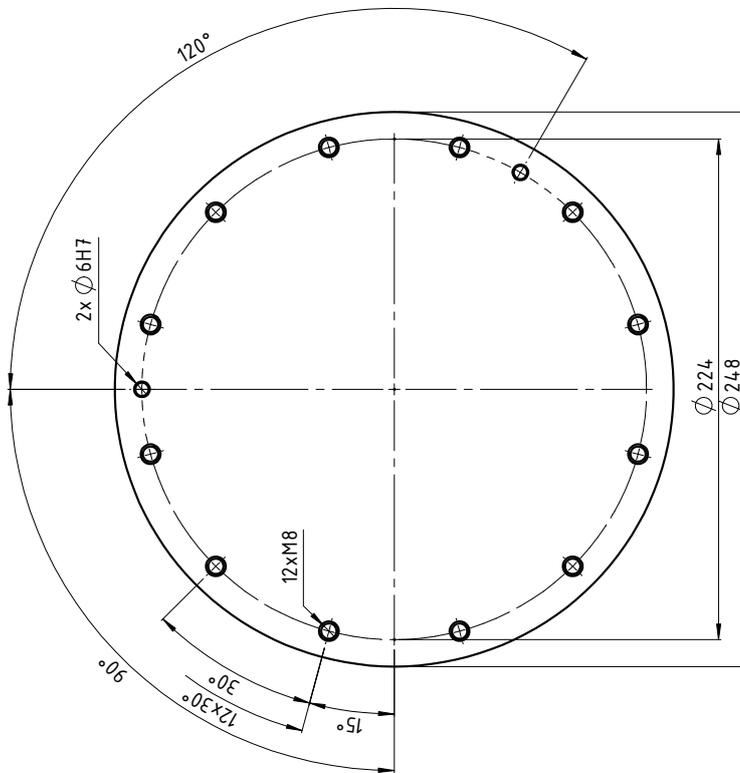
| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|---------------------------|--|--------------------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| GEZEICHNET | | NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | |
| | | Mörwald_G | | | | 13.02.12 | | Blendenstift lang | |
| GEPÜFT | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | A4 | |
| | | | | 1.0037 (S235JR) | | 01-00-16 | | | |
| | | | | GEWICHT: 17.27 | | MASSSTAB:1:1 | | BLATT 1 VON 1 | |



alle Kanten 0,2 X 45°

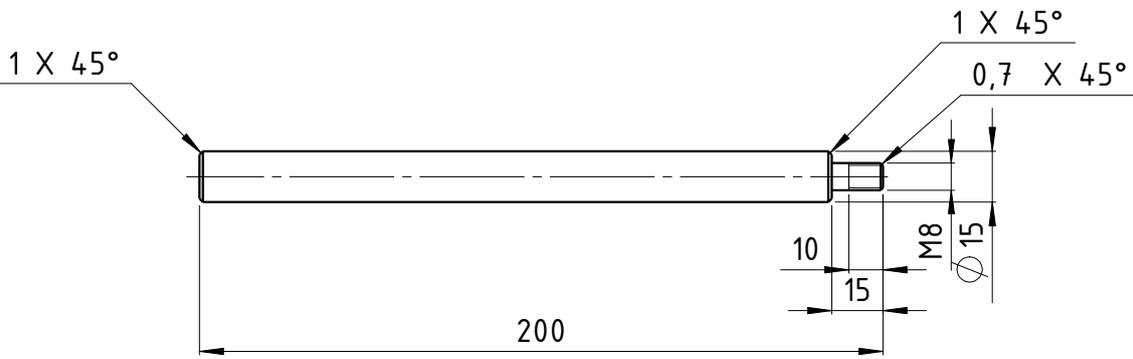


| | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------------|---|--|-----------------------------|--|---------------|----|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | | |
| | | | | | | | TUGraz | | | | |
| GEZEICHNET | NAME Mörwald G | SIGNATUR | DATUM 12.01.12 | | | | BENENNUNG: Blendenplatte | | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: 1.0037 (S235JR) | | | ZEICHNUNGSNR. 01-00-17 | | | A4 | |
| | | | | GEWICHT: 6.03 | | | MASSSTAB:2:1 | | BLATT 1 VON 1 | | |

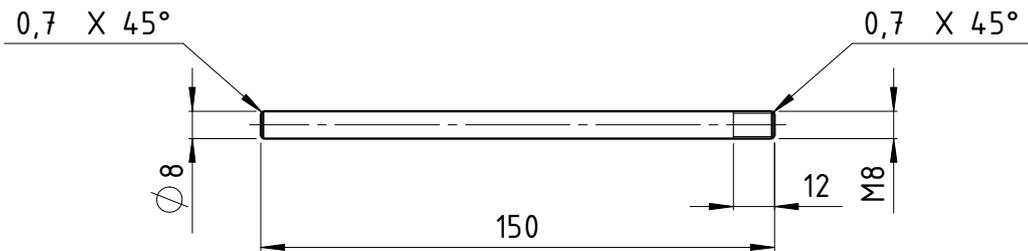


Aufspannplatte für Lagerring Zeichn.Nr.: 01-00-02

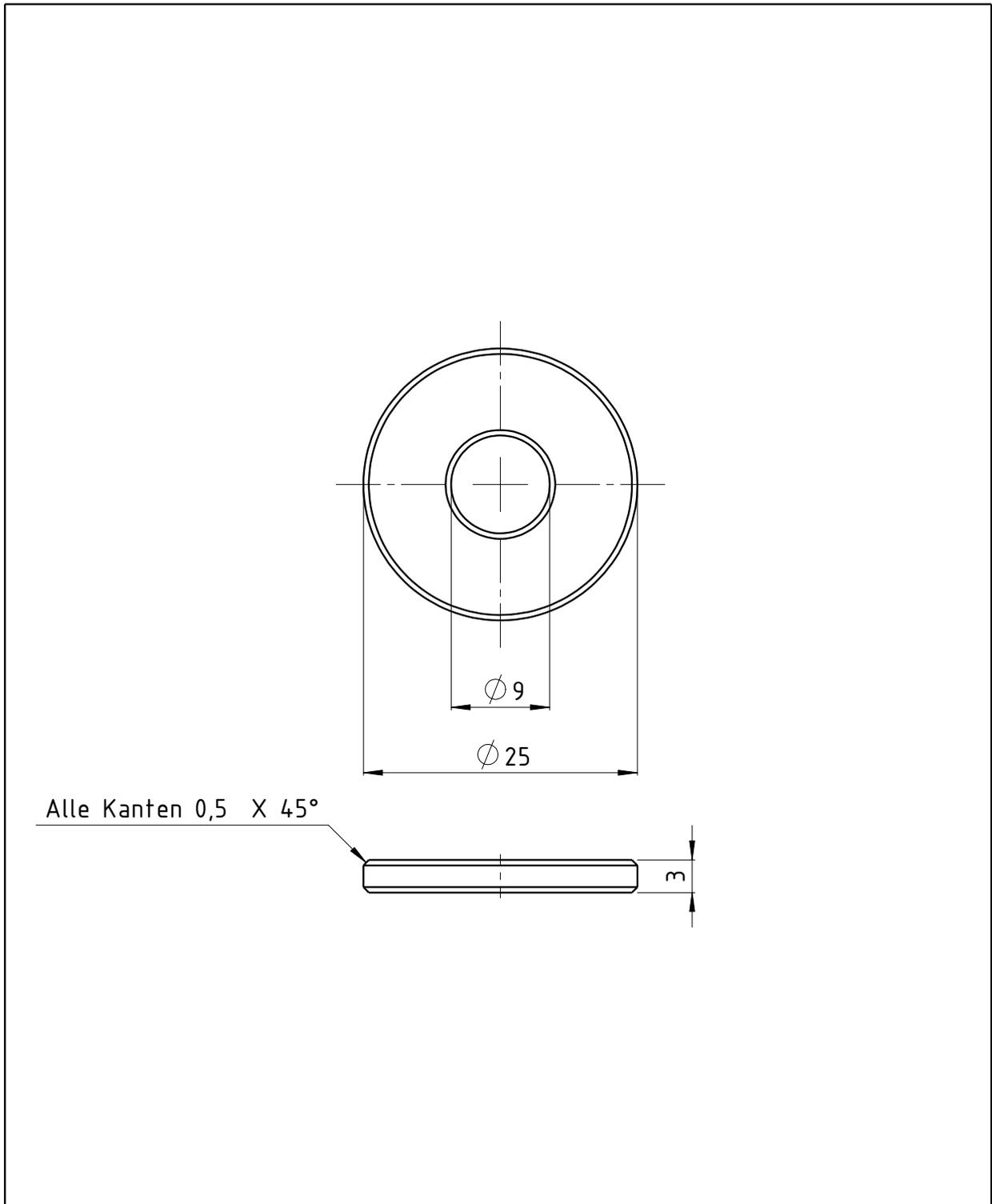
| | | | | | | | | | |
|--|-----------------|----------------|-----------------|--------------------------------|--|---------------------------|--|----------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: KONTAKTFLÄCHEN: ÜBERFLÄCHENBEWEISUNGSWEISE: TOLERANZEN: WINKEL: | | BEREICHENGRÖÖE | | ENTGRATEN KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| NAME | SONSTIGER DATUM | DA/TUM | BENENNUNG: | | | | | | |
| GEZEICHNET | Mörwald_G | 16.02.12 | TUGraz | | | | | | |
| GEPRÜFT | | | Aufspannplatte | | | | | | |
| PROJEKTION | | | ZEICHNUNGSNR. | | | | | | |
| QUALITÄT | | | 01-00-18 | | | | | | |
| | | | WEKSTÜFF: | | | | | | |
| | | | 1.0037 (S235JR) | | | | | | |
| | | | MASSSTAB: 1:1 | | | | | | |
| | | | BLATT 1 VON 1 | | | | | | |



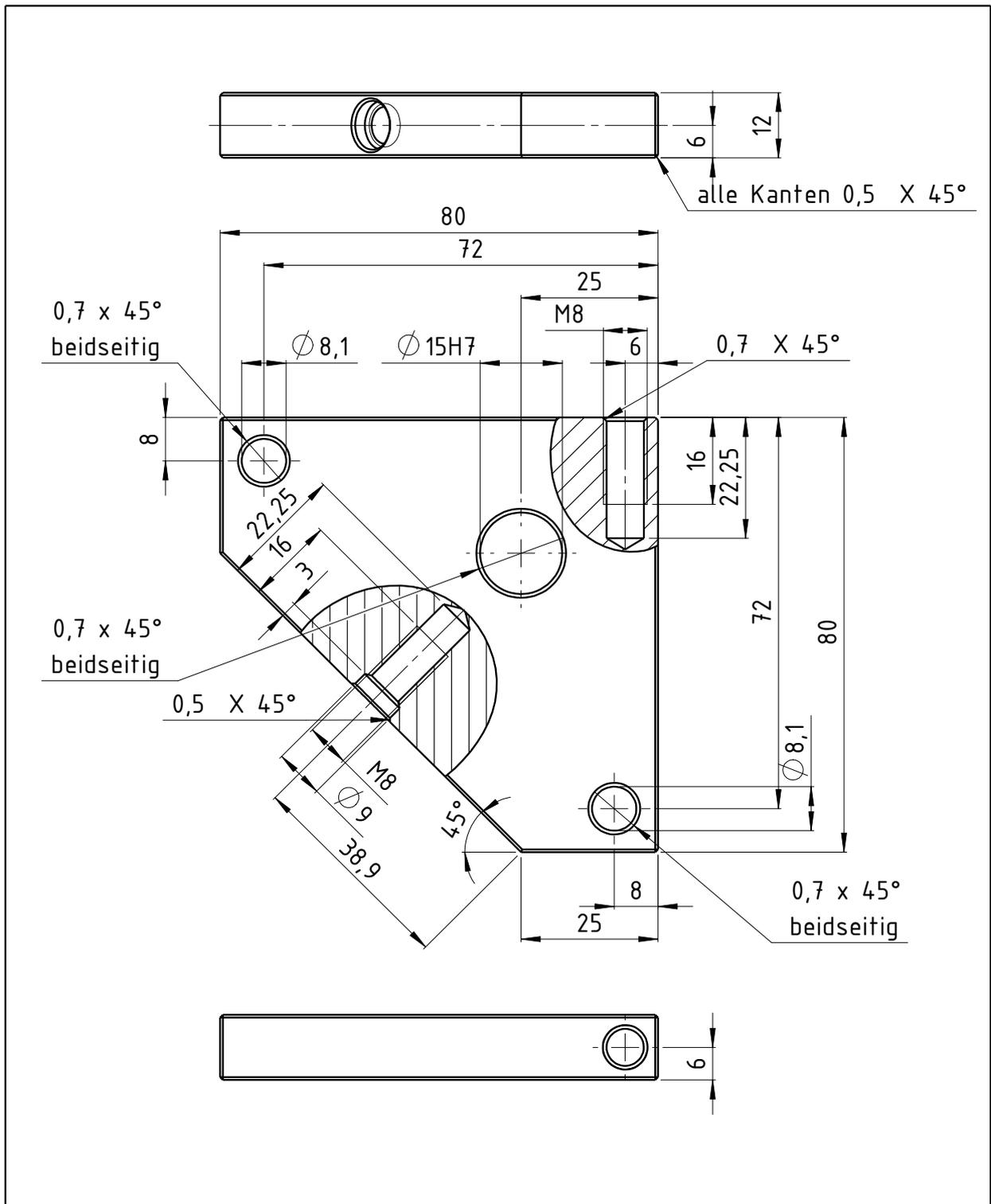
| | | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|----------|----------|---|--|---------------------------|--|----------|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | | |
| | | | | | | | TUGraz | | | | |
| GEZEICHNET | | NAME | SIGNATUR | DATUM | | | BENENNUNG: | | | | |
| GEPRÜFT | | Mörwald G | | 15.01.12 | | | Auslösegriff | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | | A4 | |
| | | | | | 1.0037 (S235JR) | | 02-00-01 | | | | |
| | | | | | GEWICHT: 260.48 | | MASSSTAB:1:2 | | | BLATT 1 VON 1 | |



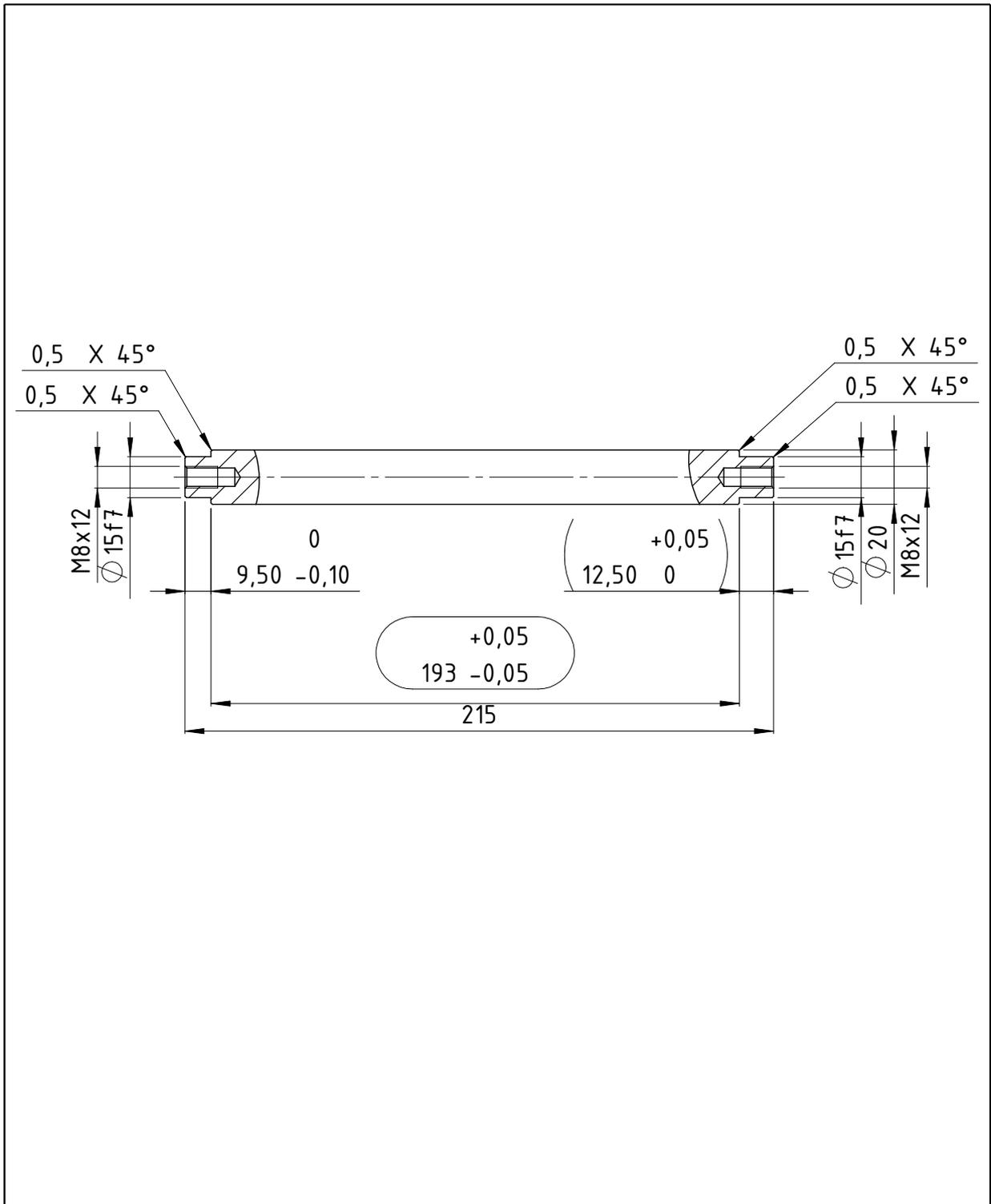
| | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|----------|--|---|----------------|---------------------------|---------------------------------------|----------|---------------|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | | TUGraz | | | |
| NAME | | SIGNATUR | DATUM | | | | | BENENNUNG: Auslösestift | | |
| GEZEICHNET | | Mörwald G | 15.01.12 | | | | | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | ZEICHNUNGSNR. 02-00-02 | | |
| QUALITÄT | | | | | | | | | | |
| | | | | | | WERKSTOFF: | | | | |
| | | | | | | 10037 (S235JR) | | | | |
| | | | | | | GEWICHT: 58.72 | | MASSSTAB:1:2 | | BLATT 1 VON 1 |



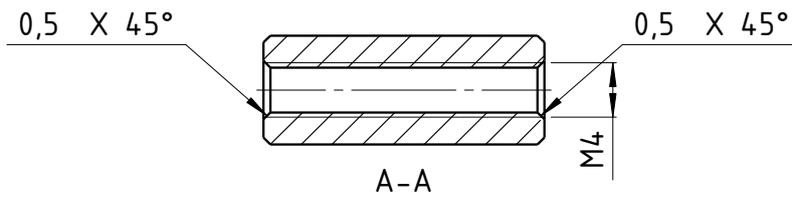
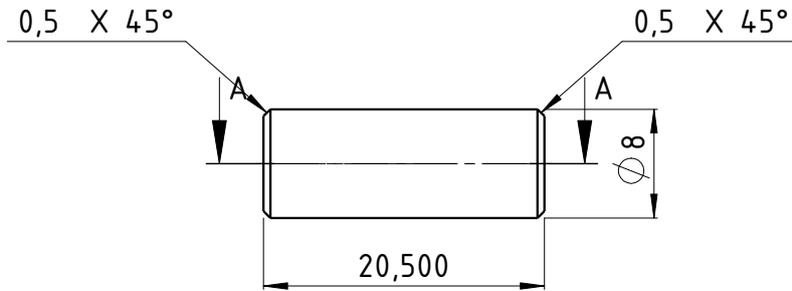
| | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------------|--|---|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|---------------|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | | TUGraz | | | |
| NAME Mörwald G | | SIGNATUR | DATUM 15.01.12 | | | | | BENENNUNG: Beilagscheibe | | |
| GEZEICHNET | | | | | | | | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | | | WERKSTOFF: 1.0037 (S235JR) | | ZEICHNUNGSNR. 02-00-03 | | A4 |
| | | | | | | GEWICHT: 9.79 | | MASSSTAB: 2:1 | | BLATT 1 VON 1 |



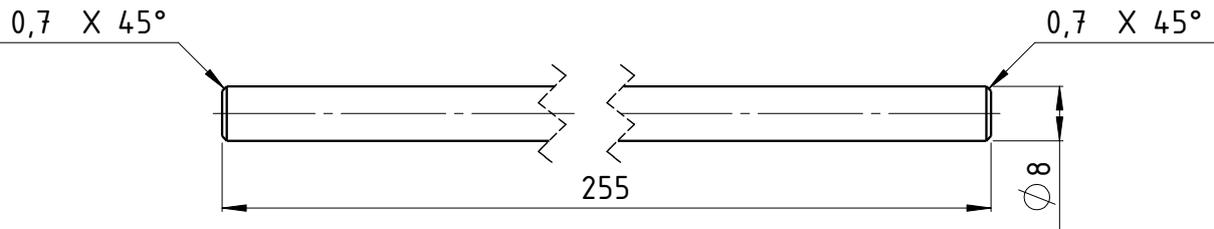
| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|---------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| | | | | | | Lenkplatte | | | |
| | | | | | | 02-00-04 | | | |
| | | | | | | | | A4 | |
| | | | | WERKSTOFF: 1.0037 (S235JR) | | ZEICHNUNGSNR. 02-00-04 | | | |
| | | | | GEWICHT: 416.53 | | MASSSTAB:1:1 | | BLATT 1 VON 1 | |



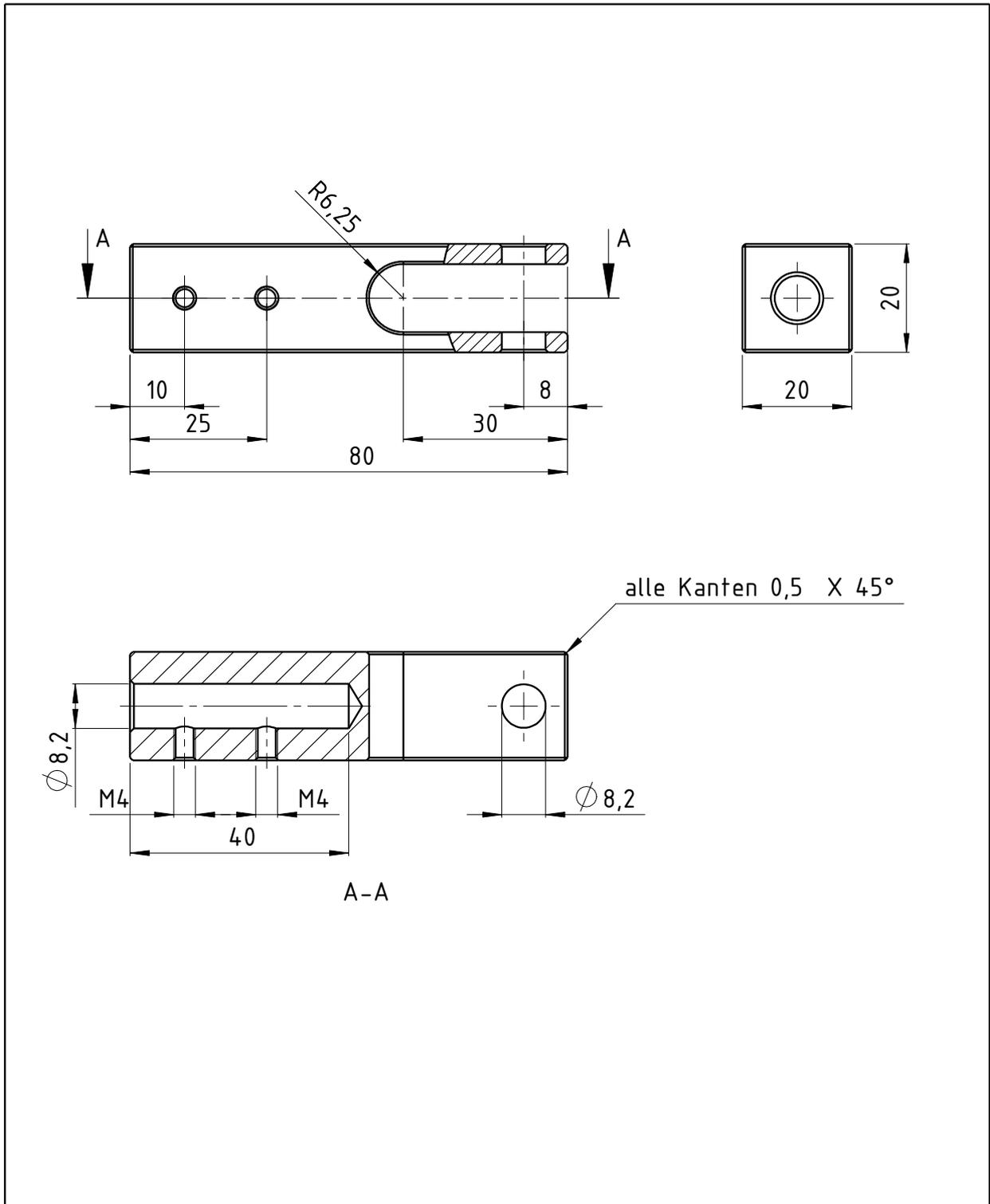
| | | | | | | | | | |
|---|-----------|------------------|----------|---|--|---------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEWASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| GEZEICHNET | NAME | SIGNATUR | DATUM | | | Montagestab | | | |
| GEPRÜFT | Mörwald G | | 15.03.12 | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | A4 | |
| | | | | 1.0037 (S235JR) | | 02-00-05 | | | |
| | | | | GEWICHT: 492,24 | | MASSTAB:1:2 | | BLATT 1 VON 1 | |



| | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|----------|---|----------------|---------------------------|---------------|----------|---------------|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | | TUGraz | | | |
| NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | | | | |
| GEZEICHNET | | Mörwald G | | 15.01.12 | | Stift | | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | A4 |
| | | | | | | 10037 (S235JR) | | 02-00-06 | | |
| | | | | | | GEWICHT: 6.60 | | MASSSTAB: 2:1 | | BLATT 1 VON 1 |



| | | | | | | | |
|---|-----------|------------------|----------|---|--|----------------------------------|---------------|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | ÄNDERUNG |
| | | | | | | TUGraz | |
| GEZEICHNET | NAME | SIGNATUR | DATUM | | | Verbindungsstange | |
| GEPRÜFT | Mörwald G | | 15.01.12 | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: 1.0037 (S235JR) | | ZEICHNUNGSNR. 02-00-07 | A4 |
| | | | | GEWICHT: 99.89 | | MASSTAB:1:1 | BLATT 1 VON 1 |

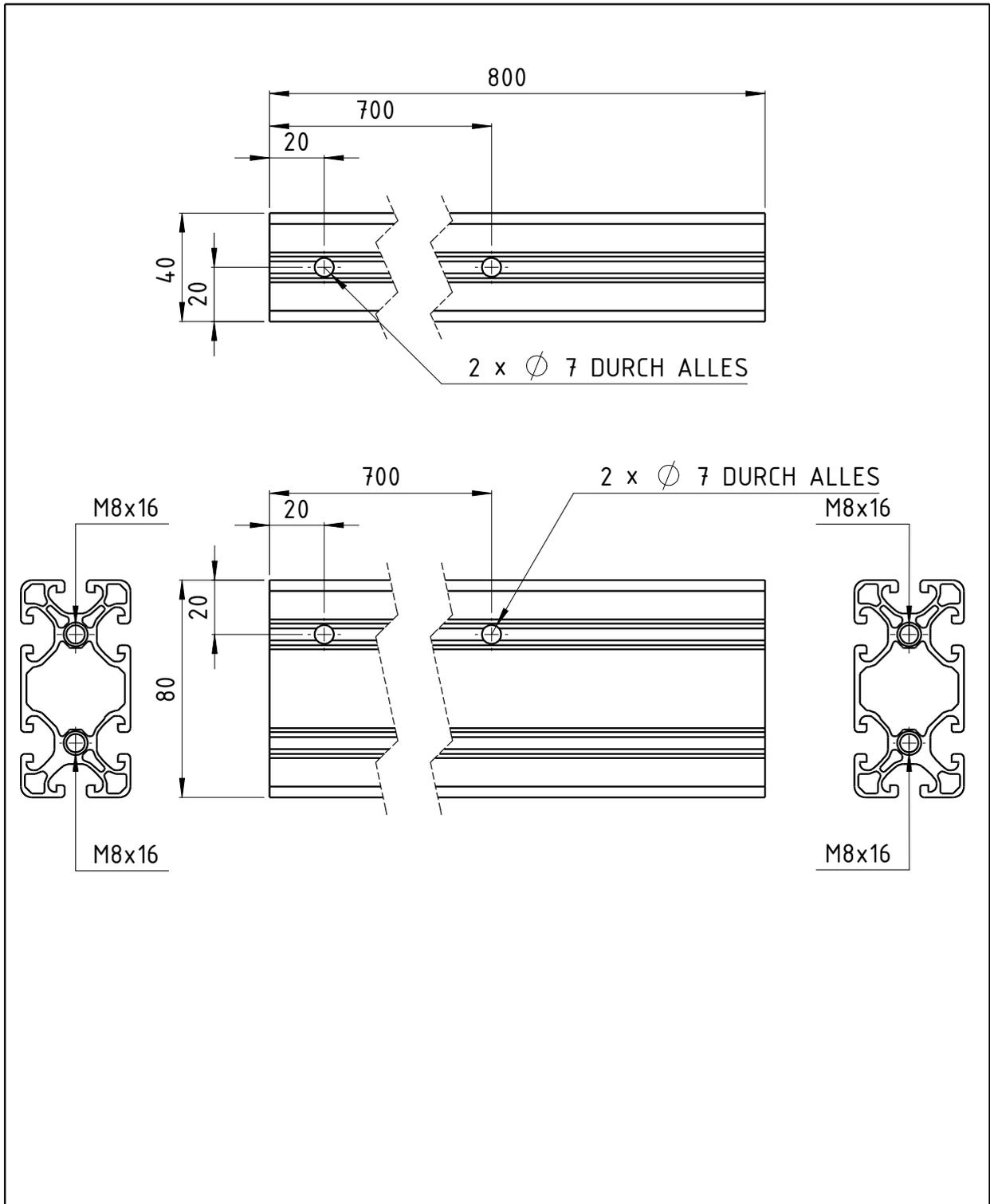


| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|---------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| | | | | | | Verbindungsstück | | | |
| NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | | | |
| GEZEICHNET | | Mörwald G | | 15.01.12 | | | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | A4 | |
| | | | | 1.0037 (S235JR) | | 02-00-08 | | | |
| | | | | GEWICHT: 160.22 | | MASSTAB:1:1 | | BLATT 1 VON 1 | |

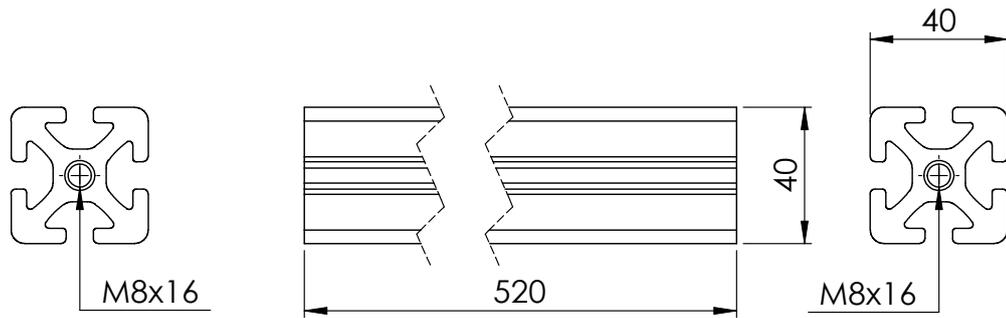
A.1.4. Tisch

| POS.-NR. | BENENNUNG | BESCHREIBUNG | MENGE |
|----------|---------------------------------|--------------------------------|-------|
| 300 | Tischplatte | Zeichn.Nr.: 03-00-01 | 1 |
| 301 | Item Profil 80x40 natur 800 | Zeichn.Nr.: 03-00-02 | 4 |
| 302 | Item Profil 40x40 natur 520 | Zeichn.Nr.: 03-00-03 | 4 |
| 303 | Item Profil 40x40 natur 440 | Zeichn.Nr.: 03-00-04 | 4 |
| 304 | item fussplatte 80x40 M10 | Artikel: 0.0.440.71 | 4 |
| 305 | item stellfuss M10x80 | Artikel: 0.0.265.74 | 4 |
| 306 | item winkelsatz 40 | Artikel: 0.0.411.15 | 16 |
| 307 | item standard verbindungsatz | Artikel: 0.0.026.07 | 16 |
| 308 | DIN 912 M8 x 20 --- 20N | Innensechskantschraube M8 x 20 | 12 |

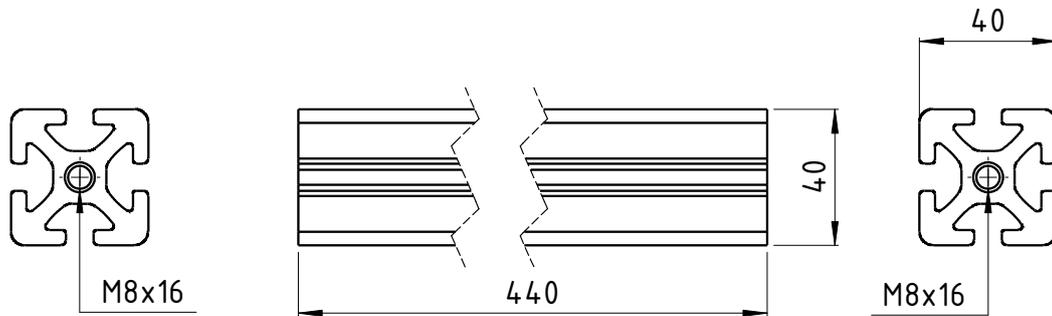
| | | | | | | | | | |
|---|-----------|--------------------|----------|--------------------------------|--|---------------------------|--|-------------------|--|
| WEINK NICHT ANDERS BEZEICHNET NUR FÜR VERBUNDENEN TEILNÄHMEN WINKEL: | | GEBIRGE/ACHSENGÜTE | | ENTGRATEN KANTEN BREMSEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| ZEICHNET | NAME | ZEICHNER | DATEUM | | | | | | |
| GEPRÜFT | Mönwald_G | | 31.01.12 | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | | | | | | |
| | | | | WERKSTÜCK: | | ZEICHNUNGSNR. | | Tisch Zusammenbau | |
| | | | | | | 03-02-00 | | A3 | |
| | | | | GEWICHT: 953372 | | PHASSTABELNR. | | BLATT 1 VON 1 | |



| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|--------------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | | | |
| GEZEICHNET | | Mörwald G | | 12.12.11 | | Item Profil 80x40 natur 800 | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | |
| | | | | | | Material <nicht festgelegt> | | 03-00-02 | |
| | | | | | | GEWICHT: 747.41 | | MASSTAB:1:2 | |
| | | | | | | | | BLATT 1 VON 1 | |
| | | | | | | | | A4 | |

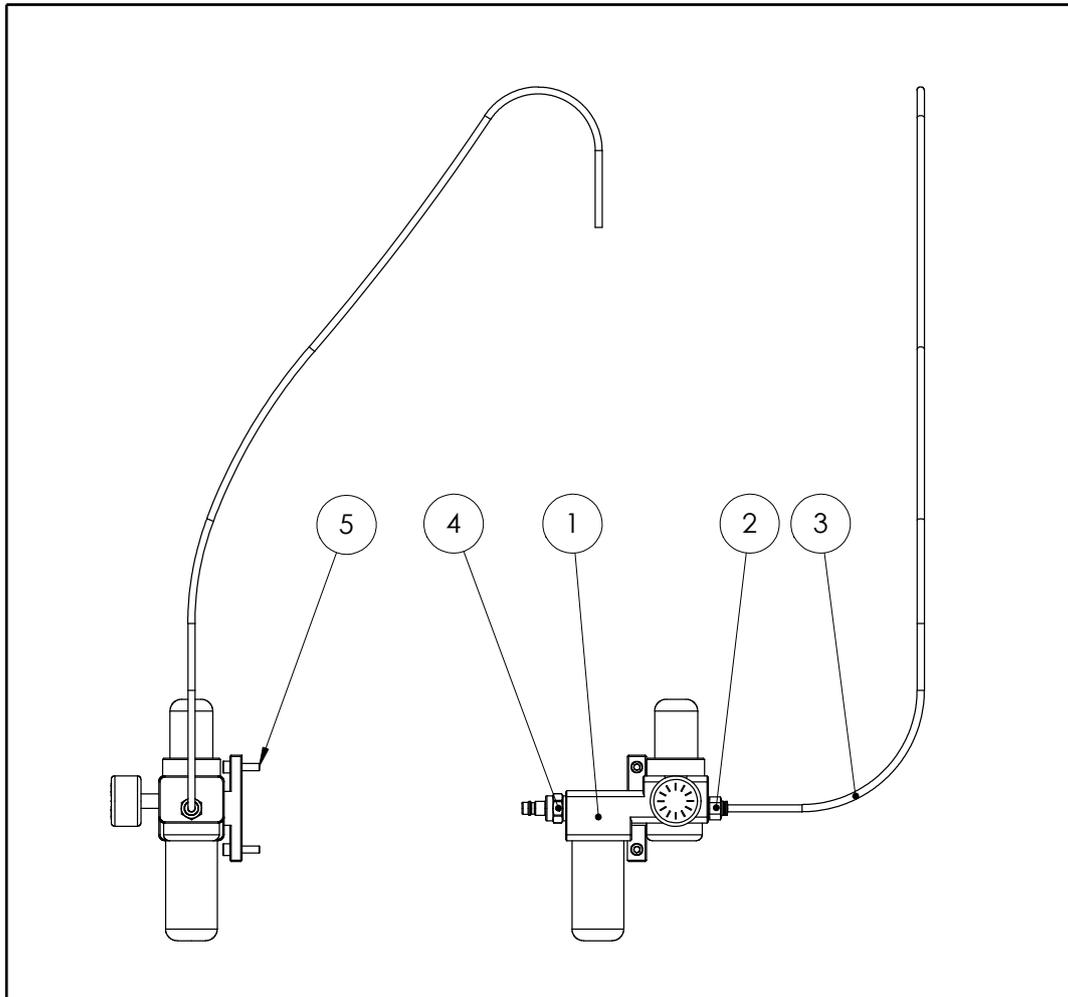


| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|--------------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | | | |
| GEZEICHNET | | Mörwald G | | 12.12.11 | | Item Profil 40x40 natur 520 | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | A4 | |
| | | | | Material <nicht festgelegt> | | 03-00-03 | | | |
| | | | | GEWICHT: 482.99 | | MASSTAB:1:2 | | BLATT 1 VON 1 | |



| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|---|--|--------------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | | | |
| GEZEICHNET | | Mörwald G | | 12.12.11 | | Item Profil 40x40 natur 440 | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | A4 | |
| | | | | Material <nicht festgelegt> | | 03-00-04 | | | |
| | | | | GEWICHT: 408.68 | | MASSTAB:1:2 | | BLATT 1 VON 1 | |

A.1.5. Pneumatik

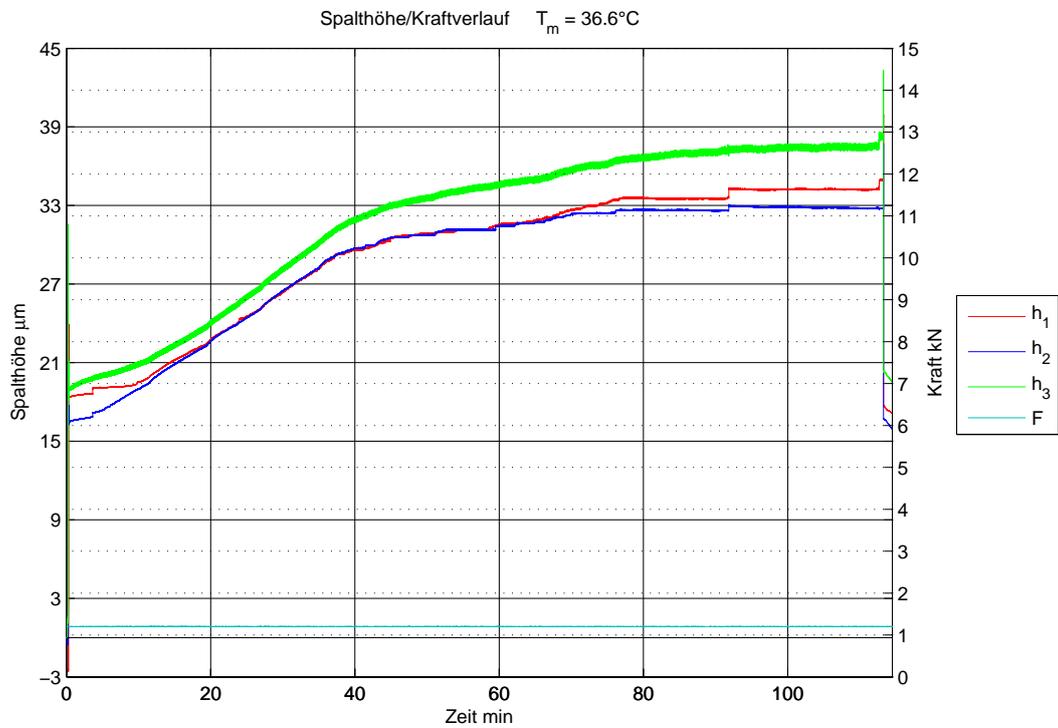
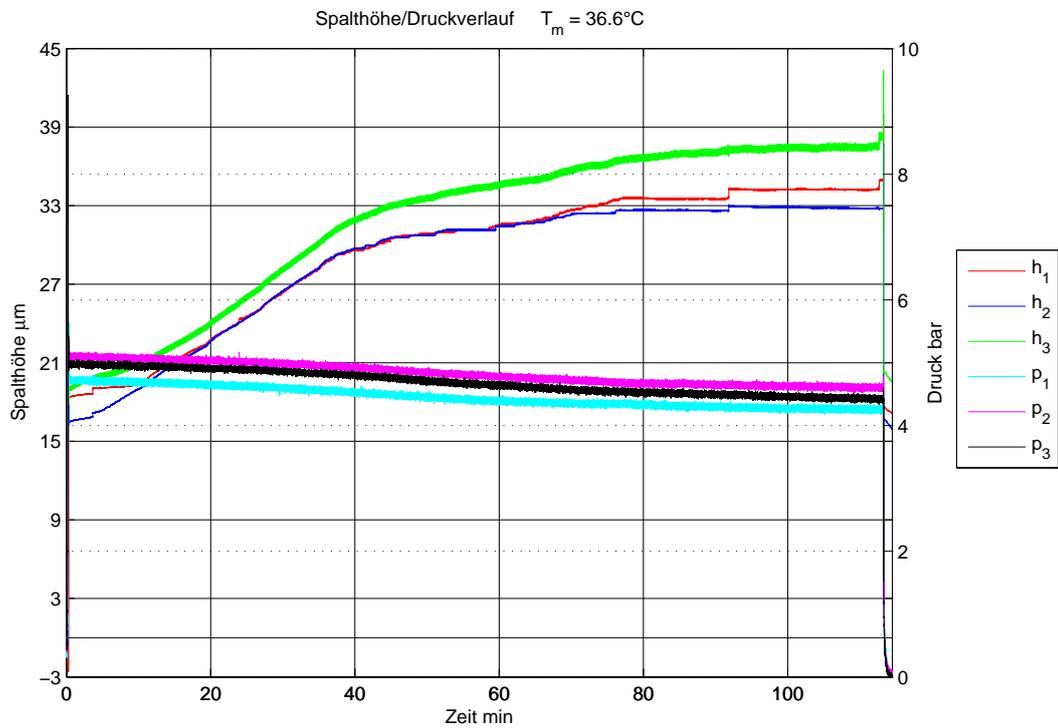


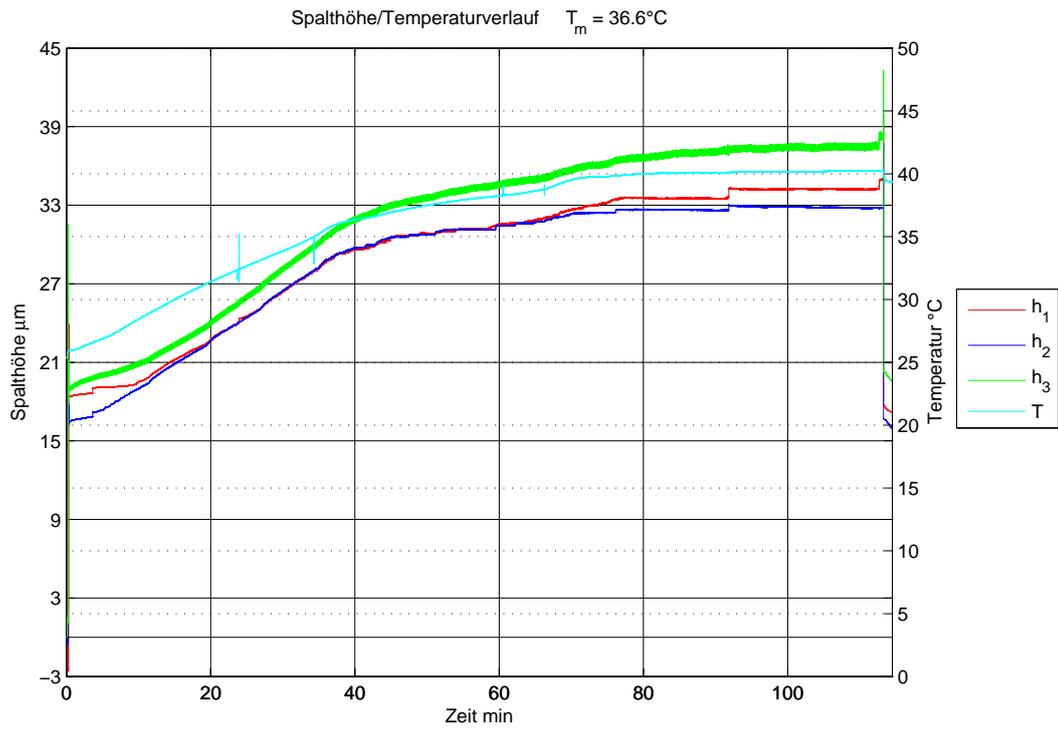
| POS-NR. | BENENNUNG | BESCHREIBUNG | MENGE |
|---------|-----------------------------------|--|-------|
| 1 | Wartungseinheit Grundkörper | Fa. SMC 0.05-0.85 MPa | 1 |
| 2 | festo Steckverschraubung G1/4 6mm | Pneumatiksteckverschraubung G1/4" 6mm | 1 |
| 3 | Schlauch 6mm | Druckluftschlauch 6mm Außendurchmesser | 1 |
| 4 | Kupplungsstecker KS4-1 4-A-R | Kupplungsstecker Außengewinde G1/4" | 1 |
| 5 | DIN 912 M6 x 25 --- 25N | Innensechskantschraube M6 x 25 | 2 |

| | | | | | | | | | |
|--|--|------------------|--|--------------------------------------|--|---------------------------|--|---------------|--|
| WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL: | | OBERFLÄCHENGÜTE: | | ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN | | ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN | | ÄNDERUNG | |
| | | | | | | TUGraz | | | |
| NAME | | SIGNATUR | | DATUM | | BENENNUNG: | | | |
| GEZEICHNET | | Mörwald G | | 07.02.12 | | Wartungseinheit | | | |
| GEPRÜFT | | | | | | | | | |
| GENEHMIGT | | | | | | | | | |
| PRODUKTION | | | | | | | | | |
| QUALITÄT | | | | WERKSTOFF: | | ZEICHNUNGSNR. | | A4 | |
| | | | | | | 05-01-00 | | | |
| | | | | GEWICHT: | | MASSSTAB:1:5 | | BLATT 1 VON 1 | |

A.2. Messdaten PM-Regler

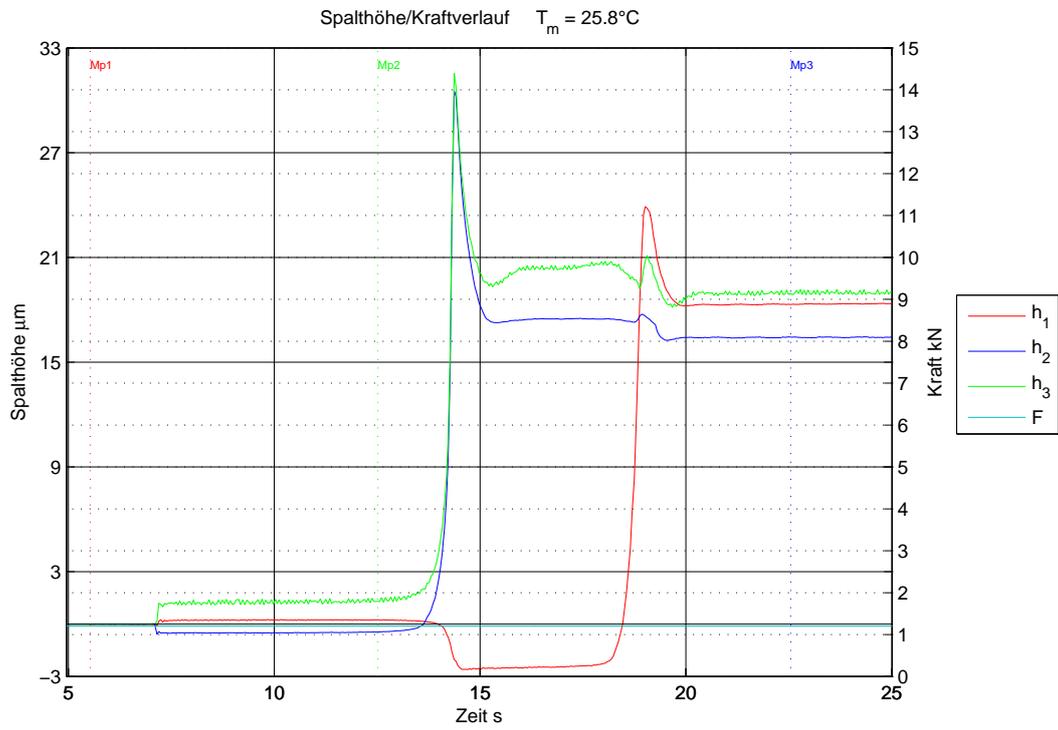
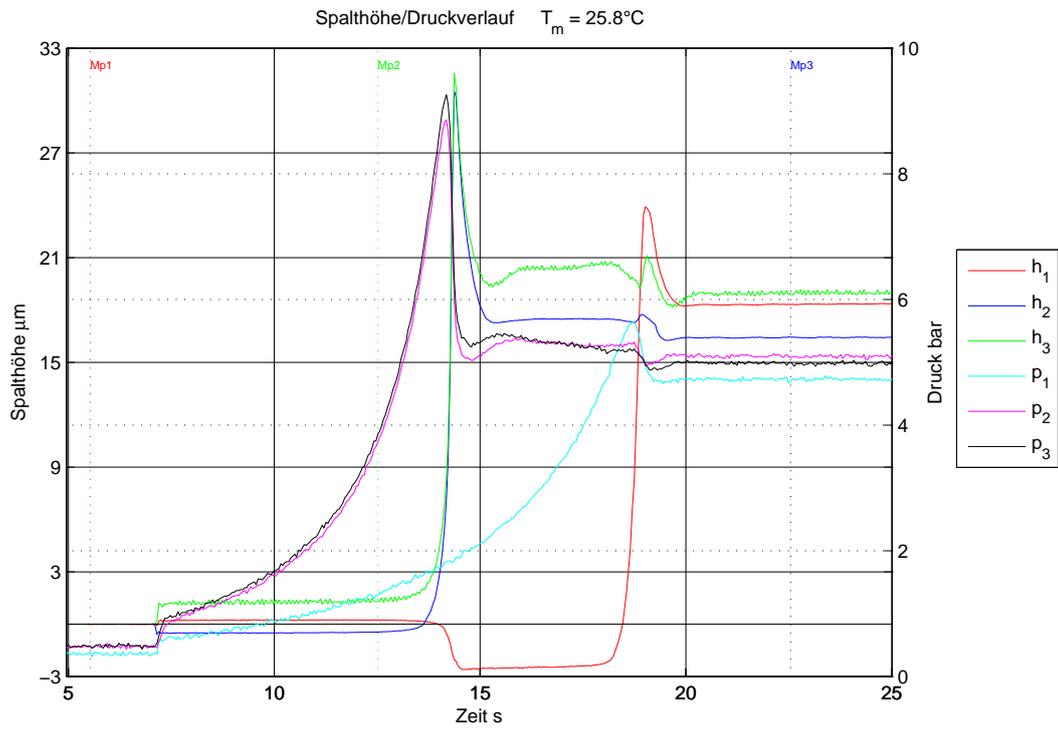
A.2.1. Warmlauf

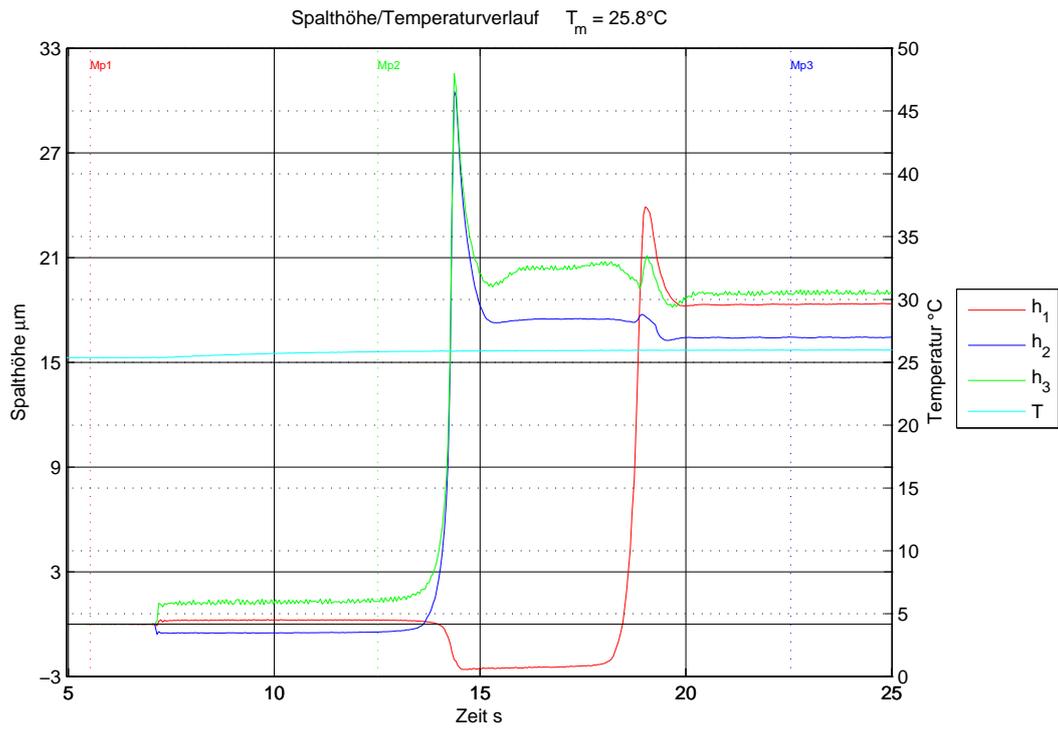




Reglerkaltstart Waermeausdehnung PMRegler234

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.993945e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $5.638550e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.940444e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $4.395829e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.608398e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.771973e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.772314e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $8.860308e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.880501e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $4.765227e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-5.781250e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $1.020996e - 002$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.332080e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $9.257531e + 000$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.191808e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $4.625296e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.464844e - 002$ | $p3_{min}$ | bar | $-5.033008e - 002$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.203662e + 000$ | T_{max} | °C | $4.027146e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.200962e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.655813e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.198169e + 000$ | T_{min} | °C | $2.535435e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.491711e + 001$ |





Reglerkaltstart Waermeausdehnung PMRegler234 Beginn

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $2.391308e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $5.638550e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $5.458263e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.638410e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.608398e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $3.132324e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.052734e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $8.860308e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $9.234953e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $3.835705e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-5.781250e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $4.374561e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.154737e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $9.257531e + 000$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.120313e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $3.854114e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.464844e - 002$ | $p3_{min}$ | bar | $4.379512e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.202441e + 000$ | T_{max} | °C | $2.599110e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.200684e + 000$ | T_{mittel} | °C | $2.580392e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.198779e + 000$ | T_{min} | °C | $2.536211e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $6.289900e - 001$ |

Messpunkt 1

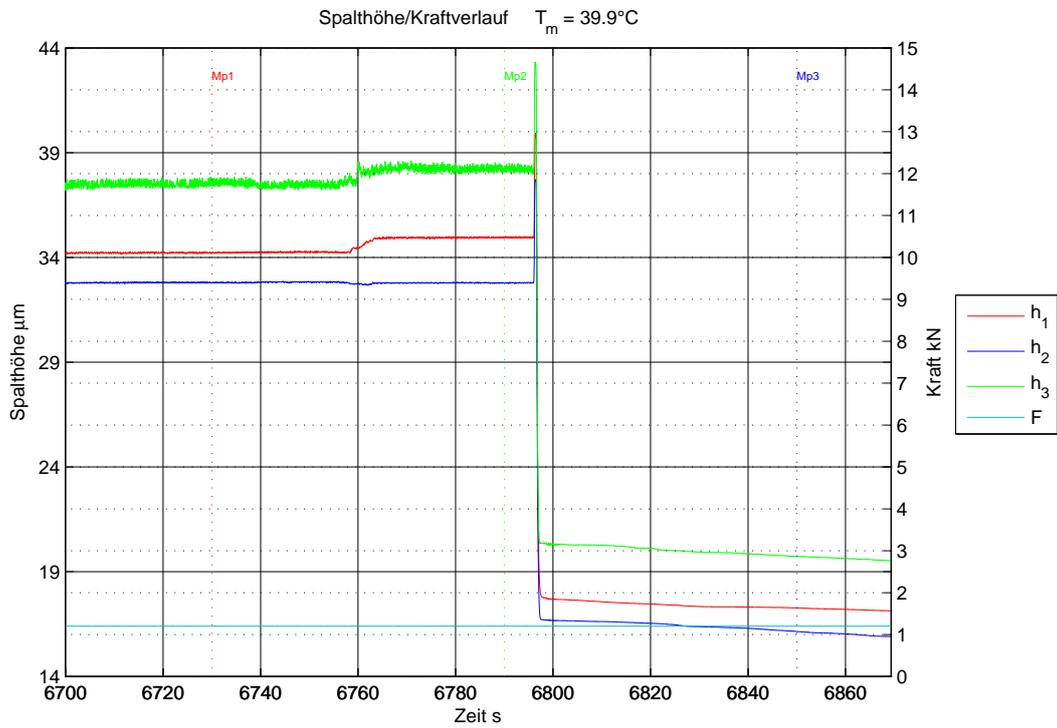
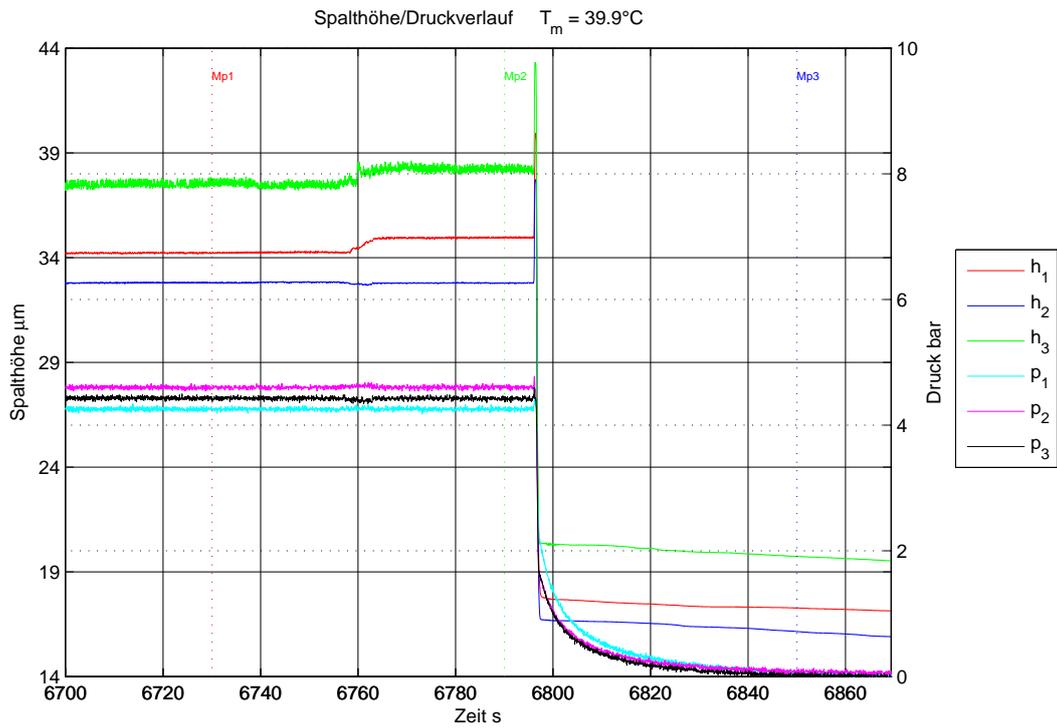
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-3.417900e - 003$ | $p1$ | bar | $3.895264e - 001$ |
| $h2$ | μm | $3.418000e - 003$ | $p2$ | bar | $4.832324e - 001$ |
| $h3$ | μm | $-3.417969e - 003$ | $p3$ | bar | $4.837275e - 001$ |
| F | kN | $1.200610e + 000$ | T | °C | $2.536211e + 001$ |
| t | s | $5.526000e + 000$ | | | |

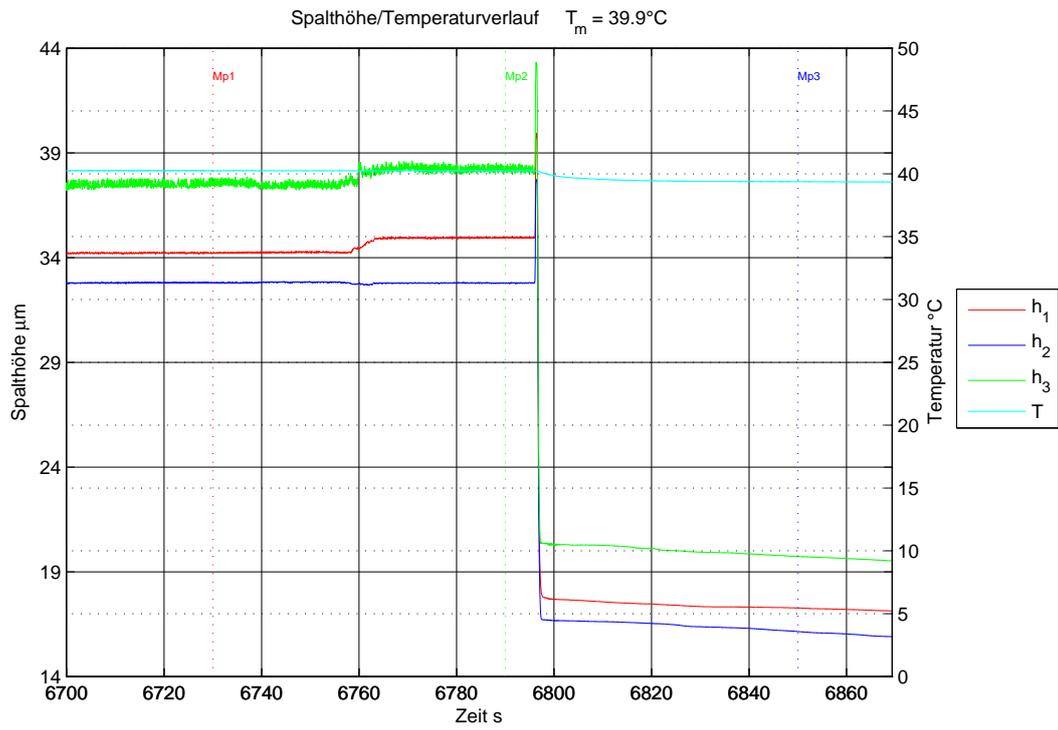
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.490235e - 001$ | $p1$ | bar | $1.289795e + 000$ |
| $h2$ | μm | $-4.580078e - 001$ | $p2$ | bar | $3.733354e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.305664e + 000$ | $p3$ | bar | $3.855920e + 000$ |
| F | kN | $1.200000e + 000$ | T | °C | $2.584356e + 001$ |
| t | s | $1.251700e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.830468e + 001$ | $p1$ | bar | $4.692505e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.643603e + 001$ | $p2$ | bar | $5.076128e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.894043e + 001$ | $p3$ | bar | $5.000329e + 000$ |
| F | kN | $1.200610e + 000$ | T | °C | $2.596780e + 001$ |
| t | s | $2.255100e + 001$ | | | |





Reglerkaltstart Waermeausdehnung PMRegler234 Ende

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.993945e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.463623e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.763938e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.679354e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $1.713379e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.771973e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.772314e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.770952e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.622213e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.864799e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $1.590088e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $1.020996e - 002$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.332080e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.603601e + 000$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.062144e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.737887e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $1.951514e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-5.033008e - 002$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.203662e + 000$ | T_{max} | °C | $4.027146e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.200874e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.993299e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.198779e + 000$ | T_{min} | °C | $3.933186e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $9.396000e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.423291e + 001$ | $p1$ | bar | $4.265259e + 000$ |
| $h2$ | μm | $3.279687e + 001$ | $p2$ | bar | $4.572588e + 000$ |
| $h3$ | μm | $3.780616e + 001$ | $p3$ | bar | $4.451013e + 000$ |
| F | kN | $1.200000e + 000$ | T | °C | $4.024817e + 001$ |
| t | s | $6.730015e + 003$ | | | |

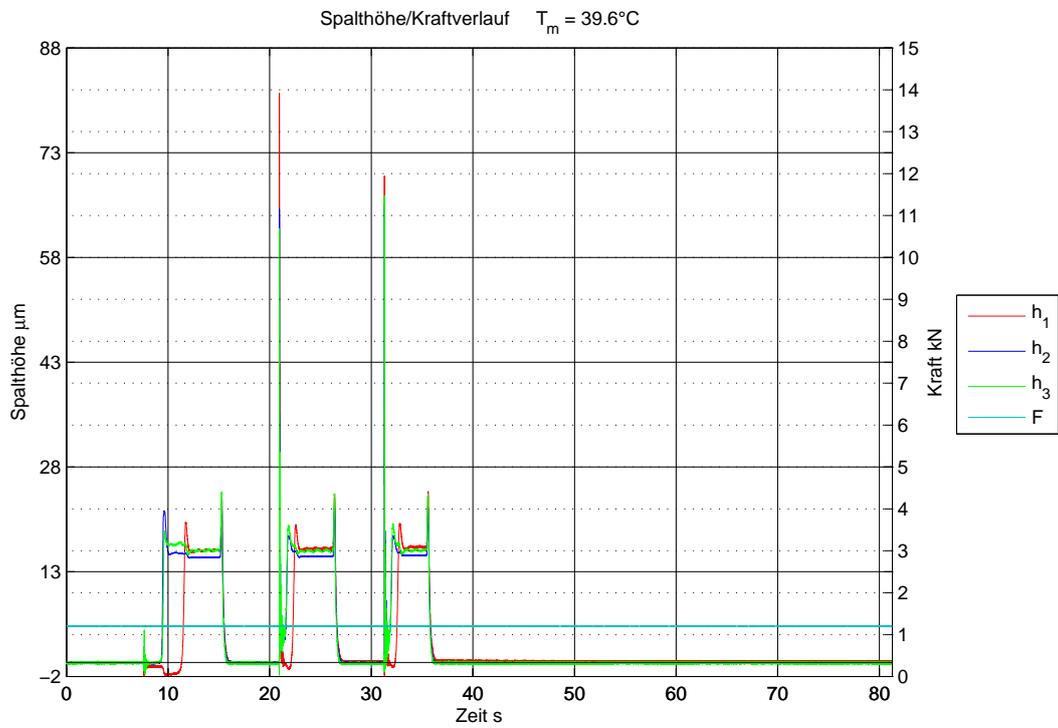
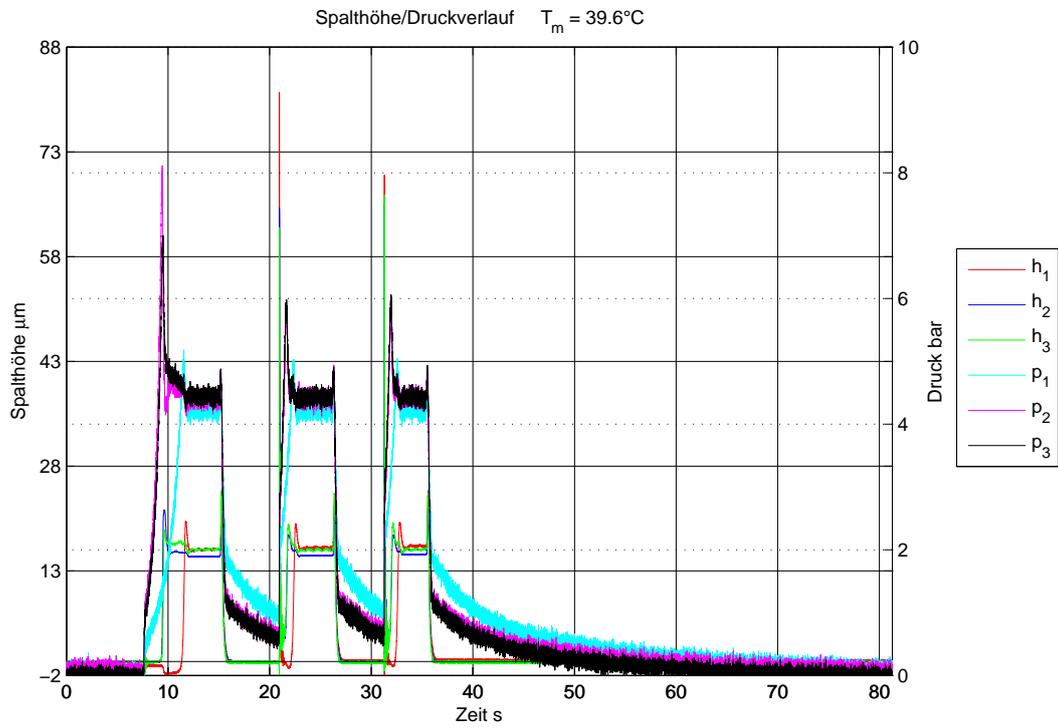
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.493847e + 001$ | $p1$ | bar | $4.280518e + 000$ |
| $h2$ | μm | $3.277832e + 001$ | $p2$ | bar | $4.633623e + 000$ |
| $h3$ | μm | $3.812159e + 001$ | $p3$ | bar | $4.451013e + 000$ |
| F | kN | $1.200610e + 000$ | T | °C | $4.024040e + 001$ |
| t | s | $6.790025e + 003$ | | | |

Messpunkt 3

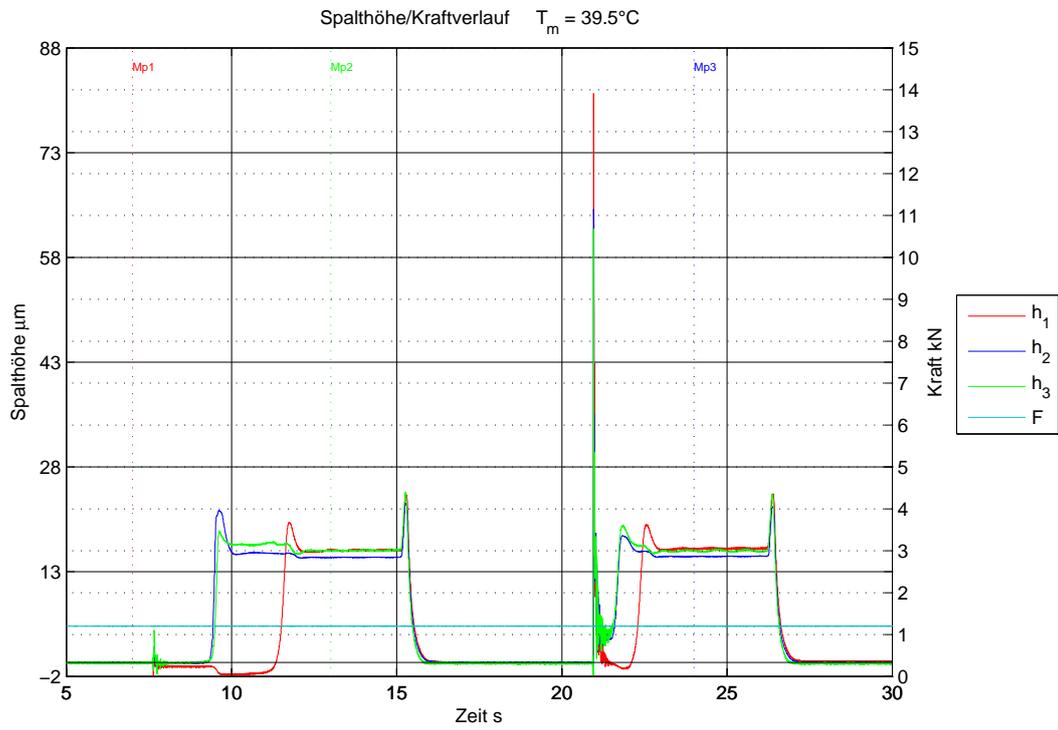
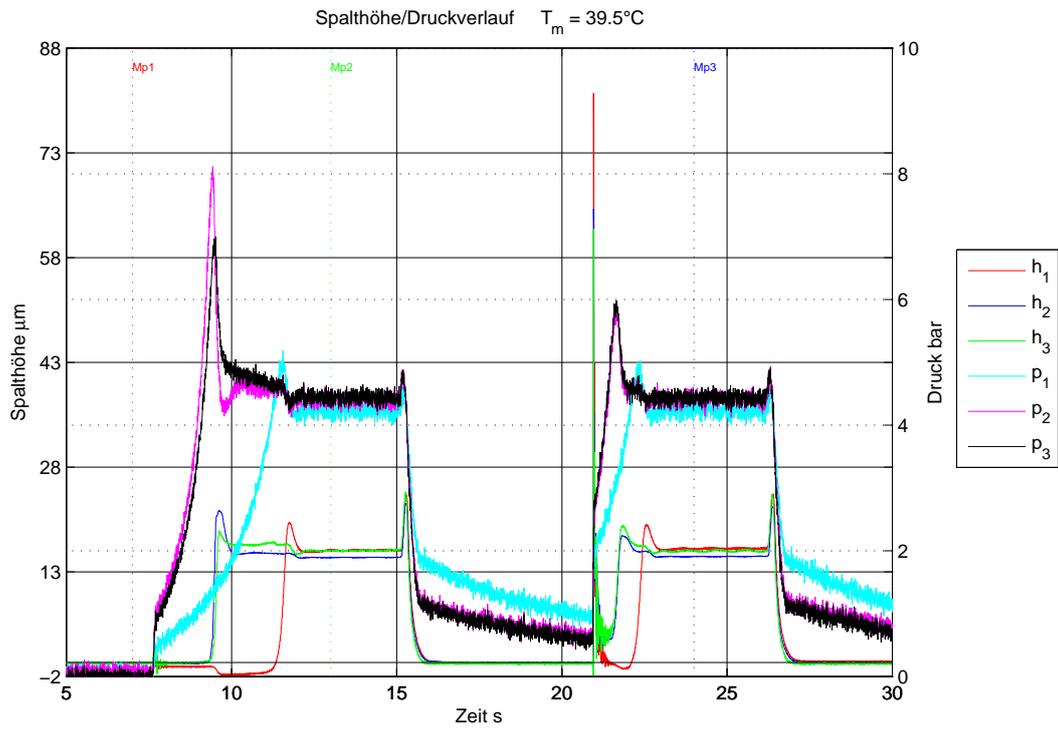
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.727099e + 001$ | $p1$ | bar | $5.383301e - 002$ |
| $h2$ | μm | $1.614697e + 001$ | $p2$ | bar | $4.072754e - 002$ |
| $h3$ | μm | $1.973487e + 001$ | $p3$ | bar | $2.596387e - 002$ |
| F | kN | $1.201831e + 000$ | T | °C | $3.937845e + 001$ |
| t | s | $6.850014e + 003$ | | | |

A.2.2. Einschaltsprung



20120709 Einschalt sprung PMRegler234 1200N

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $8.149267e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $5.180786e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.508336e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.225896e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.159668e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.140137e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $6.555322e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $8.112627e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.977141e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.247864e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-8.510743e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.118604e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.678858e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $6.999230e + 000$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.043915e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.187986e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.831543e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.029180e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.207324e + 000$ | T_{max} | °C | $4.048112e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.200132e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.962767e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.191455e + 000$ | T_{min} | °C | $3.885041e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.630710e + 000$ |



20120709 Einschaltsprung PMRegler234 1200N Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $8.149267e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $5.180786e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $5.474184e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.362268e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.159668e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-8.349609e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $6.492969e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $8.112627e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $7.105406e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.629023e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-8.510743e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-9.660156e - 002$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.208789e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $6.999230e + 000$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $7.325086e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.599110e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.831543e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.571416e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.207324e + 000$ | T_{max} | °C | $4.019381e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.200113e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.954301e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.191455e + 000$ | T_{min} | °C | $3.885041e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.343400e + 000$ |

Messpunkt 1

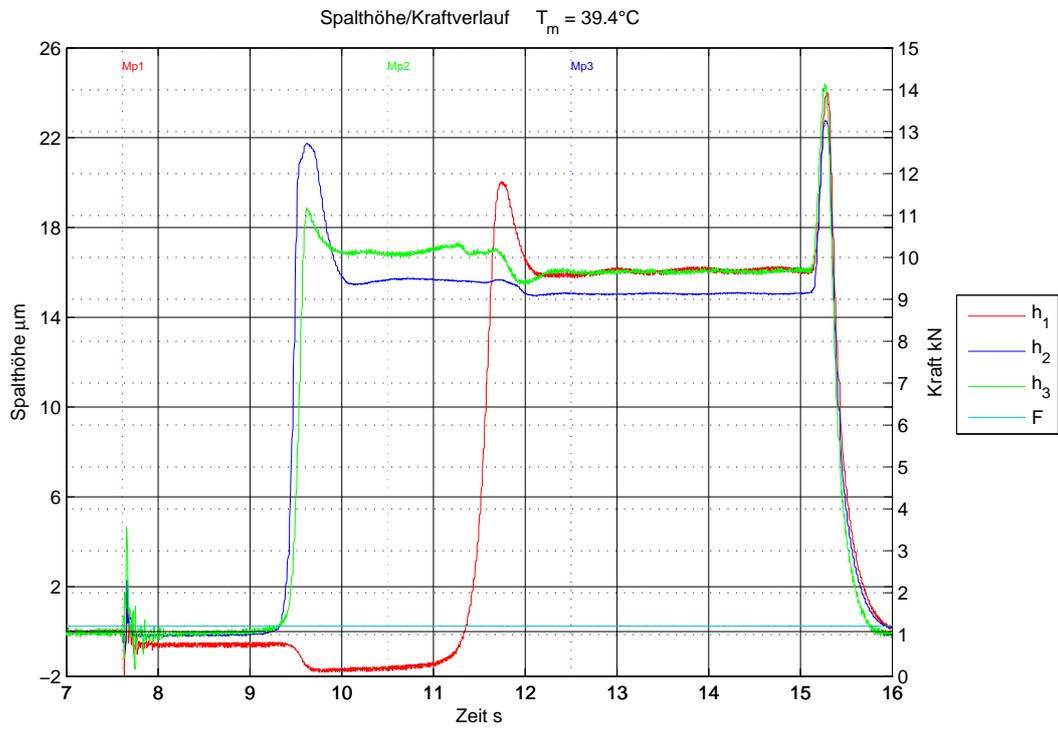
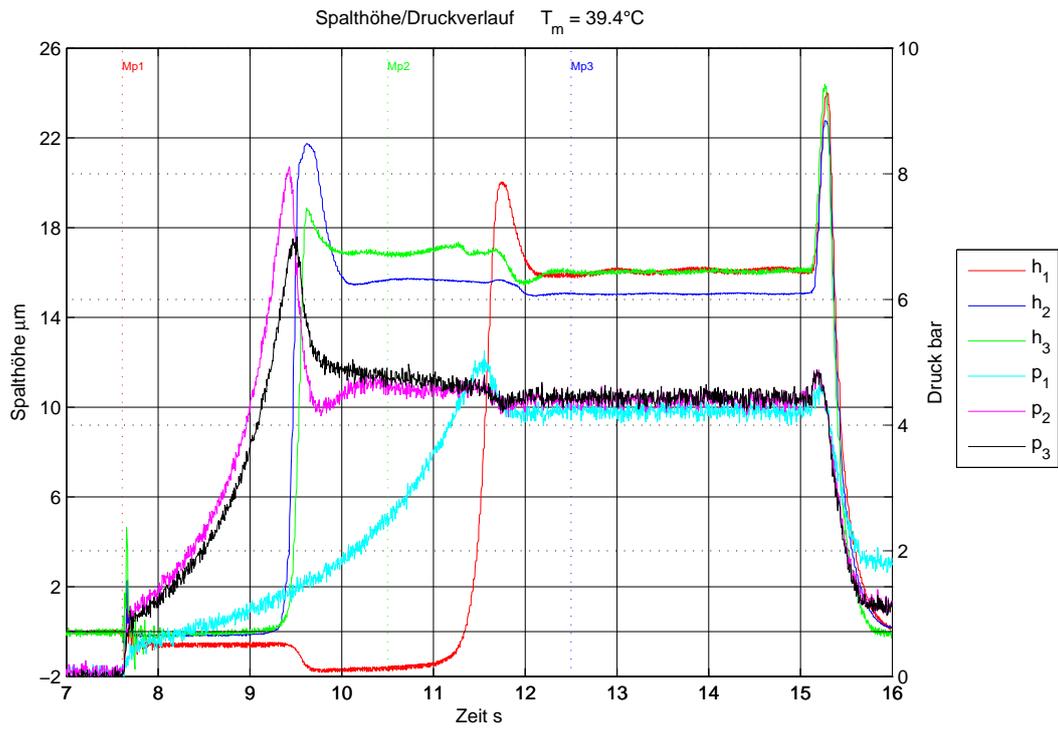
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|--------------------|
| $h1$ | μm | $6.542970e - 002$ | $p1$ | bar | $6.909180e - 002$ |
| $h2$ | μm | $-4.248047e - 002$ | $p2$ | bar | $2.546875e - 002$ |
| $h3$ | μm | $-3.222660e - 002$ | $p3$ | bar | $-3.507129e - 002$ |
| F | kN | $1.198779e + 000$ | T | °C | $3.888924e + 001$ |
| t | s | $7.000000e + 000$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.610058e + 001$ | $p1$ | bar | $4.311035e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.504688e + 001$ | $p2$ | bar | $4.496294e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.597266e + 001$ | $p3$ | bar | $4.527307e + 000$ |
| F | kN | $1.198169e + 000$ | T | °C | $3.956482e + 001$ |
| t | s | $1.300100e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.635156e + 001$ | $p1$ | bar | $4.295776e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.519238e + 001$ | $p2$ | bar | $4.481035e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.590723e + 001$ | $p3$ | bar | $4.435754e + 000$ |
| F | kN | $1.200610e + 000$ | T | °C | $3.991426e + 001$ |
| t | s | $2.400000e + 001$ | | | |



20120709 Einschalt sprung PMRegler234 1200N Detail1

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $2.401904e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $5.180786e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $6.826350e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.766469e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.159668e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-5.297852e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.276172e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $8.112627e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.053684e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $3.686600e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-8.510743e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-8.134277e - 002$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $2.439209e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $6.999230e + 000$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.091110e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $3.653419e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.672363e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.571416e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.206714e + 000$ | T_{max} | °C | $3.972013e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.200104e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.935068e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193896e + 000$ | T_{min} | °C | $3.885041e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $8.697200e - 001$ |

Messpunkt 1

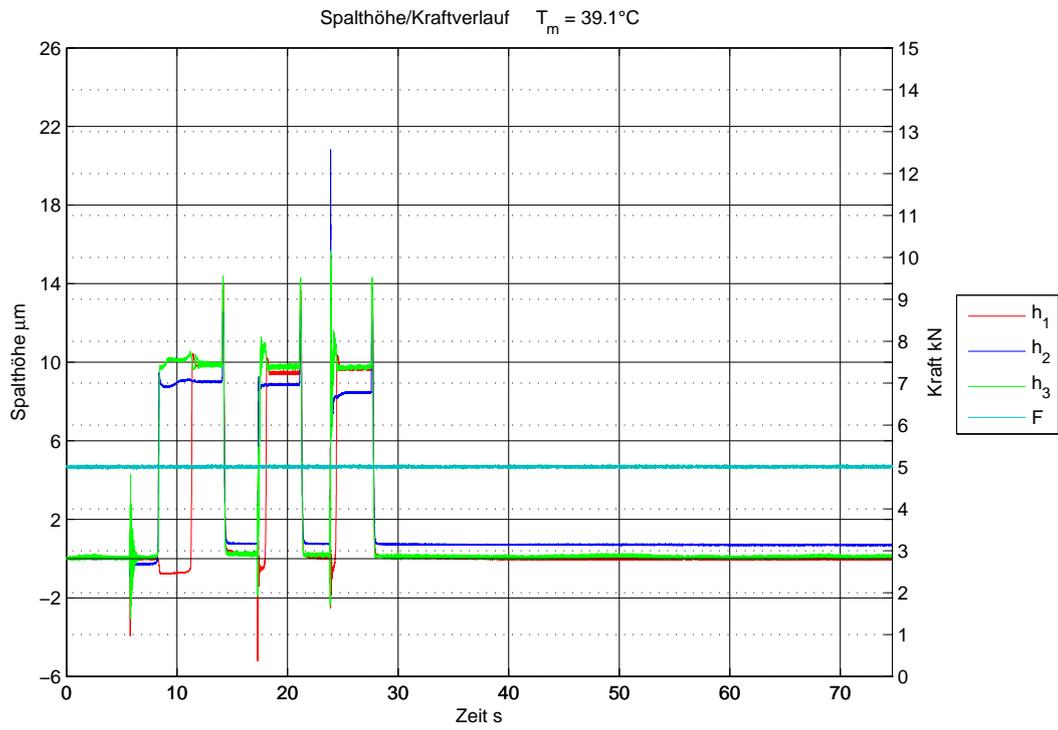
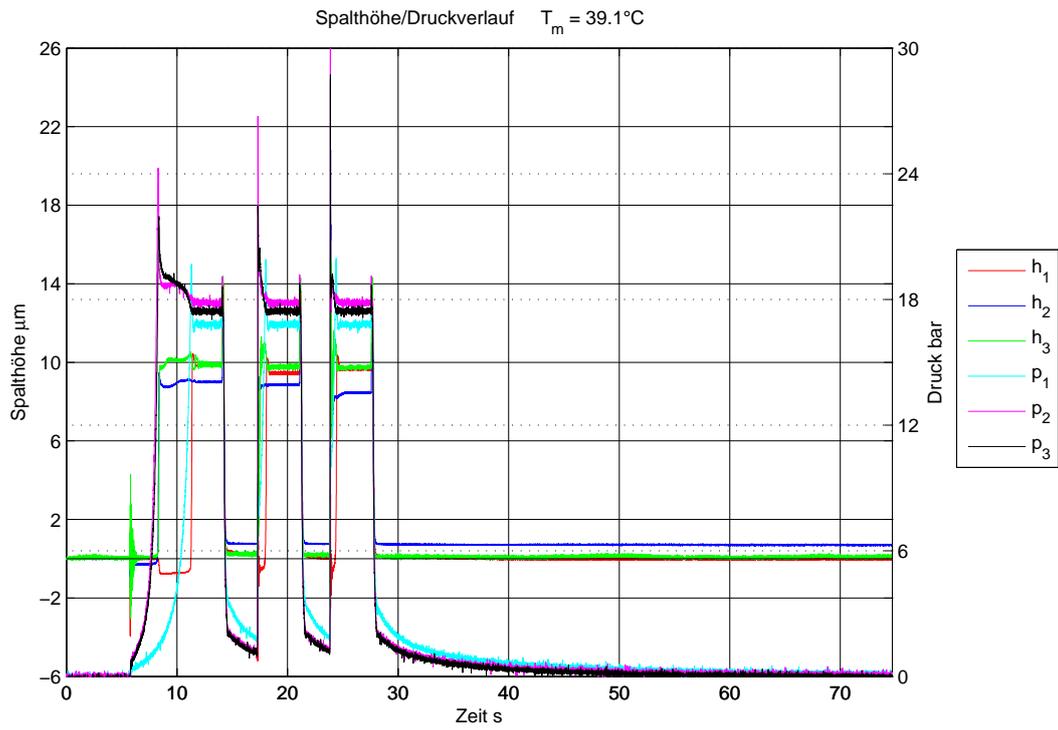
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $5.859370e - 002$ | $p1$ | bar | $5.383301e - 002$ |
| $h2$ | μm | $2.343750e - 002$ | $p2$ | bar | $8.650391e - 002$ |
| $h3$ | μm | $-3.613290e - 002$ | $p3$ | bar | $1.070508e - 002$ |
| F | kN | $1.200610e + 000$ | T | °C | $3.885041e + 001$ |
| t | s | $1.200610e + 000$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-1.548828e + 000$ | $p1$ | bar | $2.388428e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.568311e + 001$ | $p2$ | bar | $4.481035e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.676563e + 001$ | $p3$ | bar | $4.634118e + 000$ |
| F | kN | $1.202441e + 000$ | T | °C | $3.930080e + 001$ |
| t | s | $1.050100e + 001$ | | | |

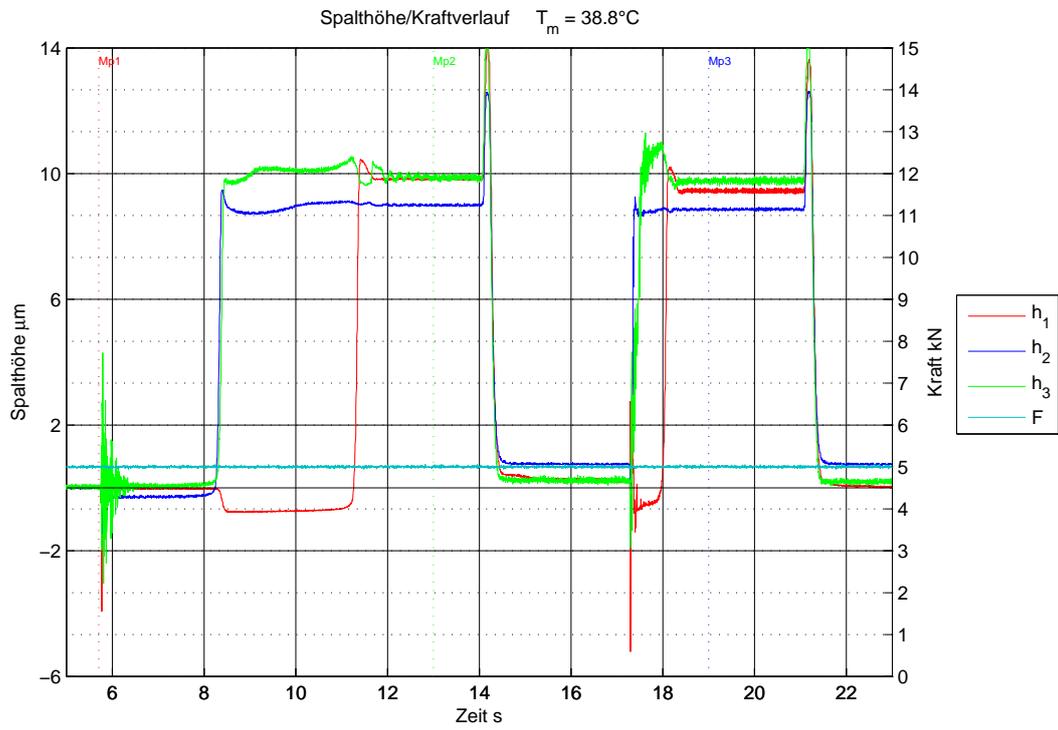
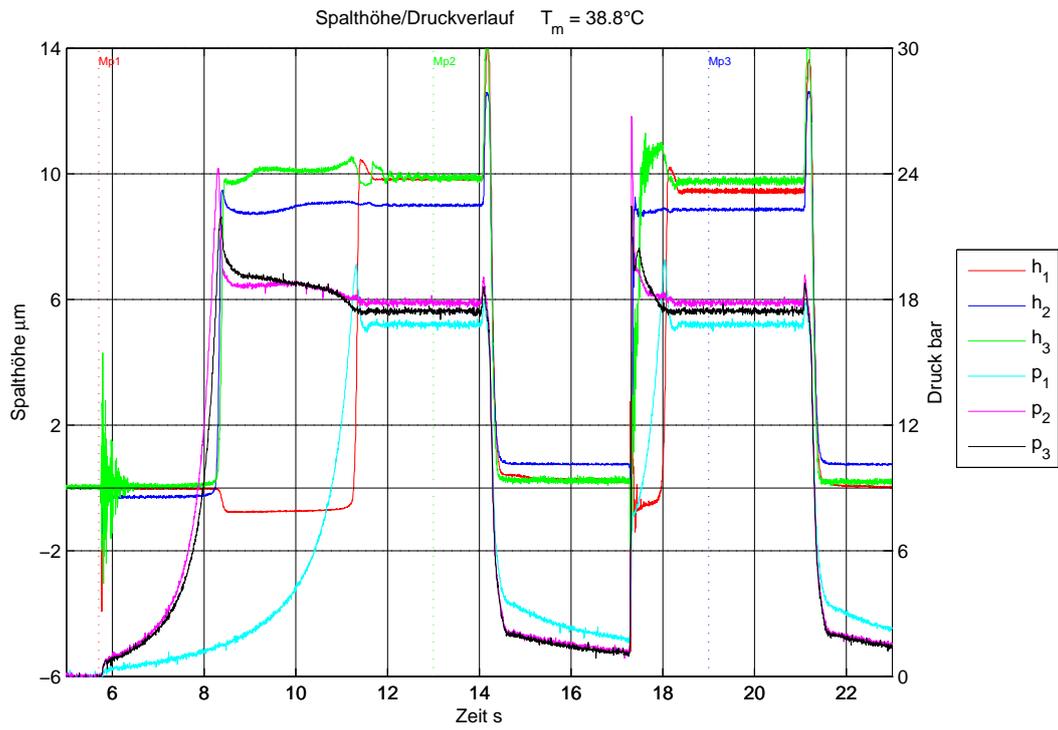
Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.577148e + 001$ | $p1$ | bar | $4.082153e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.506543e + 001$ | $p2$ | bar | $4.236895e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.610205e + 001$ | $p3$ | bar | $4.359460e + 000$ |
| F | kN | $1.203662e + 000$ | T | °C | $3.951823e + 001$ |
| t | s | $1.250000e + 001$ | | | |



20120709 Einschalt sprung PMRegler234 5000N

| | | | | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
| $h1_{max}$ | μm | $1.402393e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $1.996655e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $1.265399e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $3.209540e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-5.210937e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.734131e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.081592e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.171797e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.156842e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $3.959168e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.459961e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-3.254834e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.567431e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.872775e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.936656e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $3.811175e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-3.040528e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-3.707646e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.069019e + 000$ | T_{max} | °C | $3.979778e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $5.003756e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.907256e + 001$ |
| F_{min} | kN | $4.940845e + 000$ | T_{min} | °C | $3.810495e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.692830e + 000$ |



20120709 Einschaltsprung PMRegler234 5000N Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.402393e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $1.990552e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.319371e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $8.063385e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-5.210937e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.734131e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $1.262598e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.674361e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $5.146766e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.127681e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.459961e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.271191e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.440136e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.245638e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $5.546579e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.100225e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-3.040528e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.029180e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.068408e + 000$ | T_{max} | °C | $3.928527e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $5.002940e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.880144e + 001$ |
| F_{min} | kN | $4.942676e + 000$ | T_{min} | °C | $3.810495e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.180320e + 000$ |

Messpunkt 1

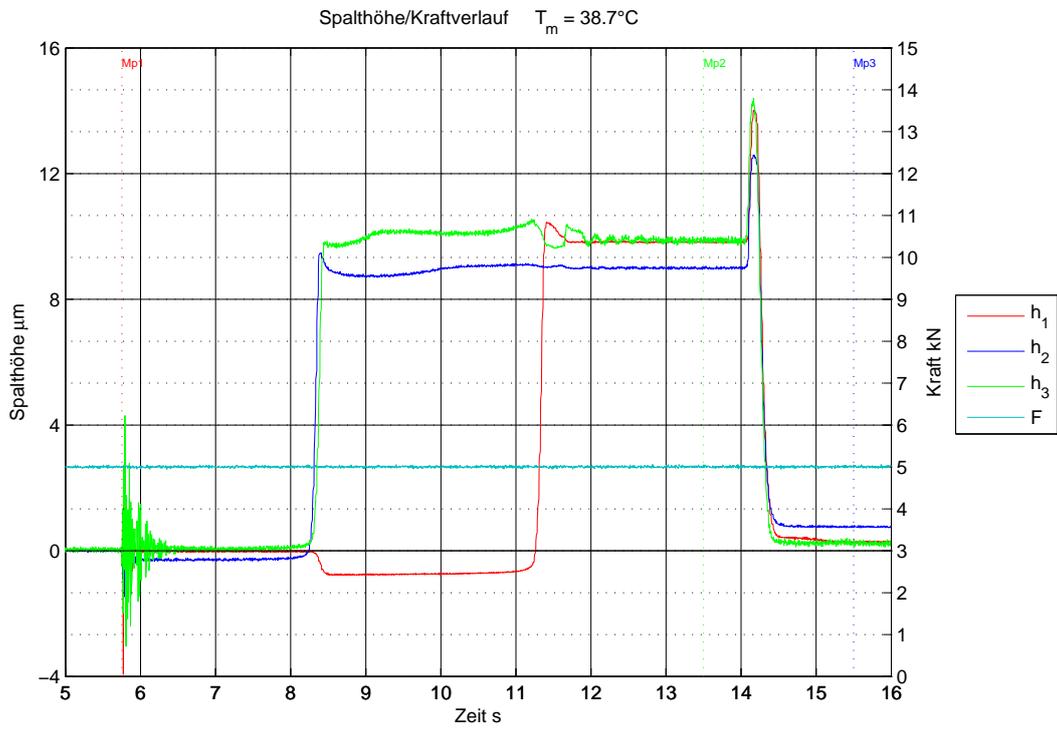
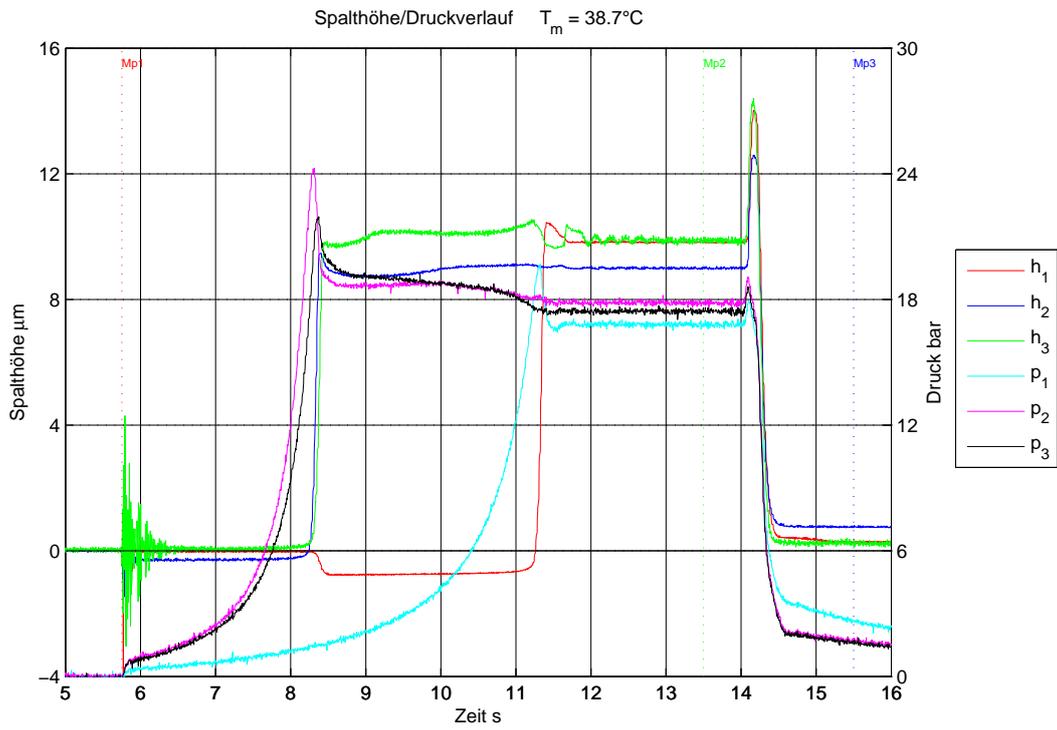
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|--------------------|
| $h1$ | μm | $6.348000e - 003$ | $p1$ | bar | $8.056641e - 003$ |
| $h2$ | μm | $4.882900e - 003$ | $p2$ | bar | $4.072754e - 002$ |
| $h3$ | μm | $-6.835940e - 002$ | $p3$ | bar | $-3.507129e - 002$ |
| F | kN | $4.999438e + 000$ | T | °C | $3.813601e + 001$ |
| t | s | $5.703000e + 000$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $9.812988e + 000$ | $p1$ | bar | $1.685376e + 001$ |
| $h2$ | μm | $8.999511e + 000$ | $p2$ | bar | $1.786299e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.827637e + 000$ | $p3$ | bar | $1.734469e + 001$ |
| F | kN | $5.026904e + 000$ | T | °C | $3.893583e + 001$ |
| t | s | $1.300100e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $9.400391e + 000$ | $p1$ | bar | $1.682324e + 001$ |
| $h2$ | μm | $8.901855e + 000$ | $p2$ | bar | $1.780196e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.745605e + 000$ | $p3$ | bar | $1.746676e + 001$ |
| F | kN | $4.991504e + 000$ | T | °C | $3.893583e + 001$ |
| t | s | $1.900100e + 001$ | | | |



20120709 Einschaltsprung PMRegler234 5000N Detail1

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.402393e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $1.969189e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.546113e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $6.679821e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-3.931152e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.734131e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $1.259473e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.427168e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $4.970354e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.140942e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.459961e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.271191e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.440136e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.195284e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $5.480231e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.111548e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-3.040528e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.029180e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.061084e + 000$ | T_{max} | °C | $3.902125e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $5.002755e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.867264e + 001$ |
| F_{min} | kN | $4.944507e + 000$ | T_{min} | °C | $3.810495e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $9.163000e - 001$ |

Messpunkt 1

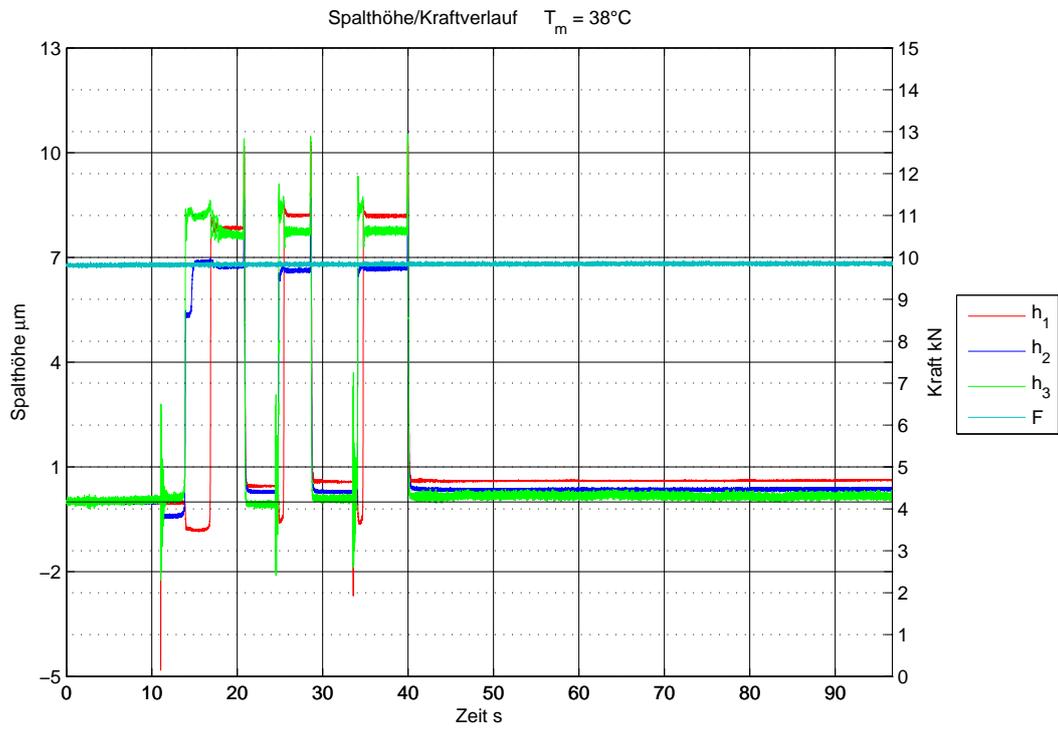
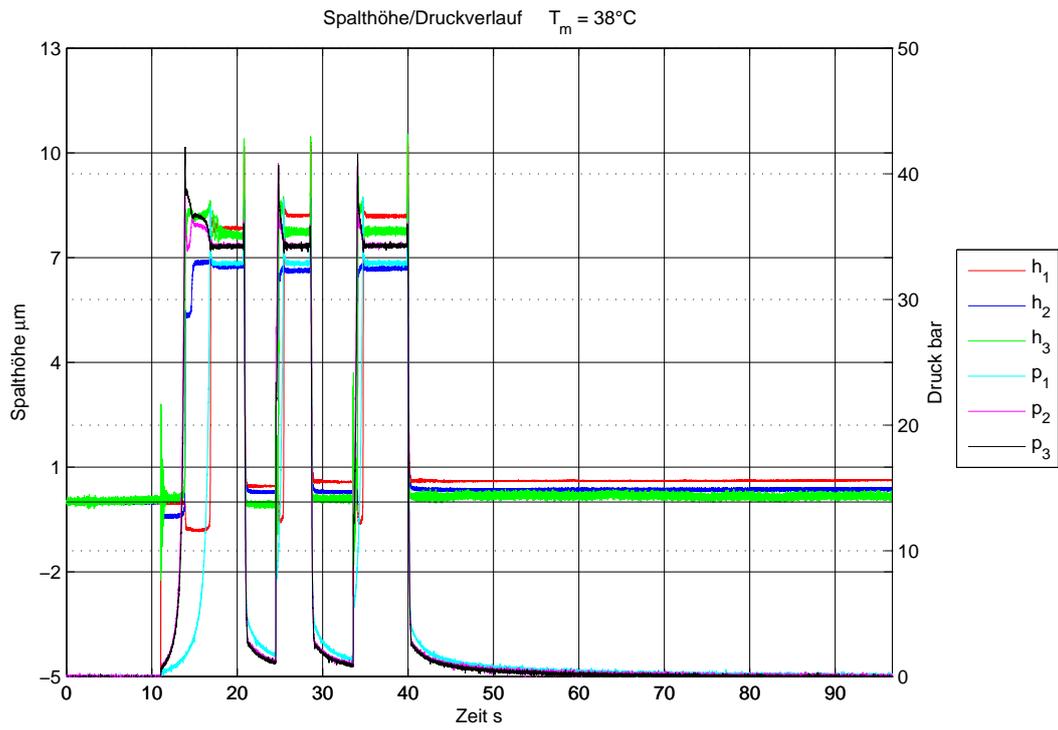
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|--------------------|
| $h1$ | μm | $-6.201200e - 002$ | $p1$ | bar | $-1.292725e - 001$ |
| $h2$ | μm | $5.712900e - 002$ | $p2$ | bar | $-9.660156e - 002$ |
| $h3$ | μm | $-4.951175e - 001$ | $p3$ | bar | $-1.876592e - 001$ |
| F | kN | $4.995166e + 000$ | T | °C | $3.812048e + 001$ |
| t | s | $5.751000e + 000$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $9.830078e + 000$ | $p1$ | bar | $1.683850e + 001$ |
| $h2$ | μm | $8.980957e + 000$ | $p2$ | bar | $1.787825e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.838378e + 000$ | $p3$ | bar | $1.745150e + 001$ |
| F | kN | $5.009204e + 000$ | T | °C | $3.895913e + 001$ |
| t | s | $1.350000e + 001$ | | | |

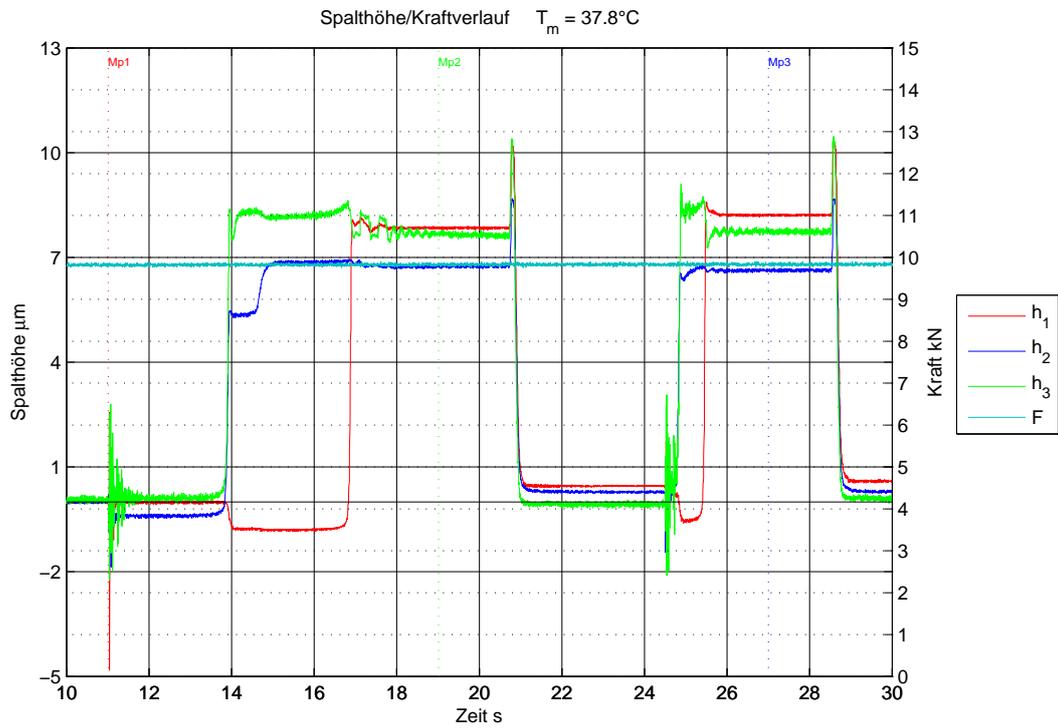
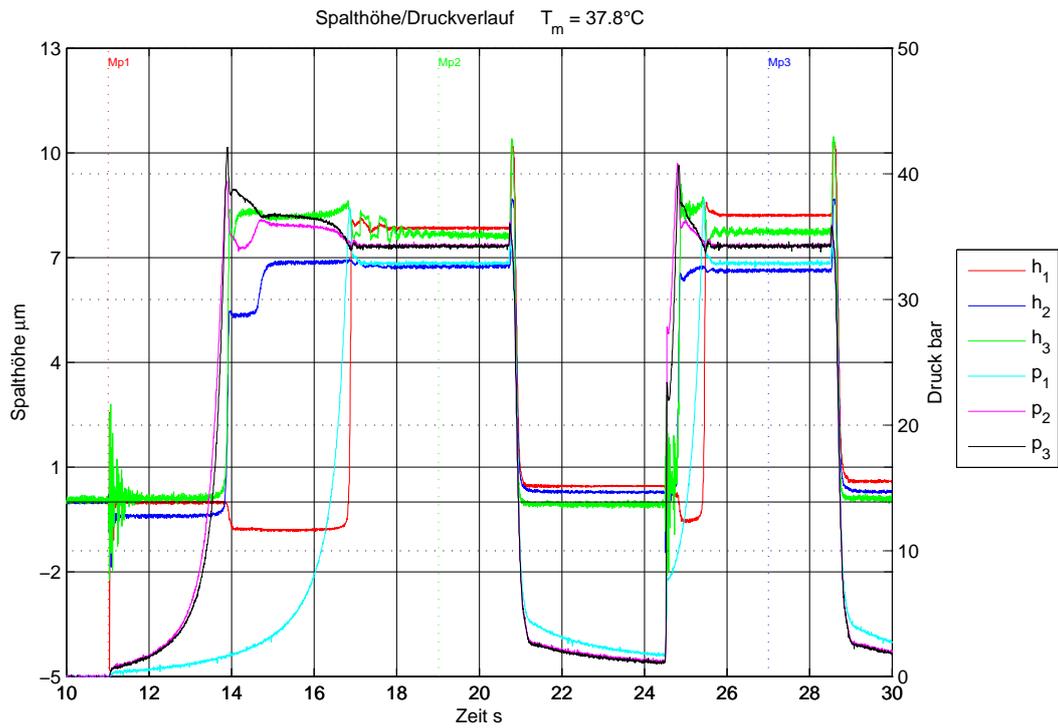
Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.363280e - 001$ | $p1$ | bar | $2.647827e + 000$ |
| $h2$ | μm | $7.656250e - 001$ | $p2$ | bar | $1.749712e + 000$ |
| $h3$ | μm | $2.490235e - 001$ | $p3$ | bar | $1.658654e + 000$ |
| F | kN | $5.042163e + 000$ | T | °C | $3.886595e + 001$ |
| t | s | $1.550000e + 001$ | | | |



20120709 Einschalt sprung PMRegler234 10000N

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.034326e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.806348e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $1.445042e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $5.439588e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-4.818848e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.734131e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $8.829102e + 000$ | $p2_{max}$ | bar | $4.082747e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.390389e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $6.883386e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.867187e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-4.475537e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.053564e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.195284e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.494422e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $6.798173e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-2.236816e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-4.623174e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.926196e + 000$ | T_{max} | °C | $3.893583e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $9.838886e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.804346e + 001$ |
| F_{min} | kN | $9.747363e + 000$ | T_{min} | °C | $3.721194e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.723890e + 000$ |



20120709 Einschalt sprung PMRegler234 10000N Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.031592e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.798718e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.956364e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.486089e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-4.818848e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-2.055664e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $8.688477e + 000$ | $p2_{max}$ | bar | $4.082747e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.656776e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.095133e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.867187e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-4.475537e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.045947e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.210970e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $4.332923e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.092352e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-2.236816e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.486943e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.909717e + 000$ | T_{max} | °C | $3.836120e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $9.828480e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.779925e + 001$ |
| F_{min} | kN | $9.758350e + 000$ | T_{min} | °C | $3.725077e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.110430e + 000$ |

Messpunkt 1

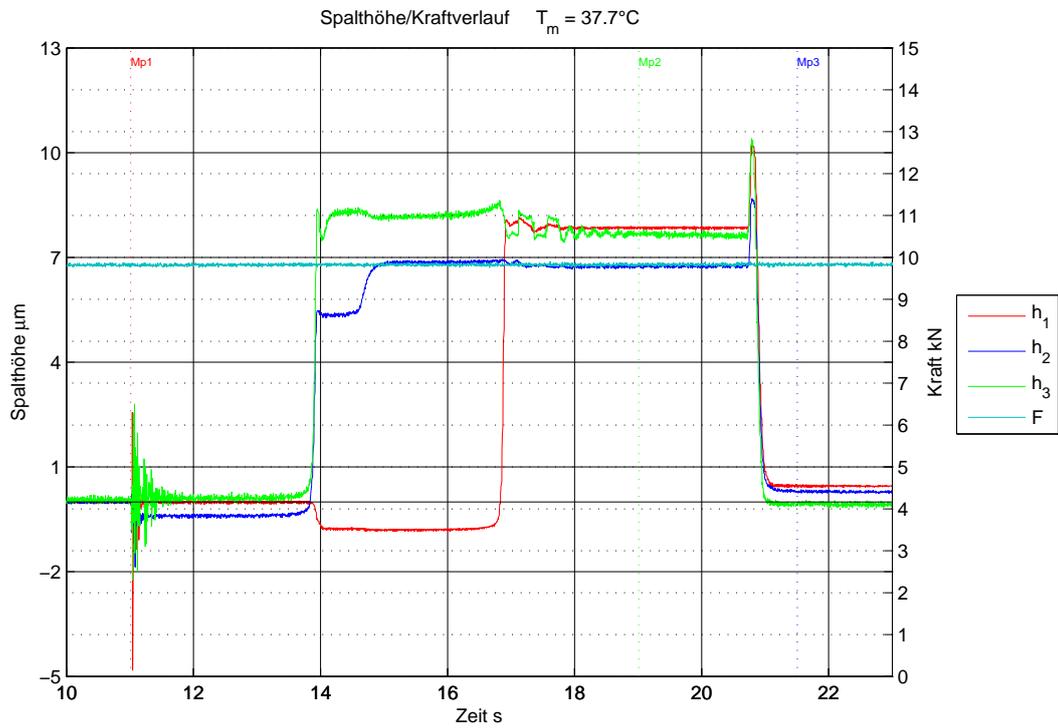
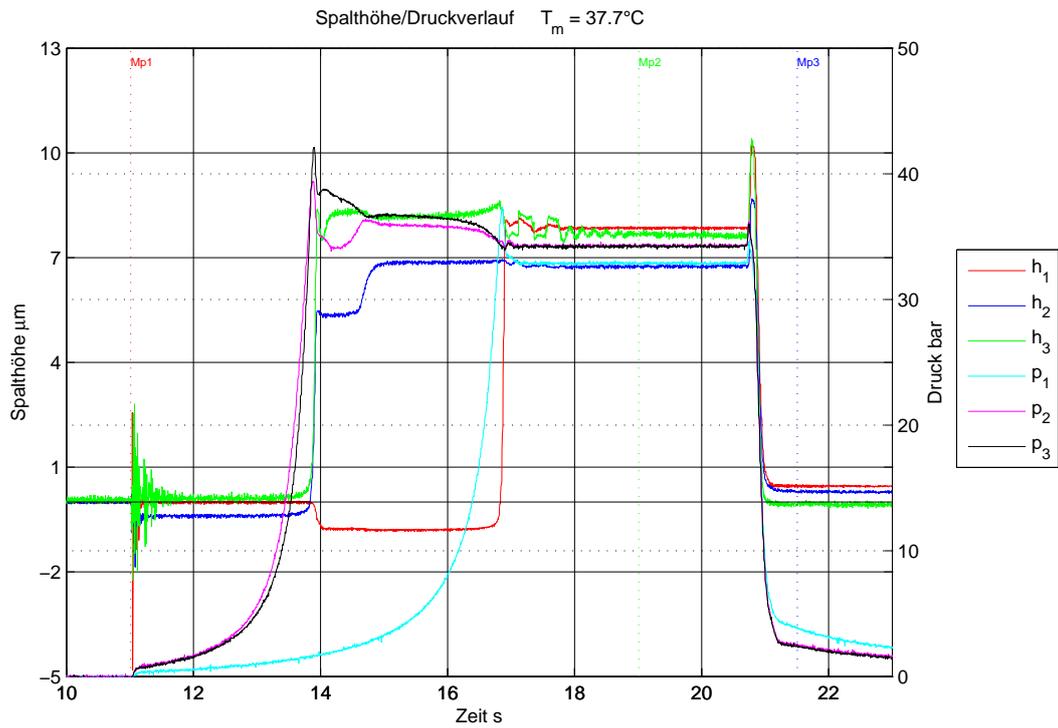
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|--------------------|
| $h1$ | μm | $-2.929700e - 002$ | $p1$ | bar | $6.909180e - 002$ |
| $h2$ | μm | $-2.246100e - 002$ | $p2$ | bar | $1.020996e - 002$ |
| $h3$ | μm | $1.000977e - 001$ | $p3$ | bar | $-1.981250e - 002$ |
| F | kN | $9.783374e + 000$ | T | °C | $3.725853e + 001$ |
| t | s | $1.101200e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $7.881347e + 000$ | $p1$ | bar | $3.279919e + 001$ |
| $h2$ | μm | $6.756348e + 000$ | $p2$ | bar | $3.425093e + 001$ |
| $h3$ | μm | $7.654785e + 000$ | $p3$ | bar | $3.426669e + 001$ |
| F | kN | $9.843799e + 000$ | T | °C | $3.788752e + 001$ |
| t | s | $1.901100e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $8.226562e + 000$ | $p1$ | bar | $3.281445e + 001$ |
| $h2$ | μm | $6.631836e + 000$ | $p2$ | bar | $3.417464e + 001$ |
| $h3$ | μm | $7.766602e + 000$ | $p3$ | bar | $3.411410e + 001$ |
| F | kN | $9.832812e + 000$ | T | °C | $3.807389e + 001$ |
| t | s | $2.700000e + 001$ | | | |



20120709 Einschaltsprung PMRegler234 10000N Detail1

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.021631e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.734631e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.367113e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.279756e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-4.818848e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-2.055664e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $8.687012e + 000$ | $p2_{max}$ | bar | $3.940840e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.558411e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.071366e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.867187e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-4.475537e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.040430e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.210970e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $4.304869e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.078414e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-2.236816e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.486943e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.905444e + 000$ | T_{max} | °C | $3.794964e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $9.825657e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.769647e + 001$ |
| F_{min} | kN | $9.758350e + 000$ | T_{min} | °C | $3.725077e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $6.988700e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|--------------------|
| $h1$ | μm | $-2.929700e - 002$ | $p1$ | bar | $6.909180e - 002$ |
| $h2$ | μm | $-2.246100e - 002$ | $p2$ | bar | $1.020996e - 002$ |
| $h3$ | μm | $1.000977e - 001$ | $p3$ | bar | $-1.981250e - 002$ |
| F | kN | $9.783374e + 000$ | T | °C | $3.725853e + 001$ |
| t | s | $1.101200e + 001$ | | | |

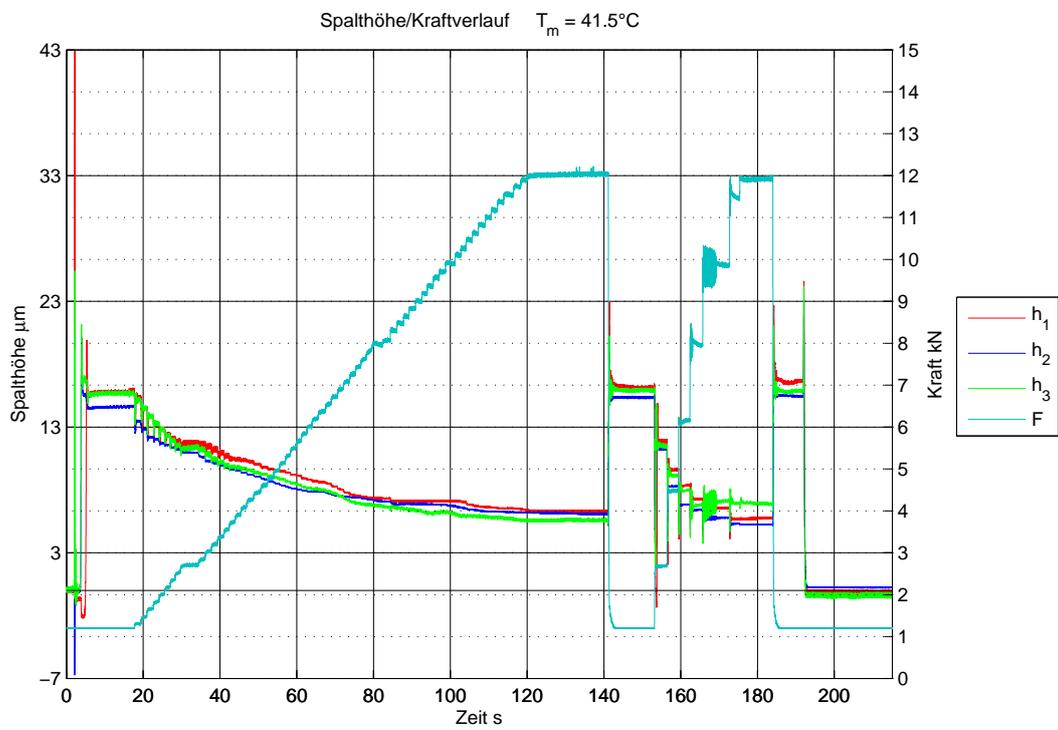
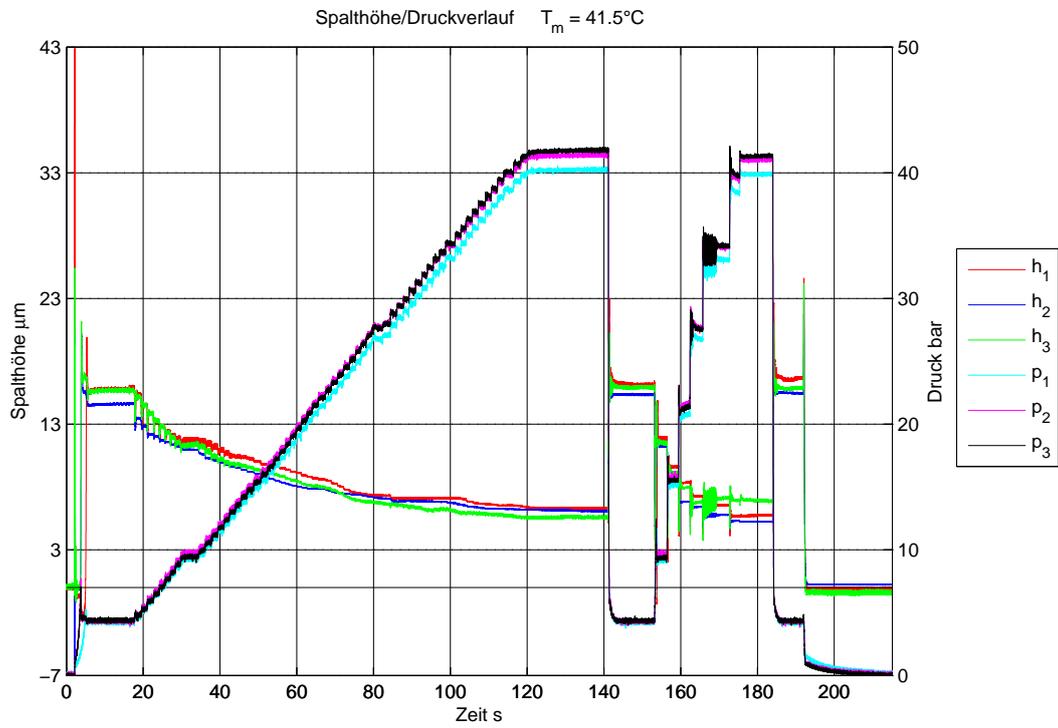
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $7.881347e + 000$ | $p1$ | bar | $3.279919e + 001$ |
| $h2$ | μm | $6.756348e + 000$ | $p2$ | bar | $3.425093e + 001$ |
| $h3$ | μm | $7.654785e + 000$ | $p3$ | bar | $3.426669e + 001$ |
| F | kN | $9.843799e + 000$ | T | °C | $3.788752e + 001$ |
| t | s | $1.901100e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

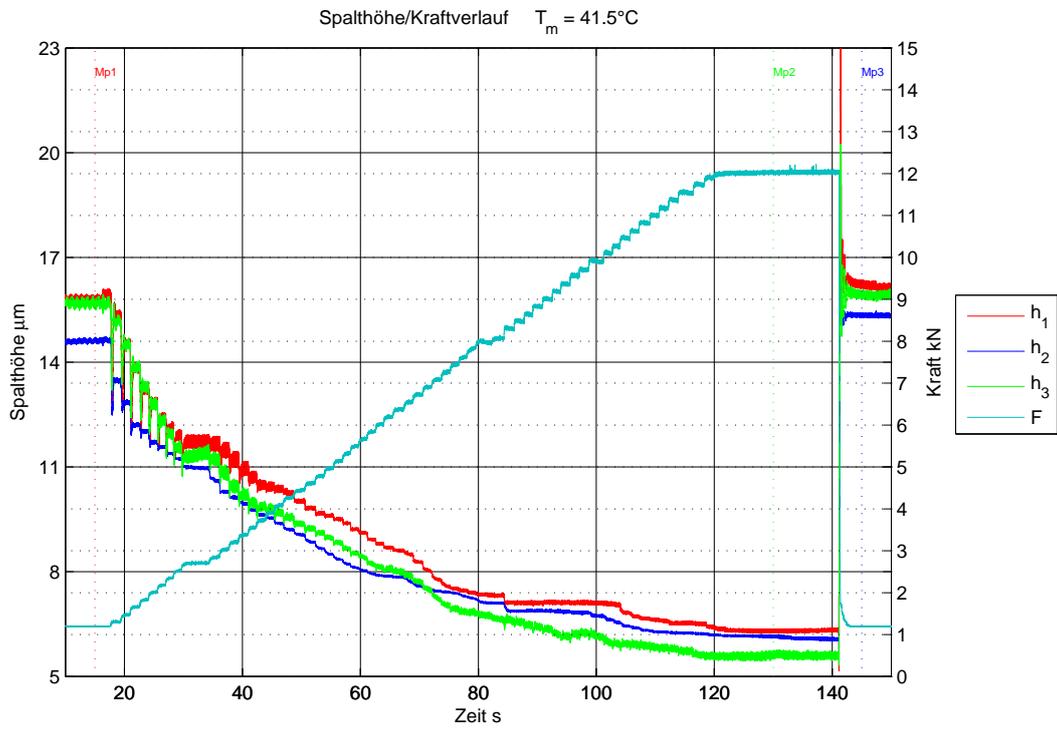
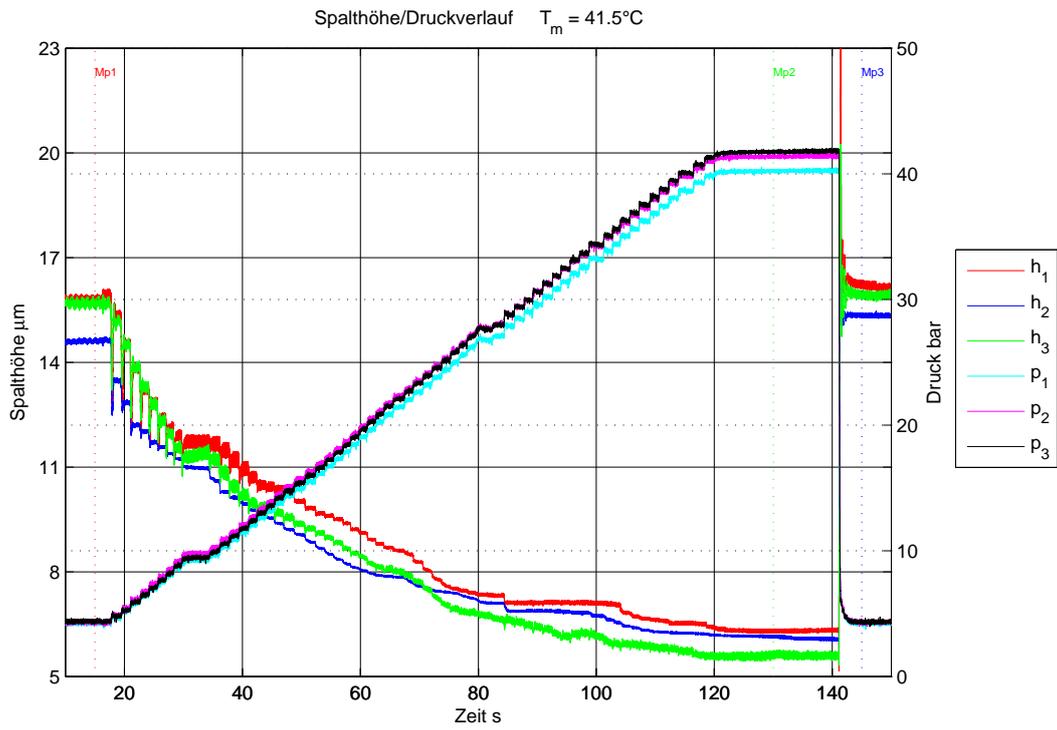
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $4.687497e - 001$ | $p1$ | bar | $3.975342e + 000$ |
| $h2$ | μm | $3.002932e - 001$ | $p2$ | bar | $2.619463e + 000$ |
| $h3$ | μm | $-2.490230e - 002$ | $p3$ | bar | $2.528405e + 000$ |
| F | kN | $9.824878e + 000$ | T | °C | $3.787975e + 001$ |
| t | s | $2.150600e + 001$ | | | |

A.2.3. Treppenförmiges Lastprofil



20120709 Spalt konst Lasten PMRegler234 0-11000N

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.289062e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.059644e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $8.353231e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.945063e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.194336e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.771973e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.295214e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.169722e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $7.912251e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.011506e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-6.733887e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-9.660156e - 002$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $2.541455e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.210970e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $8.081407e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.009525e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.177246e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.876592e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.221746e + 001$ | T_{max} | °C | $4.221278e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $5.913192e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.152479e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.189624e + 000$ | T_{min} | °C | $3.942505e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $2.787730e + 000$ |



20120709 Spalt konst Lasten PMRegler234 0-11000N Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $2.299219e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.052014e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $9.403940e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.281298e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $5.164551e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $3.761719e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $1.837158e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.169722e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $8.781723e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.360574e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $5.812012e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $3.977495e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $2.024463e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.204867e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $8.804494e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.358587e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $5.323243e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $3.977990e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.221746e + 001$ | T_{max} | °C | $4.210407e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $6.783402e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.152243e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.190845e + 000$ | T_{min} | °C | $4.016275e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.941320e + 000$ |

Messpunkt 1

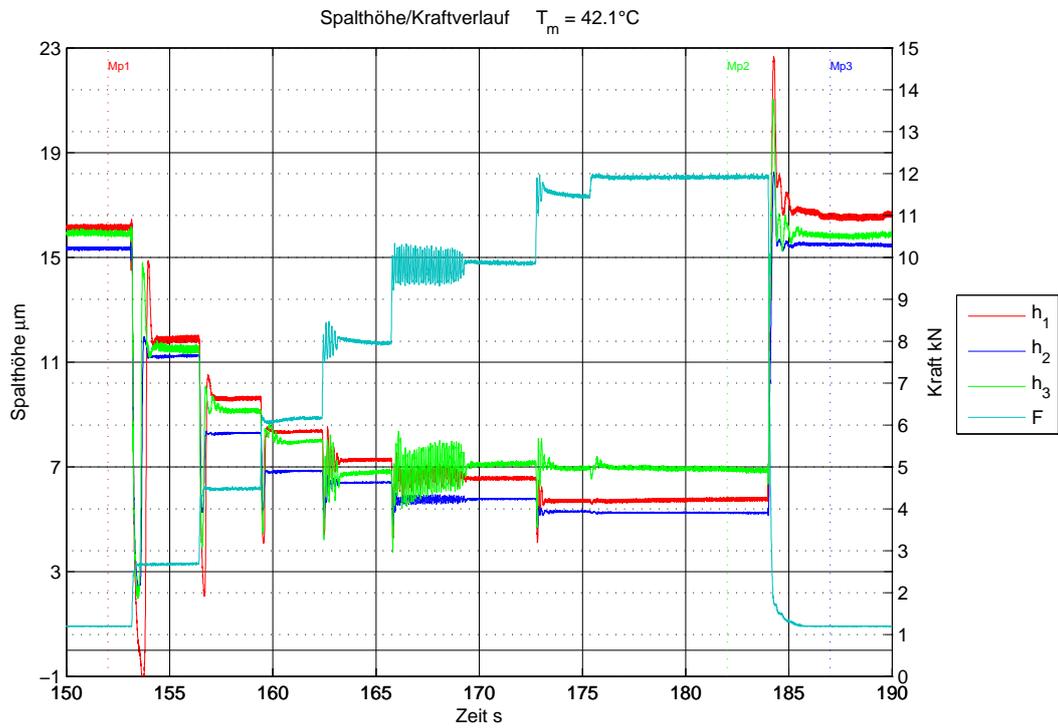
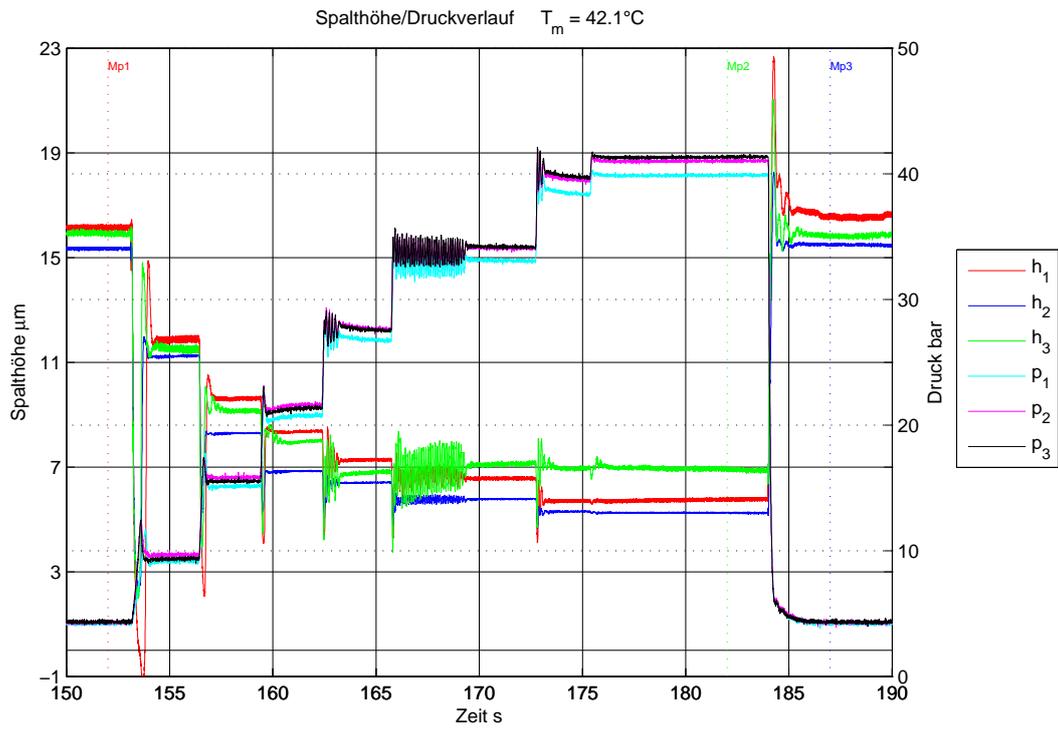
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.581738e + 001$ | $p1$ | bar | $4.265259e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.467285e + 001$ | $p2$ | bar | $4.374224e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.556640e + 001$ | $p3$ | bar | $4.466271e + 000$ |
| F | kN | $1.200000e + 000$ | T | °C | $4.047336e + 001$ |
| t | s | $1.500000e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.342286e + 000$ | $p1$ | bar | $4.010815e + 001$ |
| $h2$ | μm | $6.109375e + 000$ | $p2$ | bar | $4.120894e + 001$ |
| $h3$ | μm | $5.594239e + 000$ | $p3$ | bar | $4.157565e + 001$ |
| F | kN | $1.203923e + 001$ | T | °C | $4.201089e + 001$ |
| t | s | $1.300030e + 002$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.617285e + 001$ | $p1$ | bar | $4.326294e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.537597e + 001$ | $p2$ | bar | $4.282671e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.591162e + 001$ | $p3$ | bar | $4.267907e + 000$ |
| F | kN | $1.198169e + 000$ | T | °C | $4.207301e + 001$ |
| t | s | $1.450100e + 002$ | | | |



20120709 Spalt konst Lasten PMRegler234 0-11000N Detail1

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $2.266943e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.059644e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $9.268849e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.355271e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-1.329101e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $3.868530e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $1.824804e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.163619e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $8.511460e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.431214e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $2.359863e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $3.931719e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $2.104492e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.210970e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $9.531476e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.433327e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $1.975098e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $3.977990e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.200078e + 001$ | T_{max} | °C | $4.221278e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $7.010694e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.206777e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.190234e + 000$ | T_{min} | °C | $4.195653e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $2.562500e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.623584e + 001$ | $p1$ | bar | $4.158447e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.526660e + 001$ | $p2$ | bar | $4.191118e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.589892e + 001$ | $p3$ | bar | $4.222131e + 000$ |
| F | kN | $1.200000e + 000$ | T | °C | $4.204195e + 001$ |
| t | s | $1.520100e + 002$ | | | |

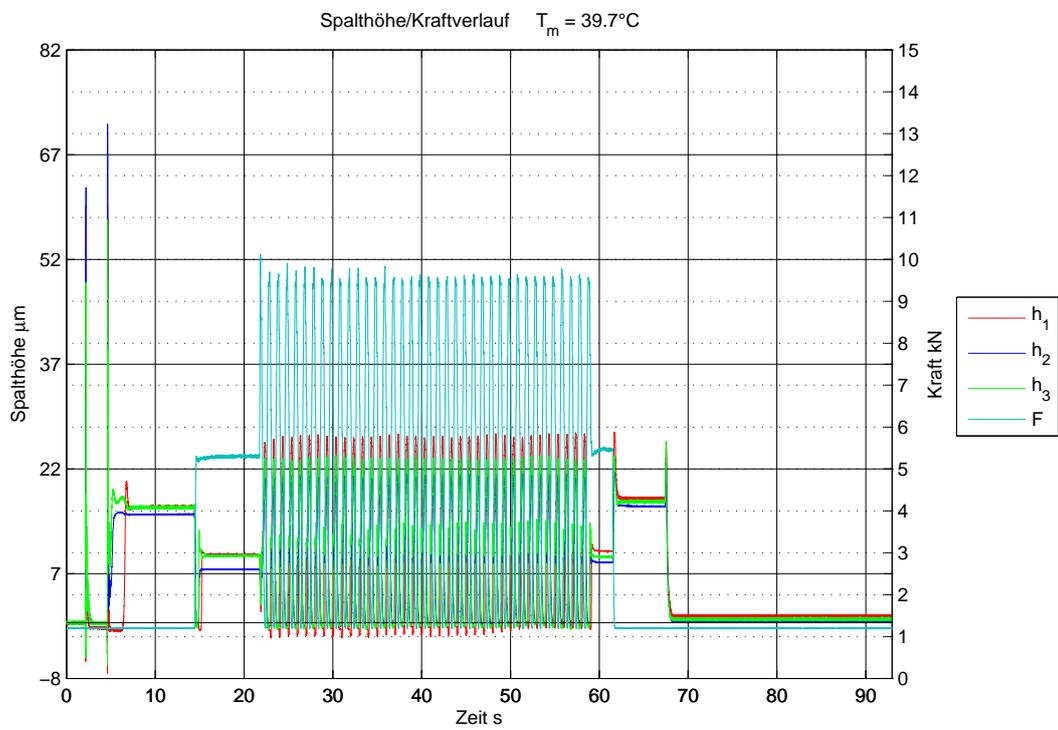
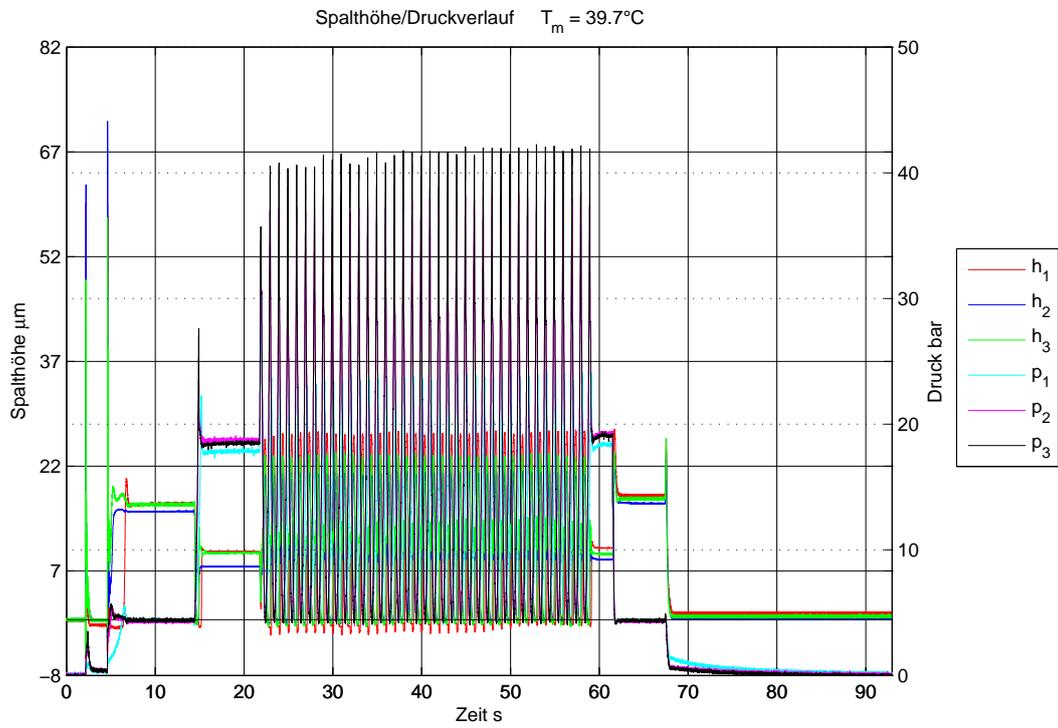
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $5.699219e + 000$ | $p1$ | bar | $3.992505e + 001$ |
| $h2$ | μm | $5.230469e + 000$ | $p2$ | bar | $4.107161e + 001$ |
| $h3$ | μm | $6.986817e + 000$ | $p3$ | bar | $4.139254e + 001$ |
| F | kN | $1.189885e + 001$ | T | °C | $4.212737e + 001$ |
| t | s | $1.820100e + 002$ | | | |

Messpunkt 3

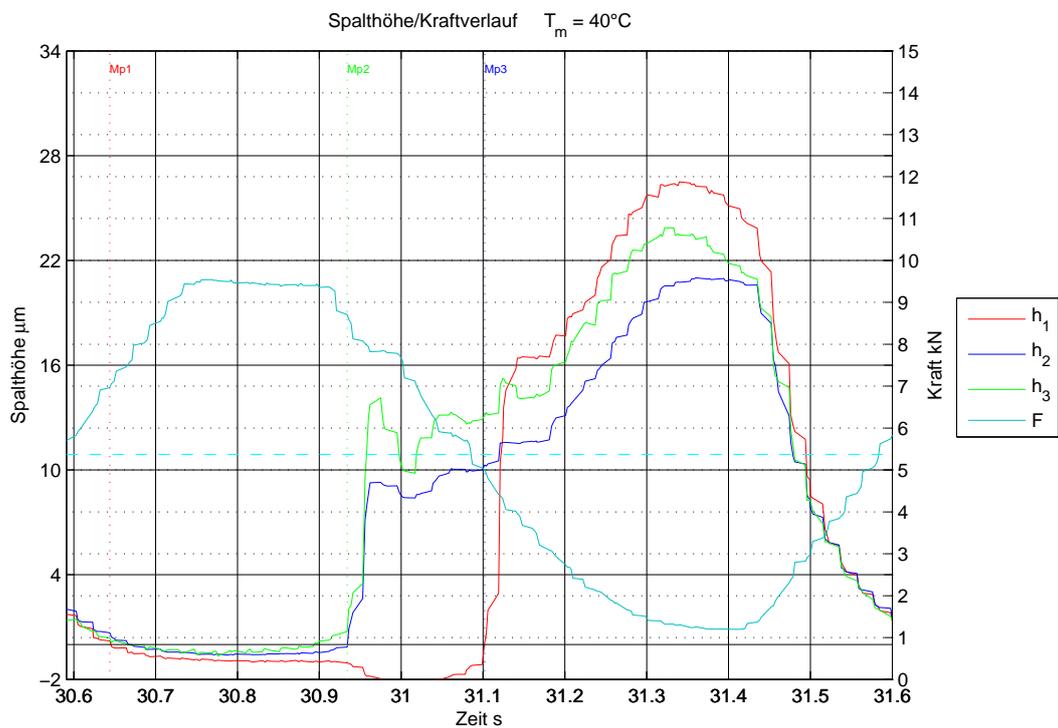
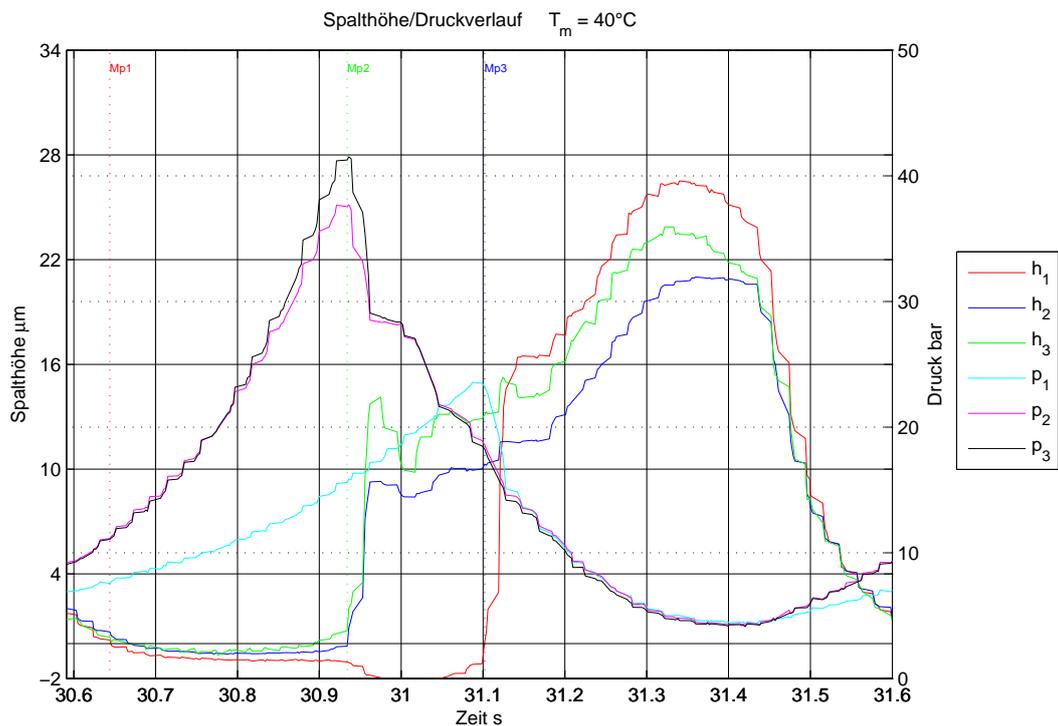
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.645312e + 001$ | $p1$ | bar | $4.204224e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.550195e + 001$ | $p2$ | bar | $4.328447e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.586963e + 001$ | $p3$ | bar | $4.313684e + 000$ |
| F | kN | $1.199390e + 000$ | T | °C | $4.215843e + 001$ |
| t | s | $1.870020e + 002$ | | | |

A.2.4. Ölspalt durchdrücken



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 durchdrücken

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $5.966748e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.296704e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $7.140058e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $7.047318e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-7.258301e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-8.349609e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $7.141456e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.853865e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $6.891735e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $9.033961e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-2.708496e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.576367e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $5.759082e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.224703e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $7.807533e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $9.060483e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-6.040039e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.486943e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.012700e + 001$ | T_{max} | °C | $4.021711e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $3.327699e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.967249e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193896e + 000$ | T_{min} | °C | $3.859416e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.622950e + 000$ |



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 durchdrücken Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $2.650244e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.356763e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $7.742079e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.066291e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.229981e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $4.356812e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.100196e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.769942e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $8.087906e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.531042e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-5.971679e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $4.236895e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $2.387646e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.151461e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $9.492325e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.549184e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-6.499023e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $4.130578e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.541675e + 000$ | T_{max} | °C | $3.999191e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $5.415319e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.996304e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.198169e + 000$ | T_{min} | °C | $3.992979e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $6.212000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.133789e - 001$ | $p1$ | bar | $7.561157e + 000$ |
| $h2$ | μm | $6.694336e - 001$ | $p2$ | bar | $1.113387e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.730469e - 001$ | $p3$ | bar | $1.107333e + 001$ |
| F | kN | $6.966602e + 000$ | T | °C | $3.996085e + 001$ |
| t | s | $3.064400e + 001$ | | | |

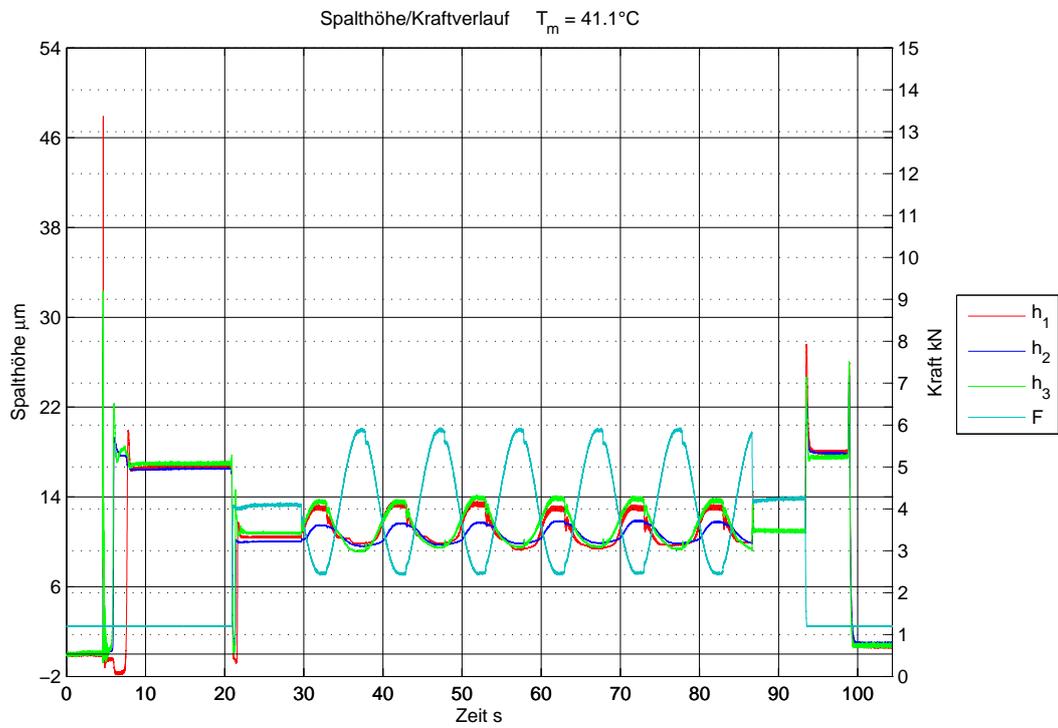
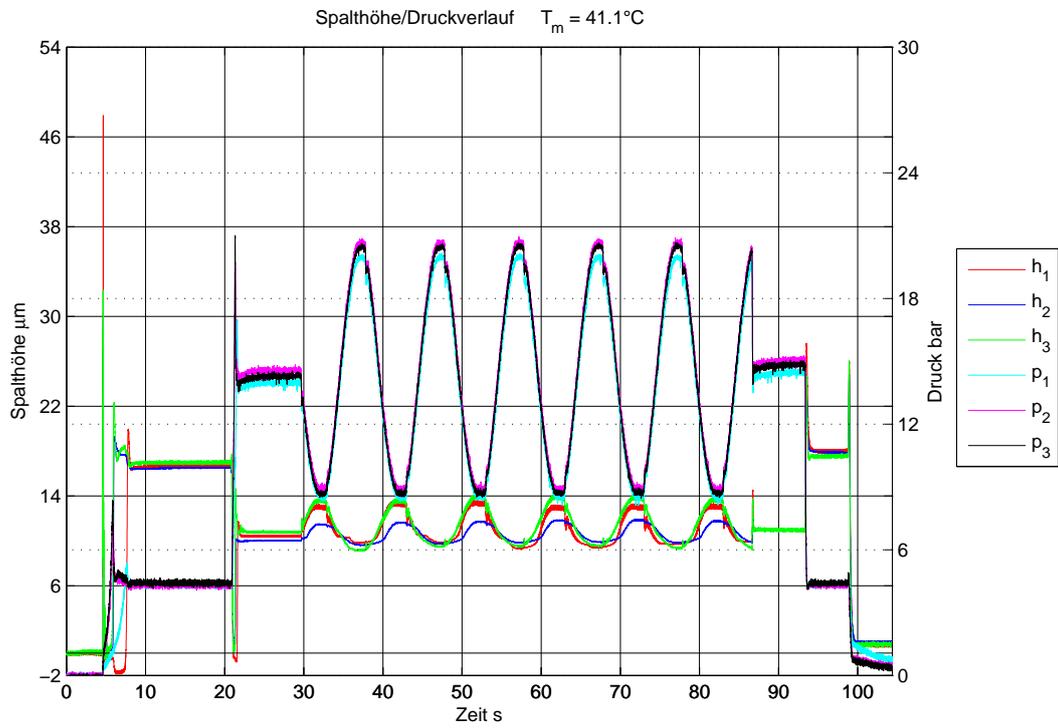
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-1.053223e + 000$ | $p1$ | bar | $1.560254e + 001$ |
| $h2$ | μm | $-1.435547e - 001$ | $p2$ | bar | $3.754683e + 001$ |
| $h3$ | μm | $7.470703e - 001$ | $p3$ | bar | $4.125521e + 001$ |
| F | kN | $8.706714e + 000$ | T | °C | $3.996085e + 001$ |
| t | s | $3.093400e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

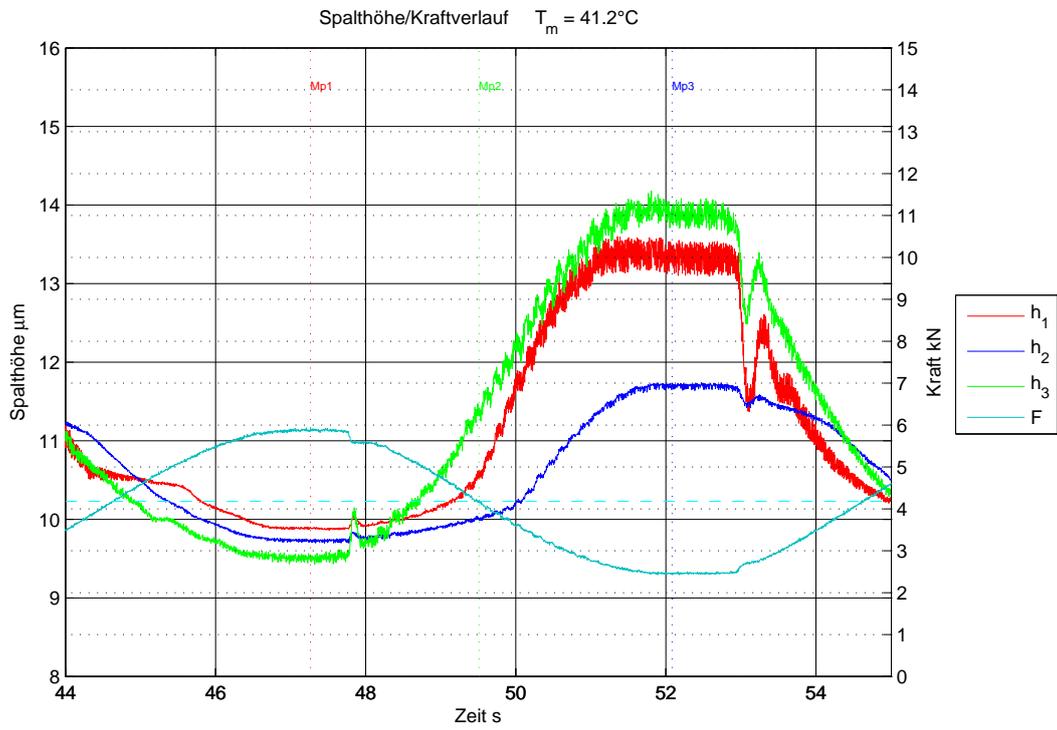
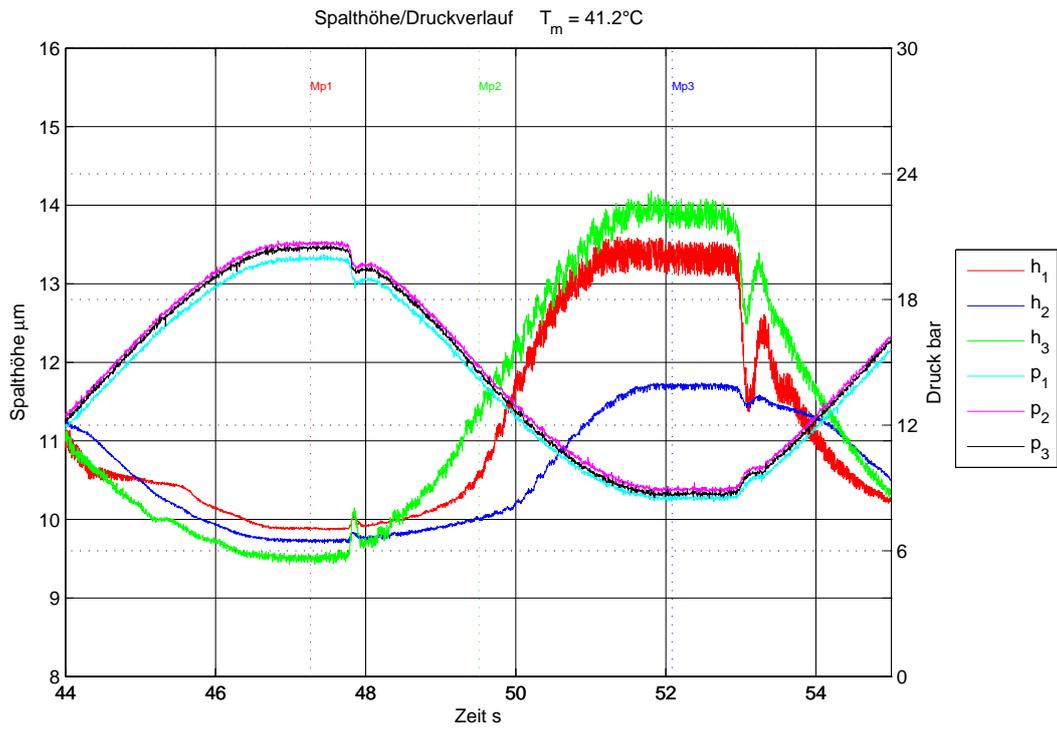
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.064453e - 001$ | $p1$ | bar | $2.321667e + 001$ |
| $h2$ | μm | $1.027393e + 001$ | $p2$ | bar | $1.858016e + 001$ |
| $h3$ | μm | $1.312256e + 001$ | $p3$ | bar | $1.824496e + 001$ |
| F | kN | $5.003711e + 000$ | T | °C | $3.995309e + 001$ |
| t | s | $3.110200e + 001$ | | | |

A.2.5. Sinus 0.1Hz - 1.6kN Amplitude - 3kN Mittellast



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F1

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.789160e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.016492e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $1.068372e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.058895e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-1.854003e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-2.055664e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.025342e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.096053e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.075330e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.104418e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-4.985351e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.881543e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.232617e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.100680e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.126541e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.090012e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-7.978516e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.334355e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.936938e + 000$ | T_{max} | °C | $4.157603e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $3.215914e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.105581e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.192676e + 000$ | T_{min} | °C | $3.969683e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.879200e + 000$ |



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F1 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.359814e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.016492e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $1.118962e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.404382e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $9.859863e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $8.339355e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $1.173828e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.080794e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.062034e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.462700e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $9.696778e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $8.616167e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.418017e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.059481e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.136707e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.439761e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $9.428711e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $8.509851e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.935107e + 000$ | T_{max} | °C | $4.131201e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.118293e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.122528e + 001$ |
| F_{min} | kN | $2.424365e + 000$ | T_{min} | °C | $4.111788e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.941300e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $9.886719e + 000$ | $p1$ | bar | $1.995129e + 001$ |
| $h2$ | μm | $9.736817e + 000$ | $p2$ | bar | $2.070113e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.466309e + 000$ | $p3$ | bar | $2.056429e + 001$ |
| F | kN | $5.935107e + 000$ | T | °C | $4.121883e + 001$ |
| t | s | $4.726400e + 001$ | | | |

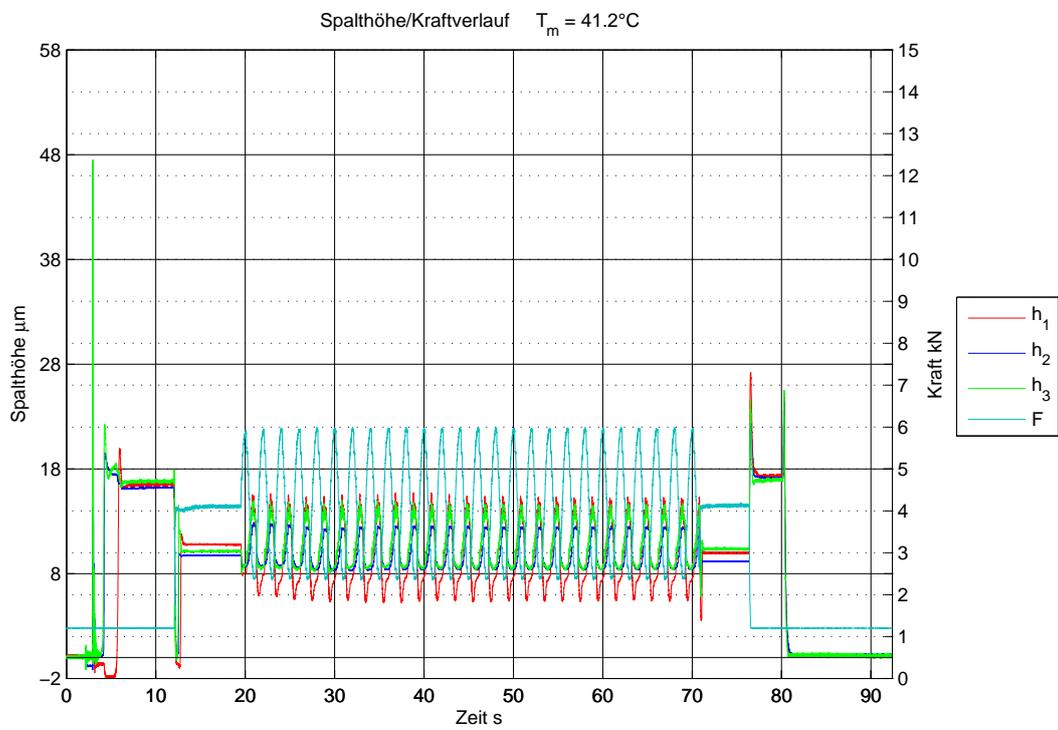
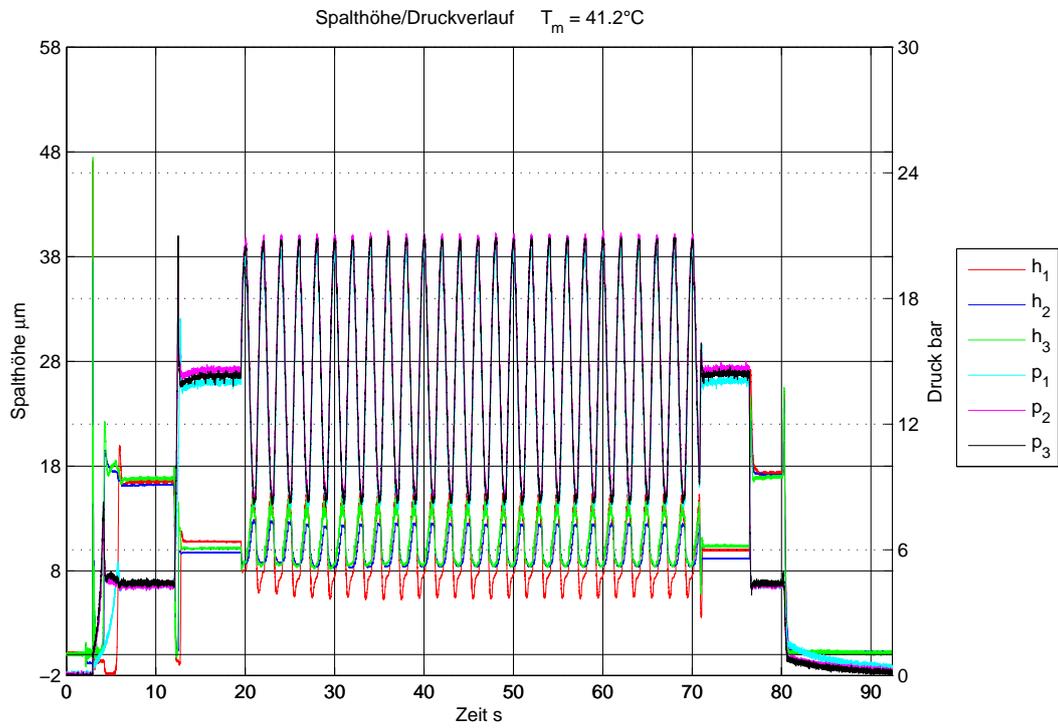
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.053662e + 001$ | $p1$ | bar | $1.422925e + 001$ |
| $h2$ | μm | $1.000439e + 001$ | $p2$ | bar | $1.488753e + 001$ |
| $h3$ | μm | $1.140429e + 001$ | $p3$ | bar | $1.459811e + 001$ |
| F | kN | $4.148608e + 000$ | T | °C | $4.123436e + 001$ |
| t | s | $4.951100e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

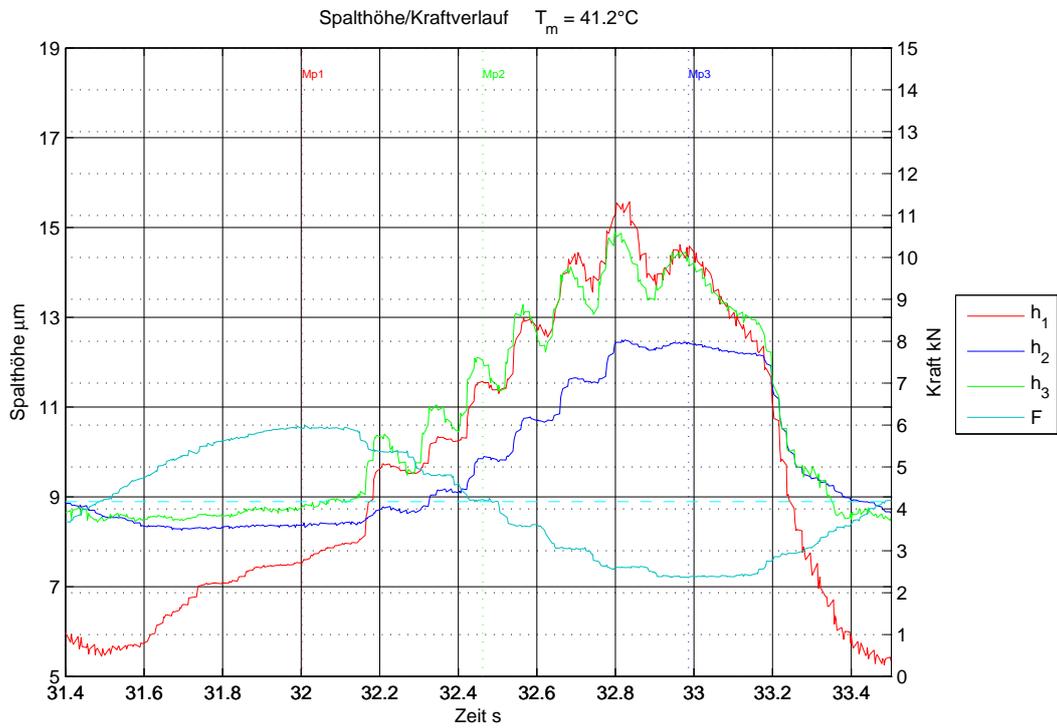
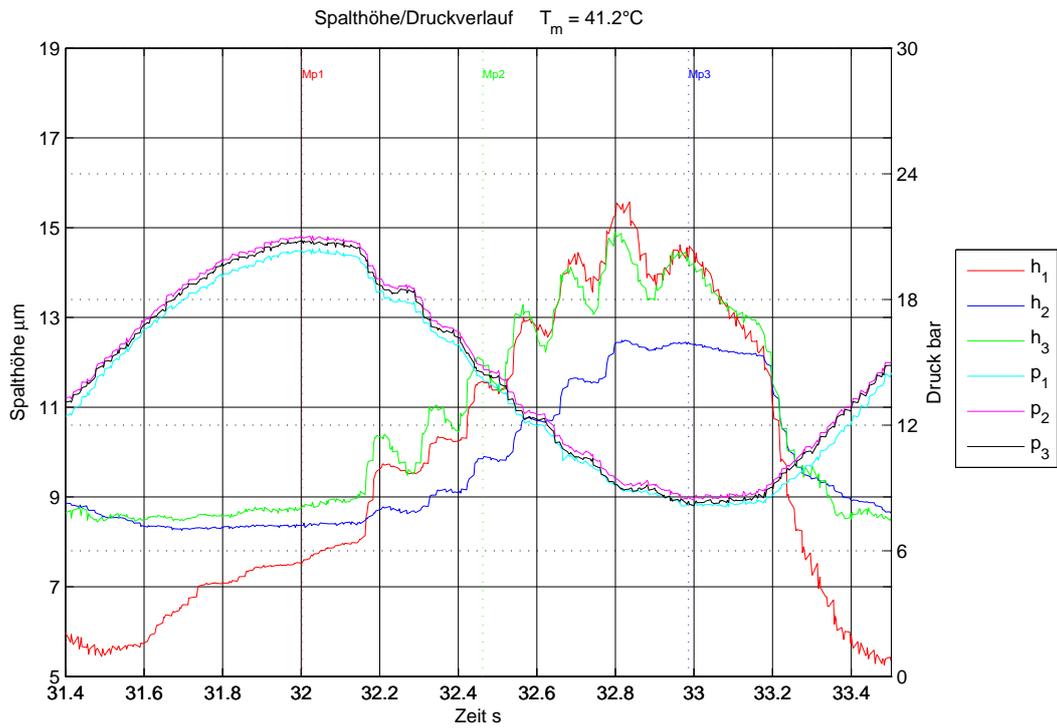
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.324804e + 001$ | $p1$ | bar | $8.583496e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.170996e + 001$ | $p2$ | bar | $8.936602e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.399023e + 001$ | $p3$ | bar | $8.616662e + 000$ |
| F | kN | $2.424365e + 000$ | T | °C | $4.125765e + 001$ |
| t | s | $5.208400e + 001$ | | | |

A.2.6. Sinus 0.5Hz - 1.6kN Amplitude - 3kN Mittellast



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F2

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.713135e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.048535e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $8.791476e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.044881e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.043457e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.292725e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.751806e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.125044e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $9.034256e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.088343e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.171875e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-2.186719e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.750976e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.108309e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $9.616226e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.072890e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.162109e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.334355e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.996753e + 000$ | T_{max} | °C | $4.166145e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $3.245870e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.115044e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193896e + 000$ | T_{min} | °C | $3.990649e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.754960e + 000$ |



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F2 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.557520e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.043958e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $9.642050e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.401383e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $5.260254e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $8.110474e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $1.249316e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.103682e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $9.780536e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.459816e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $8.254883e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $8.417803e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.489551e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.080843e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.067308e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.436933e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $8.438477e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $8.158898e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.990039e + 000$ | T_{max} | °C | $4.125765e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.112274e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.121743e + 001$ |
| F_{min} | kN | $2.357227e + 000$ | T_{min} | °C | $4.115670e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.009500e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $7.522949e + 000$ | $p1$ | bar | $2.031750e + 001$ |
| $h2$ | μm | $8.363769e + 000$ | $p2$ | bar | $2.100630e + 001$ |
| $h3$ | μm | $8.773438e + 000$ | $p3$ | bar | $2.080843e + 001$ |
| F | kN | $5.908862e + 000$ | T | °C | $4.121883e + 001$ |
| t | s | $3.200200e + 001$ | | | |

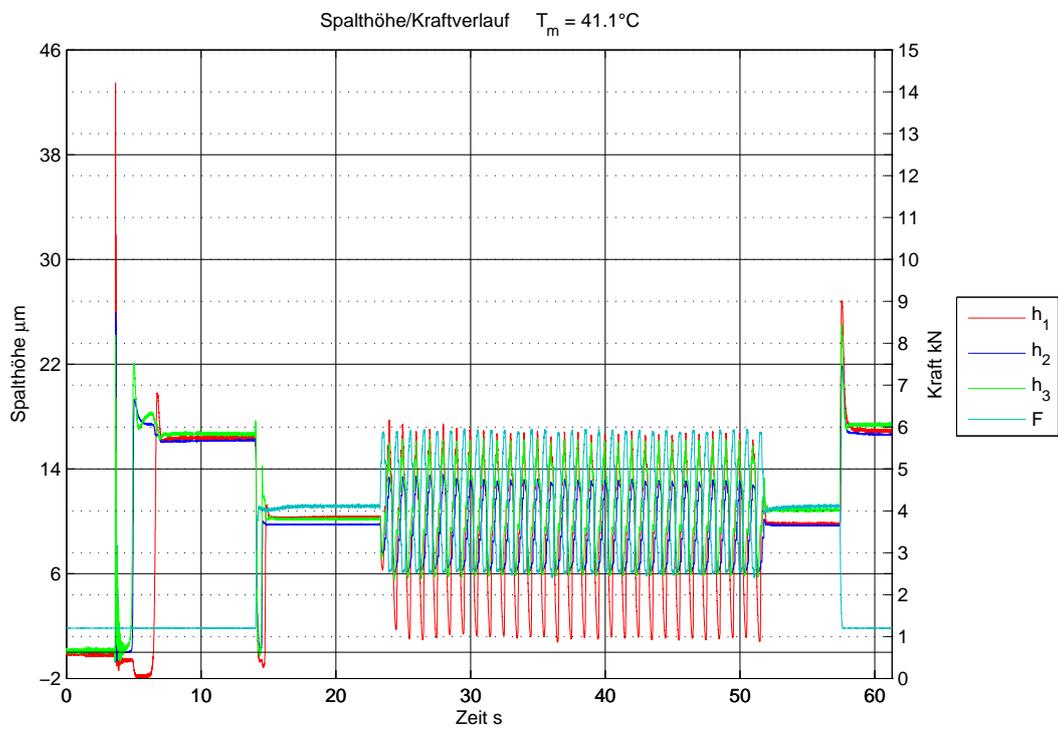
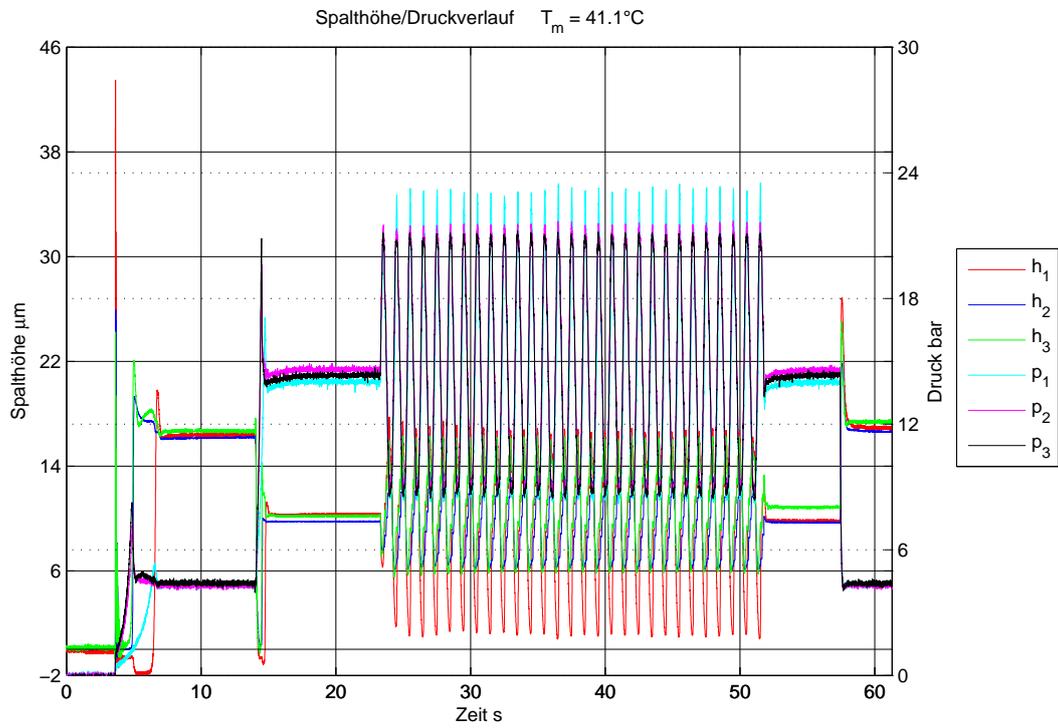
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.157324e + 001$ | $p1$ | bar | $1.421399e + 001$ |
| $h2$ | μm | $9.851562e + 000$ | $p2$ | bar | $1.484175e + 001$ |
| $h3$ | μm | $1.204248e + 001$ | $p3$ | bar | $1.452181e + 001$ |
| F | kN | $4.226123e + 000$ | T | °C | $4.121883e + 001$ |
| t | s | $3.246200e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

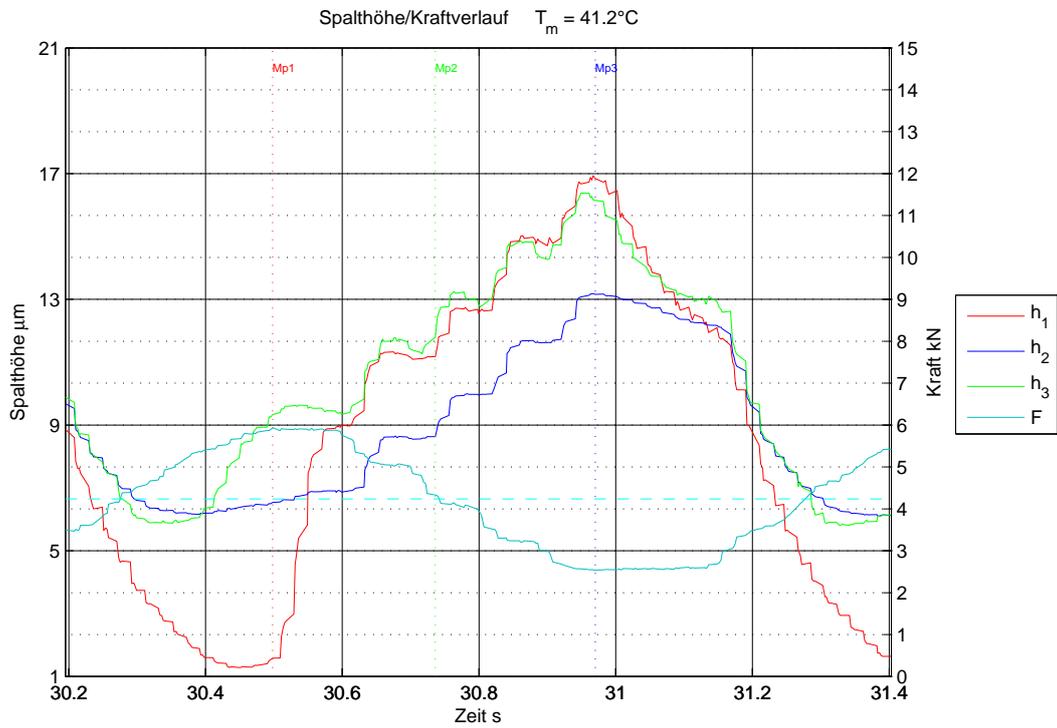
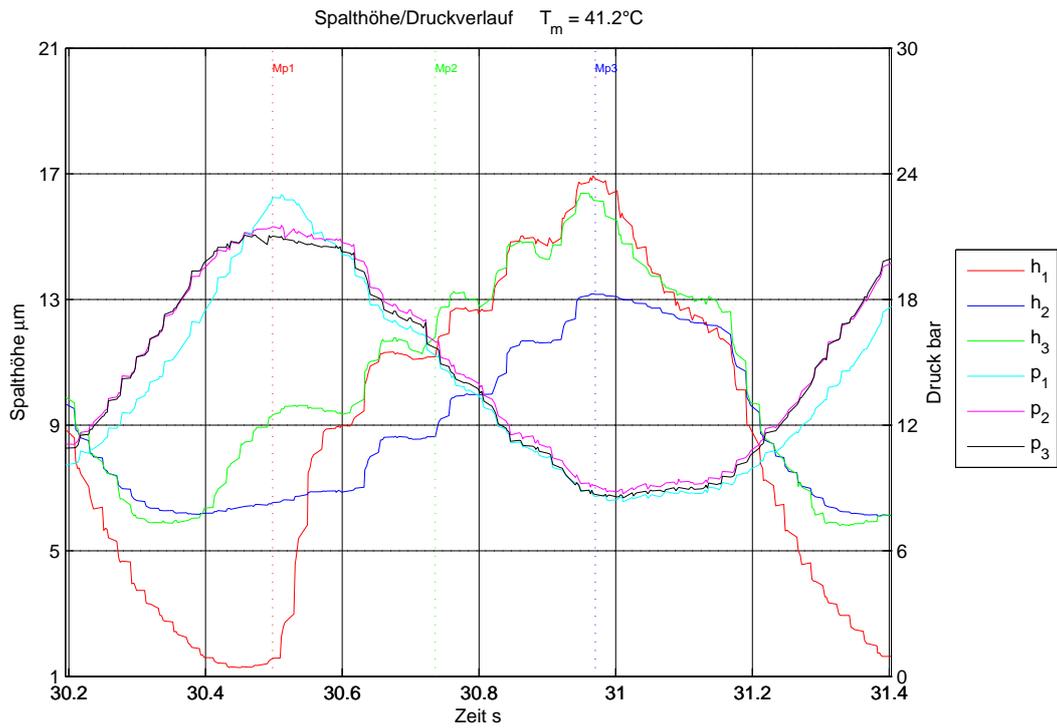
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.436524e + 001$ | $p1$ | bar | $8.308838e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.244140e + 001$ | $p2$ | bar | $8.616167e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.433154e + 001$ | $p3$ | bar | $8.372521e + 000$ |
| F | kN | $2.357227e + 000$ | T | °C | $4.121883e + 001$ |
| t | s | $3.298600e + 001$ | | | |

A.2.7. Sinus 1Hz - 1.6kN Amplitude - 3kN Mittellast



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F3

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.348046e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.352185e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $9.781532e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.079494e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-1.984864e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.445313e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.595166e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.170821e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.014526e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.135980e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-7.651367e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.881543e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $2.500341e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.120516e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.123609e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.122050e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-7.119141e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.486943e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.960742e + 000$ | T_{max} | °C | $4.163039e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $3.281543e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.105130e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.195728e + 000$ | T_{min} | °C | $3.982108e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.809310e + 000$ |



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F3 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.693603e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.300305e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $8.626632e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.385135e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $1.285157e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $8.339355e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $1.318408e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.154036e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $8.899027e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.469578e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $6.106445e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $8.722979e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.638085e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.106783e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.035445e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.449016e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $5.803223e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $8.525109e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.938159e + 000$ | T_{max} | °C | $4.126542e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.180812e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.123991e + 001$ |
| F_{min} | kN | $2.535449e + 000$ | T_{min} | °C | $4.121106e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $5.436000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.584473e + 000$ | $p1$ | bar | $2.286572e + 001$ |
| $h2$ | μm | $6.536621e + 000$ | $p2$ | bar | $2.147933e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.334473e + 000$ | $p3$ | bar | $2.102206e + 001$ |
| F | kN | $5.938159e + 000$ | T | °C | $4.123436e + 001$ |
| t | s | $3.049800e + 001$ | | | |

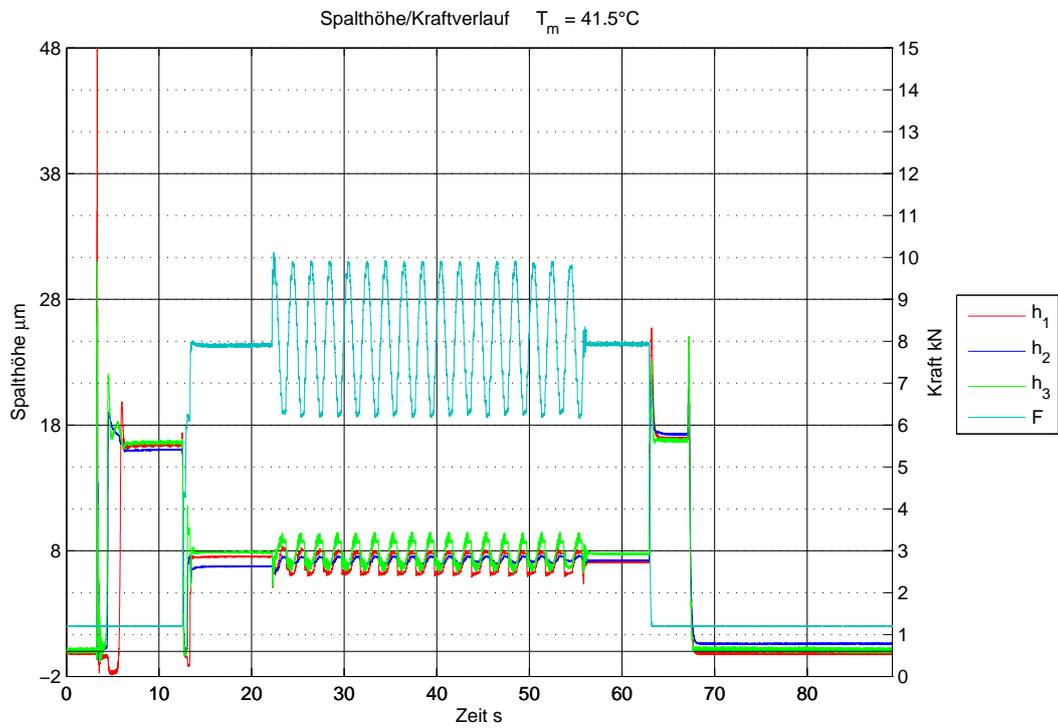
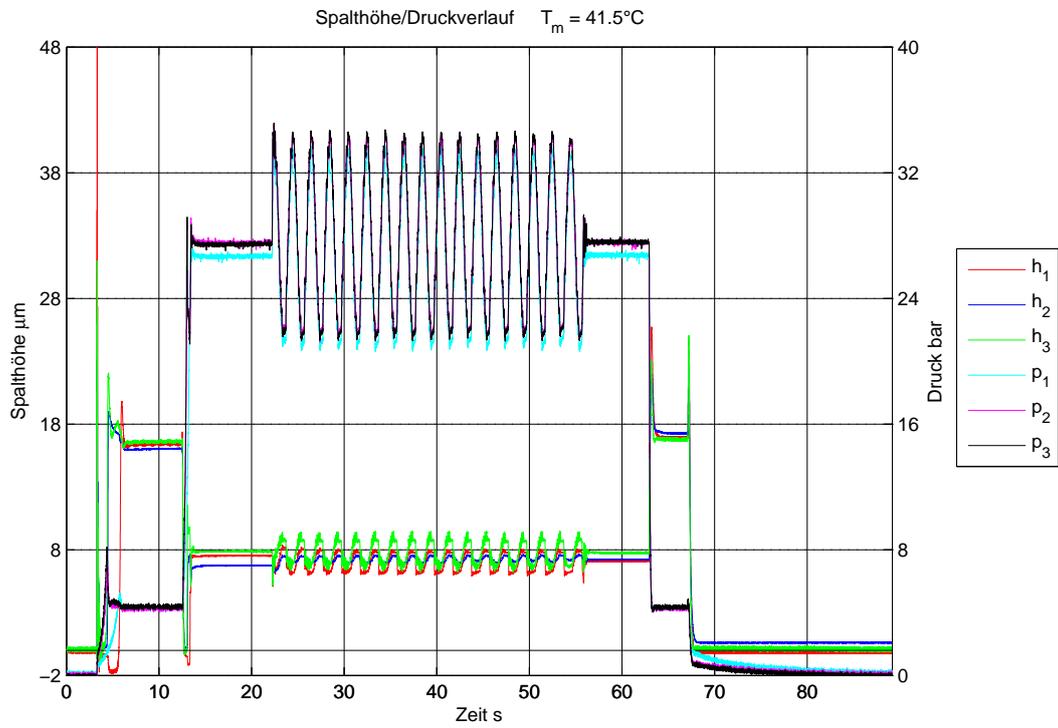
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.117480e + 001$ | $p1$ | bar | $1.532788e + 001$ |
| $h2$ | μm | $8.631836e + 000$ | $p2$ | bar | $1.598616e + 001$ |
| $h3$ | μm | $1.179882e + 001$ | $p3$ | bar | $1.568148e + 001$ |
| F | kN | $4.332324e + 000$ | T | °C | $4.124989e + 001$ |
| t | s | $3.073600e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.684375e + 001$ | $p1$ | bar | $8.598755e + 000$ |
| $h2$ | μm | $1.316016e + 001$ | $p2$ | bar | $9.119707e + 000$ |
| $h3$ | μm | $1.614648e + 001$ | $p3$ | bar | $8.692956e + 000$ |
| F | kN | $2.535449e + 000$ | T | °C | $4.123436e + 001$ |
| t | s | $3.097000e + 001$ | | | |

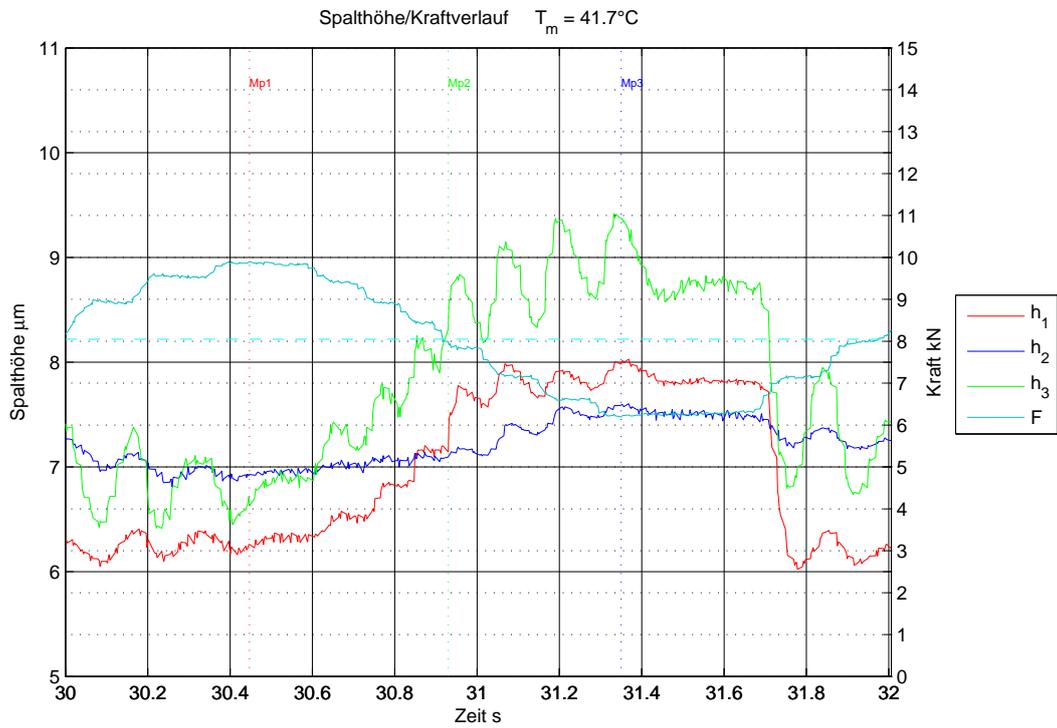
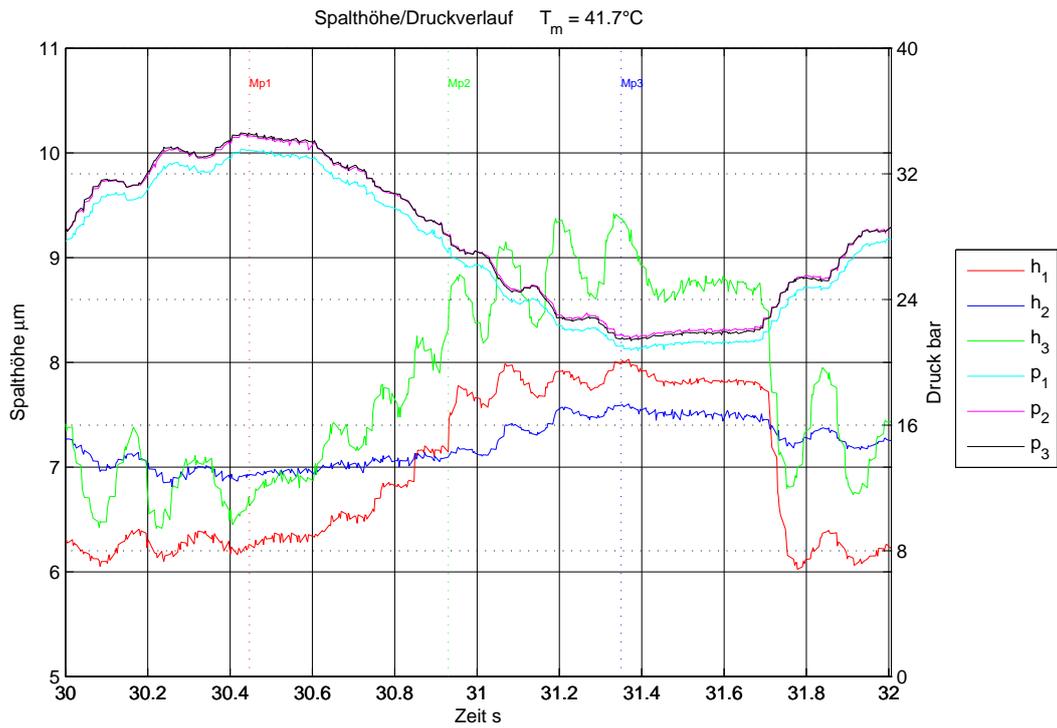
A.2.8. Sinus 0.5Hz - 1.6kN Amplitude - 6.6kN Mittellast



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F4

| | | | | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
| $h1_{max}$ | μm | $4.859765e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.414197e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $5.968382e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.589981e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-1.820801e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.771973e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.978955e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.510542e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $6.470300e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.640236e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-6.494141e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.118604e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.098145e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.516696e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $6.744355e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.639056e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-8.520508e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.181768e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.011235e + 001$ | T_{max} | °C | $4.214290e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $5.035331e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.151269e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193896e + 000$ | T_{min} | °C | $4.038018e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.762720e + 000$ |

A. Anhang



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F4 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $8.028809e + 000$ | $p1_{max}$ | bar | $3.354688e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $6.945852e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.703793e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $6.022949e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $2.074475e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $7.603028e + 000$ | $p2_{max}$ | bar | $3.452559e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $7.211333e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.787672e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $6.809571e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $2.150984e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $9.419922e + 000$ | $p3_{max}$ | bar | $3.460238e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $7.788255e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.785703e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $6.415527e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $2.137301e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.906665e + 000$ | T_{max} | °C | $4.171581e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $8.013374e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.167935e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.190845e + 000$ | T_{min} | °C | $4.163039e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $8.542000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.261230e + 000$ | $p1$ | bar | $3.350110e + 001$ |
| $h2$ | μm | $6.929200e + 000$ | $p2$ | bar | $3.441878e + 001$ |
| $h3$ | μm | $6.631348e + 000$ | $p3$ | bar | $3.454134e + 001$ |
| F | kN | $9.906665e + 000$ | T | °C | $4.167698e + 001$ |
| t | s | $3.044700e + 001$ | | | |

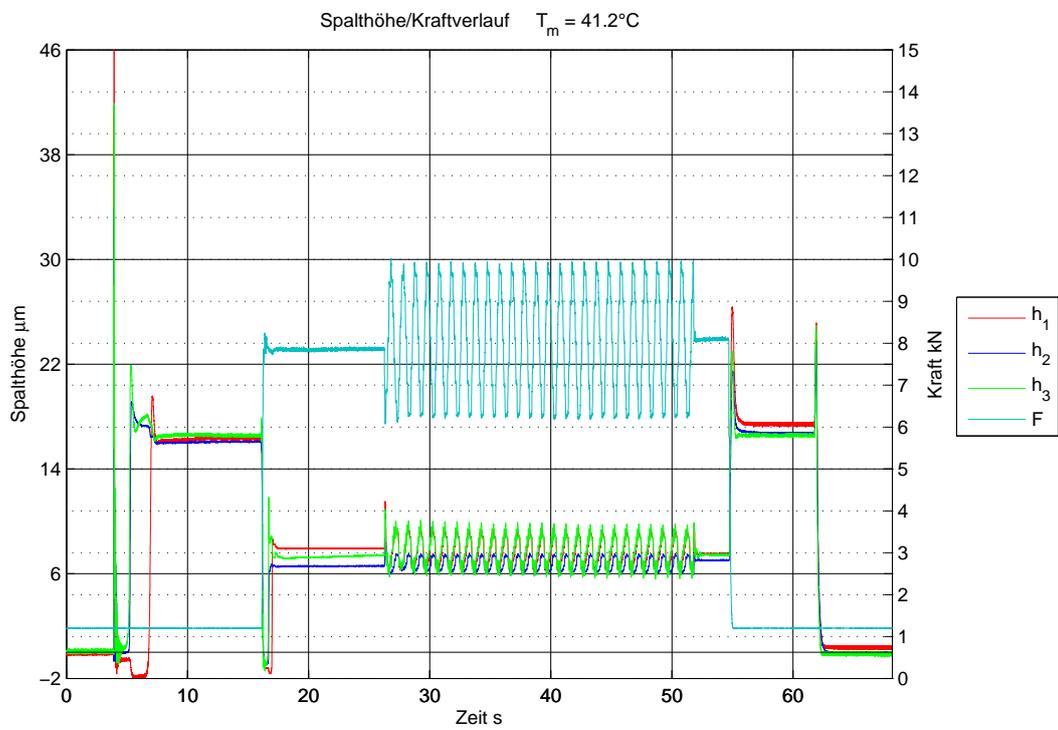
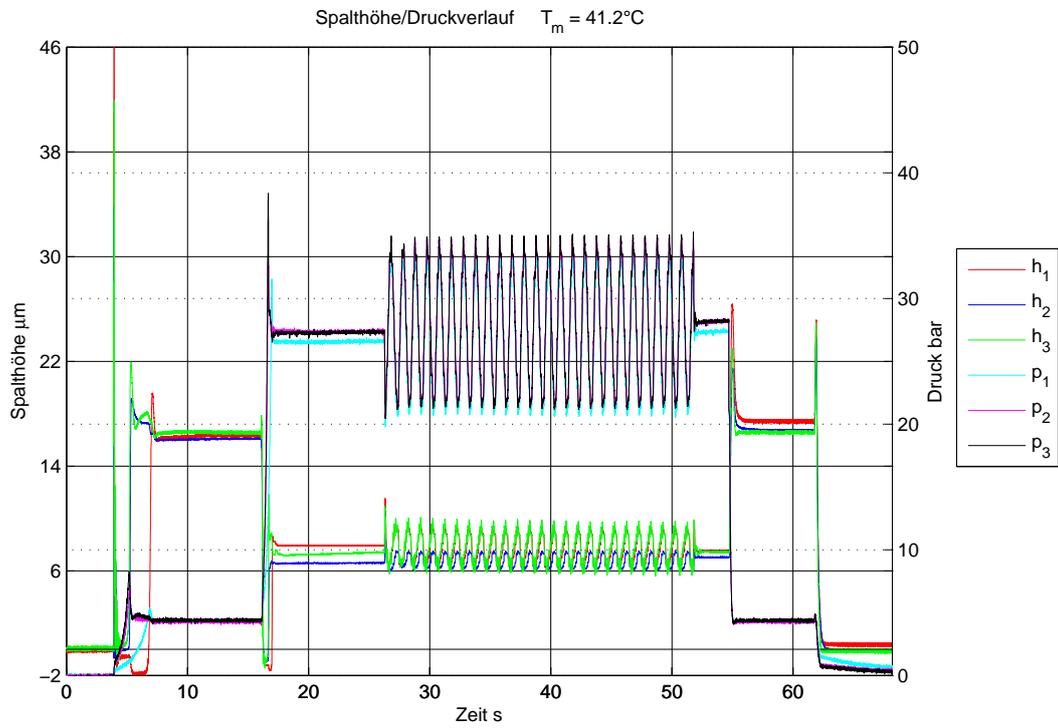
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $7.144043e + 000$ | $p1$ | bar | $2.697034e + 001$ |
| $h2$ | μm | $7.095215e + 000$ | $p2$ | bar | $2.811690e + 001$ |
| $h3$ | μm | $8.317871e + 000$ | $p3$ | bar | $2.805636e + 001$ |
| F | kN | $7.990161e + 000$ | T | °C | $4.166921e + 001$ |
| t | s | $3.093000e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

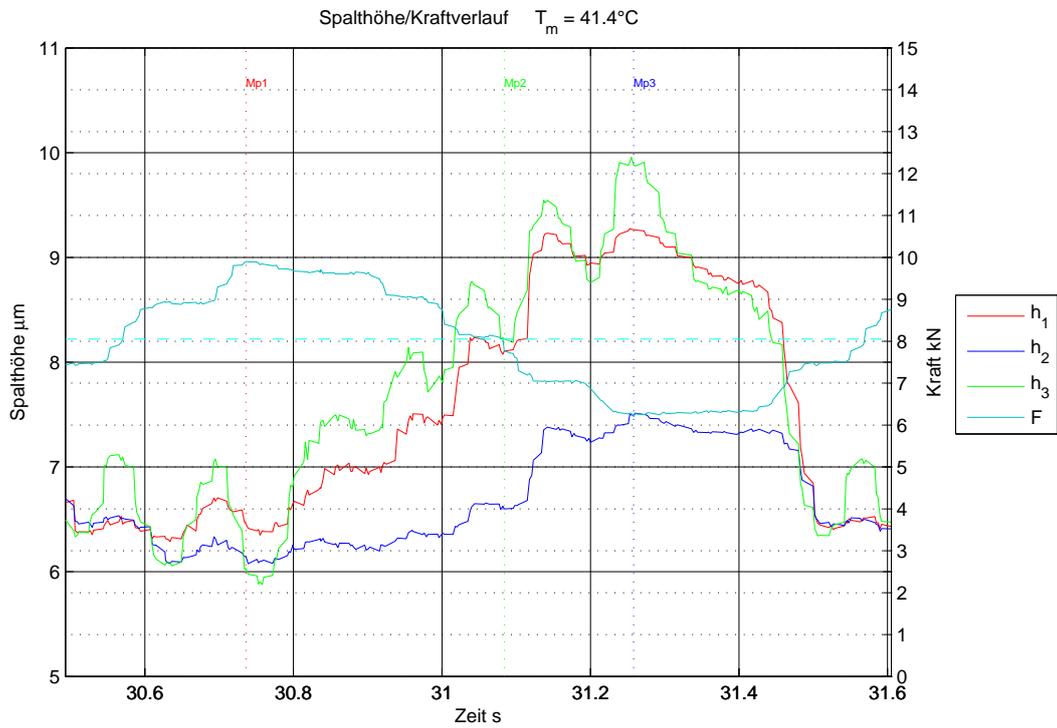
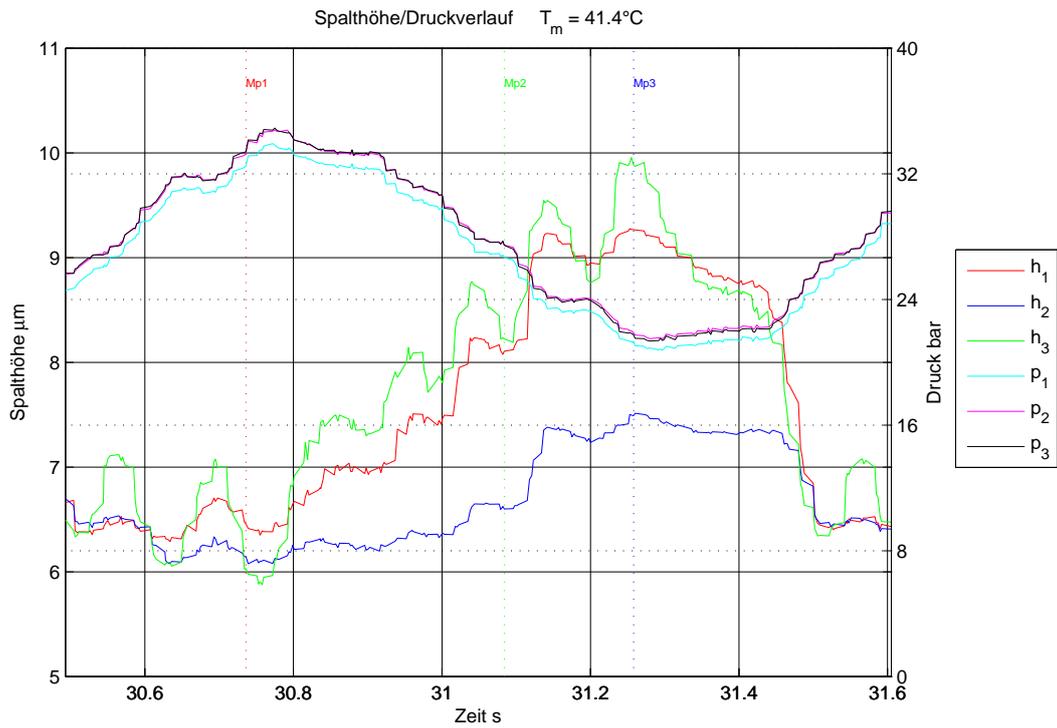
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $7.981934e + 000$ | $p1$ | bar | $2.103467e + 001$ |
| $h2$ | μm | $7.588868e + 000$ | $p2$ | bar | $2.173873e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.368164e + 000$ | $p3$ | bar | $2.147982e + 001$ |
| F | kN | $6.190845e + 000$ | T | °C | $4.169251e + 001$ |
| t | s | $3.135000e + 001$ | | | |

A.2.9. Sinus 1Hz - 1.6kN Amplitude - 6.6kN Mittellast



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F5

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.644775e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.400464e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $8.345243e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.642243e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.025391e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.750488e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.394971e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.498335e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $8.136071e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.699679e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-9.711914e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-2.034131e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.191601e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.837130e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $8.740799e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.702074e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.440429e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.639531e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.002324e + 001$ | T_{max} | °C | $4.186335e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $5.064949e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.122801e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.195117e + 000$ | T_{min} | °C | $3.989873e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.964620e + 000$ |



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F5 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $9.275879e + 000$ | $p1_{max}$ | bar | $3.392834e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $7.521588e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.704267e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $6.288086e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $2.077527e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $7.513183e + 000$ | $p2_{max}$ | bar | $3.480025e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $6.677186e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.785640e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $6.075683e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $2.149458e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $9.955567e + 000$ | $p3_{max}$ | bar | $3.490756e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $7.694598e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.782683e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $5.877442e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $2.135775e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.902393e + 000$ | T_{max} | °C | $4.143626e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $8.006609e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.140285e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.201831e + 000$ | T_{min} | °C | $4.134307e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $9.319000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.456543e + 000$ | $p1$ | bar | $3.250928e + 001$ |
| $h2$ | μm | $6.145019e + 000$ | $p2$ | bar | $3.330489e + 001$ |
| $h3$ | μm | $6.029786e + 000$ | $p3$ | bar | $3.342745e + 001$ |
| F | kN | $9.902393e + 000$ | T | °C | $4.138966e + 001$ |
| t | s | $3.073600e + 001$ | | | |

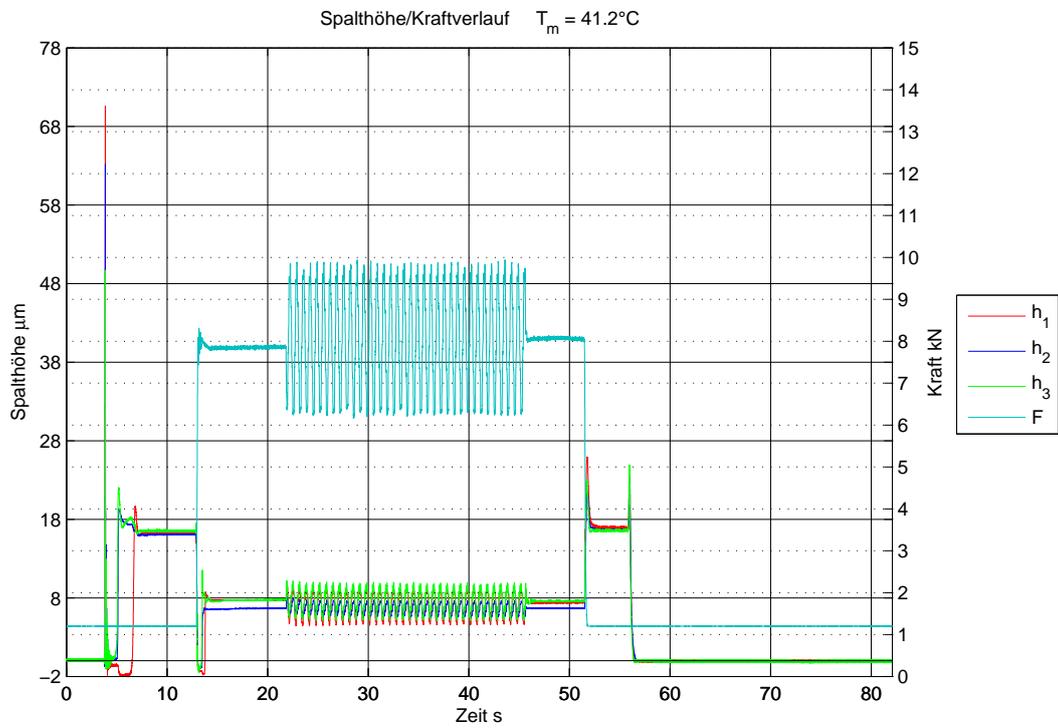
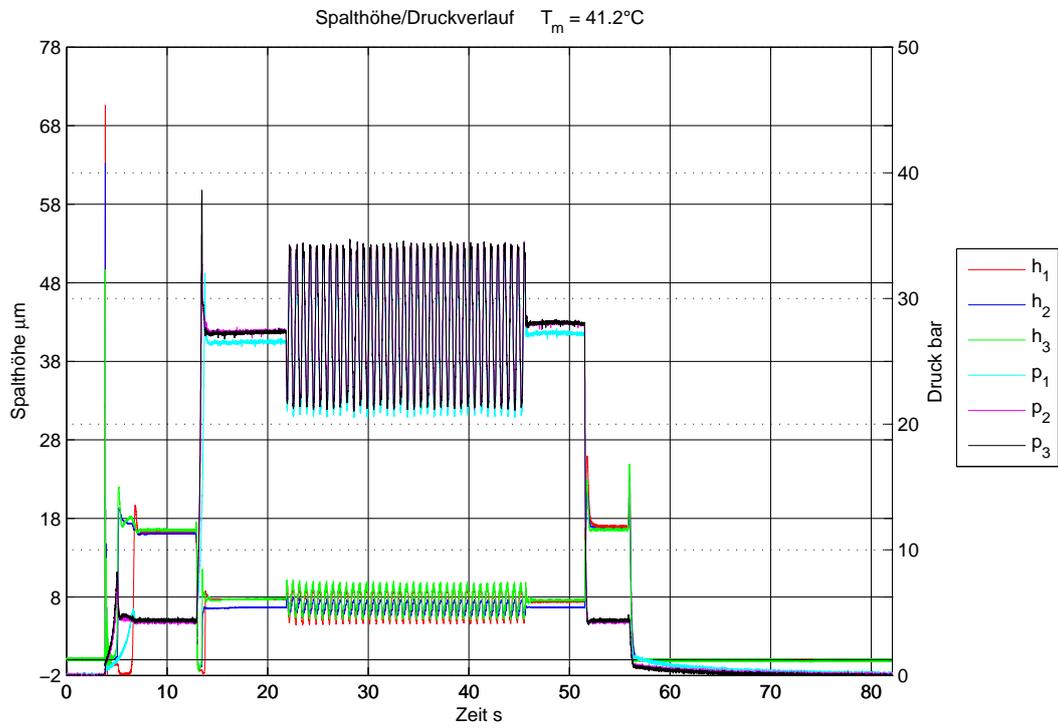
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $8.105957e + 000$ | $p1$ | bar | $2.666516e + 001$ |
| $h2$ | μm | $6.600097e + 000$ | $p2$ | bar | $2.746077e + 001$ |
| $h3$ | μm | $8.222657e + 000$ | $p3$ | bar | $2.744601e + 001$ |
| F | kN | $7.763110e + 000$ | T | °C | $4.142072e + 001$ |
| t | s | $3.108400e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

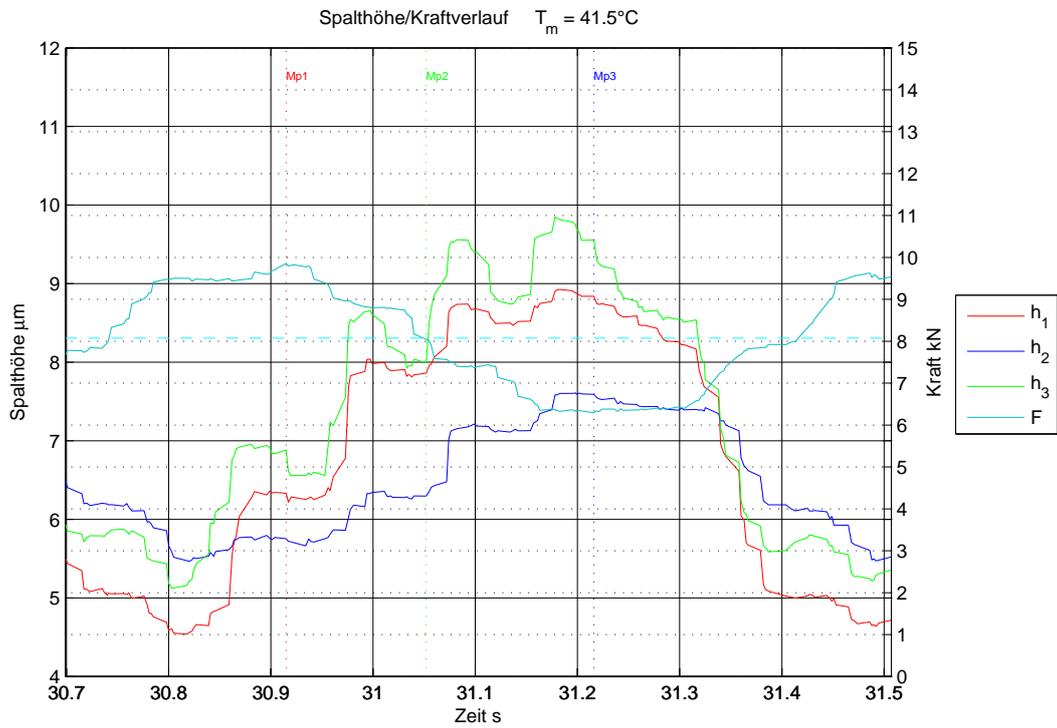
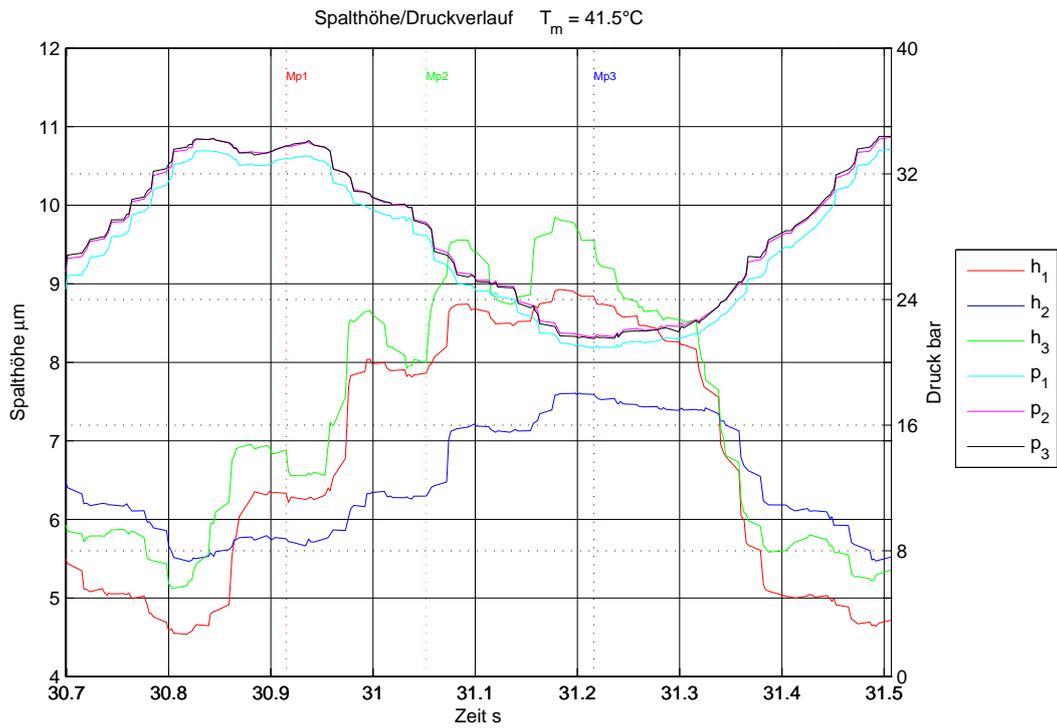
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $9.266601e + 000$ | $p1$ | bar | $2.132458e + 001$ |
| $h2$ | μm | $7.491211e + 000$ | $p2$ | bar | $2.187605e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.883301e + 000$ | $p3$ | bar | $2.173922e + 001$ |
| F | kN | $6.201831e + 000$ | T | °C | $4.141296e + 001$ |
| t | s | $3.125800e + 001$ | | | |

A.2.10. Sinus 1.5Hz - 1.6kN Amplitude - 6.6kN Mittellast



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F6

| | | | | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
| $h1_{max}$ | μm | $7.059424e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.385205e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $5.540576e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.328849e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-1.985840e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.597900e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $6.323633e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.464766e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $5.566812e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.372877e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-9.331055e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-2.034131e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.967578e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.861544e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $6.091138e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.372313e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.519532e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.792119e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.940234e + 000$ | T_{max} | °C | $4.190994e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.379041e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.120761e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193896e + 000$ | T_{min} | °C | $4.014722e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.762720e + 000$ |



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F6 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $8.926270e + 000$ | $p1_{max}$ | bar | $3.356213e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $6.765861e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.731779e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $4.536621e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $2.089734e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $7.608398e + 000$ | $p2_{max}$ | bar | $3.432723e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $6.482488e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.814625e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $5.465820e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $2.160140e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $9.847656e + 000$ | $p3_{max}$ | bar | $3.437350e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $7.328217e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.816227e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $5.125488e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $2.151034e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.859058e + 000$ | T_{max} | °C | $4.155273e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $8.099382e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.152825e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.292163e + 000$ | T_{min} | °C | $4.150614e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $4.659000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.332520e + 000$ | $p1$ | bar | $3.298230e + 001$ |
| $h2$ | μm | $5.754394e + 000$ | $p2$ | bar | $3.376265e + 001$ |
| $h3$ | μm | $6.883789e + 000$ | $p3$ | bar | $3.377841e + 001$ |
| F | kN | $9.859058e + 000$ | T | °C | $4.152944e + 001$ |
| t | s | $3.091500e + 001$ | | | |

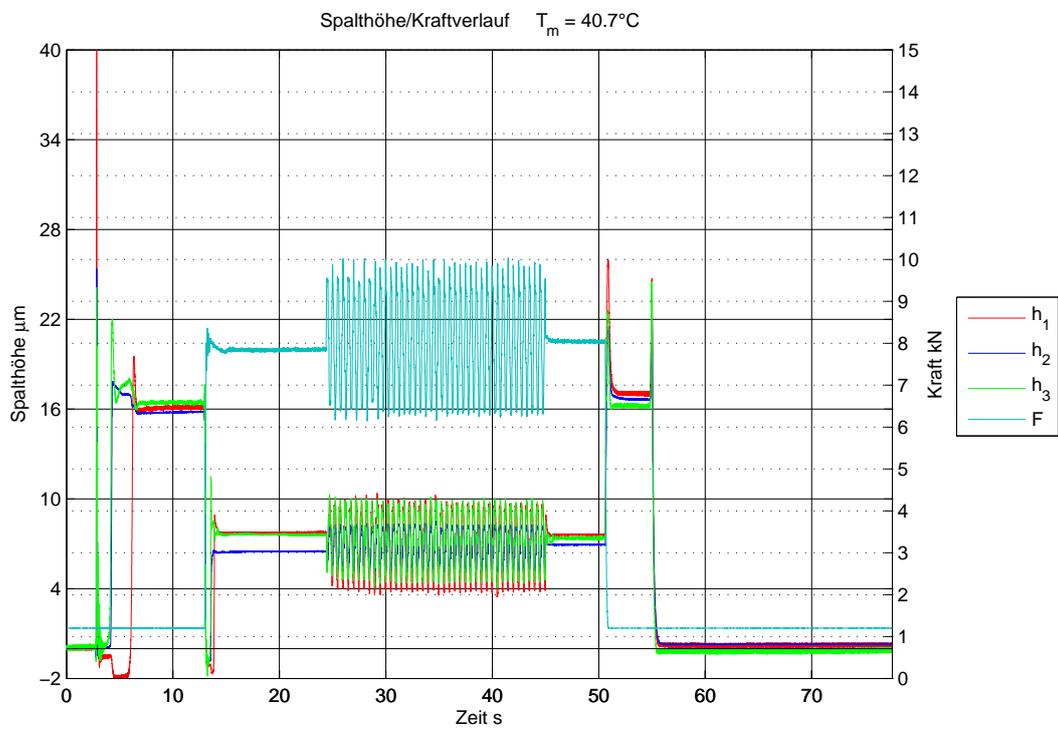
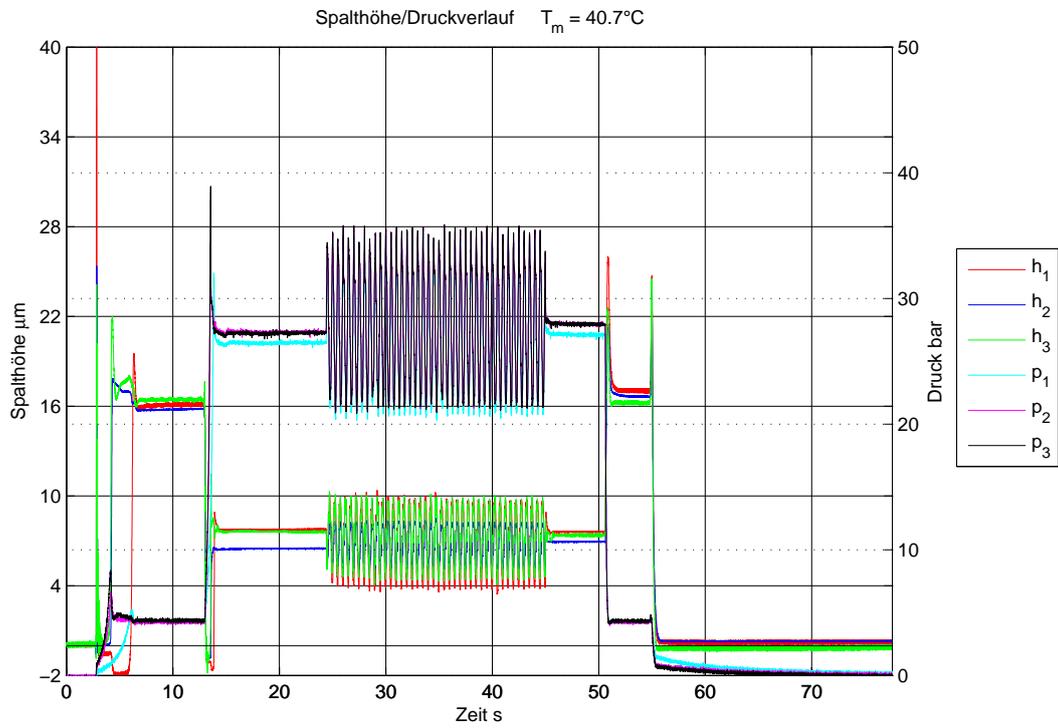
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $7.861329e + 000$ | $p1$ | bar | $2.806897e + 001$ |
| $h2$ | μm | $6.296875e + 000$ | $p2$ | bar | $2.891036e + 001$ |
| $h3$ | μm | $7.992187e + 000$ | $p3$ | bar | $2.878878e + 001$ |
| F | kN | $8.043262e + 000$ | T | °C | $4.152944e + 001$ |
| t | s | $3.105200e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $8.839355e + 000$ | $p1$ | bar | $2.089734e + 001$ |
| $h2$ | μm | $7.590820e + 000$ | $p2$ | bar | $2.160140e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.555664e + 000$ | $p3$ | bar | $2.151034e + 001$ |
| F | kN | $6.292163e + 000$ | T | °C | $4.152167e + 001$ |
| t | s | $3.121600e + 001$ | | | |

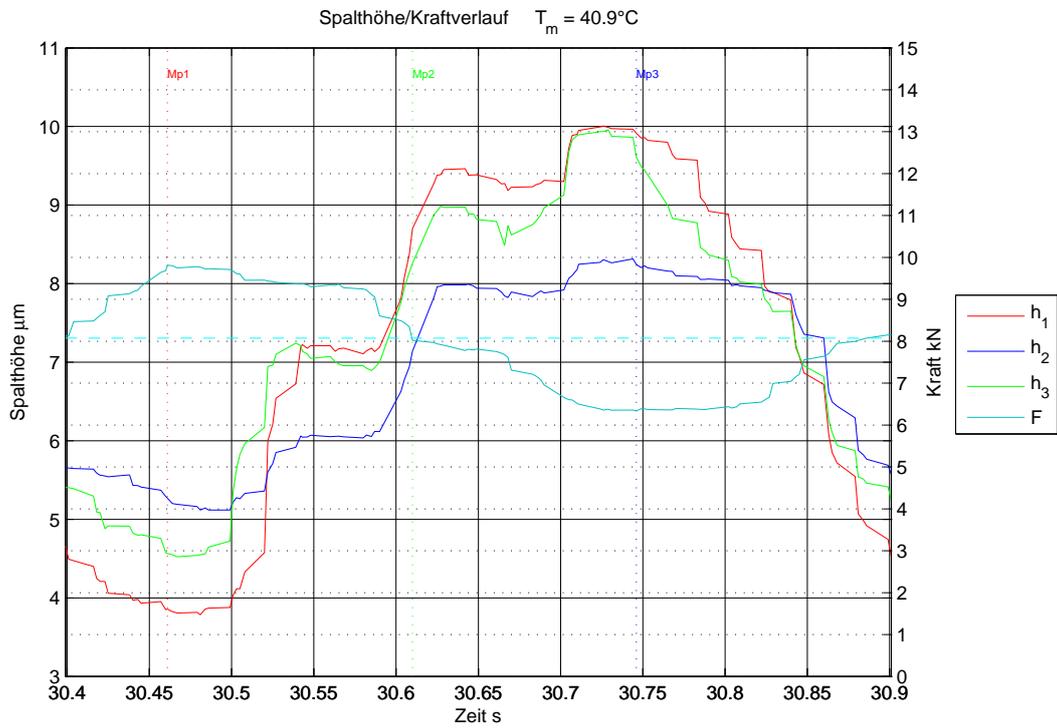
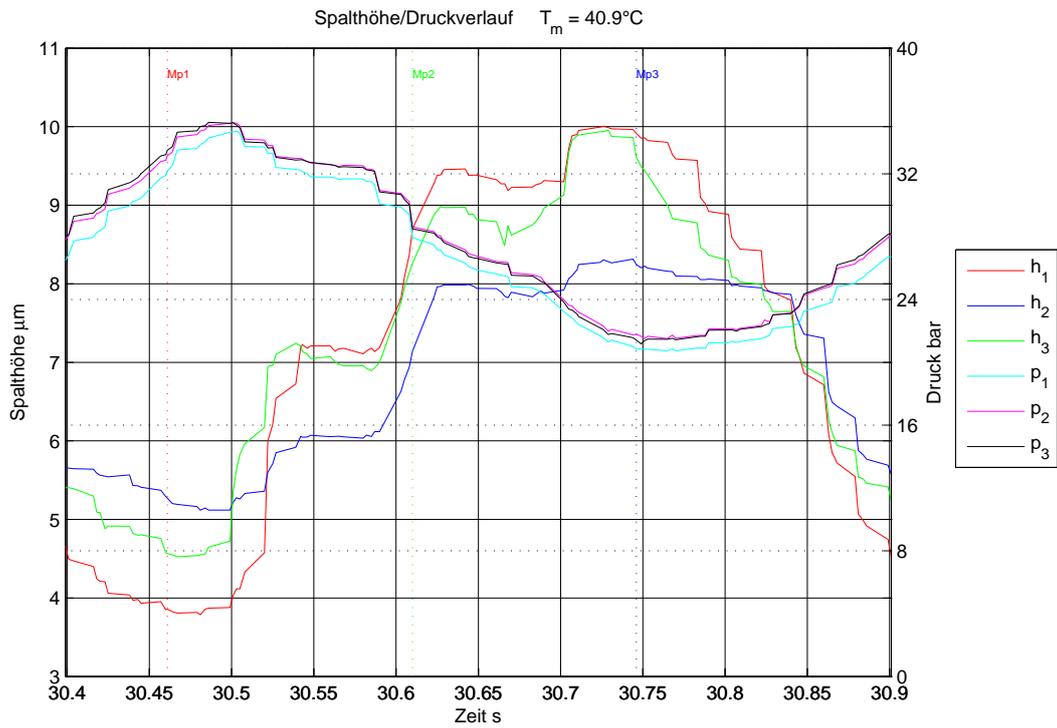
A.2.11. Sinus 2Hz - 1.6kN Amplitude - 6.6kN Mittellast



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F7

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.049561e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.517957e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $5.936875e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.366366e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.055664e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-2.818604e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.538428e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.565474e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $6.069550e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.416628e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-8.989258e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-2.644482e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $2.452002e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.892062e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $6.307702e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.417139e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.833984e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-3.249883e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.003301e + 001$ | T_{max} | °C | $4.160709e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.474374e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.070602e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.194507e + 000$ | T_{min} | °C | $3.920762e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $2.399470e + 000$ |

A. Anhang



20120709 Spalt Sinus PMRegler234 F7 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $1.000684e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.472180e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $7.166291e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.694321e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $3.786133e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $2.072949e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $8.313965e + 000$ | $p2_{max}$ | bar | $3.524275e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $6.818138e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.782260e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $5.117676e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $2.150984e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $9.958496e + 000$ | $p3_{max}$ | bar | $3.527377e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $7.264517e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.781363e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $4.524414e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $2.117465e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.812671e + 000$ | T_{max} | °C | $4.097034e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $8.022538e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.094244e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.339771e + 000$ | T_{min} | °C | $4.091598e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $5.436000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.858886e + 000$ | $p1$ | bar | $3.217358e + 001$ |
| $h2$ | μm | $5.270020e + 000$ | $p2$ | bar | $3.315230e + 001$ |
| $h3$ | μm | $4.566407e + 000$ | $p3$ | bar | $3.350375e + 001$ |
| F | kN | $9.812671e + 000$ | T | °C | $4.093151e + 001$ |
| t | s | $3.046100e + 001$ | | | |

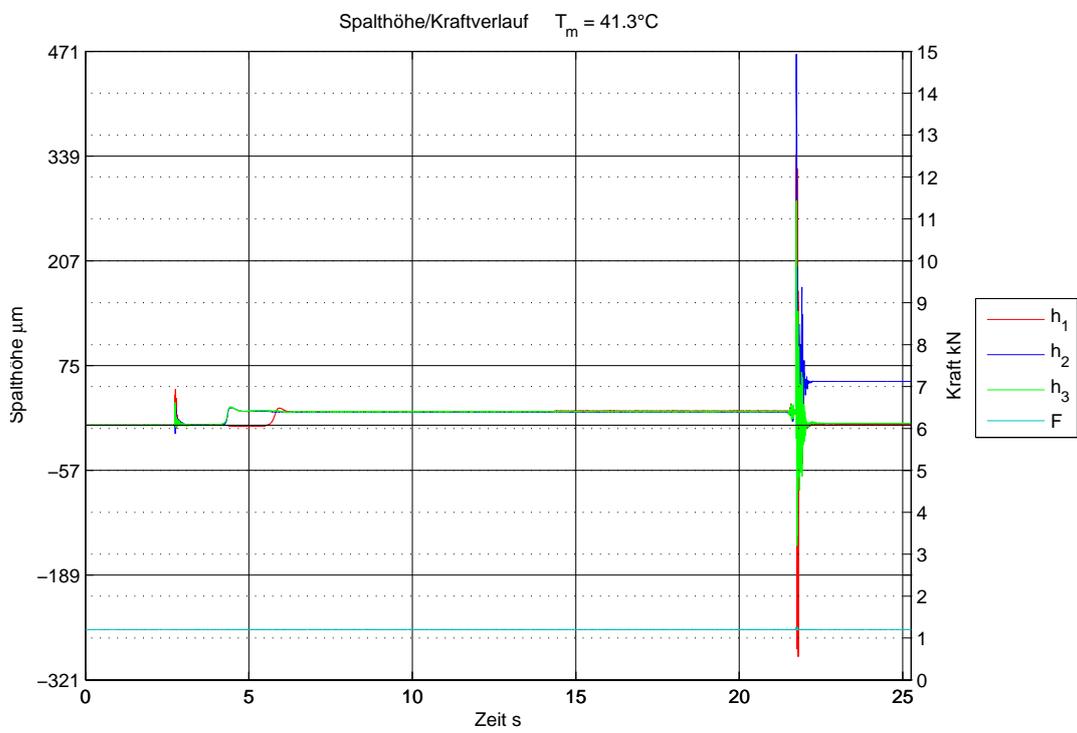
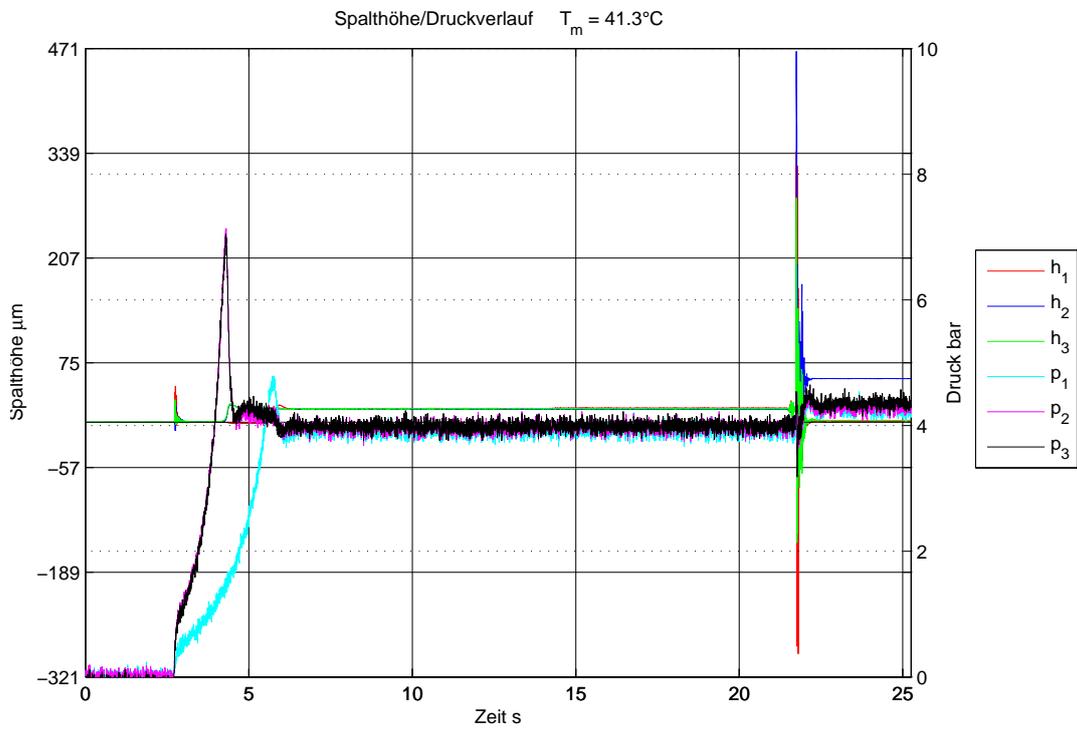
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $8.699218e + 000$ | $p1$ | bar | $2.794690e + 001$ |
| $h2$ | μm | $7.140137e + 000$ | $p2$ | bar | $2.862044e + 001$ |
| $h3$ | μm | $8.258789e + 000$ | $p3$ | bar | $2.849886e + 001$ |
| F | kN | $8.021289e + 000$ | T | °C | $4.093151e + 001$ |
| t | s | $3.061000e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

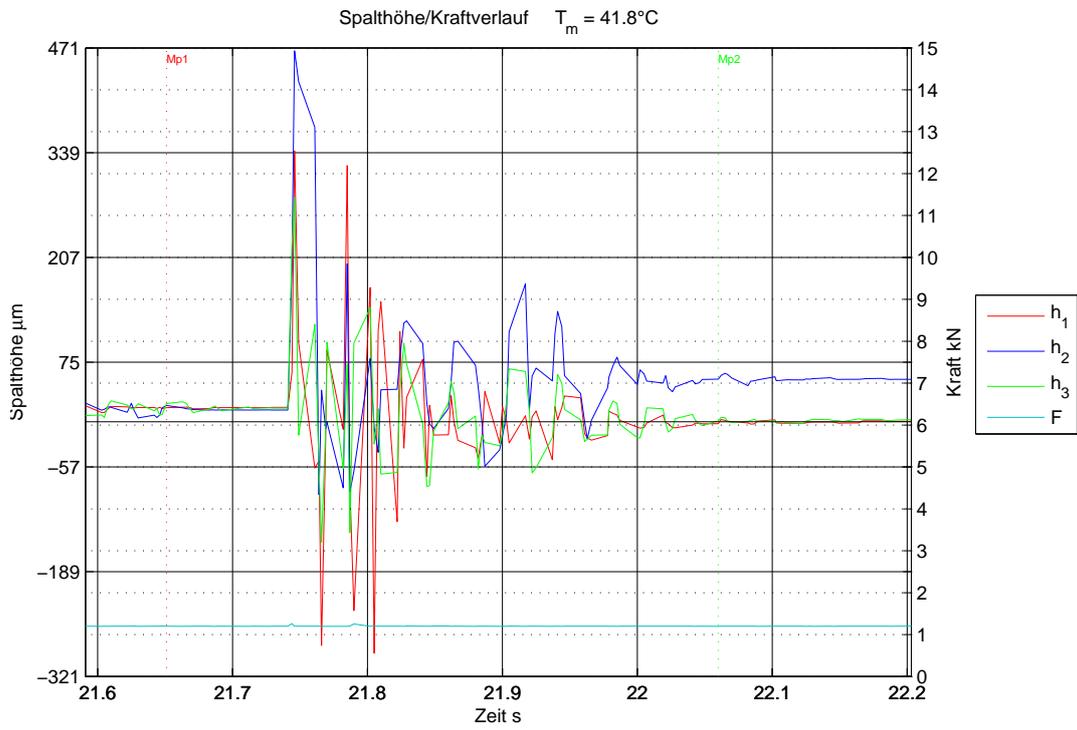
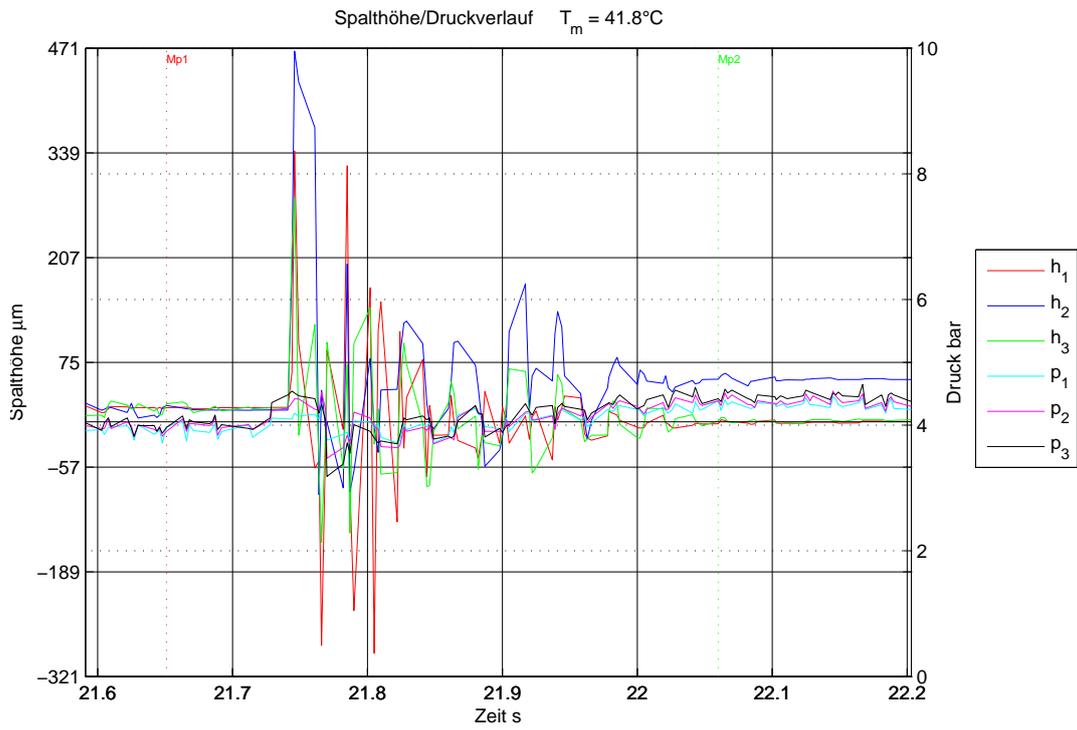
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $9.914062e + 000$ | $p1$ | bar | $2.085156e + 001$ |
| $h2$ | μm | $8.245117e + 000$ | $p2$ | bar | $2.178450e + 001$ |
| $h3$ | μm | $9.608887e + 000$ | $p3$ | bar | $2.141879e + 001$ |
| F | kN | $6.339771e + 000$ | T | °C | $4.094704e + 001$ |
| t | s | $3.074600e + 001$ | | | |

A.2.12. Stoss 100N



20120709 Stoss PMRegler234 100N

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.412959e + 002$ | $p1_{max}$ | bar | $4.784058e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $1.126527e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $3.290100e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.916592e + 002$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.597900e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $4.672573e + 002$ | $p2_{max}$ | bar | $7.136064e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.905203e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $3.530391e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-9.185401e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.881543e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $2.826362e + 002$ | $p3_{max}$ | bar | $7.045007e + 000$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.229370e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $3.545386e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.518541e + 002$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.486943e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.262866e + 000$ | T_{max} | °C | $4.187888e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.199770e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.130687e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.192676e + 000$ | T_{min} | °C | $4.055101e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.327870e + 000$ |



20120709 Stoss PMRegler234 100N Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.412959e + 002$ | $p1_{max}$ | bar | $4.448364e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $5.226834e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $4.112551e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.916592e + 002$ | $p1_{min}$ | bar | $3.715942e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $4.672573e + 002$ | $p2_{max}$ | bar | $4.542070e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $4.916498e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $4.153872e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-9.185401e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $3.473955e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $2.826362e + 002$ | $p3_{max}$ | bar | $4.649377e + 000$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $8.664928e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $4.198702e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.518541e + 002$ | $p3_{min}$ | bar | $3.184533e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.262866e + 000$ | T_{max} | °C | $4.179346e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.200476e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.177352e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.195728e + 000$ | T_{min} | °C | $4.175463e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.883000e - 002$ |

Messpunkt 1

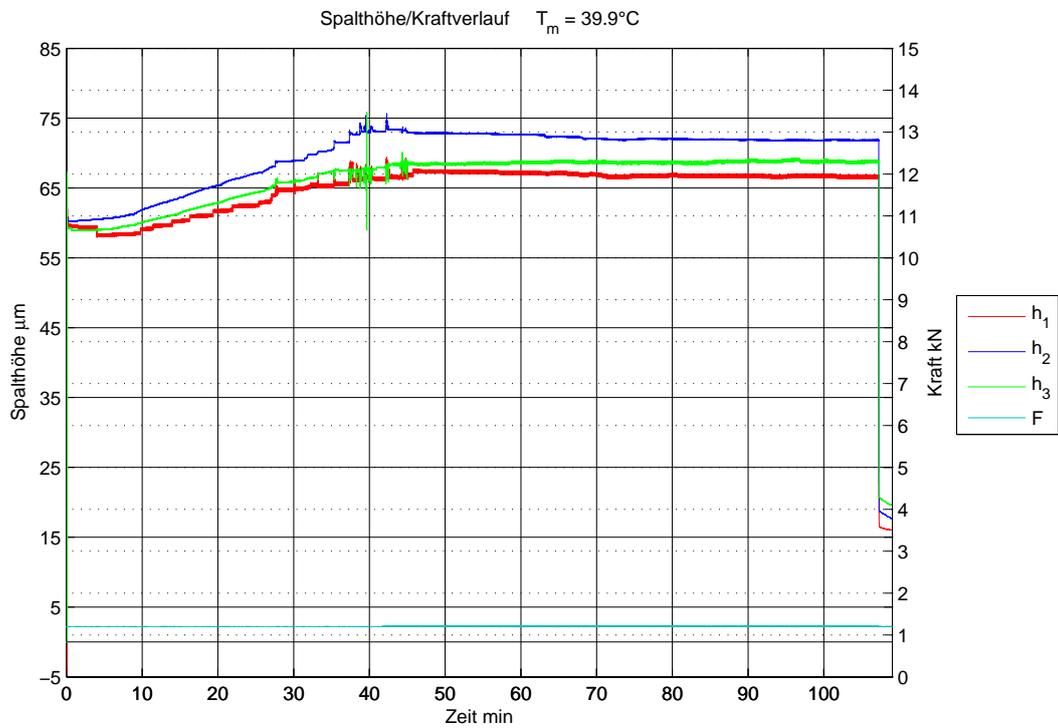
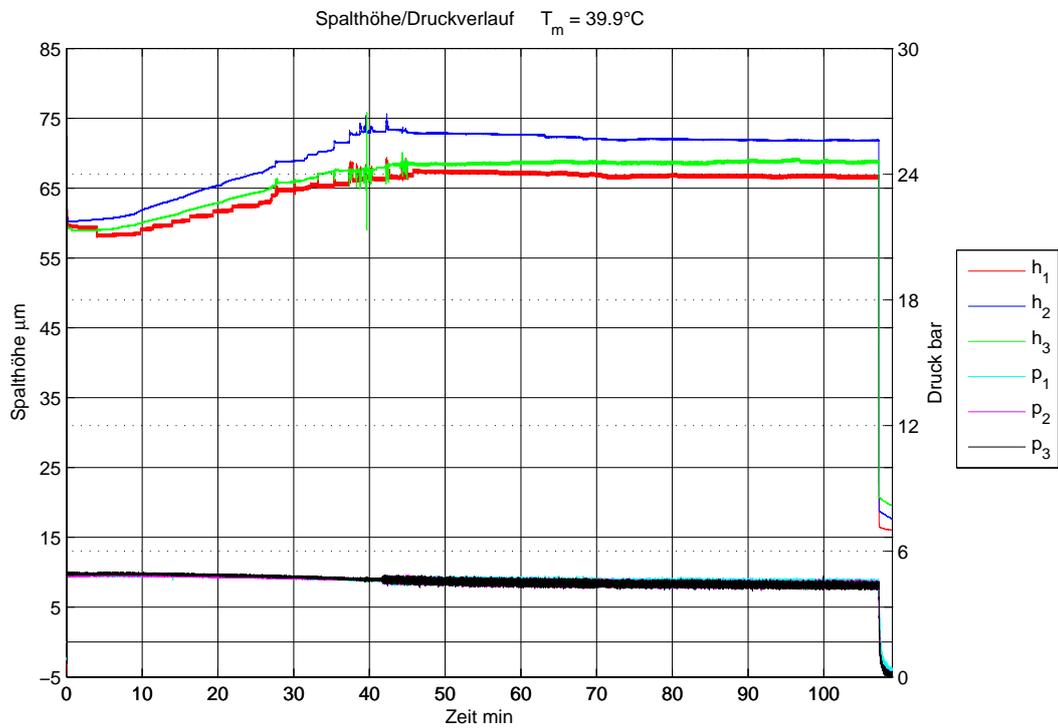
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.775390e + 001$ | $p1$ | bar | $3.975342e + 000$ |
| $h2$ | μm | $2.055322e + 001$ | $p2$ | bar | $3.901201e + 000$ |
| $h3$ | μm | $2.282275e + 001$ | $p3$ | bar | $3.962731e + 000$ |
| F | kN | $1.200000e + 000$ | T | °C | $4.177016e + 001$ |
| t | s | $2.165100e + 001$ | | | |

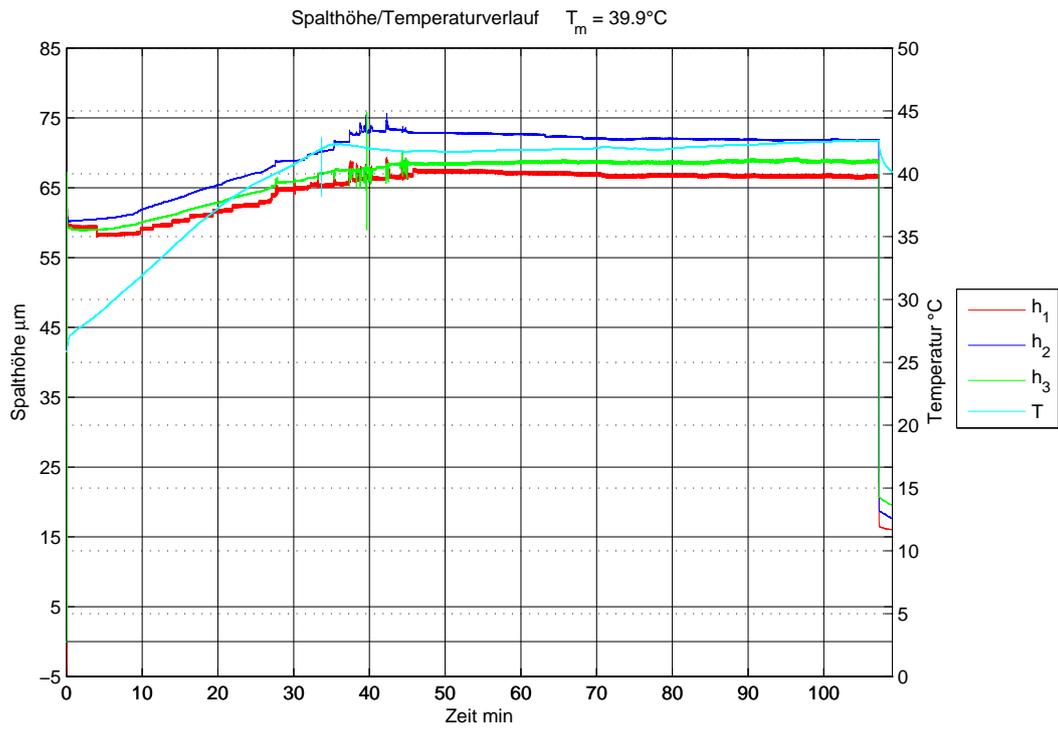
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-2.425293e + 000$ | $p1$ | bar | $4.387329e + 000$ |
| $h2$ | μm | $5.368115e + 001$ | $p2$ | bar | $4.389482e + 000$ |
| $h3$ | μm | $9.541016e - 001$ | $p3$ | bar | $4.420495e + 000$ |
| F | kN | $1.197559e + 000$ | T | °C | $4.176240e + 001$ |
| t | s | $2.206000e + 001$ | | | |

A.3. Messdaten Blende

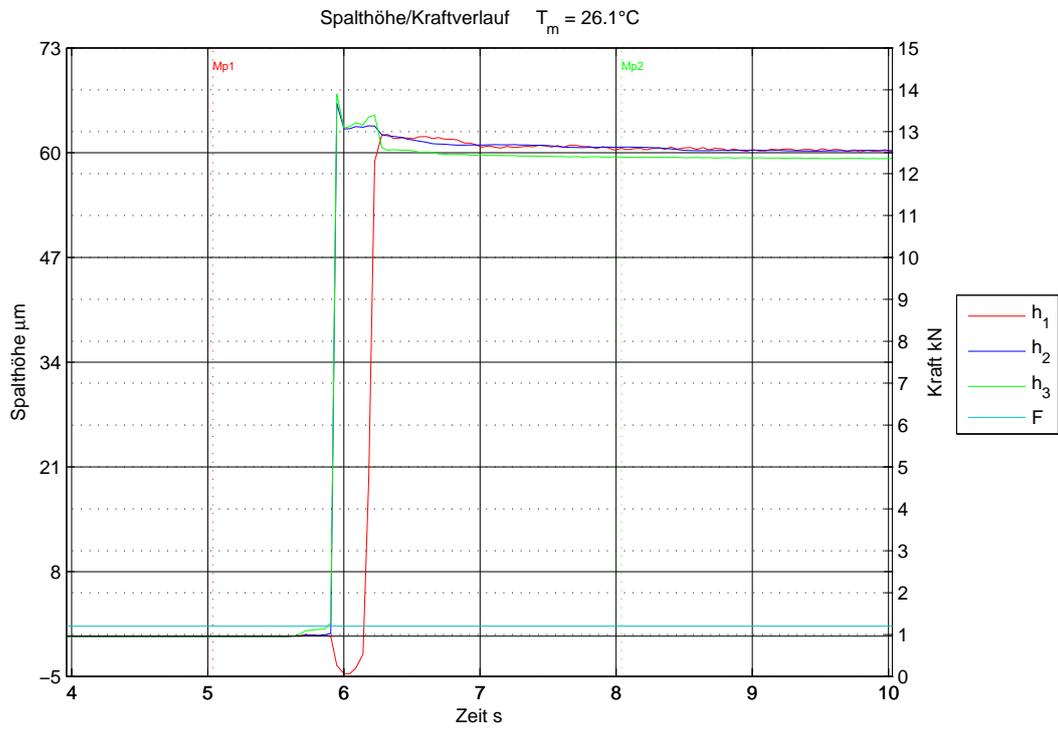
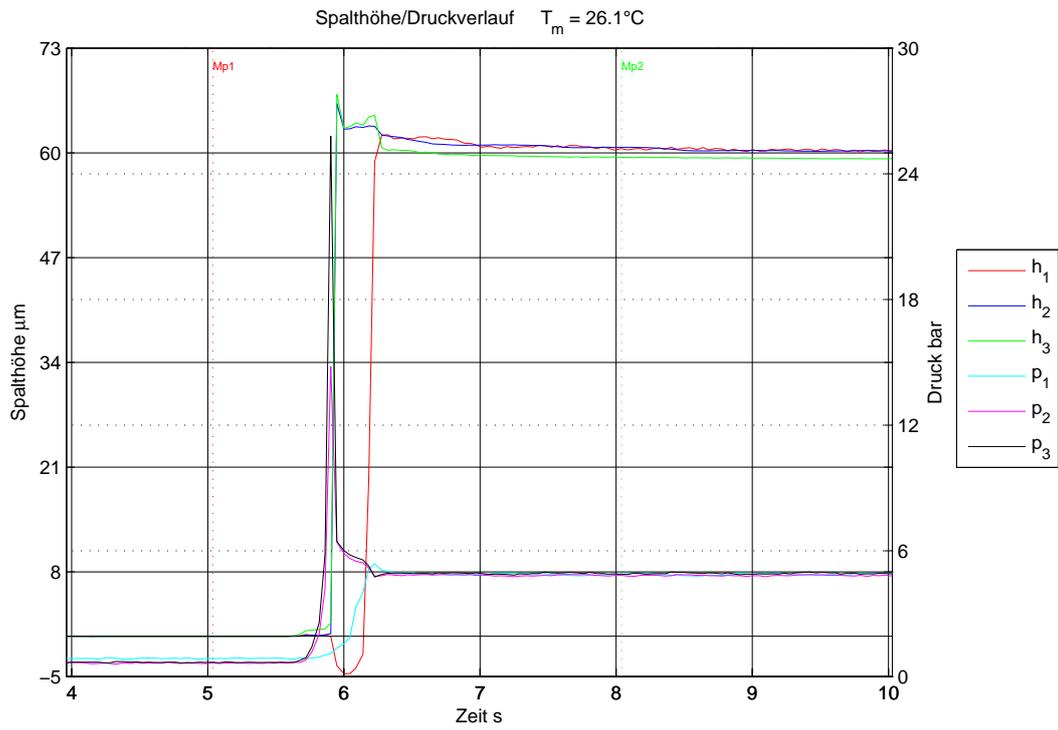
A.3.1. Warmlauf

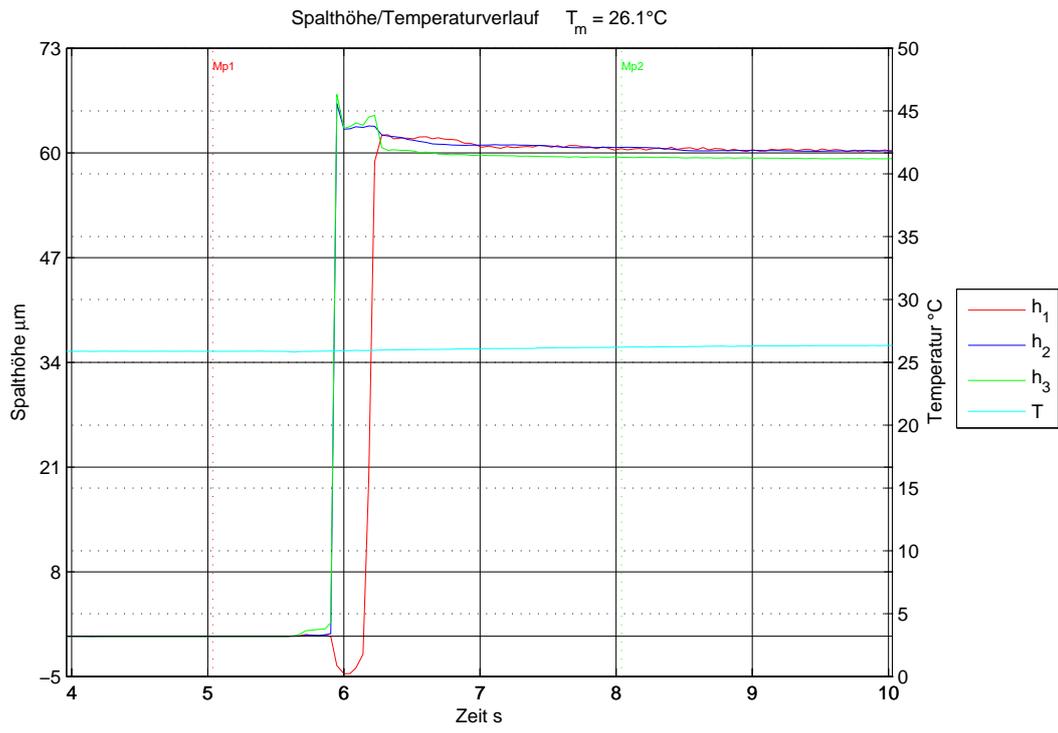




Kaltstart Waermeausdehnung Blende

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.937793e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $5.379150e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $6.413527e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $4.562135e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-4.646484e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $1.148682e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $7.564307e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $1.479598e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $6.880860e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $4.523278e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-3.369141e - 002$ | $p2_{min}$ | bar | $-9.660156e - 002$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $7.583155e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.579806e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $6.565777e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $4.542915e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-3.955079e - 002$ | $p3_{min}$ | bar | $-6.558887e - 002$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.207324e + 000$ | T_{max} | °C | $4.288060e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.199876e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.985688e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.192065e + 000$ | T_{min} | °C | $2.581250e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.706810e + 001$ |





Kaltstart Waermeausdehnung Blende Beginn

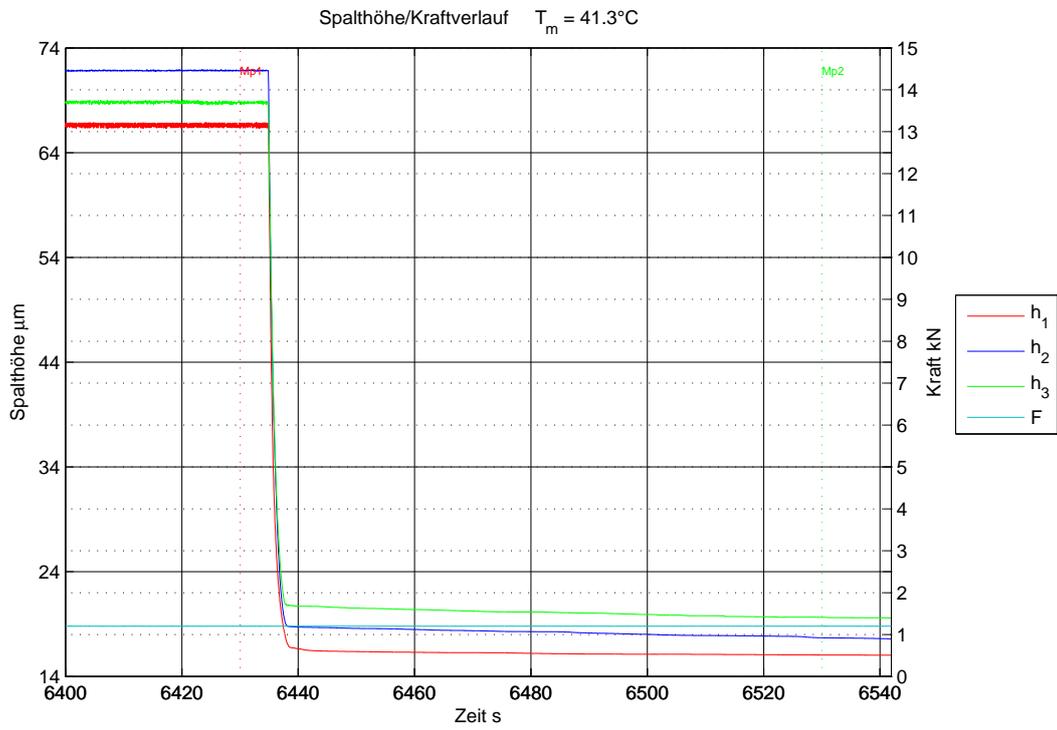
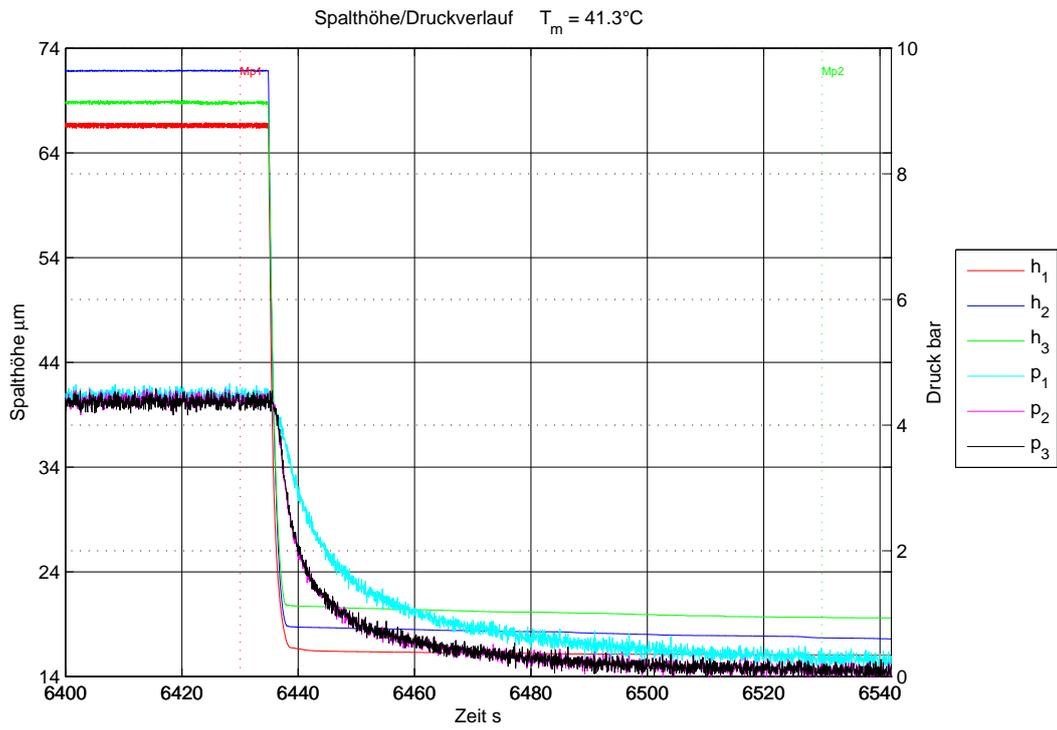
| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.226026e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $5.379150e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.818008e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $3.494343e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-4.646484e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $8.320312e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $6.610352e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $1.479598e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $4.106219e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $3.655673e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-2.490231e - 002$ | $p2_{min}$ | bar | $5.900439e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.724268e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.579806e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $4.042846e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $3.830835e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-2.343750e - 002$ | $p3_{min}$ | bar | $6.515742e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.201221e + 000$ | T_{max} | °C | $2.634830e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.199945e + 000$ | T_{mittel} | °C | $2.607958e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.198779e + 000$ | T_{min} | °C | $2.581250e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $5.358000e - 001$ |

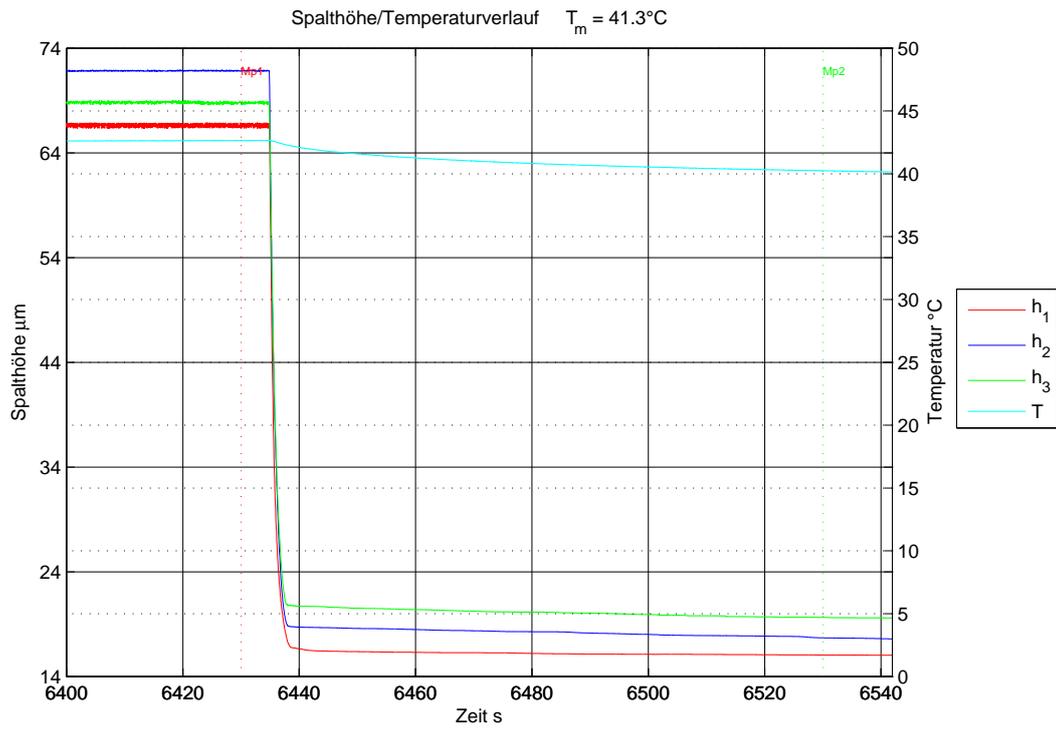
Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-1.904300e - 002$ | $p1$ | bar | $8.625488e - 001$ |
| $h2$ | μm | $-1.708981e - 002$ | $p2$ | bar | $6.510791e - 001$ |
| $h3$ | μm | $-1.611328e - 002$ | $p3$ | bar | $6.820918e - 001$ |
| F | kN | $1.199390e + 000$ | T | °C | $2.588239e + 001$ |
| t | s | $5.037000e + 000$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.052832e + 001$ | $p1$ | bar | $4.906128e + 000$ |
| $h2$ | μm | $6.068164e + 001$ | $p2$ | bar | $4.831987e + 000$ |
| $h3$ | μm | $5.944825e + 001$ | $p3$ | bar | $4.878259e + 000$ |
| F | kN | $1.199390e + 000$ | T | °C | $2.620853e + 001$ |
| t | s | $8.039000e + 000$ | | | |





Kaltstart Waermeausdehnung Blende Ende

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.686865e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.661987e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.886600e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.744891e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $1.603076e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $1.148682e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $7.191992e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.587847e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.165742e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.458461e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $1.759082e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-9.660156e - 002$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.903614e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.573083e + 000$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.233301e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.455228e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $1.958692e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-6.558887e - 002$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.204272e + 000$ | T_{max} | °C | $4.267094e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.199823e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.129699e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.195728e + 000$ | T_{min} | °C | $4.013169e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $2.539250e + 000$ |

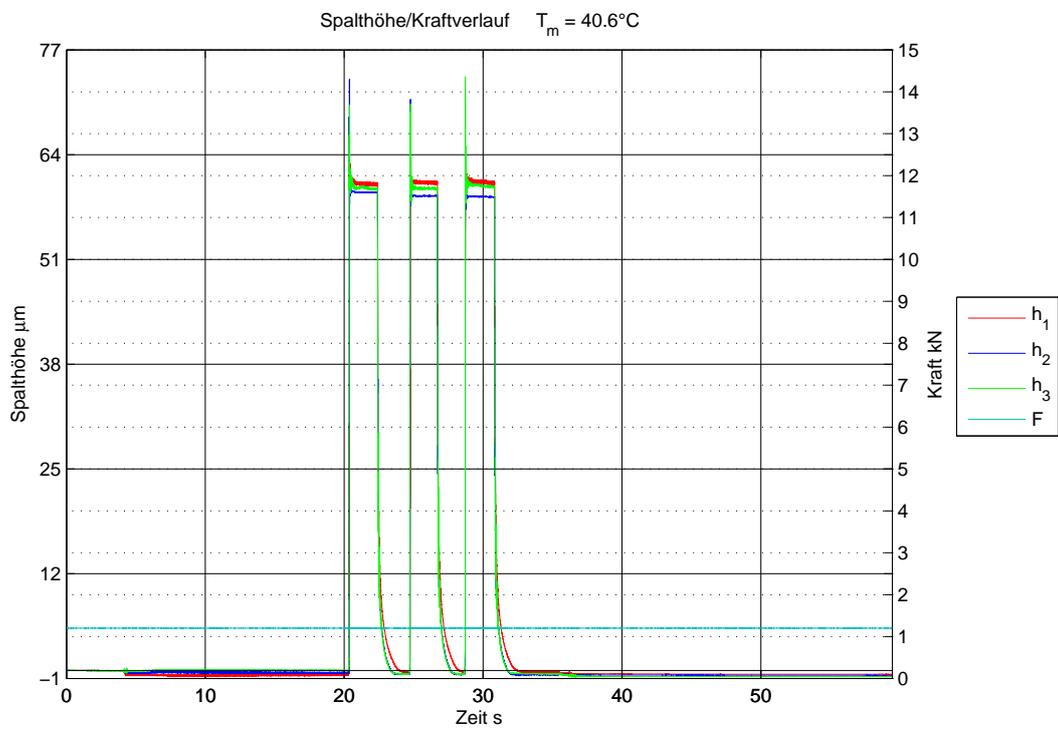
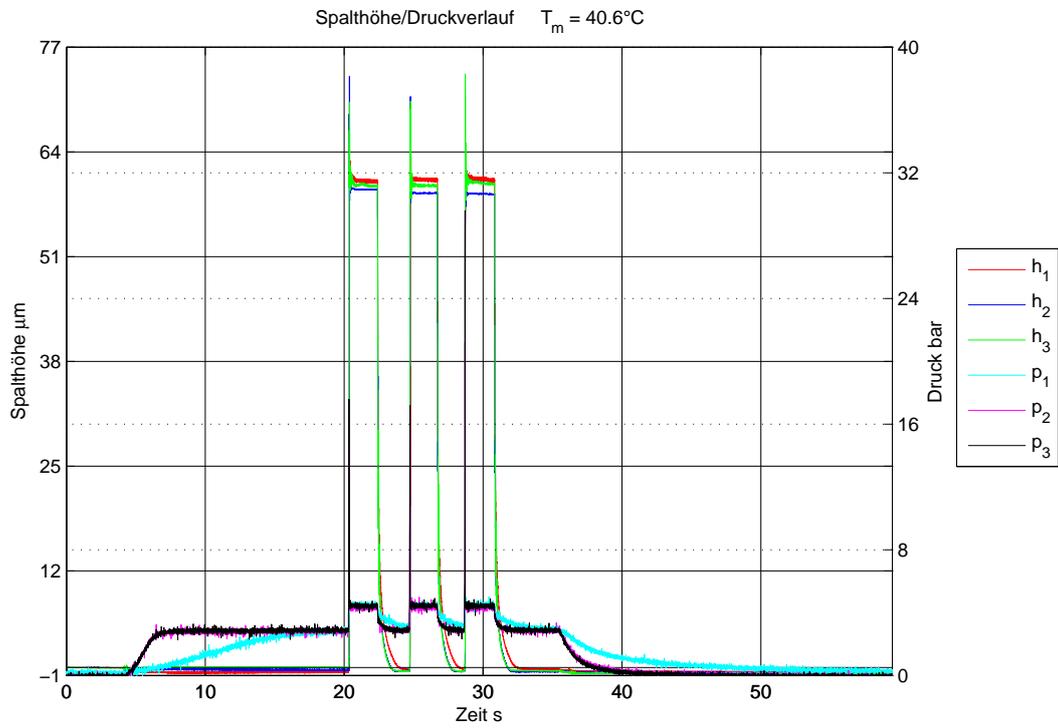
Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.655518e + 001$ | $p1$ | bar | $4.478882e + 000$ |
| $h2$ | μm | $7.191016e + 001$ | $p2$ | bar | $4.374224e + 000$ |
| $h3$ | μm | $6.863184e + 001$ | $p3$ | bar | $4.313684e + 000$ |
| F | kN | $1.200610e + 000$ | T | °C | $4.264764e + 001$ |
| t | s | $6.430033e + 003$ | | | |

Messpunkt 2

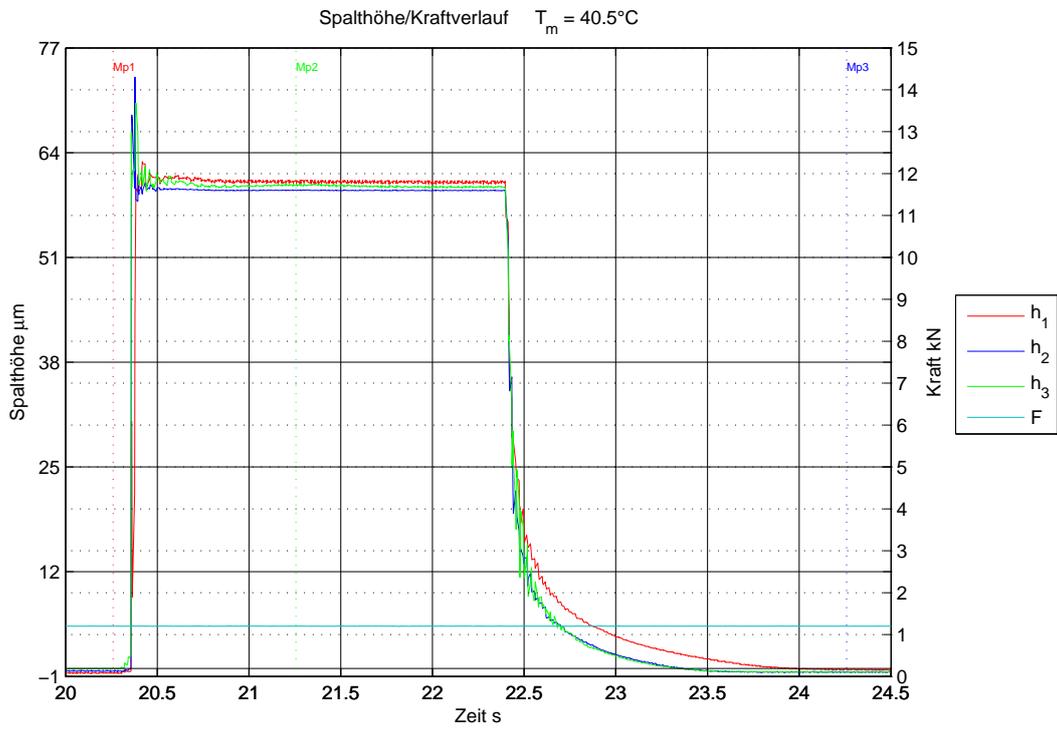
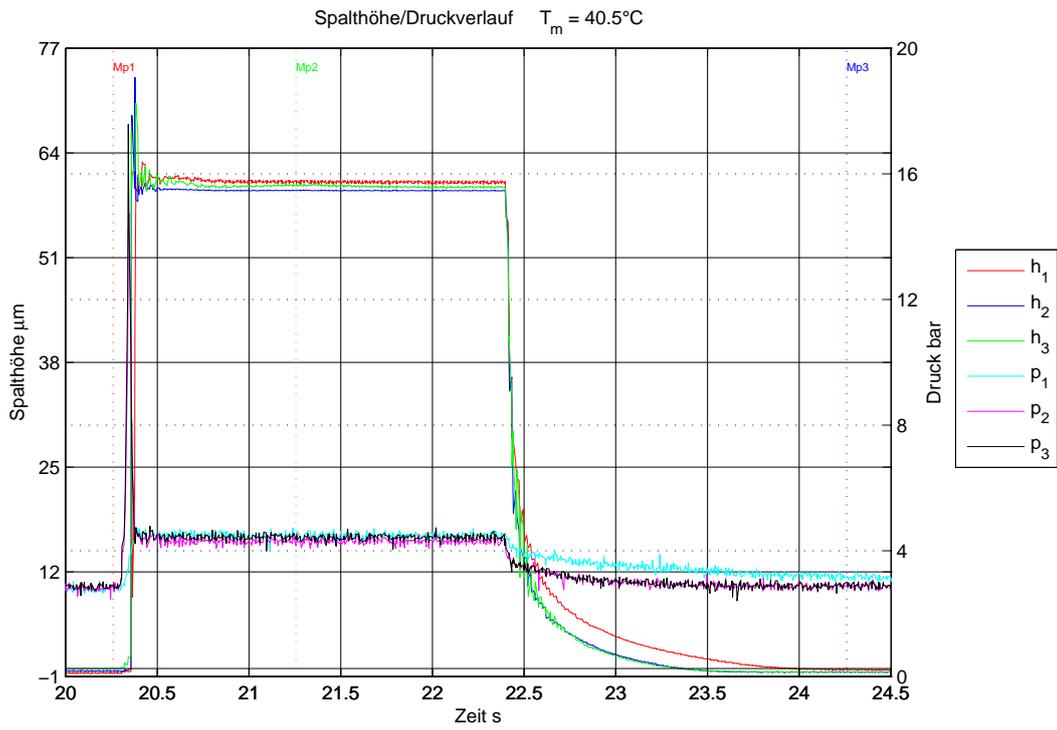
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.605225e + 001$ | $p1$ | bar | $2.216797e - 001$ |
| $h2$ | μm | $1.769336e + 001$ | $p2$ | bar | $5.598633e - 002$ |
| $h3$ | μm | $1.964844e + 001$ | $p3$ | bar | $1.070508e - 002$ |
| F | kN | $1.201831e + 000$ | T | °C | $4.024817e + 001$ |
| t | s | $6.530007e + 003$ | | | |

A.3.2. Einschaltsprung



20120710 Einschalt sprung Blende 1200N

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.383350e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $5.196045e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $6.265725e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.758286e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-7.500004e - 001$ | $p1_{min}$ | bar | $-2.666016e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $7.336621e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.123519e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $5.987667e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.686918e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-6.386719e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-3.712598e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $7.366113e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.959750e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $6.123256e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.711075e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-8.779295e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-5.080938e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.206714e + 000$ | T_{max} | °C | $4.109458e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.200696e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.057358e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193286e + 000$ | T_{min} | °C | $4.013945e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $9.551300e - 001$ |



20120710 Einschaltsprung Blende 1200N Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.289844e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.753540e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.904134e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $3.867270e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-6.562500e - 001$ | $p1_{min}$ | bar | $2.647827e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $7.336621e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $1.473494e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.802090e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $3.652208e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-5.356445e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $2.451616e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $7.015478e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $1.757357e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.833819e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $3.723973e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-4.946289e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $2.406335e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.206104e + 000$ | T_{max} | °C | $4.061313e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.200692e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.046182e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193286e + 000$ | T_{min} | °C | $4.026370e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.494300e - 001$ |

Messpunkt 1

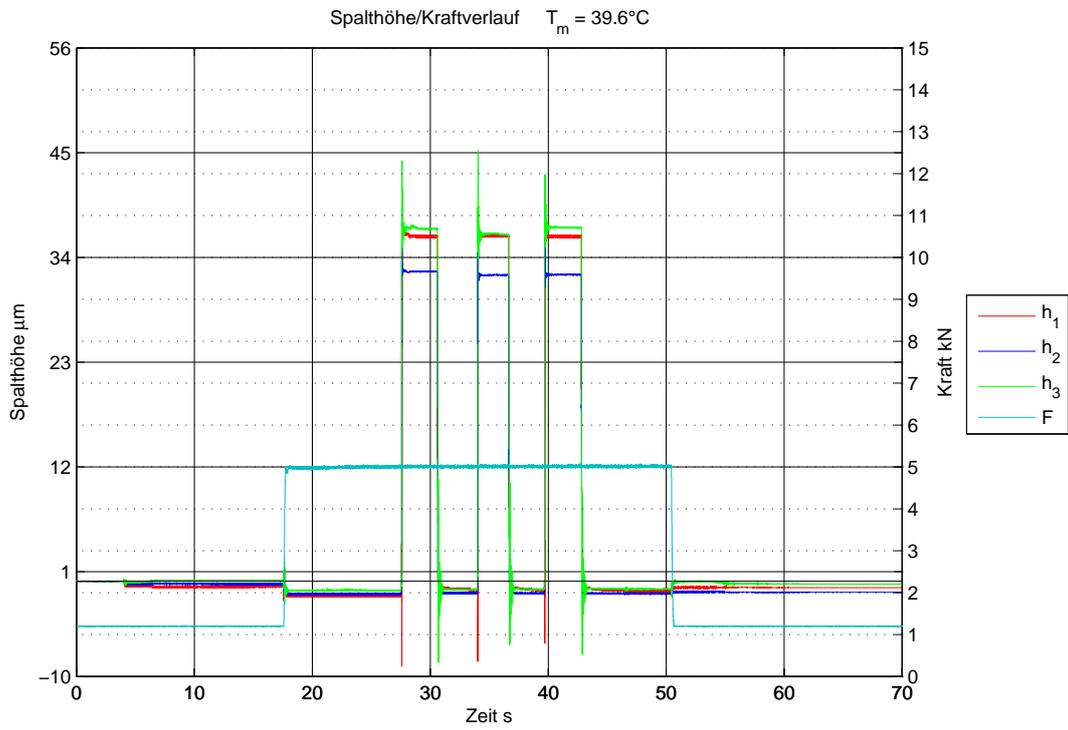
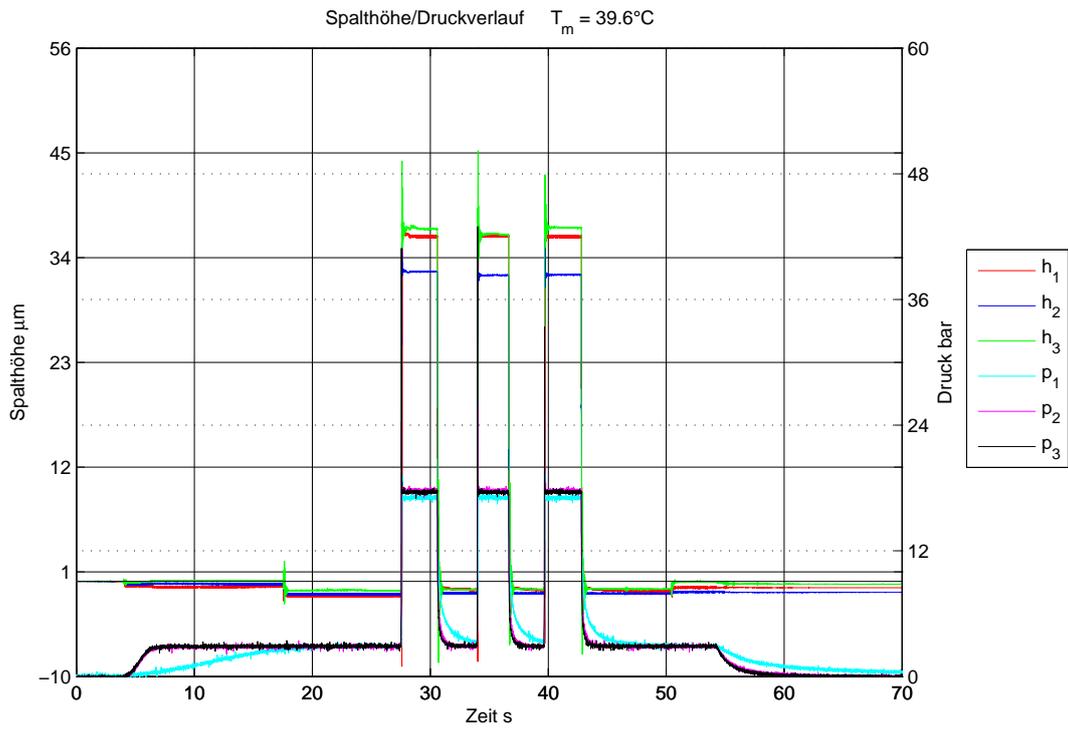
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-5.610351e - 001$ | $p1$ | bar | $2.815674e + 000$ |
| $h2$ | μm | $-3.247070e - 001$ | $p2$ | bar | $2.848345e + 000$ |
| $h3$ | μm | $-3.417900e - 003$ | $p3$ | bar | $2.894616e + 000$ |
| F | kN | $1.200000e + 000$ | T | °C | $4.036465e + 001$ |
| t | s | $2.025900e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.056690e + 001$ | $p1$ | bar | $4.372070e + 000$ |
| $h2$ | μm | $5.933350e + 001$ | $p2$ | bar | $4.160601e + 000$ |
| $h3$ | μm | $5.993018e + 001$ | $p3$ | bar | $4.359460e + 000$ |
| F | kN | $1.203662e + 000$ | T | °C | $4.049666e + 001$ |
| t | s | $2.125600e + 001$ | | | |

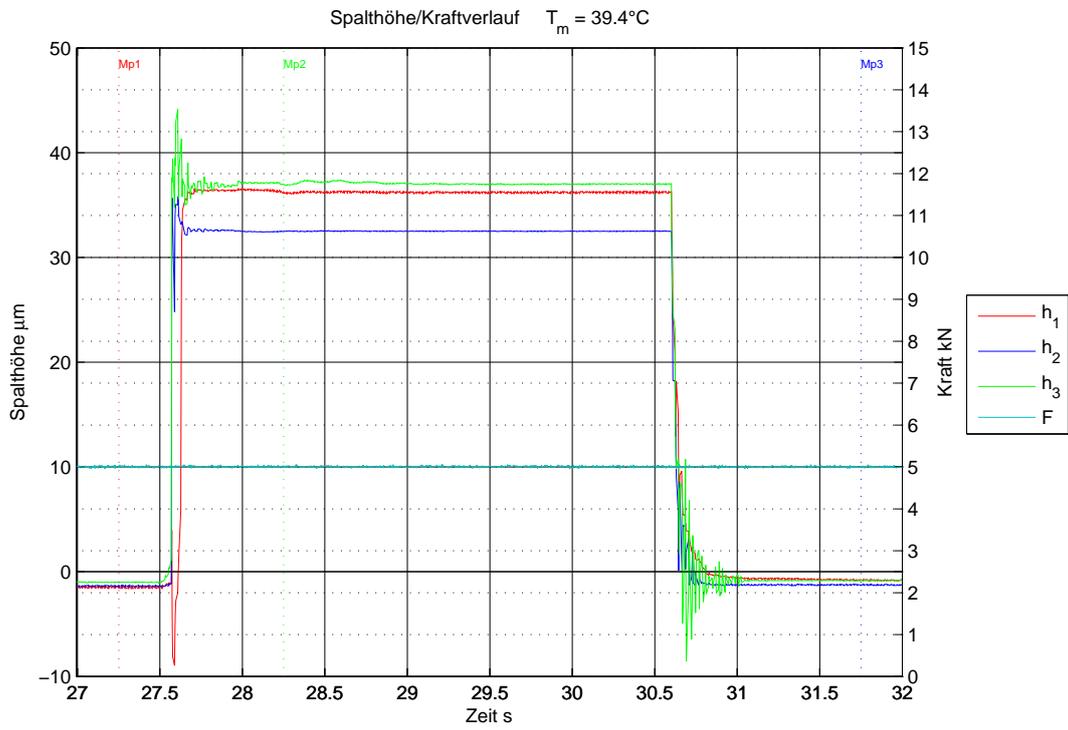
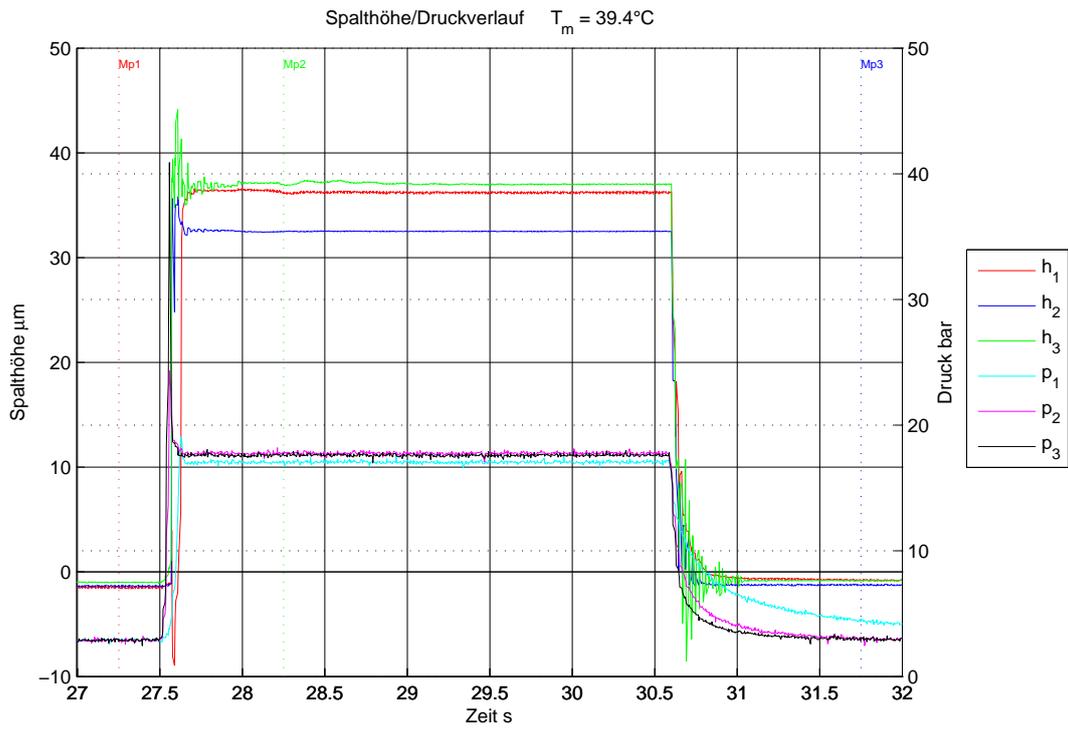
Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-8.203120e - 002$ | $p1$ | bar | $3.151367e + 000$ |
| $h2$ | μm | $-3.862305e - 001$ | $p2$ | bar | $2.909380e + 000$ |
| $h3$ | μm | $-4.755859e - 001$ | $p3$ | bar | $3.001428e + 000$ |
| F | kN | $1.201221e + 000$ | T | °C | $4.031029e + 001$ |
| t | s | $2.425900e + 001$ | | | |



20120710 Einschalt sprung Blende 5000N

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.703222e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $1.944775e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.856263e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $4.025692e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-8.934082e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.428955e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.636719e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.697249e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.281927e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $4.037880e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.585449e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-3.712598e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.521875e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.294894e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $4.338368e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $4.016616e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-8.541016e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-3.097295e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.084888e + 000$ | T_{max} | °C | $4.040347e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $2.994855e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.962672e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193896e + 000$ | T_{min} | °C | $3.880382e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.599650e + 000$ |



20120710 Einschaltsprung Blende 5000N Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.659570e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $1.906628e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.142965e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.230551e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-8.934082e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $2.556274e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.579688e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.431746e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.938688e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.234481e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.445801e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $2.451616e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.414209e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.088900e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.230263e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.219667e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-8.541016e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $2.452111e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.060474e + 000$ | T_{max} | °C | $3.960365e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $5.007499e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.941568e + 001$ |
| F_{min} | kN | $4.956714e + 000$ | T_{min} | °C | $3.905231e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $5.513400e - 001$ |

Messpunkt 1

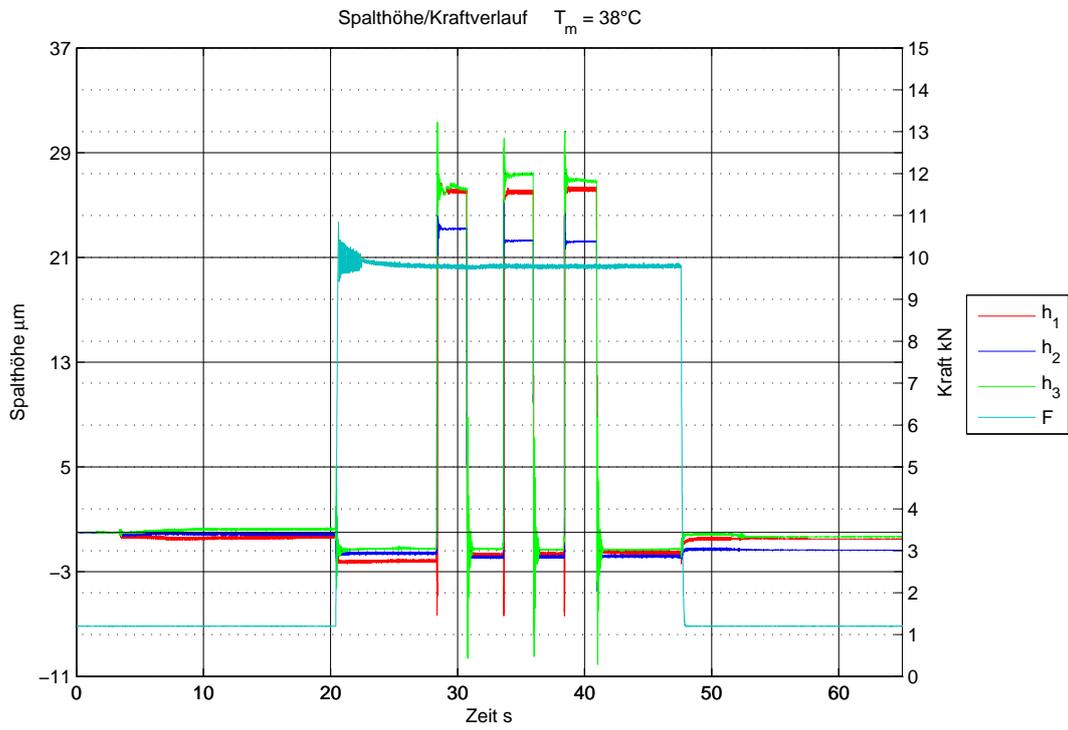
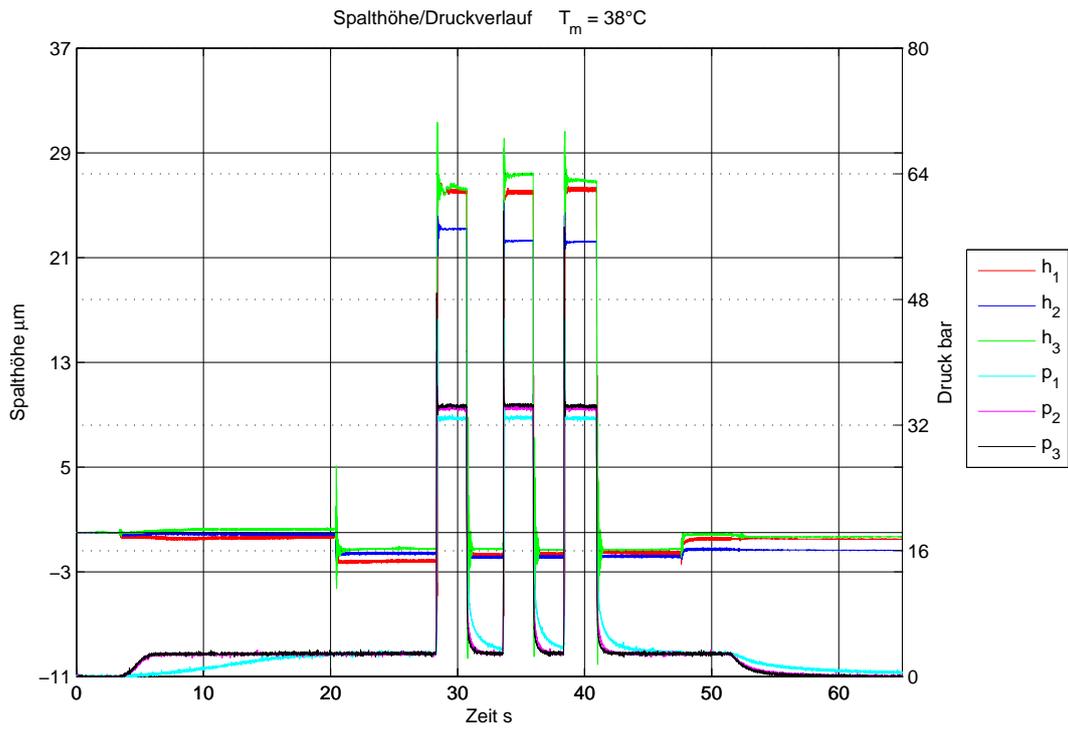
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-1.421875e + 000$ | $p1$ | bar | $2.998779e + 000$ |
| $h2$ | μm | $-1.285644e + 000$ | $p2$ | bar | $2.909380e + 000$ |
| $h3$ | μm | $-1.041992e + 000$ | $p3$ | bar | $2.970910e + 000$ |
| F | kN | $4.987231e + 000$ | T | °C | $3.939398e + 001$ |
| t | s | $2.725100e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.628613e + 001$ | $p1$ | bar | $1.696057e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.249951e + 001$ | $p2$ | bar | $1.772566e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.700000e + 001$ | $p3$ | bar | $1.763461e + 001$ |
| F | kN | $5.032397e + 000$ | T | °C | $3.948717e + 001$ |
| t | s | $2.825000e + 001$ | | | |

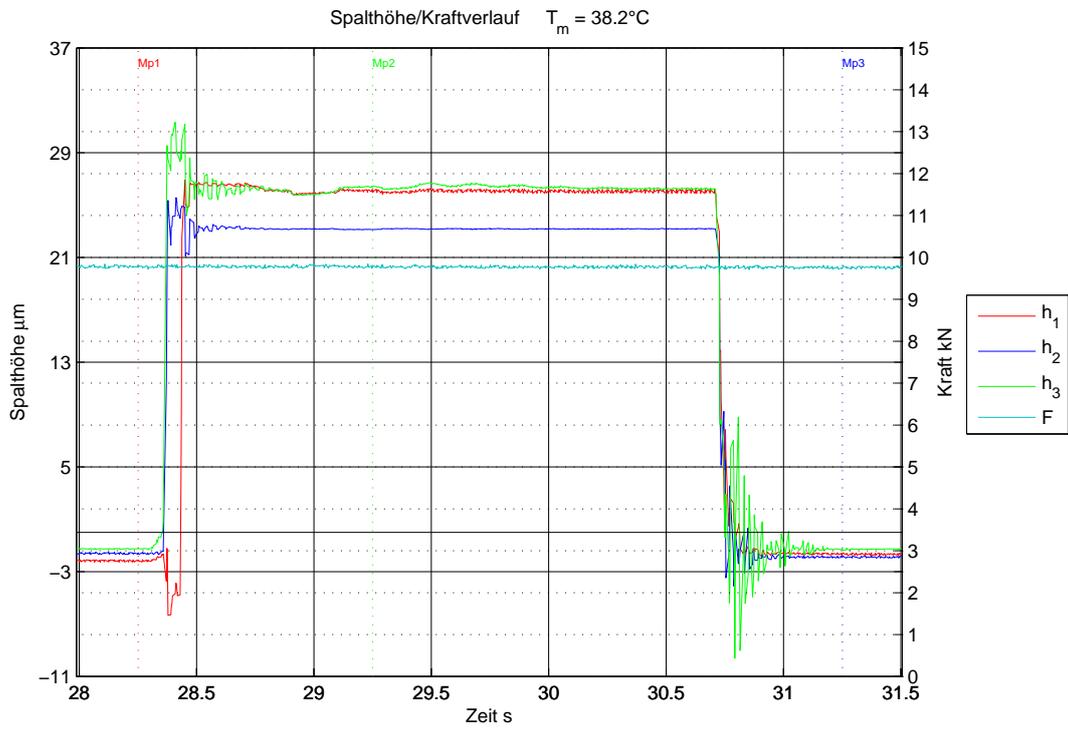
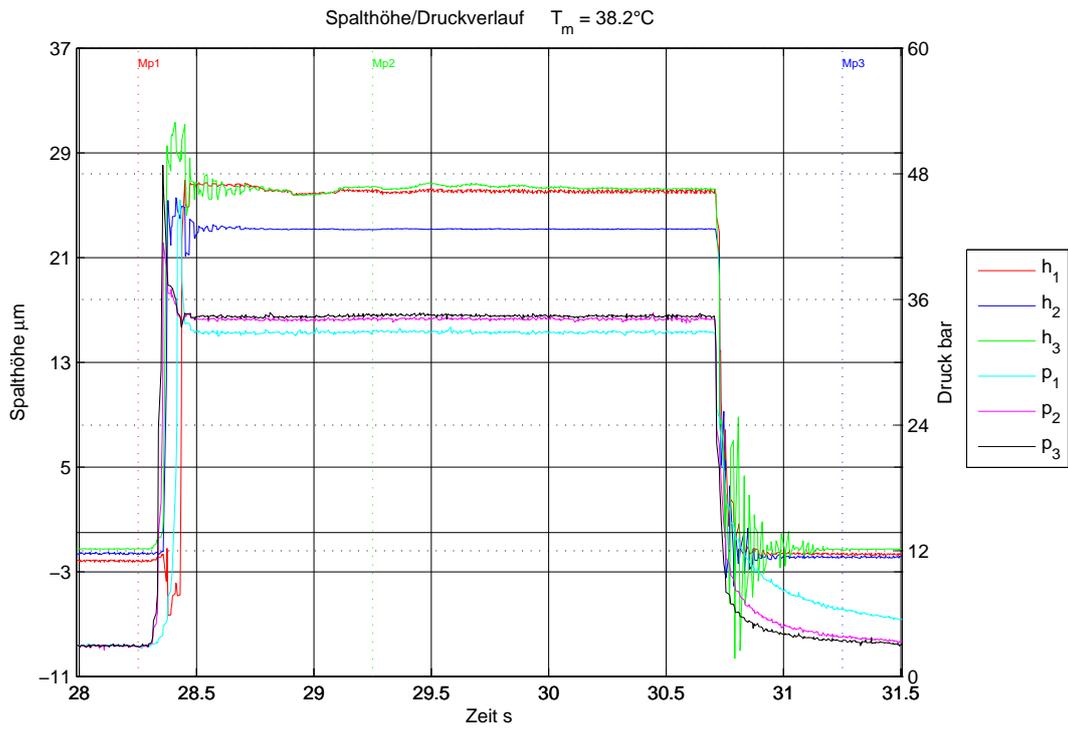
Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-7.573240e - 001$ | $p1$ | bar | $4.585693e + 000$ |
| $h2$ | μm | $-1.332519e + 000$ | $p2$ | bar | $3.123003e + 000$ |
| $h3$ | μm | $-8.037109e - 001$ | $p3$ | bar | $3.092980e + 000$ |
| F | kN | $5.006763e + 000$ | T | °C | $3.912996e + 001$ |
| t | s | $3.175000e + 001$ | | | |



20120710 Einschalt sprung Blende 10000N

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $2.702539e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.560132e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.080242e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $5.696655e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-6.365723e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.734131e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.556836e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.177352e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.619407e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $5.794634e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-4.495117e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $-2.797070e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.132812e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $5.923007e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.615373e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $5.820986e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.007764e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-3.707646e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.084111e + 001$ | T_{max} | °C | $3.844662e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.831356e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.797877e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.197559e + 000$ | T_{min} | °C | $3.707216e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.374460e + 000$ |



20120710 Einschaltsprung Blende 10000N Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $2.690870e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.550977e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $1.640841e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.394618e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-6.318359e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $2.663086e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.556836e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.139205e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $1.502322e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.453850e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-4.097656e + 000$ | $p2_{min}$ | bar | $2.527910e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.132812e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.880831e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $1.733860e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.465263e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-9.616211e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $2.772546e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.843188e + 000$ | T_{max} | °C | $3.829908e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $9.773667e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.815183e + 001$ |
| F_{min} | kN | $9.710132e + 000$ | T_{min} | °C | $3.791081e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.882700e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-2.189453e + 000$ | $p1$ | bar | $2.968262e + 000$ |
| $h2$ | μm | $-1.560059e + 000$ | $p2$ | bar | $2.909380e + 000$ |
| $h3$ | μm | $-1.234375e + 000$ | $p3$ | bar | $2.864099e + 000$ |
| F | kN | $9.760791e + 000$ | T | °C | $3.807389e + 001$ |
| t | s | $2.825100e + 001$ | | | |

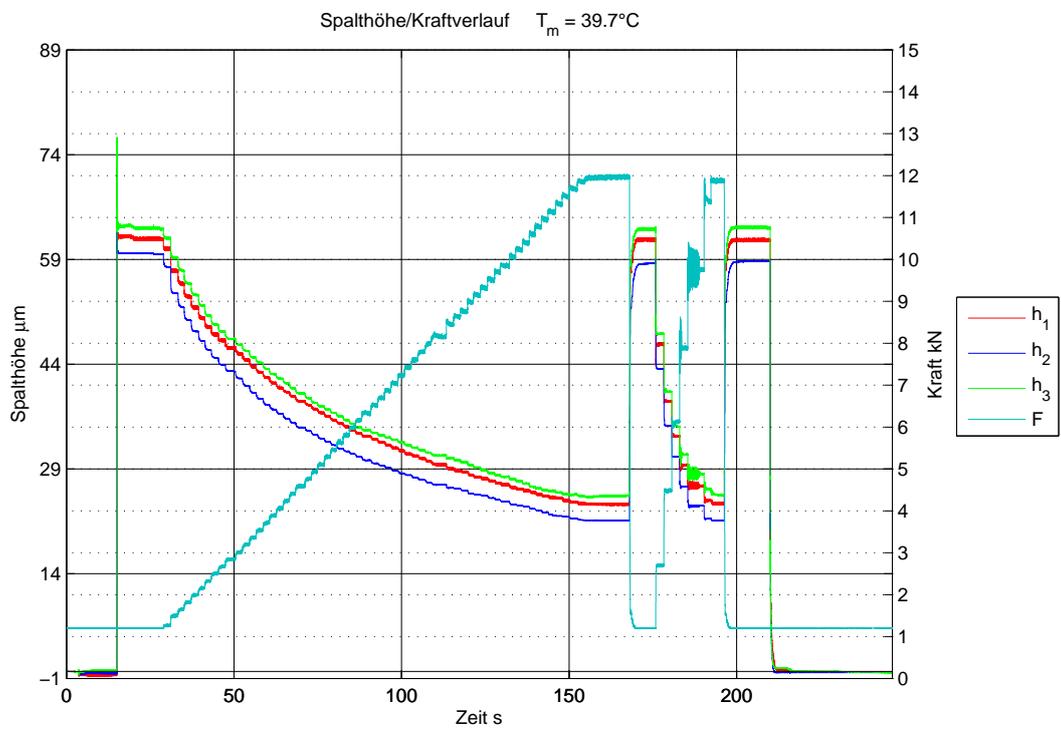
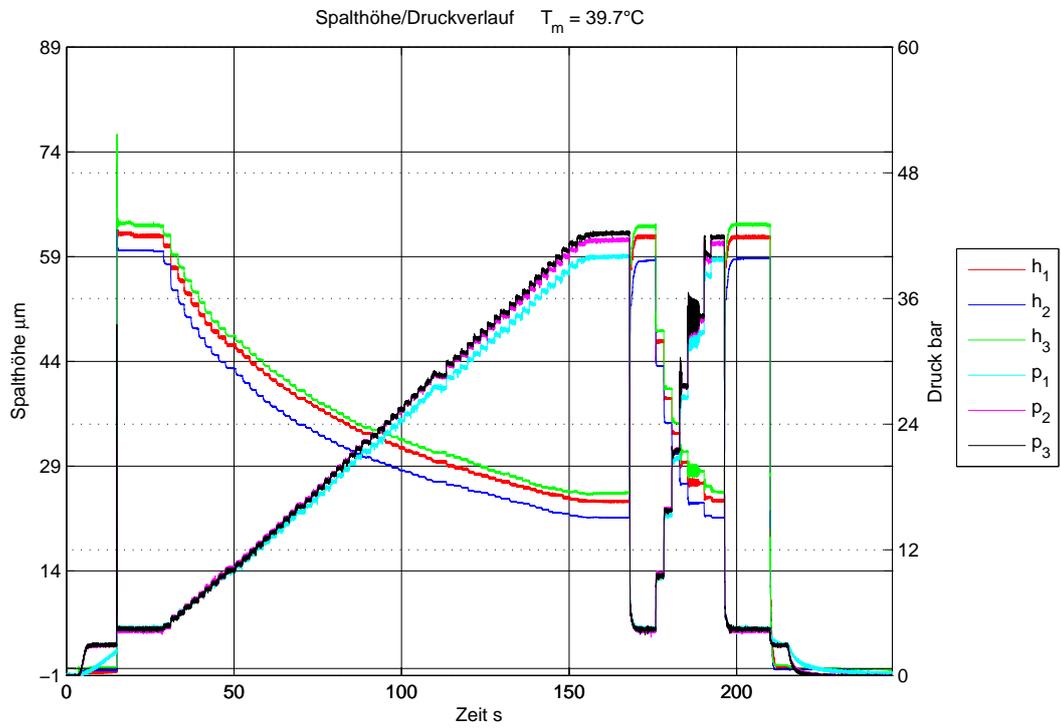
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.619239e + 001$ | $p1$ | bar | $3.299756e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.314550e + 001$ | $p2$ | bar | $3.426619e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.642431e + 001$ | $p3$ | bar | $3.457186e + 001$ |
| F | kN | $9.777881e + 000$ | T | °C | $3.819813e + 001$ |
| t | s | $2.925000e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

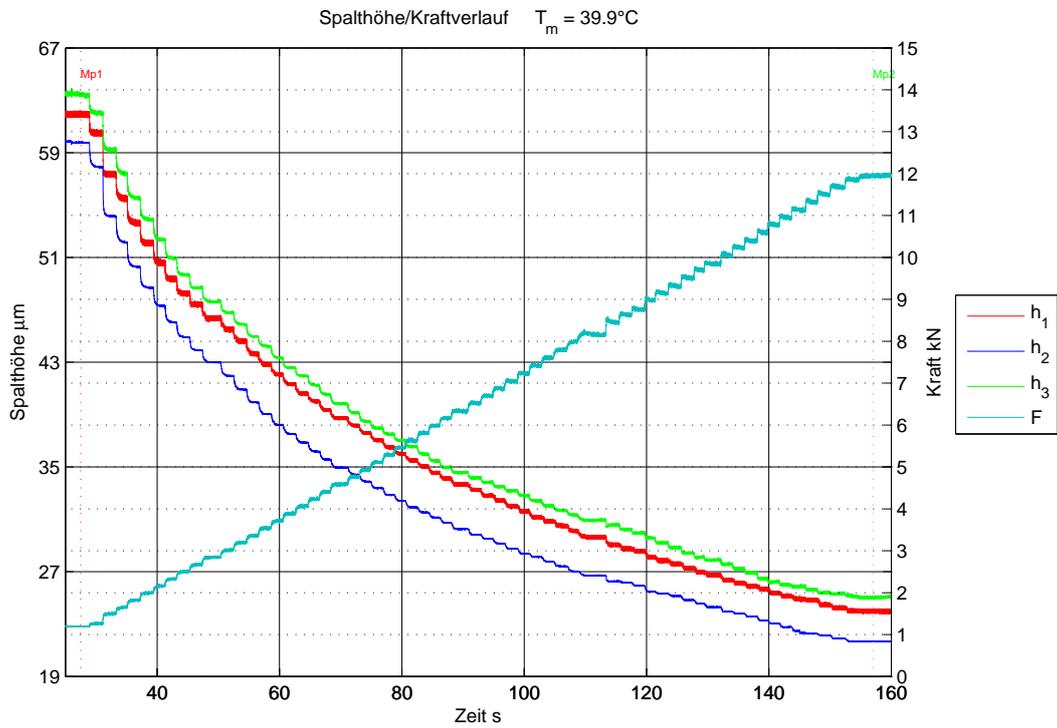
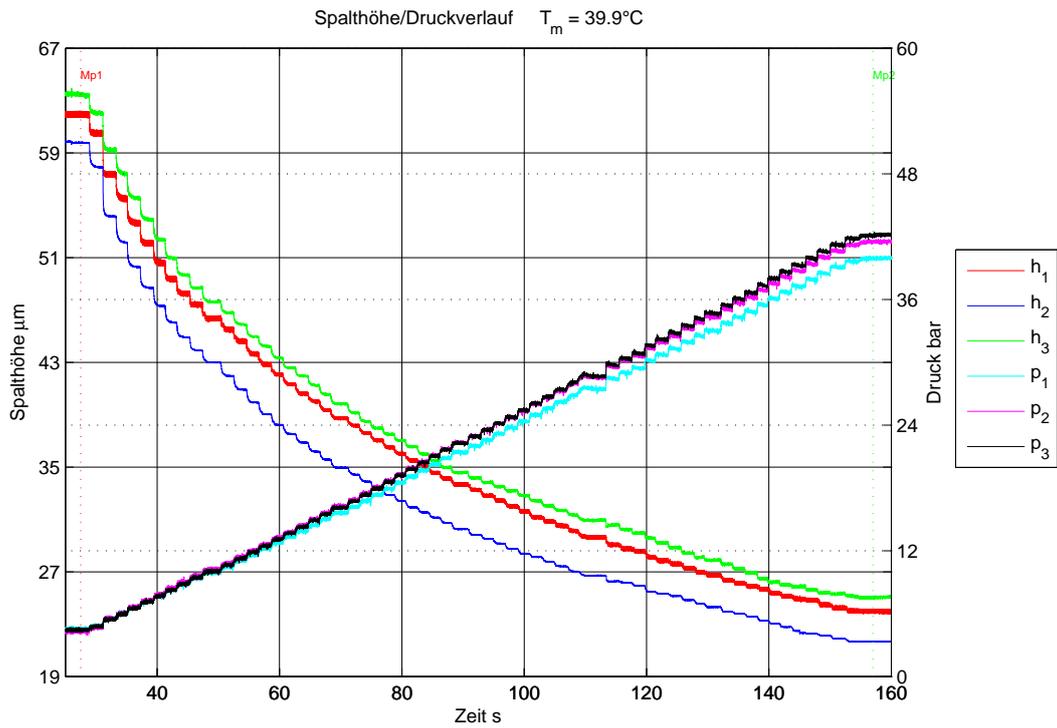
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-1.674316e + 000$ | $p1$ | bar | $6.401489e + 000$ |
| $h2$ | μm | $-1.891113e + 000$ | $p2$ | bar | $3.779131e + 000$ |
| $h3$ | μm | $-1.258301e + 000$ | $p3$ | bar | $3.382897e + 000$ |
| F | kN | $9.740039e + 000$ | T | °C | $3.801953e + 001$ |
| t | s | $3.125100e + 001$ | | | |

A.3.3. Treppenförmiges Lastprofil



20120710 Spalt konst Lasten Blende 0-11000N

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.287940e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.023022e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.077210e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.653435e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-6.640625e - 001$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.903076e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $7.216894e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.188033e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.837418e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.711997e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-4.057617e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-2.644482e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $7.649854e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.249117e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.181876e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.722962e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-5.151367e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.792119e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.203740e + 001$ | T_{max} | °C | $4.104023e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $5.079361e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.967935e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193286e + 000$ | T_{min} | °C | $3.765456e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.385670e + 000$ |



20120710 Spalt konst Lasten Blende 0-11000N Detail

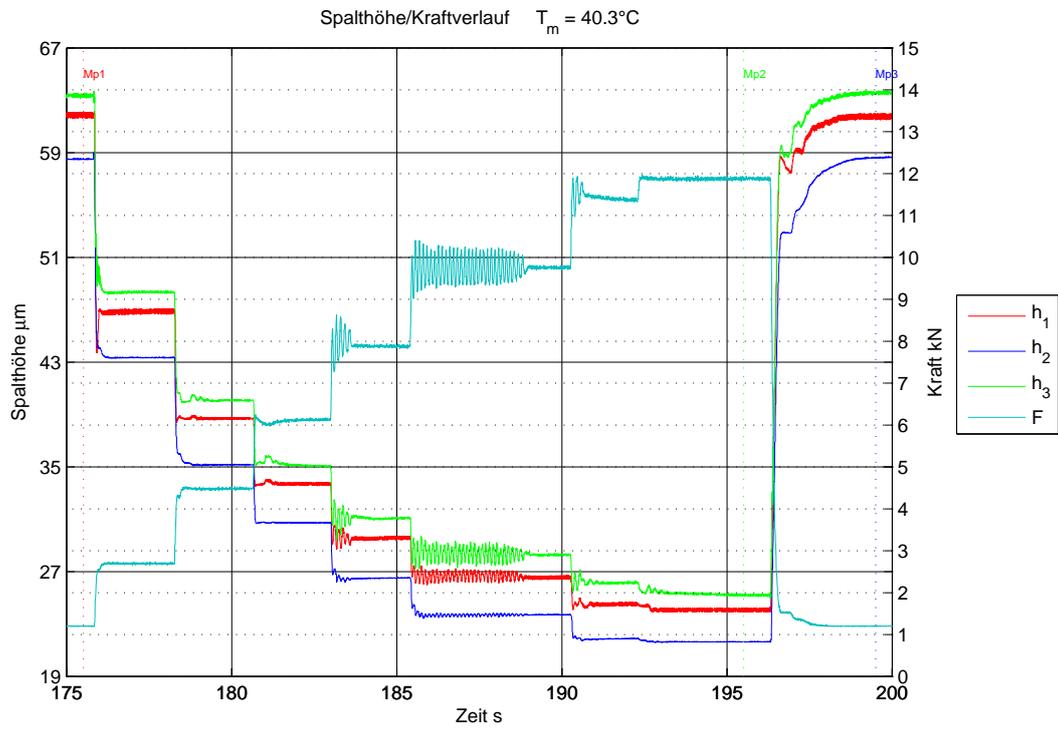
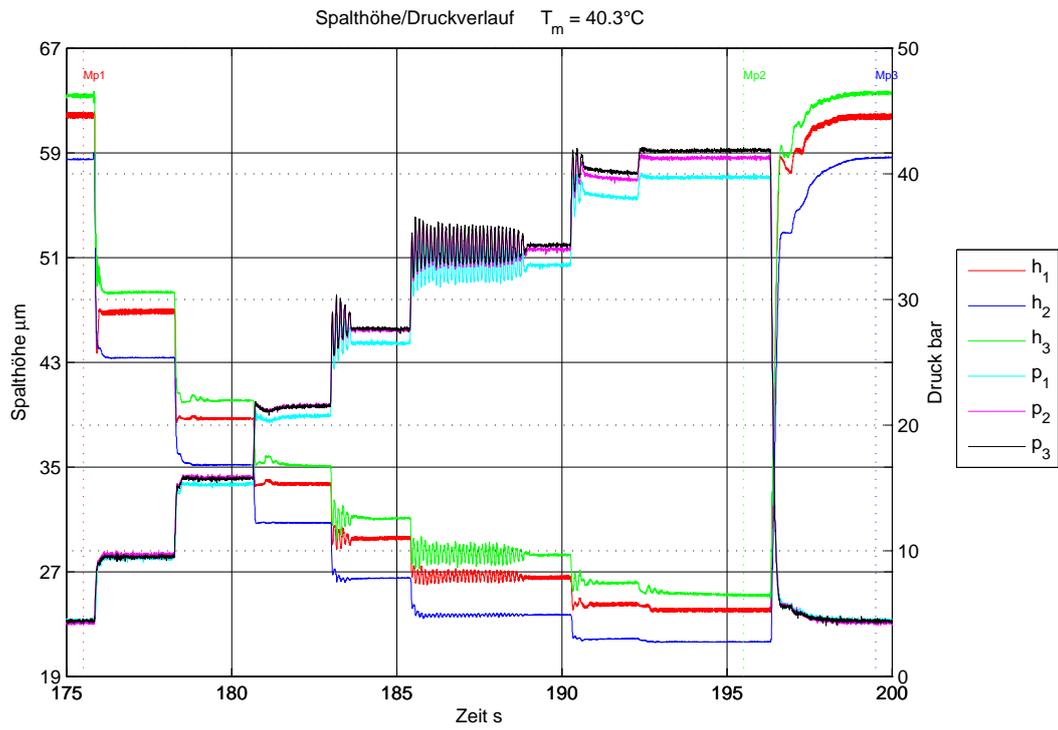
| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.218897e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.015393e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.600519e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.223719e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $2.379493e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $4.112671e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $5.991992e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.174300e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.294732e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.308656e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $2.163183e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $3.946978e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.391895e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.243014e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.718927e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.319053e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $2.487402e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $4.191613e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.201604e + 001$ | T_{max} | °C | $4.001521e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $6.579157e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.990637e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193286e + 000$ | T_{min} | °C | $3.954929e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $4.659200e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.197120e + 001$ | $p1$ | bar | $4.600952e + 000$ |
| $h2$ | μm | $5.977392e + 001$ | $p2$ | bar | $4.420000e + 000$ |
| $h3$ | μm | $6.354590e + 001$ | $p3$ | bar | $4.542565e + 000$ |
| F | kN | $1.199390e + 000$ | T | °C | $3.974342e + 001$ |
| t | s | $2.750400e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.396045e + 001$ | $p1$ | bar | $3.986401e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.168017e + 001$ | $p2$ | bar | $4.145308e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.499170e + 001$ | $p3$ | bar | $4.209445e + 001$ |
| F | kN | $1.196355e + 001$ | T | °C | $3.975895e + 001$ |
| t | s | $1.570010e + 002$ | | | |



20120710 Spalt konst Lasten Blende 0-11000N Detail1

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.214454e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.004712e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.628822e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.355107e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $2.390186e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $4.173706e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $5.906543e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.154463e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.319005e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.439404e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $2.159521e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $4.053789e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.374219e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.209445e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.782201e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.458469e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $2.495703e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $4.039025e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.197576e + 001$ | T_{max} | °C | $4.048889e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $6.975831e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.031848e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.195117e + 000$ | T_{min} | °C | $4.010063e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.882600e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.197901e + 001$ | $p1$ | bar | $4.356812e + 000$ |
| $h2$ | μm | $5.854345e + 001$ | $p2$ | bar | $4.114824e + 000$ |
| $h3$ | μm | $6.328223e + 001$ | $p3$ | bar | $4.283166e + 000$ |
| F | kN | $1.201221e + 000$ | T | °C | $4.019381e + 001$ |
| t | s | $1.755080e + 002$ | | | |

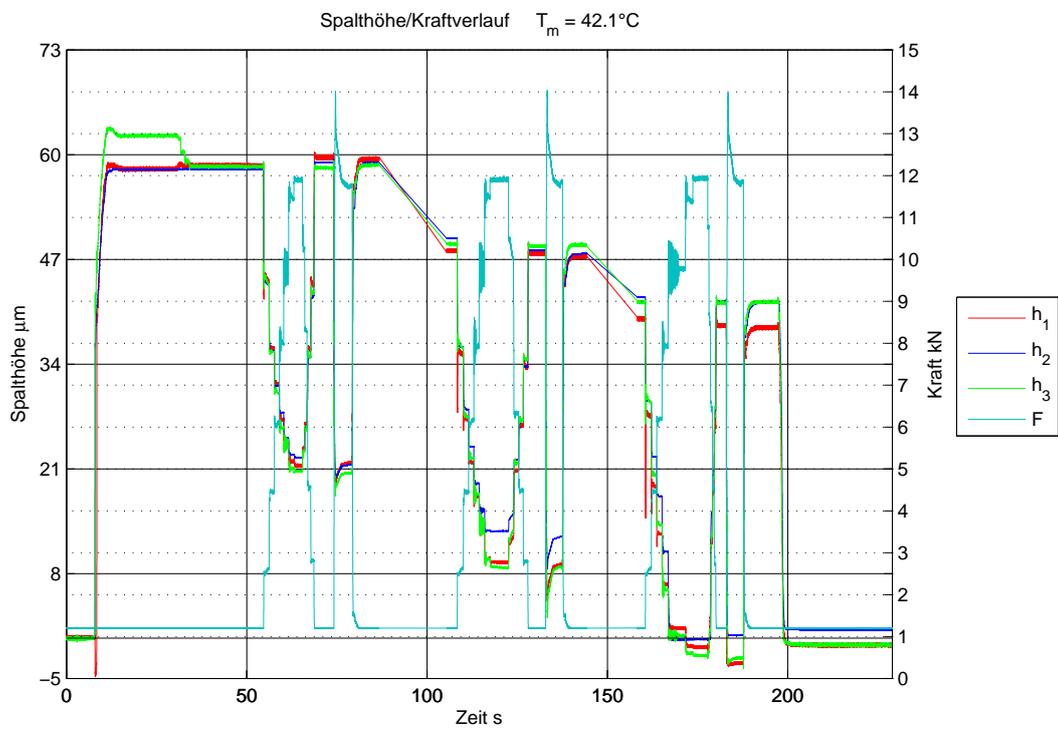
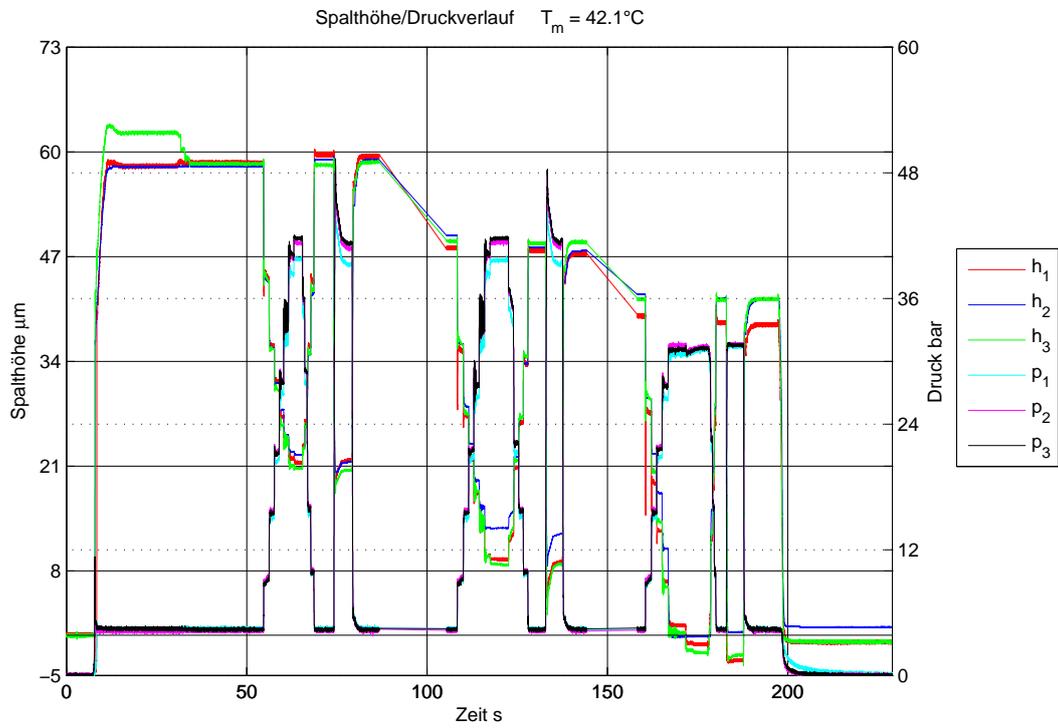
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.404004e + 001$ | $p1$ | bar | $3.981824e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.165185e + 001$ | $p2$ | bar | $4.140730e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.527197e + 001$ | $p3$ | bar | $4.209445e + 001$ |
| F | kN | $1.187261e + 001$ | T | °C | $4.020934e + 001$ |
| t | s | $1.955030e + 002$ | | | |

Messpunkt 3

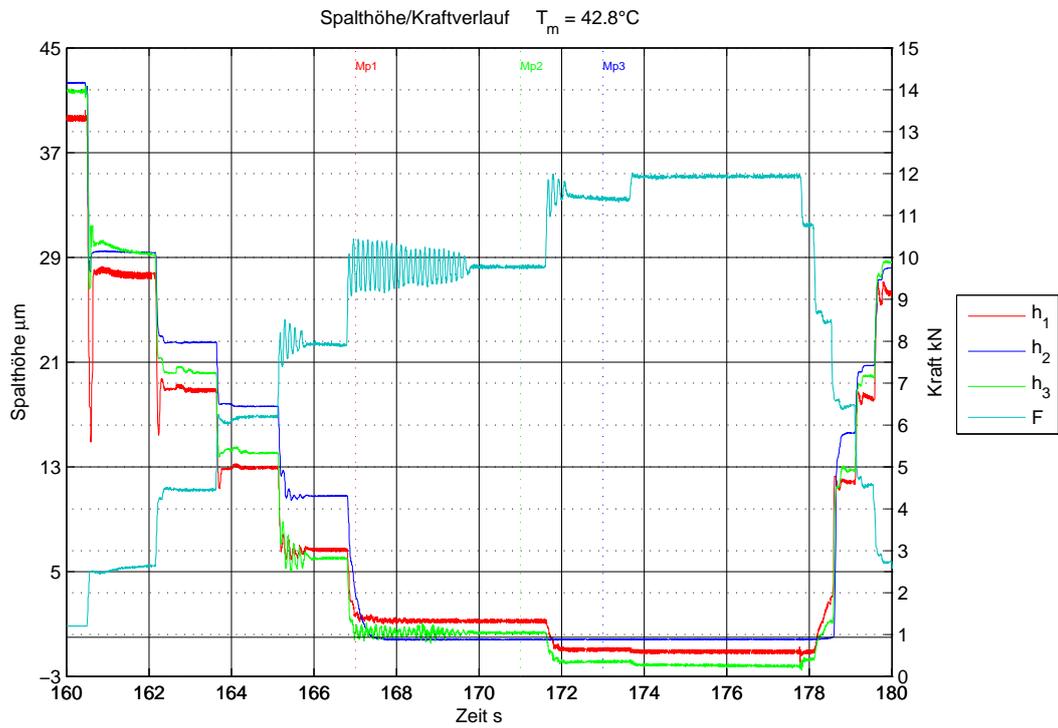
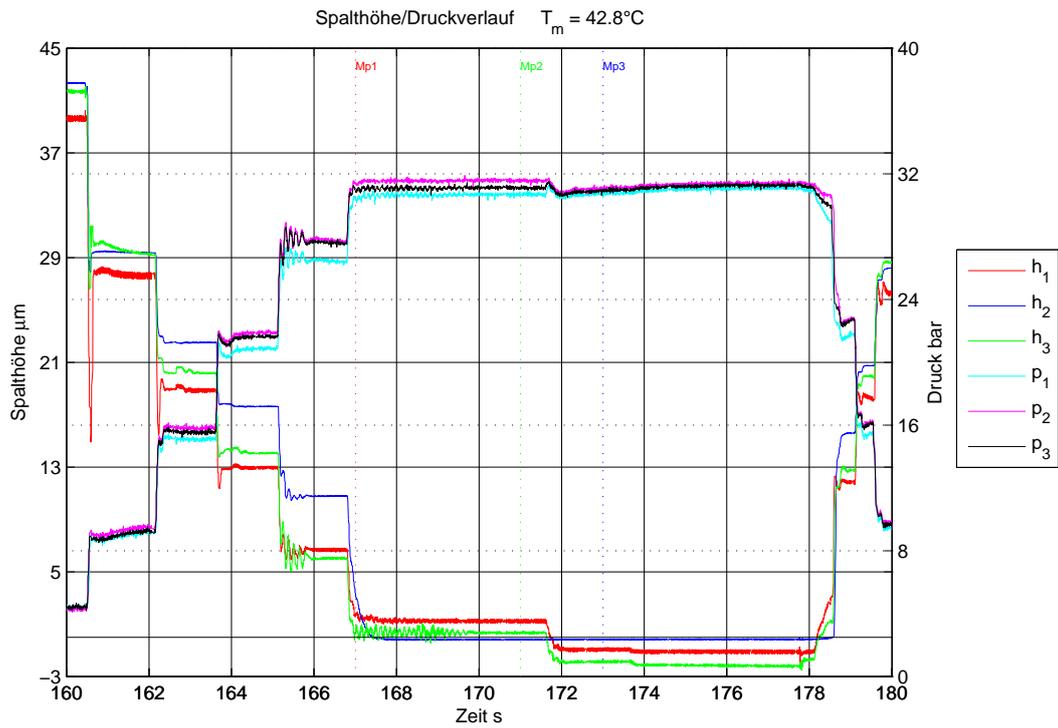
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $6.177588e + 001$ | $p1$ | bar | $4.631470e + 000$ |
| $h2$ | μm | $5.865088e + 001$ | $p2$ | bar | $4.404741e + 000$ |
| $h3$ | μm | $6.347412e + 001$ | $p3$ | bar | $4.527307e + 000$ |
| F | kN | $1.198779e + 000$ | T | °C | $4.018604e + 001$ |
| t | s | $1.995020e + 002$ | | | |

A.3.4. Ölspalt durchdrücken



20120710 Spalt Sinus Blende durchdruecken

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.030860e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $4.665417e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.943913e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.187557e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-4.768555e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.597900e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $5.945850e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.857894e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.052432e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.210326e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-2.617188e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.728955e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.340820e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.934237e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.029298e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.217346e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-3.754394e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.181768e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.403569e + 001$ | T_{max} | °C | $4.326886e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $3.860705e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.212195e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.195117e + 000$ | T_{min} | °C | $3.912996e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $4.138900e + 000$ |



20120710 Spalt Sinus Blende durchdruecken Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.022657e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.128857e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $7.476556e + 000$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.501289e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-1.963379e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $4.219482e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $4.238672e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.190108e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $8.809910e + 000$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.569167e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-2.617188e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $4.099565e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.209033e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.150485e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $7.365702e + 000$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.544170e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-2.531738e + 000$ | $p3_{min}$ | bar | $4.237390e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.201360e + 001$ | T_{max} | °C | $4.326886e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $8.414189e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.282286e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.198779e + 000$ | T_{min} | °C | $4.222055e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.048310e + 000$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.581055e + 000$ | $p1$ | bar | $3.037305e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.375000e + 000$ | $p2$ | bar | $3.136702e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.203125e - 001$ | $p3$ | bar | $3.089449e + 001$ |
| F | kN | $9.281055e + 000$ | T | °C | $4.308250e + 001$ |
| t | s | $1.670060e + 002$ | | | |

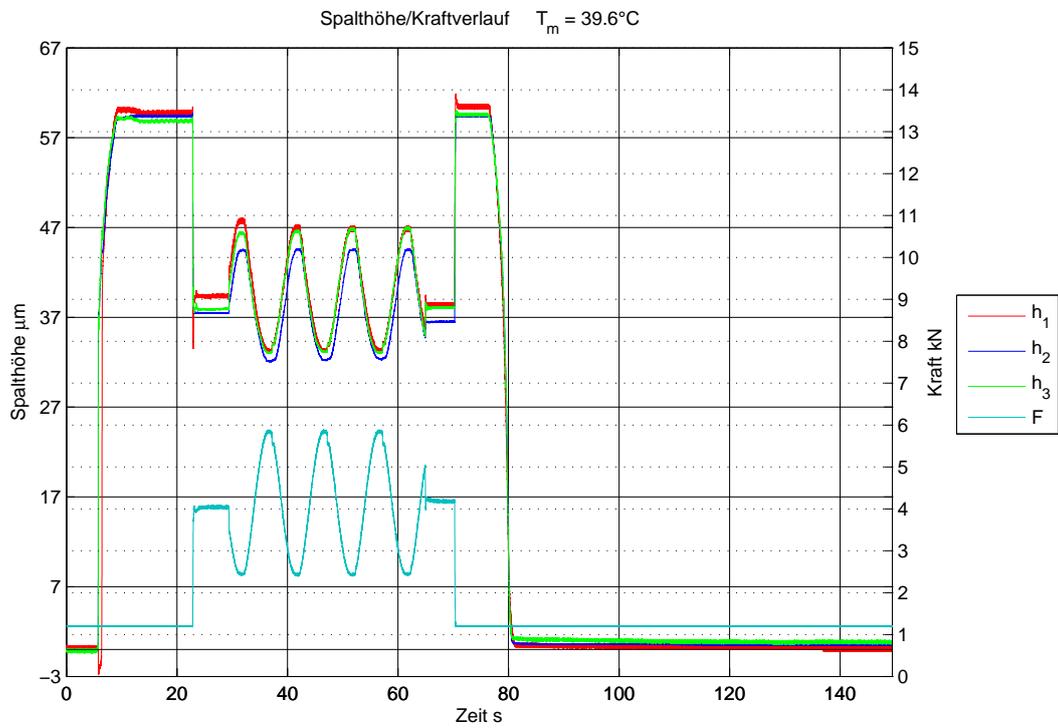
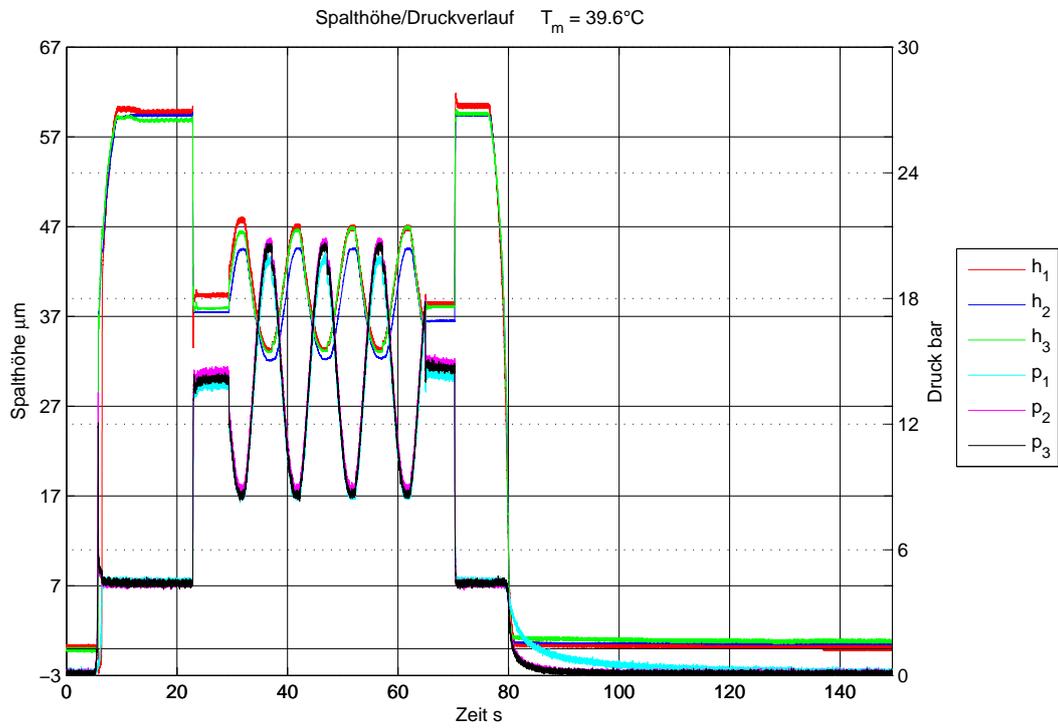
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $1.334473e + 000$ | $p1$ | bar | $3.064771e + 001$ |
| $h2$ | μm | $-2.001954e - 001$ | $p2$ | bar | $3.156539e + 001$ |
| $h3$ | μm | $4.291992e - 001$ | $p3$ | bar | $3.110812e + 001$ |
| F | kN | $9.755908e + 000$ | T | °C | $4.275635e + 001$ |
| t | s | $1.710010e + 002$ | | | |

Messpunkt 3

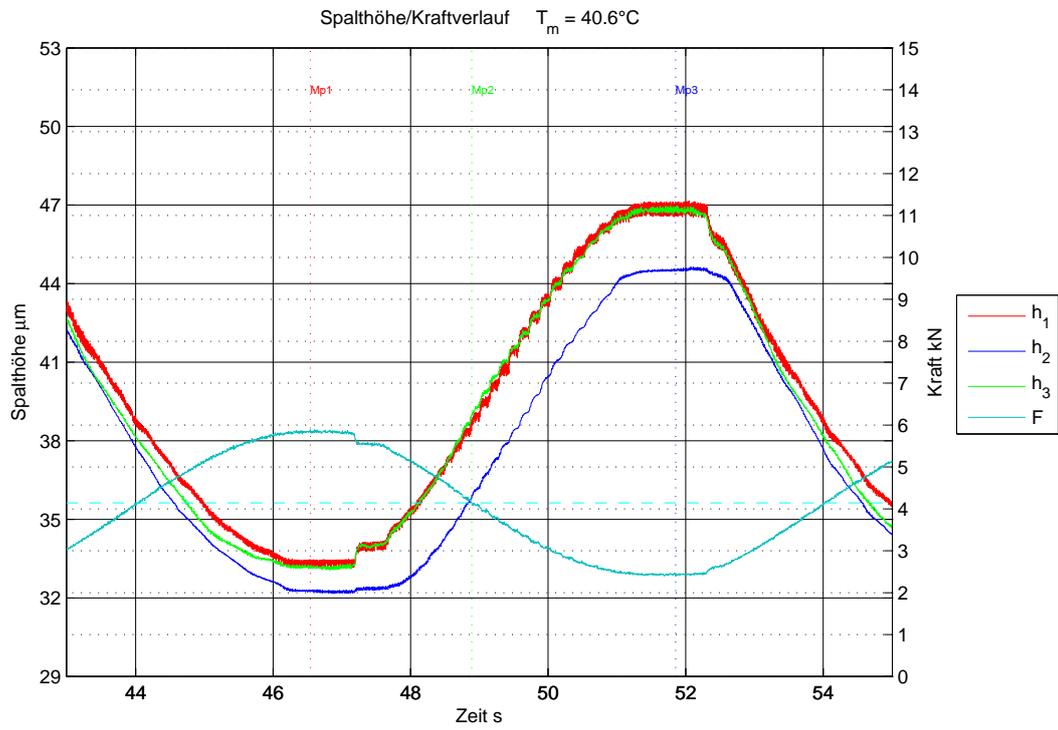
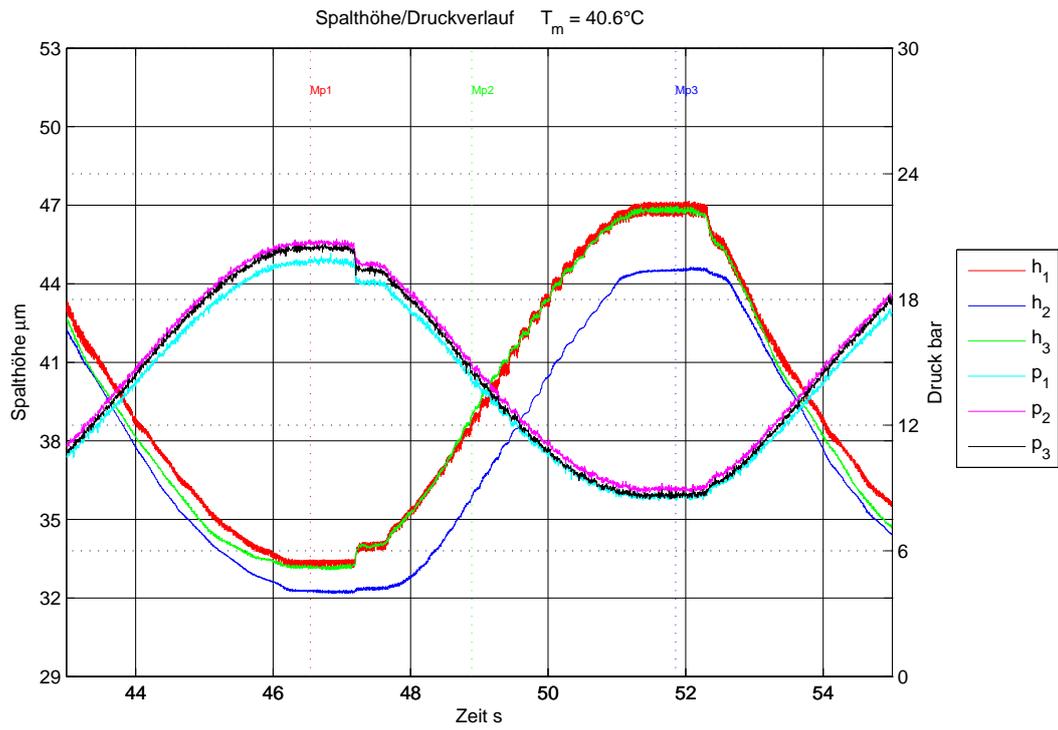
| | | | | | |
|------|---------|--------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $-8.081059e - 001$ | $p1$ | bar | $3.051038e + 001$ |
| $h2$ | μm | $-1.914063e - 001$ | $p2$ | bar | $3.110762e + 001$ |
| $h3$ | μm | $-1.741210e + 000$ | $p3$ | bar | $3.097079e + 001$ |
| F | kN | $1.138616e + 001$ | T | °C | $4.260881e + 001$ |
| t | s | $1.730020e + 002$ | | | |

A.3.5. Sinus 0.1Hz - 1.6kN Amplitude - 3kN Mittellast



20120710 Spalt Sinus Blende F1

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.189795e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.021069e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.267209e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $5.366491e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.759277e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-3.771973e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $5.972314e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.089949e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.226203e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $5.424196e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-2.294921e - 002$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.118604e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.005908e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.068636e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.288301e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $5.319759e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-4.335937e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.113652e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.889941e + 000$ | T_{max} | °C | $4.082280e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $2.083835e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.956308e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.190234e + 000$ | T_{min} | °C | $3.794964e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $2.873160e + 000$ |



20120710 Spalt Sinus Blende F1 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.714404e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.021069e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.948736e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.402937e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $3.312500e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $8.400391e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $4.462890e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.089949e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.777910e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.467010e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $3.216943e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $8.707720e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.697022e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.065585e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.920077e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.439267e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $3.306543e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $8.464074e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.889941e + 000$ | T_{max} | °C | $4.066749e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.094576e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.058805e + 001$ |
| F_{min} | kN | $2.395068e + 000$ | T_{min} | °C | $4.050442e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.630700e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.345898e + 001$ | $p1$ | bar | $1.973767e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.224707e + 001$ | $p2$ | bar | $2.062483e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.321533e + 001$ | $p3$ | bar | $2.045748e + 001$ |
| F | kN | $5.889941e + 000$ | T | °C | $4.058984e + 001$ |
| t | s | $4.654000e + 001$ | | | |

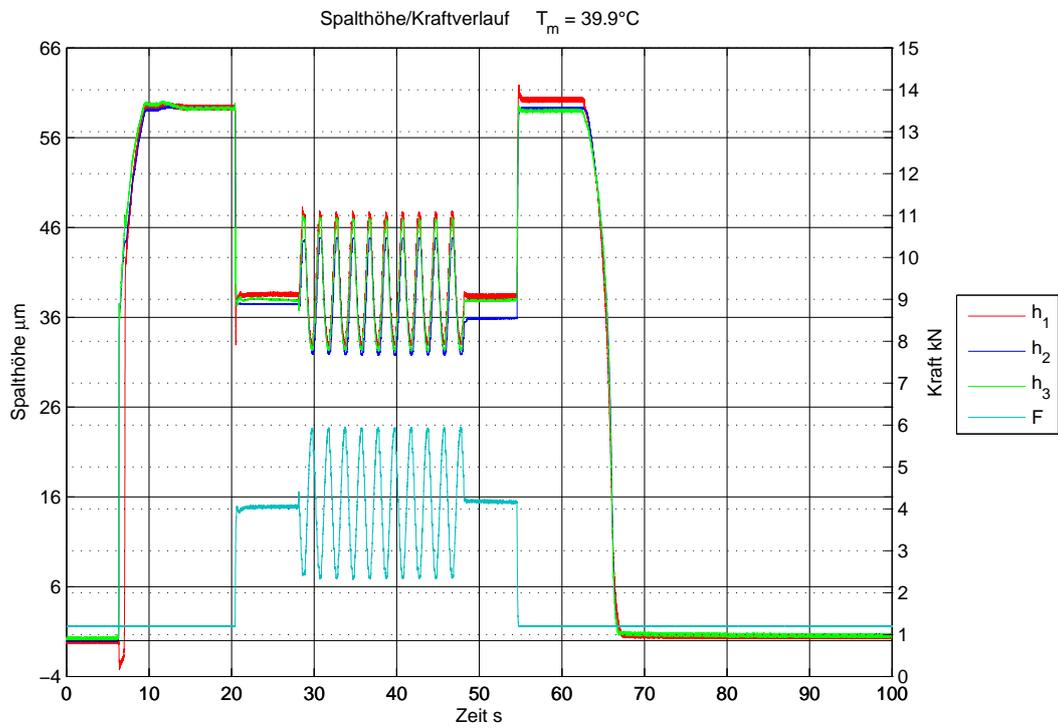
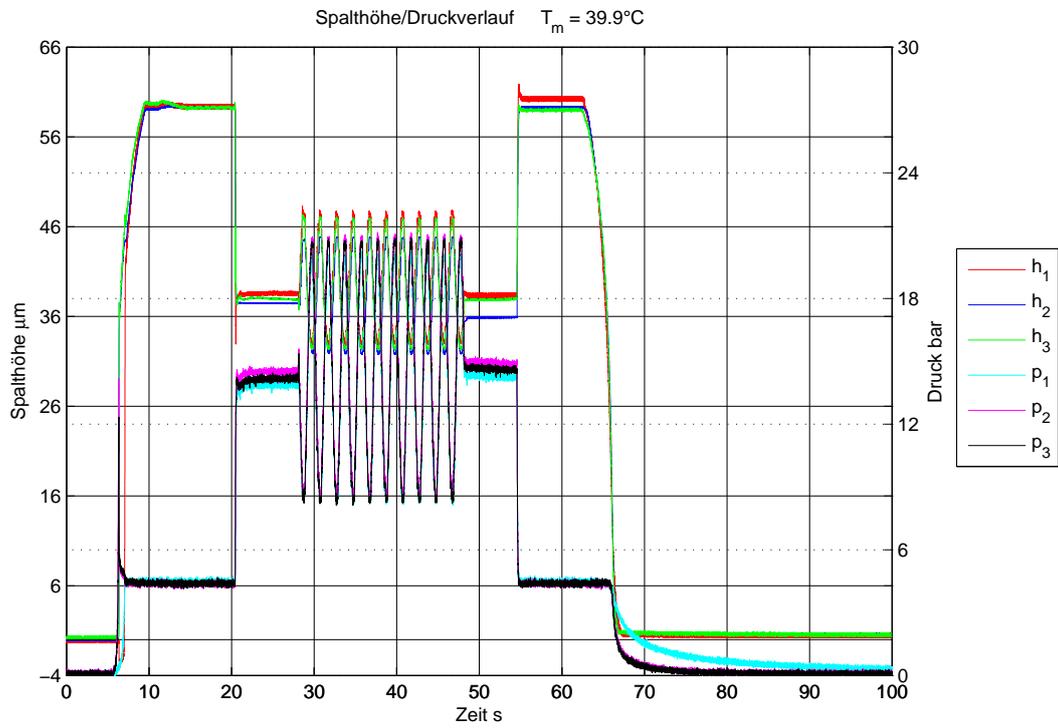
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.882275e + 001$ | $p1$ | bar | $1.419873e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.586572e + 001$ | $p2$ | bar | $1.482649e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.895264e + 001$ | $p3$ | bar | $1.450655e + 001$ |
| F | kN | $4.138232e + 000$ | T | °C | $4.055878e + 001$ |
| t | s | $4.888900e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

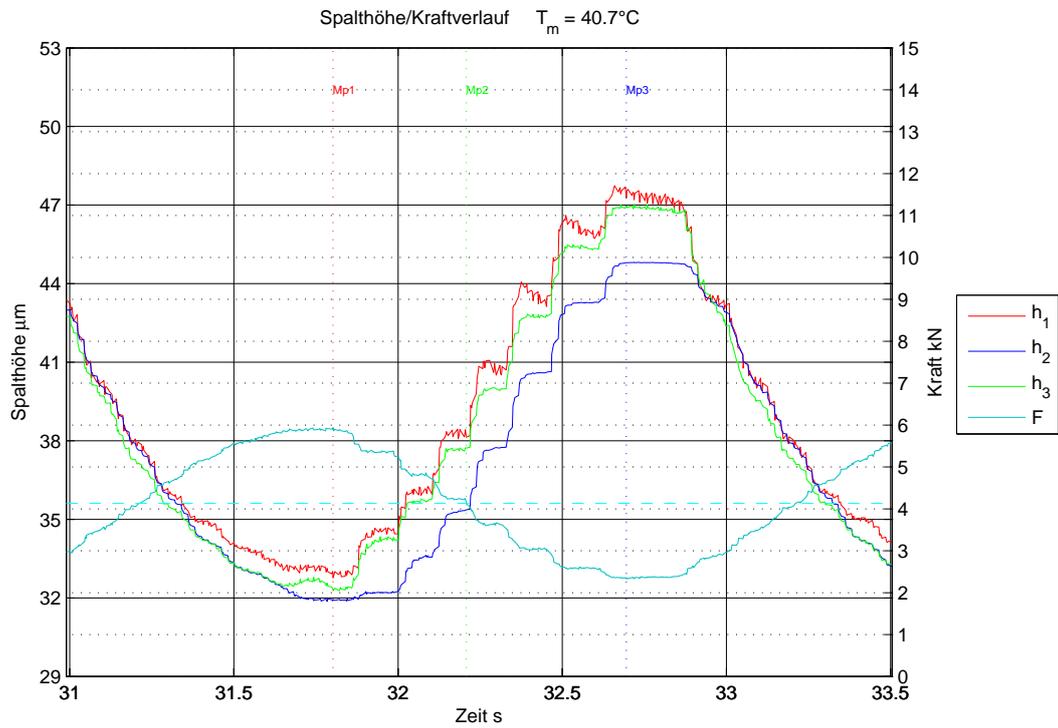
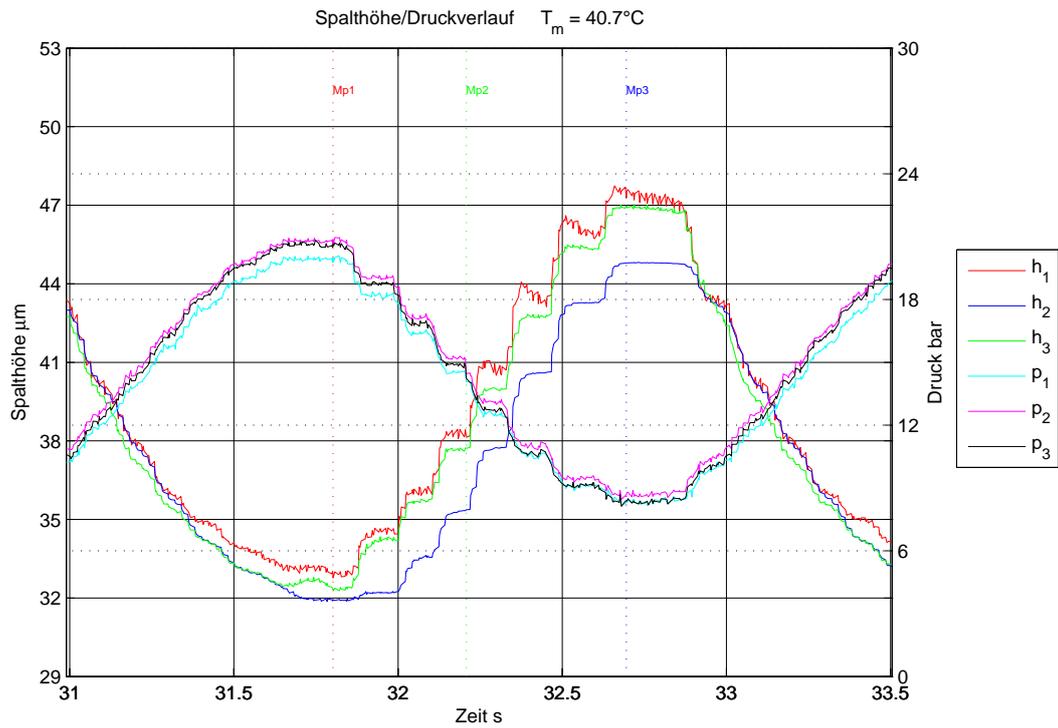
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $4.659765e + 001$ | $p1$ | bar | $8.476685e + 000$ |
| $h2$ | μm | $4.448291e + 001$ | $p2$ | bar | $8.890825e + 000$ |
| $h3$ | μm | $4.694727e + 001$ | $p3$ | bar | $8.677697e + 000$ |
| F | kN | $2.395068e + 000$ | T | °C | $4.058984e + 001$ |
| t | s | $5.185400e + 001$ | | | |

A.3.6. Sinus 0.5Hz - 1.6kN Amplitude - 3kN Mittellast



20120710 Spalt Sinus Blende F2

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.182715e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.024121e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.744764e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $6.170440e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-3.248047e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-8.349609e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $5.961523e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.114363e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.717367e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $6.220441e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-9.082031e - 002$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.118604e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.007471e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.091525e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.758618e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $6.107664e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-6.054690e - 002$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.418828e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.958301e + 000$ | T_{max} | °C | $4.107129e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $2.185397e + 000$ | T_{mittel} | °C | $3.985456e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.192065e + 000$ | T_{min} | °C | $3.756138e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.509910e + 000$ |



20120710 Spalt Sinus Blende F2 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.774072e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.008862e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.897141e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.417515e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $3.276856e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $8.156250e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $4.481641e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.096053e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.758387e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.482999e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $3.186719e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $8.463579e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.702735e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.083895e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.837495e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.454356e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $3.228028e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $8.128381e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.933276e + 000$ | T_{max} | °C | $4.076068e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.144899e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.071289e + 001$ |
| F_{min} | kN | $2.330371e + 000$ | T_{min} | °C | $4.064420e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $1.164800e - 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.276856e + 001$ | $p1$ | bar | $1.998181e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.190234e + 001$ | $p2$ | bar | $2.086897e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.233252e + 001$ | $p3$ | bar | $2.065585e + 001$ |
| F | kN | $5.933276e + 000$ | T | °C | $4.071408e + 001$ |
| t | s | $3.180200e + 001$ | | | |

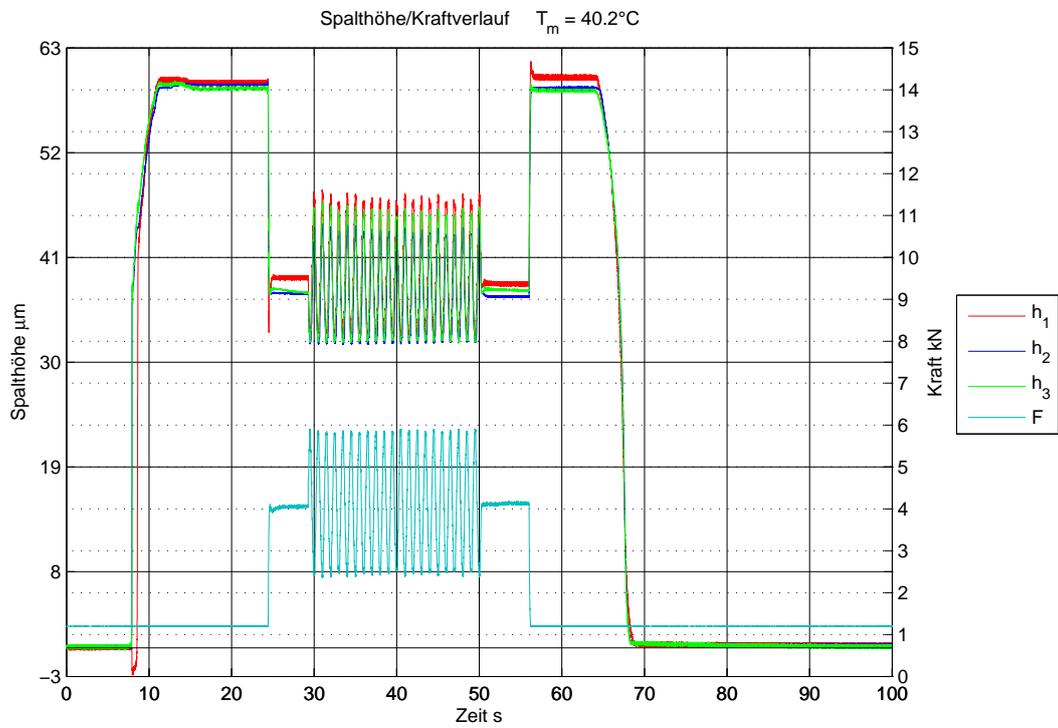
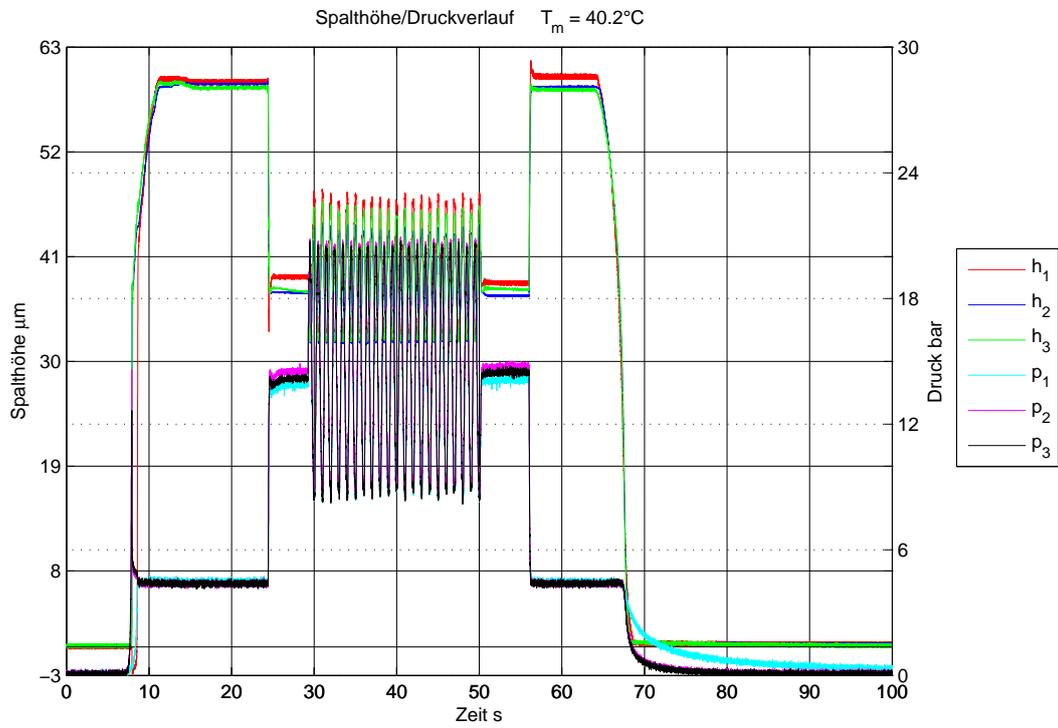
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.813233e + 001$ | $p1$ | bar | $1.407666e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.536963e + 001$ | $p2$ | bar | $1.446028e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.771875e + 001$ | $p3$ | bar | $1.423190e + 001$ |
| F | kN | $4.131519e + 000$ | T | °C | $4.071408e + 001$ |
| t | s | $3.220800e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

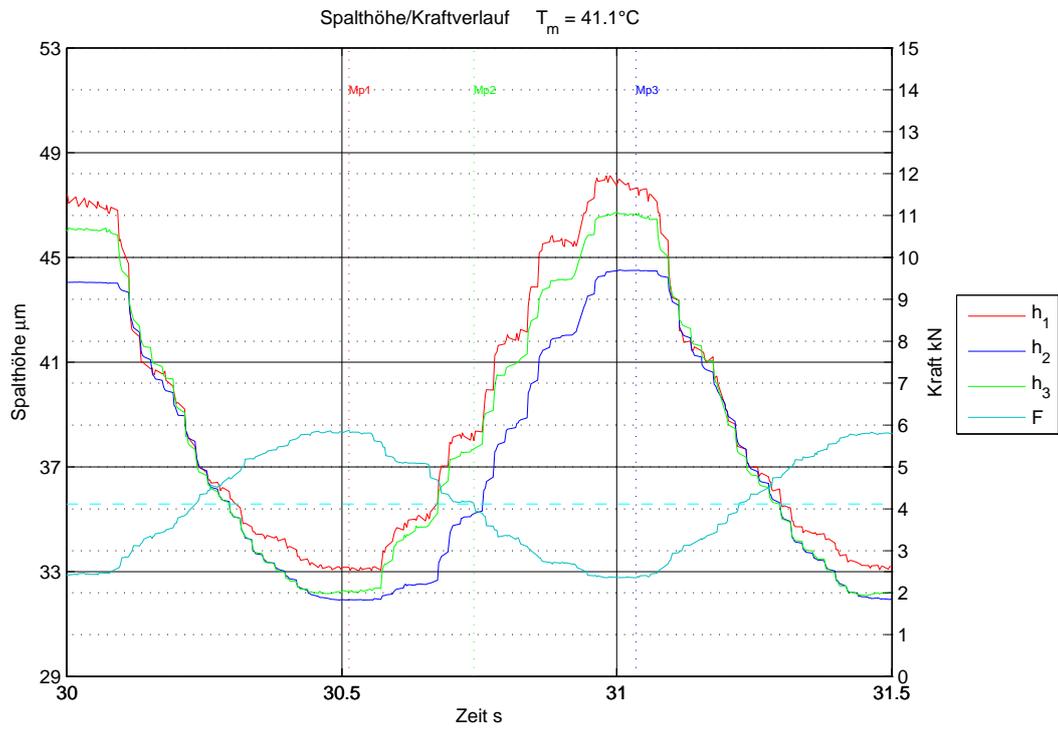
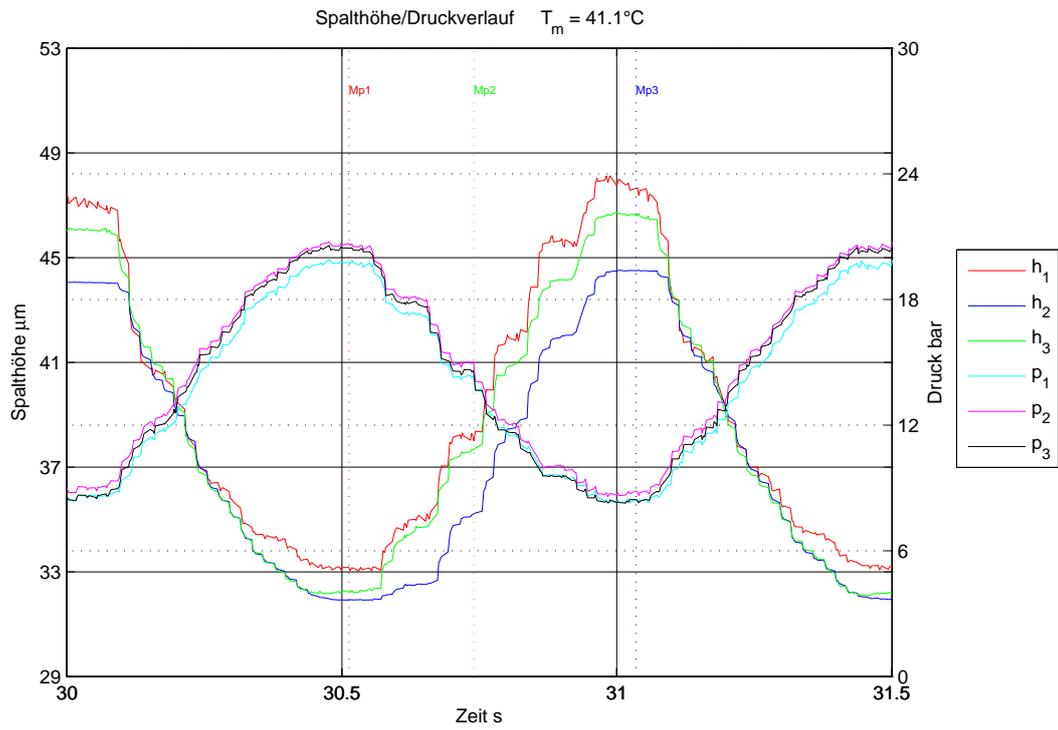
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $4.726953e + 001$ | $p1$ | bar | $8.369873e + 000$ |
| $h2$ | μm | $4.479932e + 001$ | $p2$ | bar | $8.677202e + 000$ |
| $h3$ | μm | $4.697803e + 001$ | $p3$ | bar | $8.403039e + 000$ |
| F | kN | $2.330371e + 000$ | T | °C | $4.072185e + 001$ |
| t | s | $3.269500e + 001$ | | | |

A.3.7. Sinus 1Hz - 1.6kN Amplitude - 3kN Mittellast



20120710 Spalt Sinus Blende F3

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.155469e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.004285e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.794775e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $5.923761e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.831055e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.292725e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $5.945459e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.094527e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.758247e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $5.959620e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-5.615234e - 002$ | $p2_{min}$ | bar | $-9.660156e - 002$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $5.946924e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.074740e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.783537e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $5.851264e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-1.606446e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.571416e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.908862e + 000$ | T_{max} | °C | $4.145179e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $2.111937e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.020383e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193286e + 000$ | T_{min} | °C | $3.773221e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.719580e + 000$ |



20120710 Spalt Sinus Blende F3 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $4.812207e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $1.990552e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.904035e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.410045e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $3.302978e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $8.278320e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $4.451806e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.074690e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.739293e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.477849e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $3.191308e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $8.585649e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.673633e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.057955e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.834256e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.447353e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $3.208935e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $8.280969e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.877734e + 000$ | T_{max} | °C | $4.116447e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.130635e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.112548e + 001$ |
| F_{min} | kN | $2.354785e + 000$ | T_{min} | °C | $4.108682e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $7.765000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.316846e + 001$ | $p1$ | bar | $1.978345e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.192089e + 001$ | $p2$ | bar | $2.067061e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.222802e + 001$ | $p3$ | bar | $2.045748e + 001$ |
| F | kN | $5.877734e + 000$ | T | °C | $4.112564e + 001$ |
| t | s | $3.051300e + 001$ | | | |

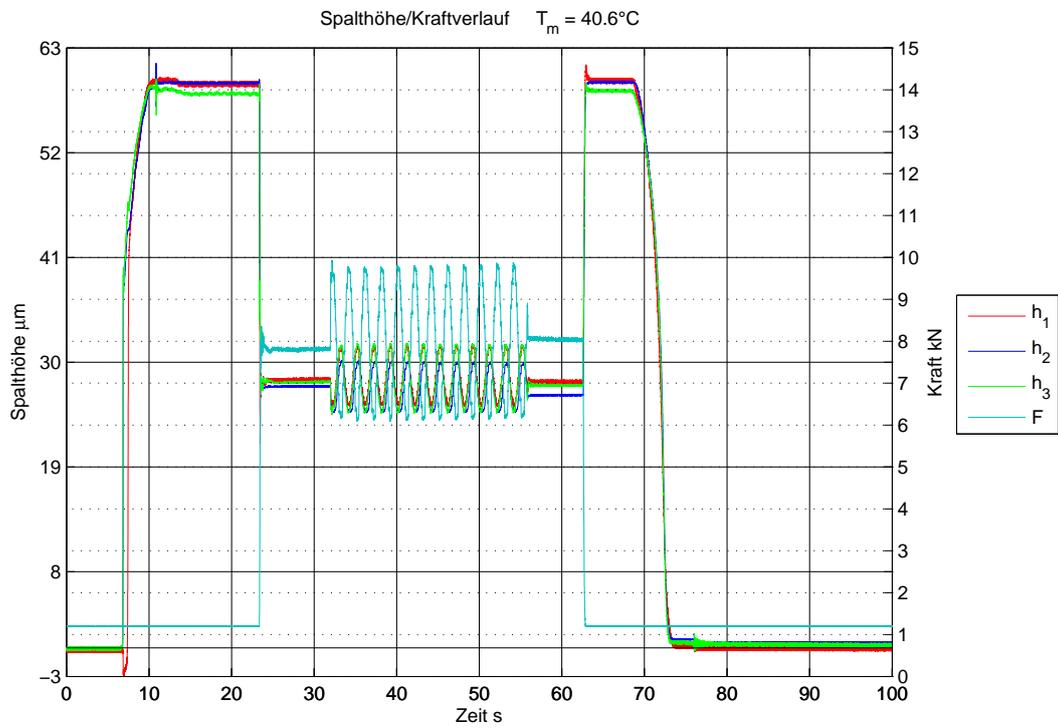
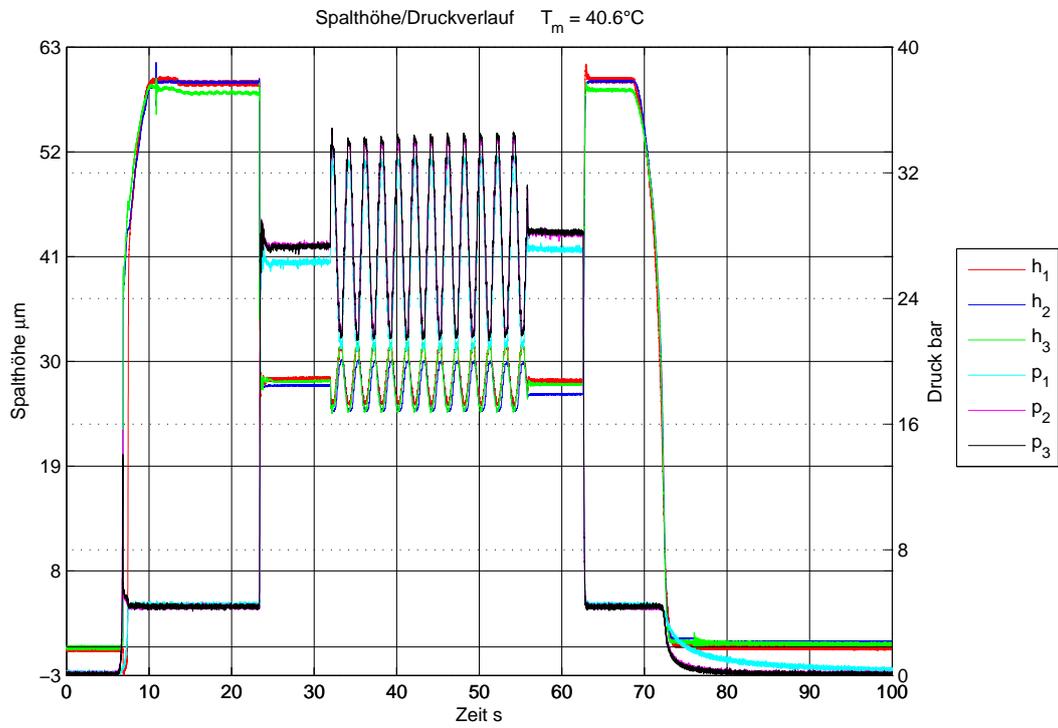
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.800439e + 001$ | $p1$ | bar | $1.425977e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.521826e + 001$ | $p2$ | bar | $1.485701e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.768994e + 001$ | $p3$ | bar | $1.441500e + 001$ |
| F | kN | $4.113818e + 000$ | T | °C | $4.111788e + 001$ |
| t | s | $3.074000e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

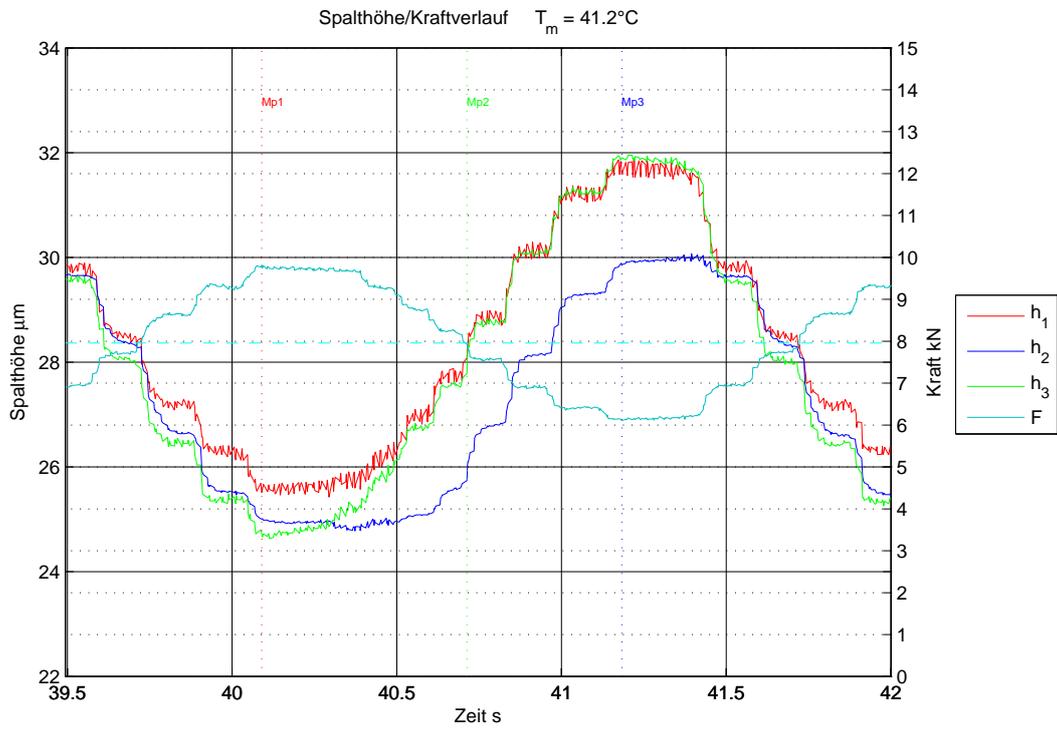
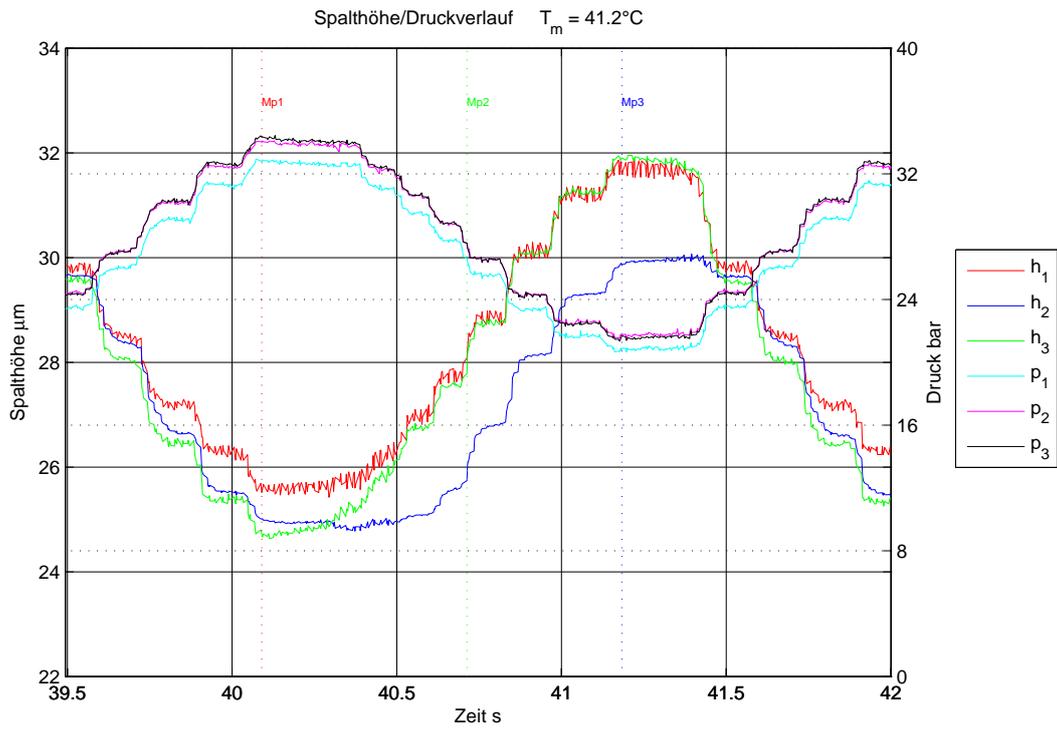
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $4.764893e + 001$ | $p1$ | bar | $8.446167e + 000$ |
| $h2$ | μm | $4.450146e + 001$ | $p2$ | bar | $8.860308e + 000$ |
| $h3$ | μm | $4.663281e + 001$ | $p3$ | bar | $8.448815e + 000$ |
| F | kN | $2.354785e + 000$ | T | °C | $4.112564e + 001$ |
| t | s | $3.103500e + 001$ | | | |

A.3.8. Sinus 0.5Hz - 1.6kN Amplitude - 6.6kN Mittellast



20120710 Spalt Sinus Blende F4

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.121240e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.348584e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.527576e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.191861e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-3.086914e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.140137e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $6.139062e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.466292e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.532912e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.217073e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-2.343750e - 002$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.271191e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $5.973437e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.481600e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.542584e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.216483e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-3.276367e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.418828e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.932300e + 000$ | T_{max} | °C | $4.159933e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $3.848985e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.055687e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.192676e + 000$ | T_{min} | °C | $3.822143e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.377900e + 000$ |



20120710 Spalt Sinus Blende F4 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.185888e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.292126e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.831709e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.702095e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $2.542480e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $2.065320e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.006787e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.409834e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.728439e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.806648e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $2.477734e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $2.150984e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.195410e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.443453e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.792147e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.810233e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $2.463427e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $2.134249e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.812061e + 000$ | T_{max} | °C | $4.123436e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $8.014190e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.120217e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.103564e + 000$ | T_{min} | °C | $4.114117e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $9.319000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.551464e + 001$ | $p1$ | bar | $3.276868e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.500879e + 001$ | $p2$ | bar | $3.400679e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.472217e + 001$ | $p3$ | bar | $3.432772e + 001$ |
| F | kN | $9.812061e + 000$ | T | °C | $4.119553e + 001$ |
| t | s | $4.009000e + 001$ | | | |

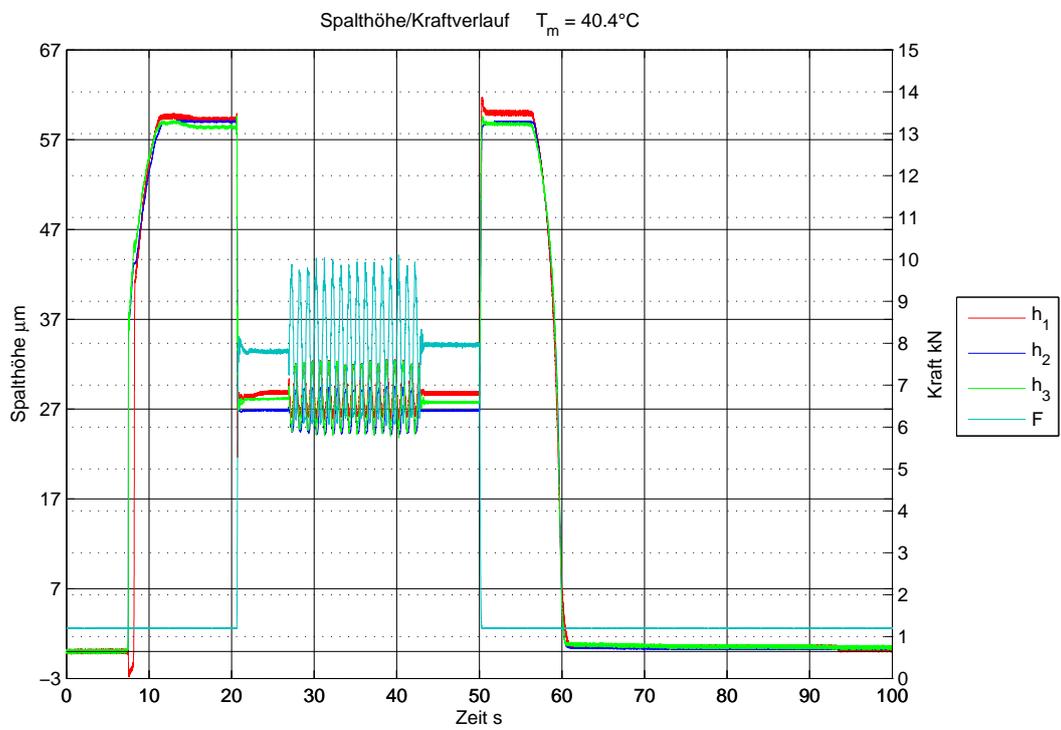
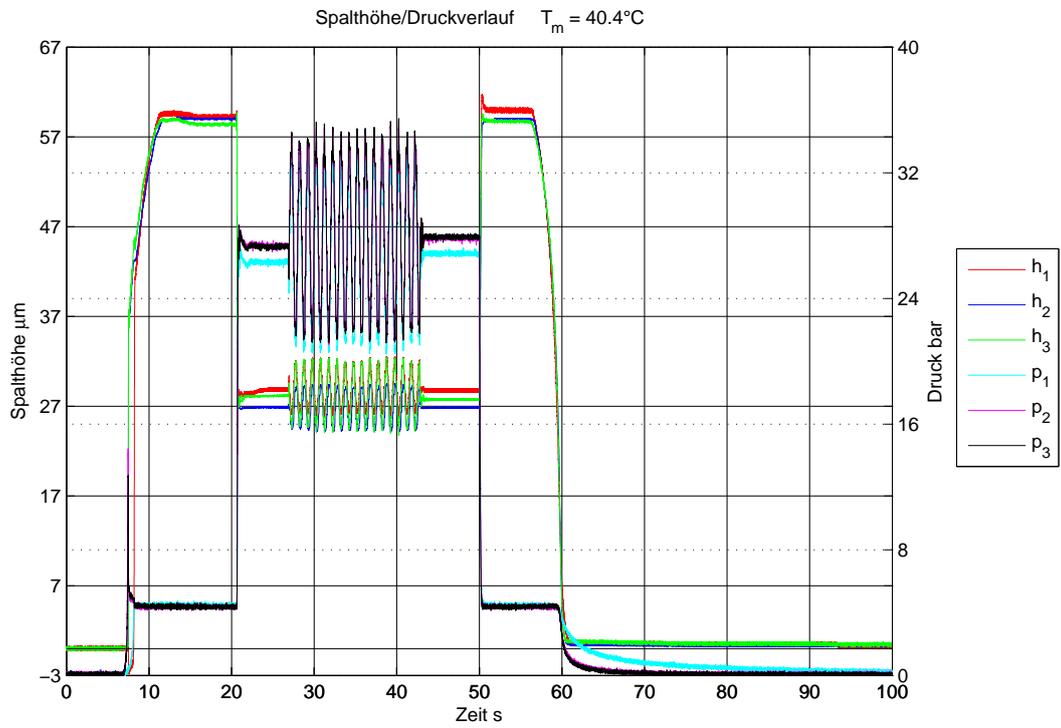
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.808056e + 001$ | $p1$ | bar | $2.660413e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.574170e + 001$ | $p2$ | bar | $2.755232e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.778662e + 001$ | $p3$ | bar | $2.759860e + 001$ |
| F | kN | $7.930347e + 000$ | T | °C | $4.120330e + 001$ |
| t | s | $4.071300e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

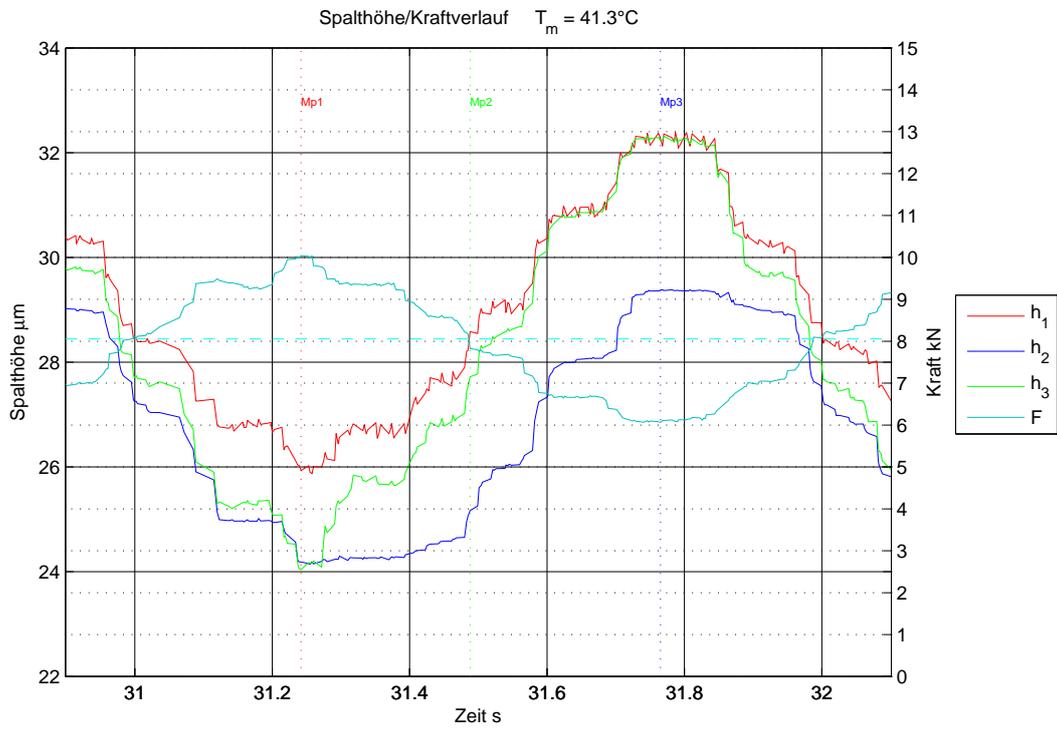
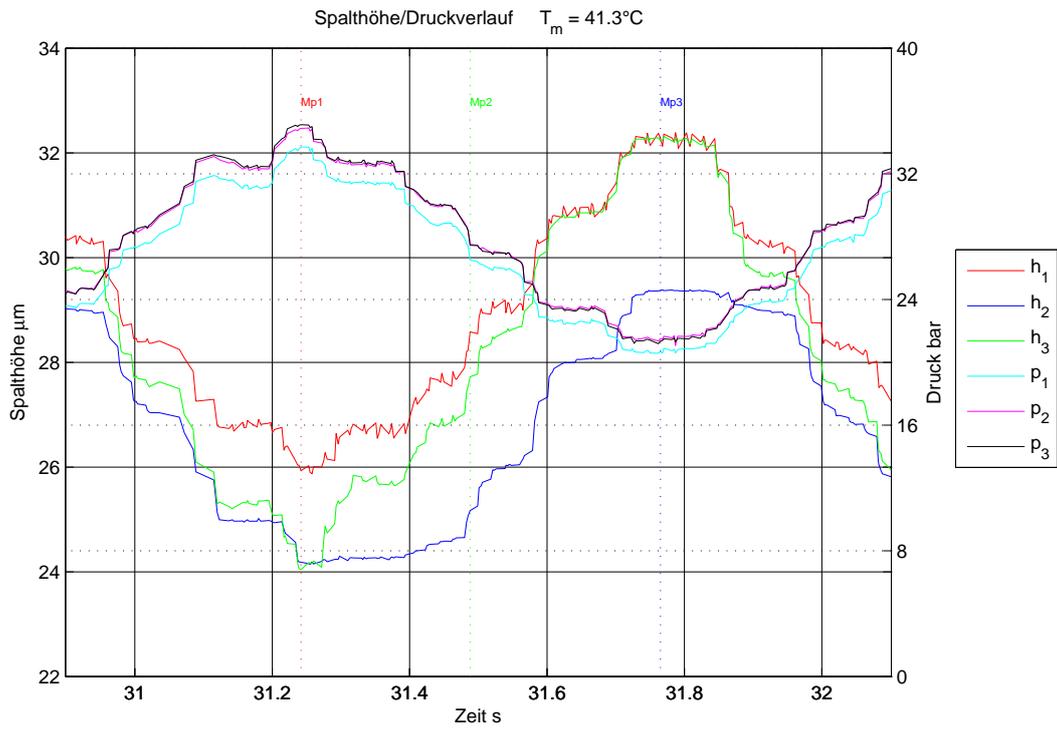
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.158593e + 001$ | $p1$ | bar | $2.089734e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.986181e + 001$ | $p2$ | bar | $2.176924e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.190527e + 001$ | $p3$ | bar | $2.169344e + 001$ |
| F | kN | $6.103564e + 000$ | T | °C | $4.120330e + 001$ |
| t | s | $4.118300e + 001$ | | | |

A.3.9. Sinus 1Hz - 1.6kN Amplitude - 6.6kN Mittellast



20120710 Spalt Sinus Blende F5

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.174756e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.397412e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.092948e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $9.062451e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.806640e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-9.875488e - 002$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $5.960547e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.522750e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.041264e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $9.188082e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-1.074219e - 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.118604e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $5.964062e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.545687e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.092980e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $9.178610e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-2.412109e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.418828e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.010442e + 001$ | T_{max} | °C | $4.177016e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $3.155271e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.036957e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.191455e + 000$ | T_{min} | °C | $3.809718e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.672980e + 000$ |



20120710 Spalt Sinus Blende F5 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.238672e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.369946e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.906240e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.650523e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $2.587158e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $2.057690e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.938574e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.490706e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.689770e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.752765e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $2.414453e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $2.106734e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.232568e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.512118e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.836695e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.754070e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $2.404053e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $2.118990e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.004460e + 001$ | T_{max} | °C | $4.135860e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $7.860031e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.133905e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.064502e + 000$ | T_{min} | °C | $4.131978e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.882000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.593213e + 001$ | $p1$ | bar | $3.369946e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.418408e + 001$ | $p2$ | bar | $3.489180e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.404053e + 001$ | $p3$ | bar | $3.512118e + 001$ |
| F | kN | $1.004460e + 001$ | T | °C | $4.134307e + 001$ |
| t | s | $3.124200e + 001$ | | | |

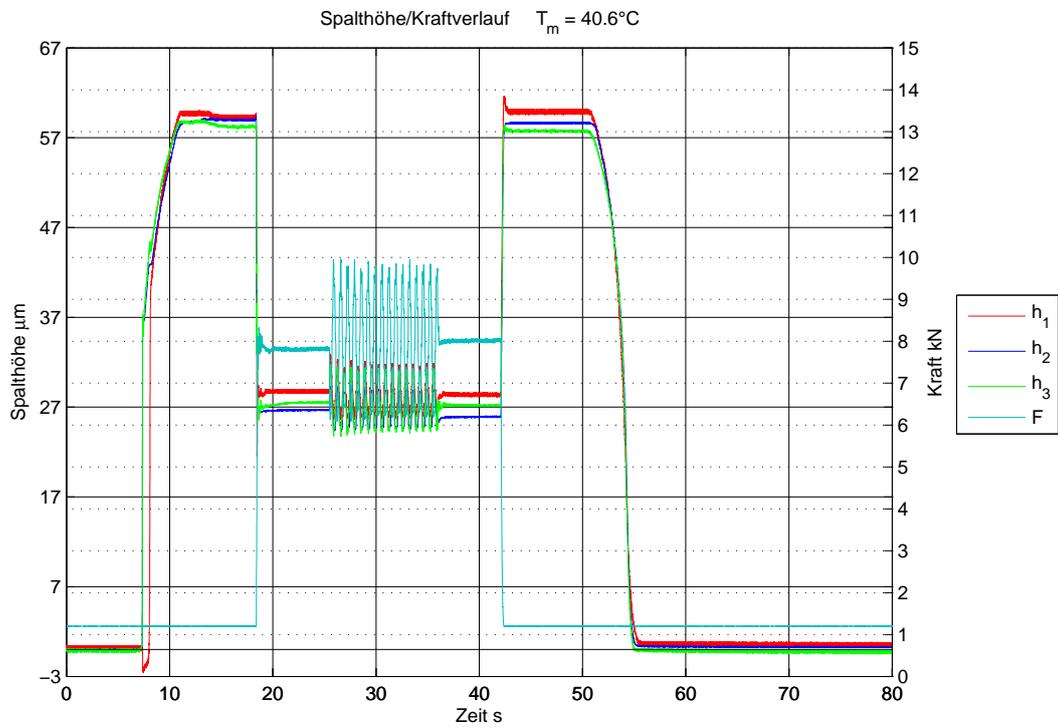
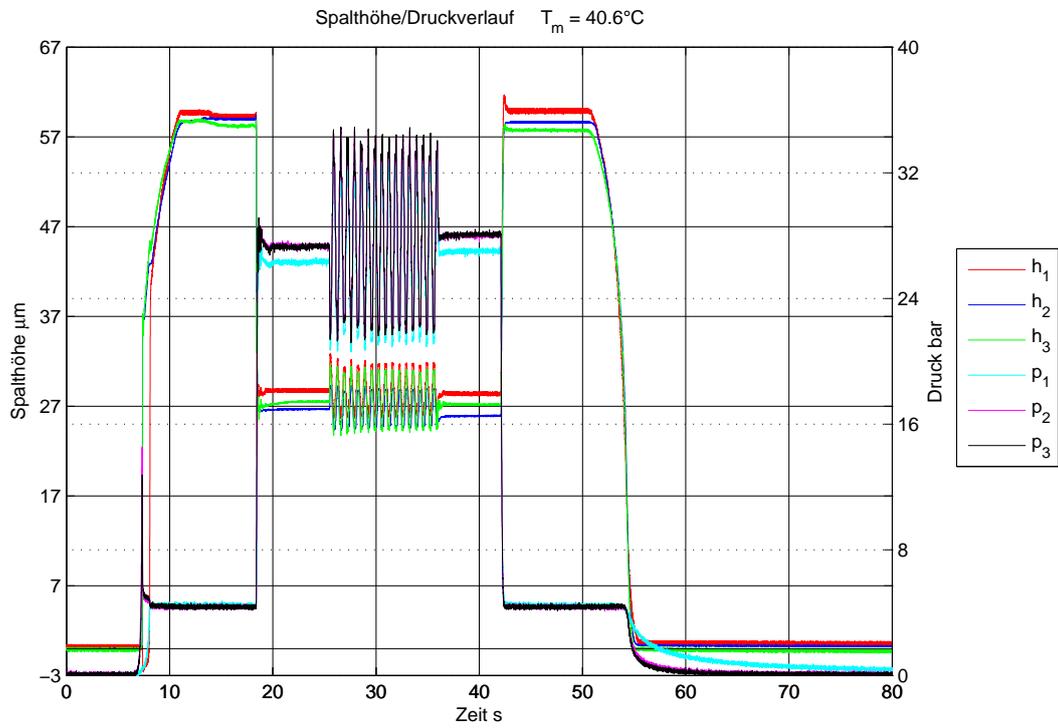
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.858350e + 001$ | $p1$ | bar | $2.651257e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.516894e + 001$ | $p2$ | bar | $2.750655e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.772314e + 001$ | $p3$ | bar | $2.744601e + 001$ |
| F | kN | $7.824756e + 000$ | T | °C | $4.133531e + 001$ |
| t | s | $3.148800e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

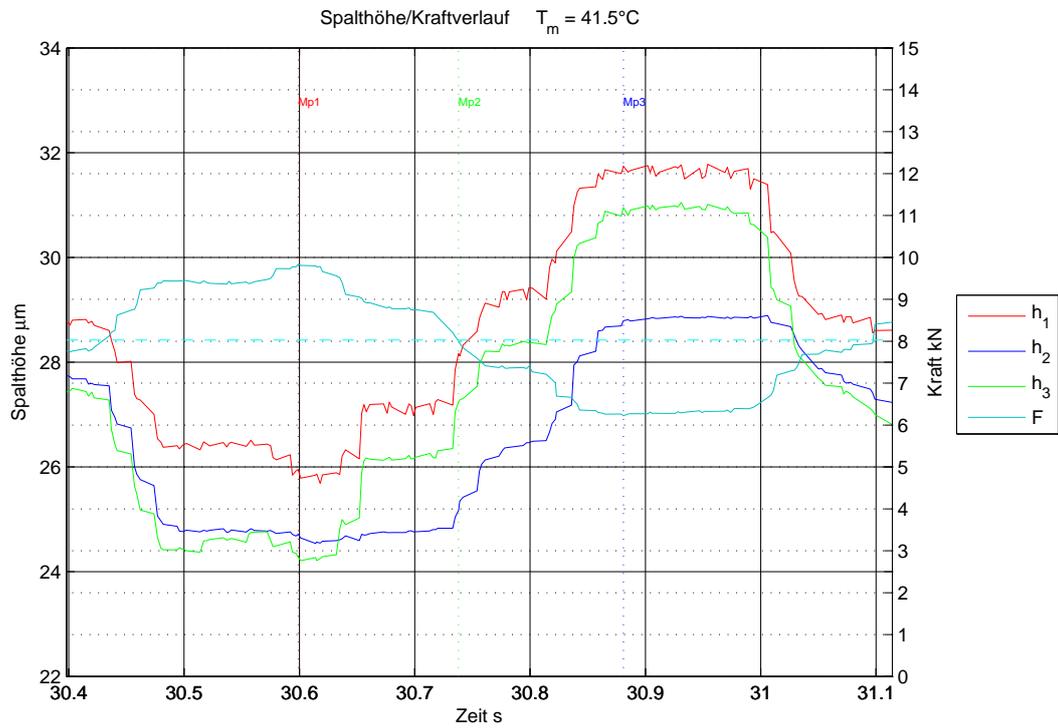
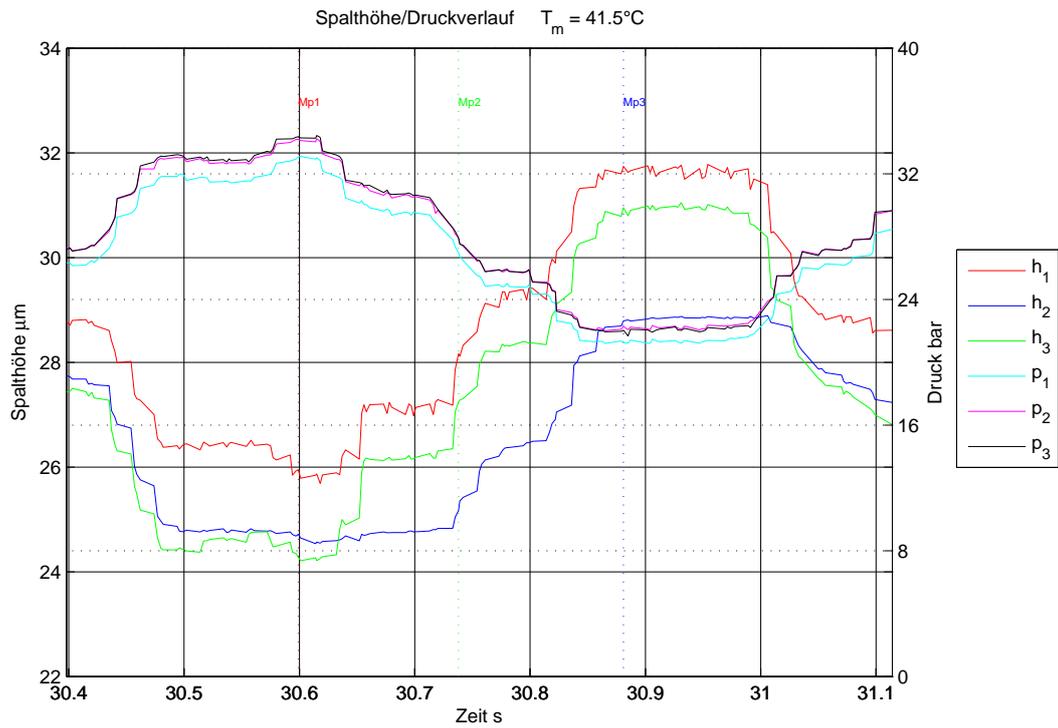
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.227344e + 001$ | $p1$ | bar | $2.068372e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.937549e + 001$ | $p2$ | bar | $2.150984e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.222607e + 001$ | $p3$ | bar | $2.135775e + 001$ |
| F | kN | $6.064502e + 000$ | T | °C | $4.135084e + 001$ |
| t | s | $3.176500e + 001$ | | | |

A.3.10. Sinus 1.5Hz - 1.6kN Amplitude - 6.6kN Mittellast



20120710 Spalt Sinus Blende F6

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.167236e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.345532e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.458338e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $9.367776e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-2.596191e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.140137e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $5.945703e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.469344e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.402712e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $9.497197e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-4.736328e - 002$ | $p2_{min}$ | bar | $-8.134277e - 002$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $5.899707e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.492281e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.401994e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $9.473894e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-5.146484e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.266240e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.962817e + 000$ | T_{max} | °C | $4.195653e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $3.159766e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.056628e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193286e + 000$ | T_{min} | °C | $3.811271e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $3.843820e + 000$ |



20120710 Spalt Sinus Blende F6 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.177832e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.310437e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.860648e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.695884e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $2.568408e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $2.120251e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.889111e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.423567e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.654195e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.797152e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $2.453808e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $2.201338e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.104834e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.443453e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.737774e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.800494e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $2.421094e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $2.167819e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.838306e + 000$ | T_{max} | °C | $4.148285e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $7.997209e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.146067e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.223193e + 000$ | T_{min} | °C | $4.142072e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $6.213000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.595117e + 001$ | $p1$ | bar | $3.307385e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.471582e + 001$ | $p2$ | bar | $3.418990e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.428027e + 001$ | $p3$ | bar | $3.435824e + 001$ |
| F | kN | $9.838306e + 000$ | T | °C | $4.146732e + 001$ |
| t | s | $3.059900e + 001$ | | | |

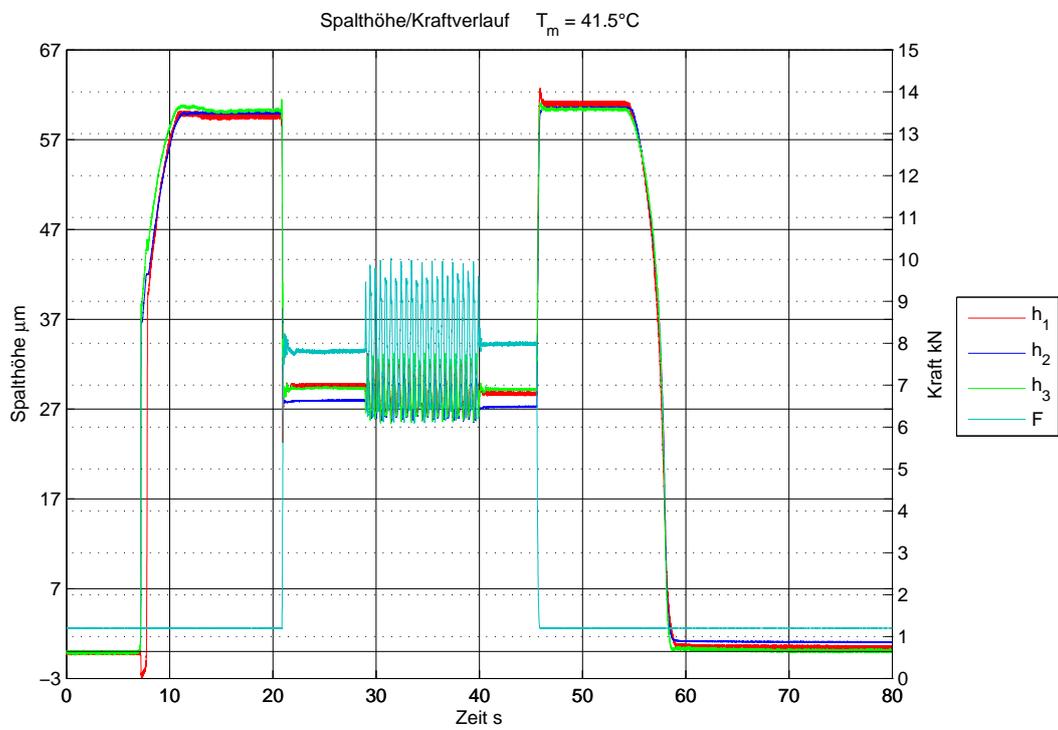
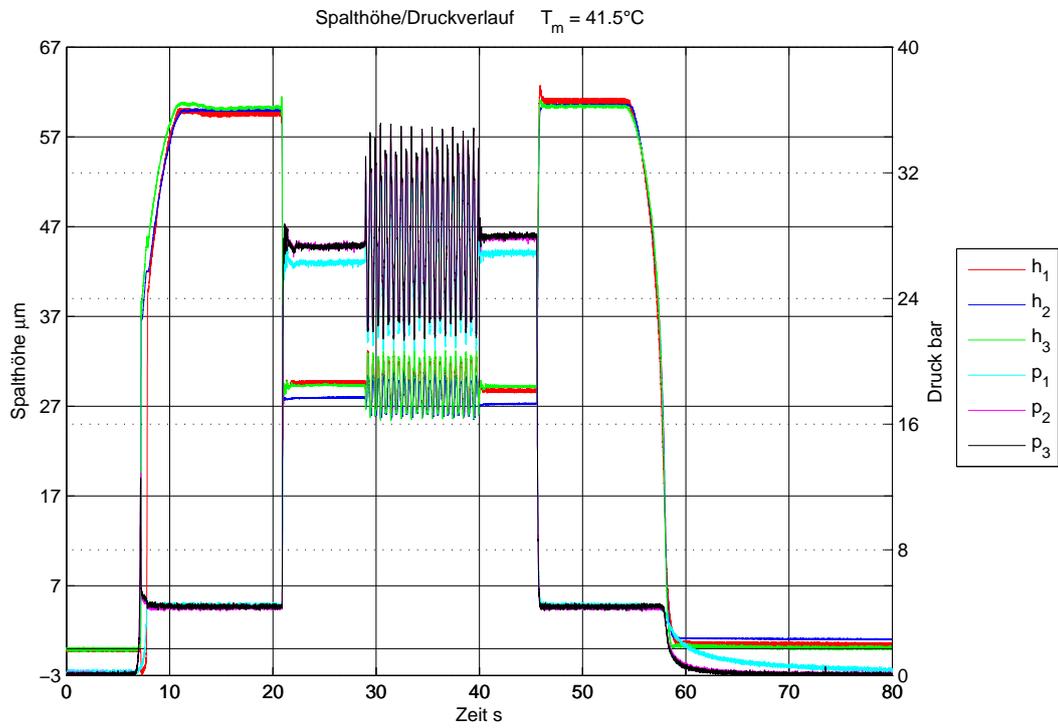
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.816210e + 001$ | $p1$ | bar | $2.698560e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.516943e + 001$ | $p2$ | bar | $2.791854e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.724219e + 001$ | $p3$ | bar | $2.793429e + 001$ |
| F | kN | $8.012134e + 000$ | T | °C | $4.145955e + 001$ |
| t | s | $3.073800e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

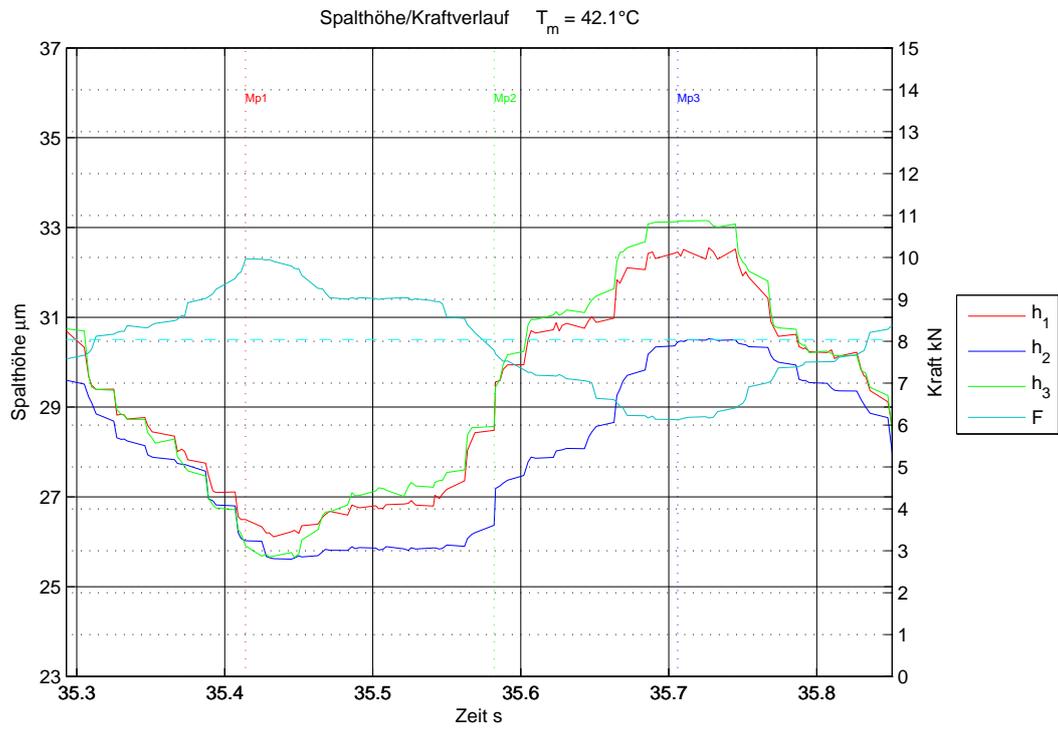
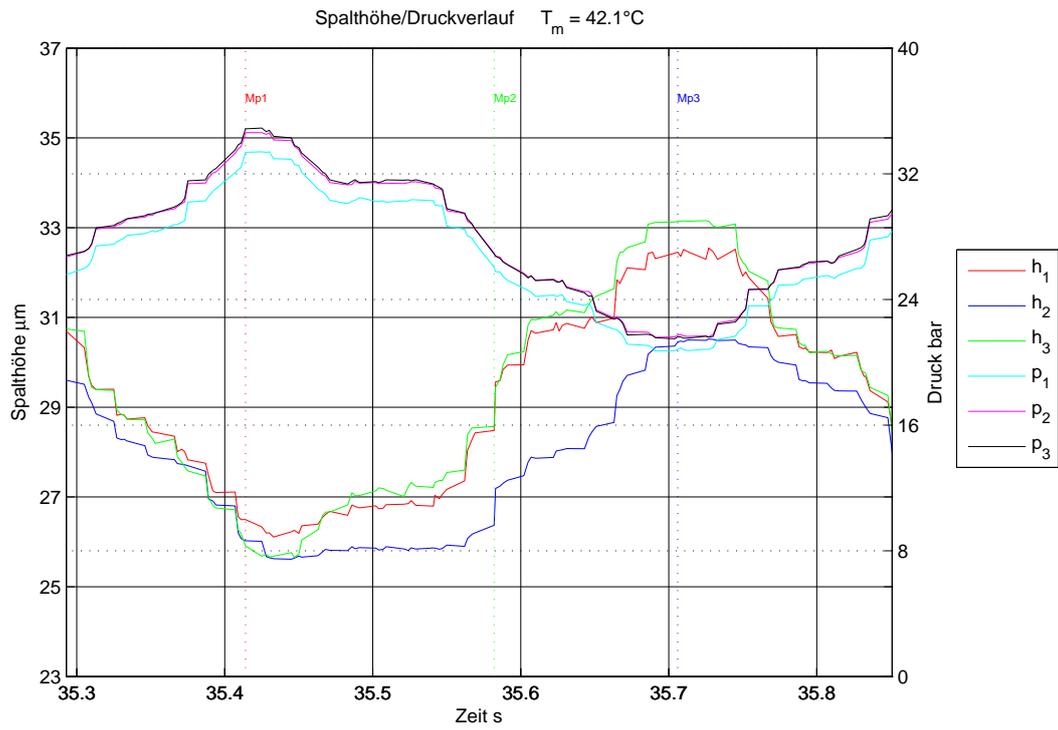
| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.174218e + 001$ | $p1$ | bar | $2.126355e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.879150e + 001$ | $p2$ | bar | $2.228804e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.095215e + 001$ | $p3$ | bar | $2.204440e + 001$ |
| F | kN | $6.223193e + 000$ | T | °C | $4.145179e + 001$ |
| t | s | $3.088100e + 001$ | | | |

A.3.11. Sinus 2Hz - 1.6kN Amplitude - 6.6kN Mittellast



20120710 Spalt Sinus Blende F7

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $6.270605e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.360791e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.729308e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $9.847944e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-3.173828e + 000$ | $p1_{min}$ | bar | $-7.202148e - 003$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $6.067383e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.495284e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.736221e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $9.991912e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-2.441406e - 002$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.271191e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.147949e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.515170e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.771180e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.000605e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-3.461915e - 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-1.724004e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.002324e + 001$ | T_{max} | °C | $4.223608e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $3.255491e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.146763e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.193286e + 000$ | T_{min} | °C | $3.998415e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $2.251930e + 000$ |



20120710 Spalt Sinus Blende F7 Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $3.254639e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.339429e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $2.924999e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.676806e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $2.610937e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $2.072949e + 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $3.052148e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $3.461714e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.798983e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.779306e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $2.561230e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $2.158614e + 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $3.315625e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $3.490756e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.939539e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.784551e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $2.565136e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $2.149508e + 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $9.959766e + 000$ | T_{max} | °C | $4.215066e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $7.944859e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.211582e + 001$ |
| F_{min} | kN | $6.120654e + 000$ | T_{min} | °C | $4.207301e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $7.765000e - 002$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.649560e + 001$ | $p1$ | bar | $3.336377e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.602246e + 001$ | $p2$ | bar | $3.461714e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.590869e + 001$ | $p3$ | bar | $3.486178e + 001$ |
| F | kN | $9.959766e + 000$ | T | °C | $4.213513e + 001$ |
| t | s | $3.541400e + 001$ | | | |

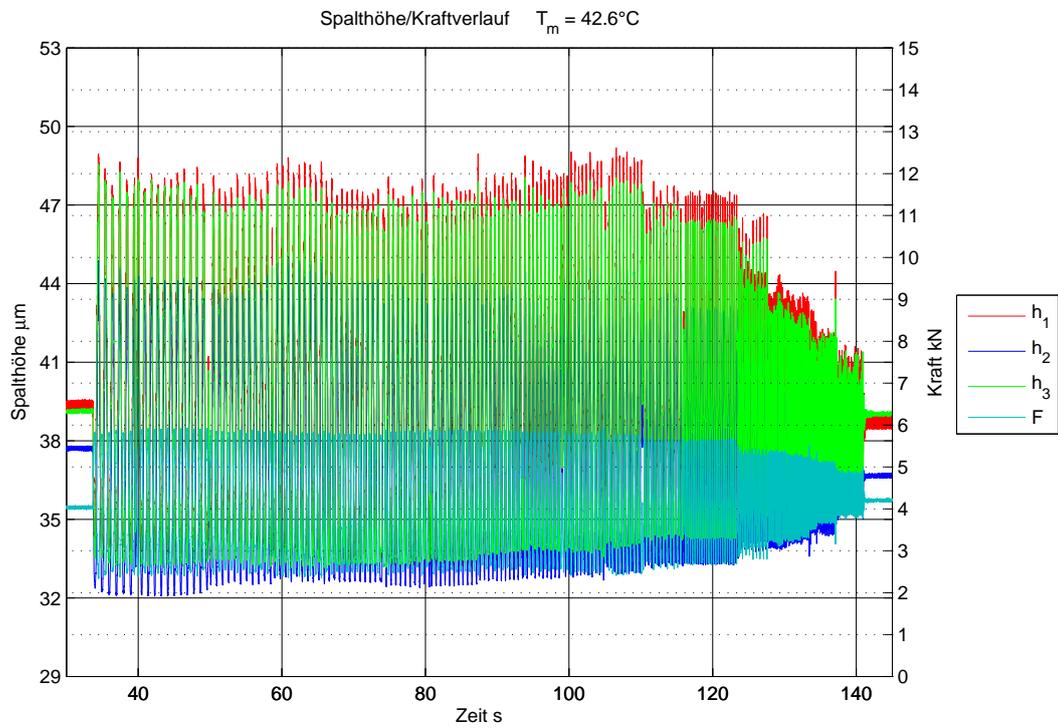
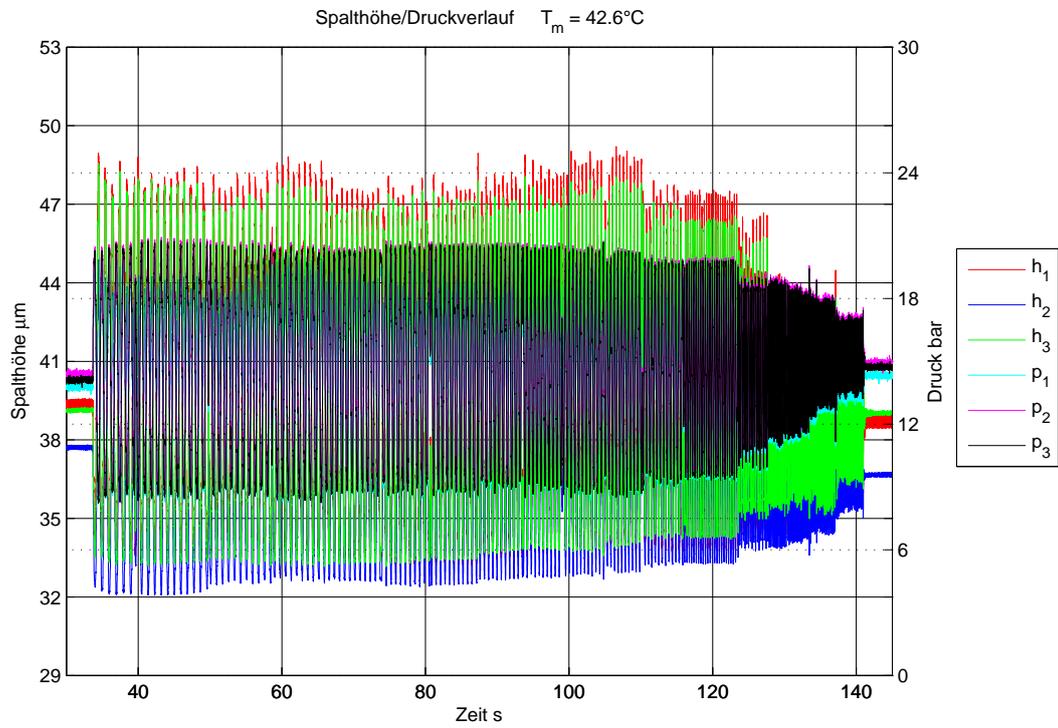
Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $2.848096e + 001$ | $p1$ | bar | $2.605481e + 001$ |
| $h2$ | μm | $2.636767e + 001$ | $p2$ | bar | $2.695723e + 001$ |
| $h3$ | μm | $2.857129e + 001$ | $p3$ | bar | $2.689669e + 001$ |
| F | kN | $7.782031e + 000$ | T | °C | $4.211184e + 001$ |
| t | s | $3.558200e + 001$ | | | |

Messpunkt 3

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $3.245557e + 001$ | $p1$ | bar | $2.082104e + 001$ |
| $h2$ | μm | $3.045312e + 001$ | $p2$ | bar | $2.172347e + 001$ |
| $h3$ | μm | $3.314160e + 001$ | $p3$ | bar | $2.161715e + 001$ |
| F | kN | $6.120654e + 000$ | T | °C | $4.212737e + 001$ |
| t | s | $3.570600e + 001$ | | | |

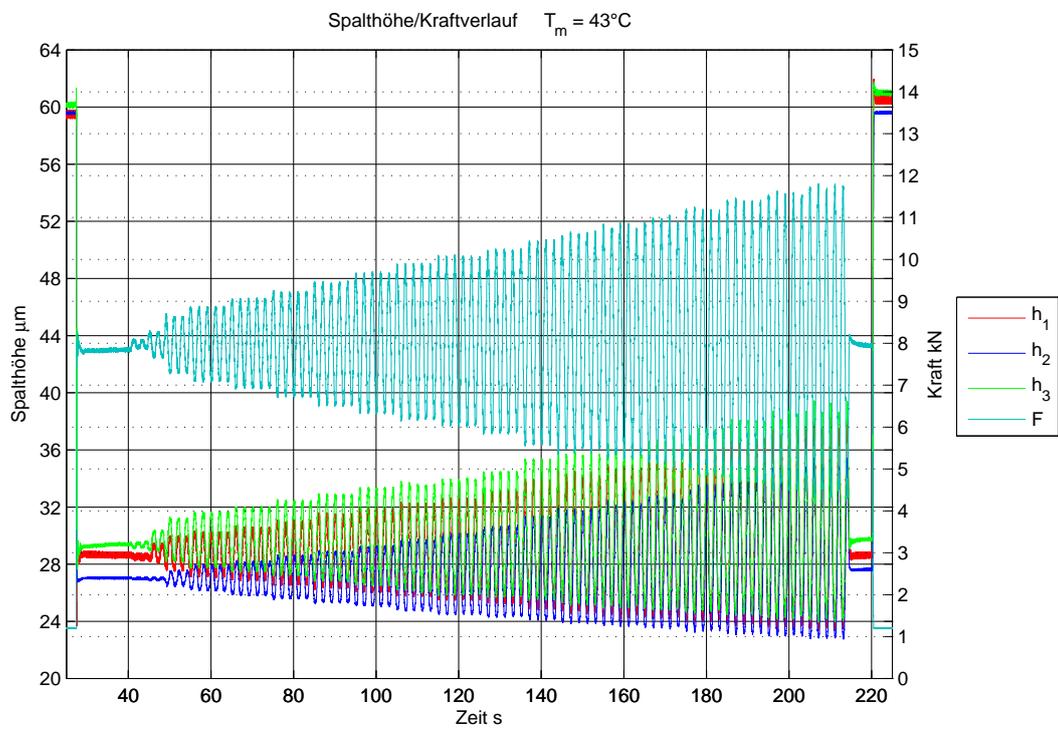
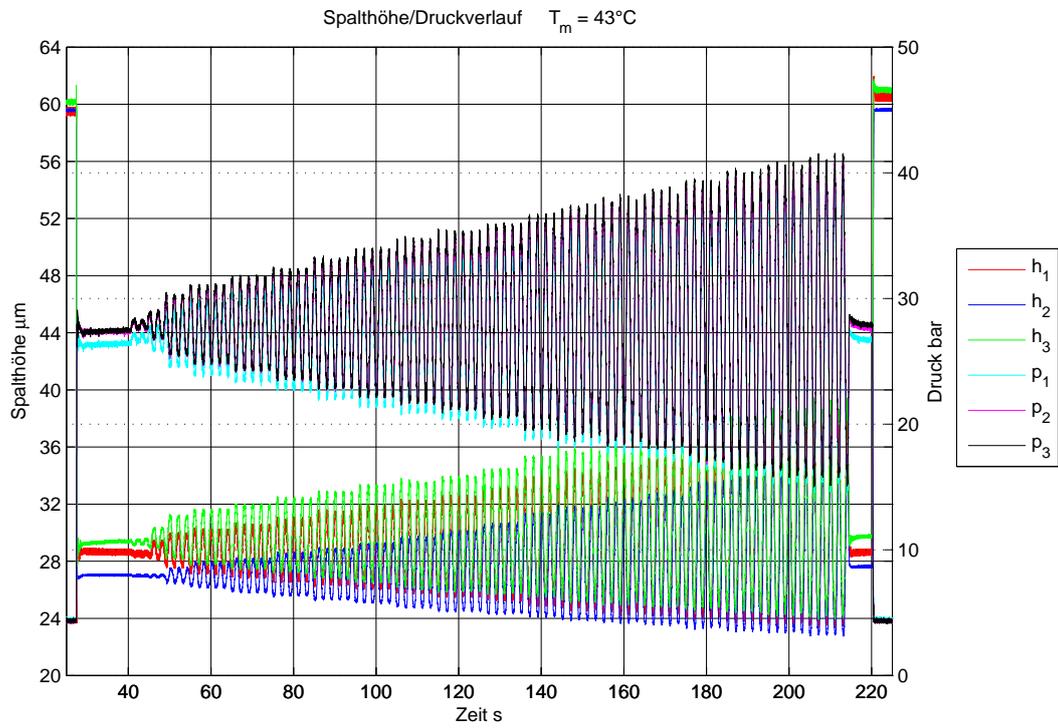
A.3.12. Sinus 1-2Hz - 1.6kN Amplitude - 3kN Mittellast



20120710 Spalt Sinus Blende F8

| | | | | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
| $h1_{max}$ | μm | $4.919385e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $2.010388e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.958353e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $1.415993e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $3.317529e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $8.232544e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $4.502246e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $2.093001e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $3.745982e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.475277e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $3.207080e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $8.463579e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $4.856006e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $2.077792e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.955121e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.454146e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $3.316162e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $8.235192e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $5.931445e + 000$ | T_{max} | °C | $4.283401e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $4.148576e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.261670e + 001$ |
| F_{min} | kN | $2.336475e + 000$ | T_{min} | °C | $4.230597e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $5.280400e - 001$ |

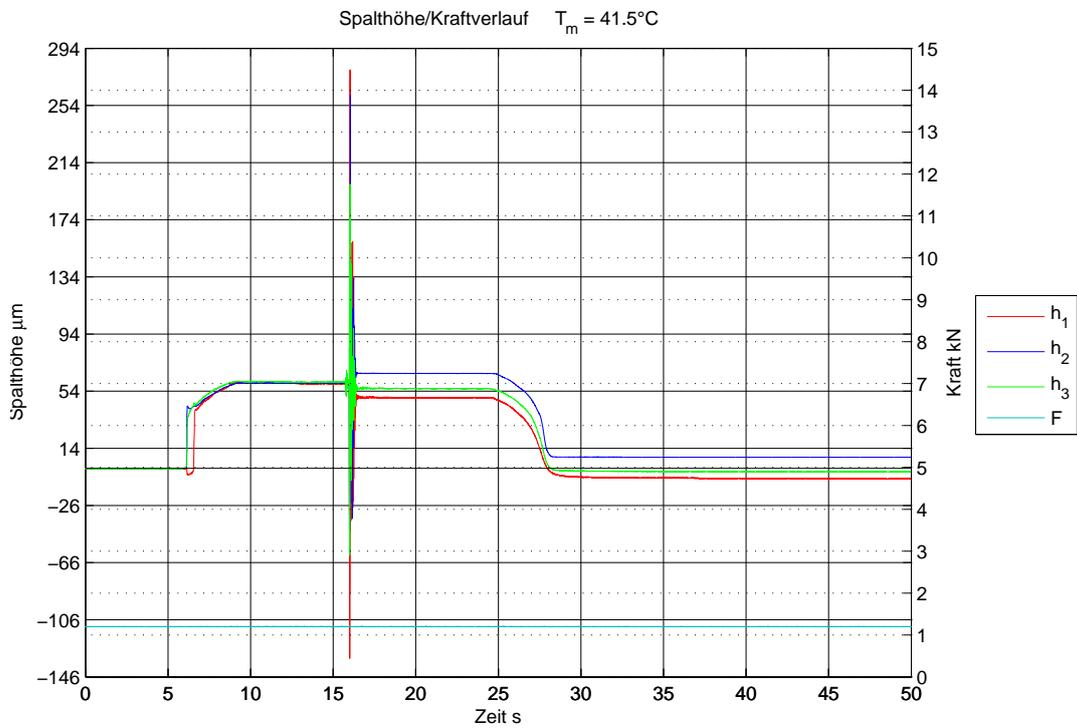
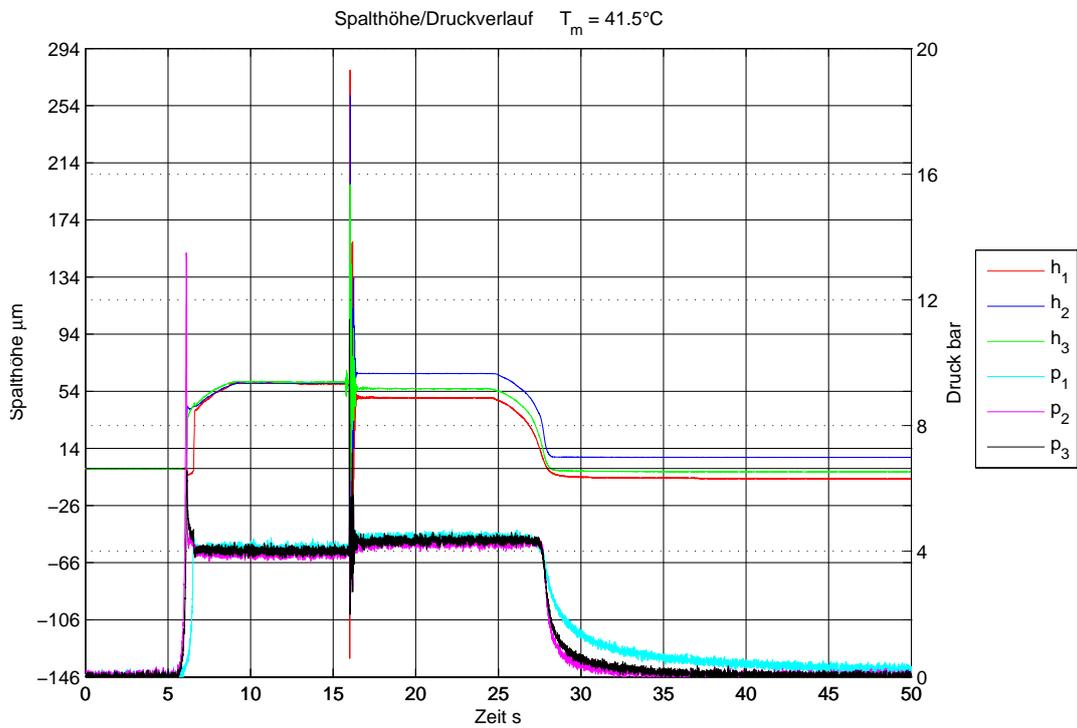
A.3.13. Sinus 0.5Hz - 0-2kN Amplitude - 6.6kN Mittellast



20120710 Spalt Sinus Blende F9

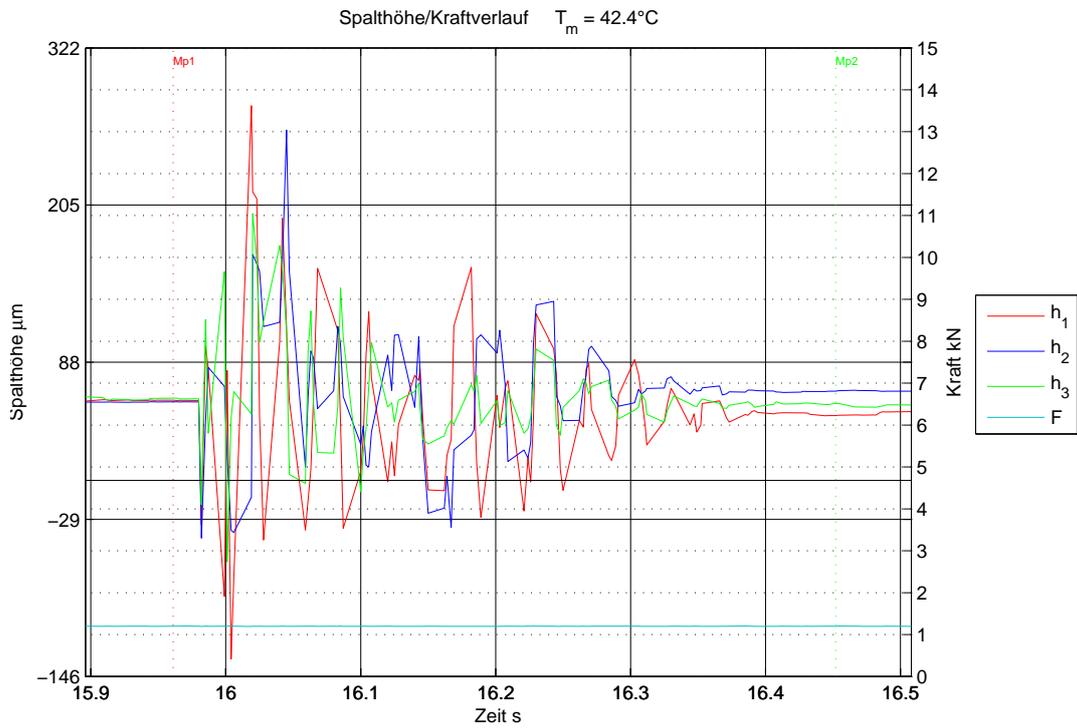
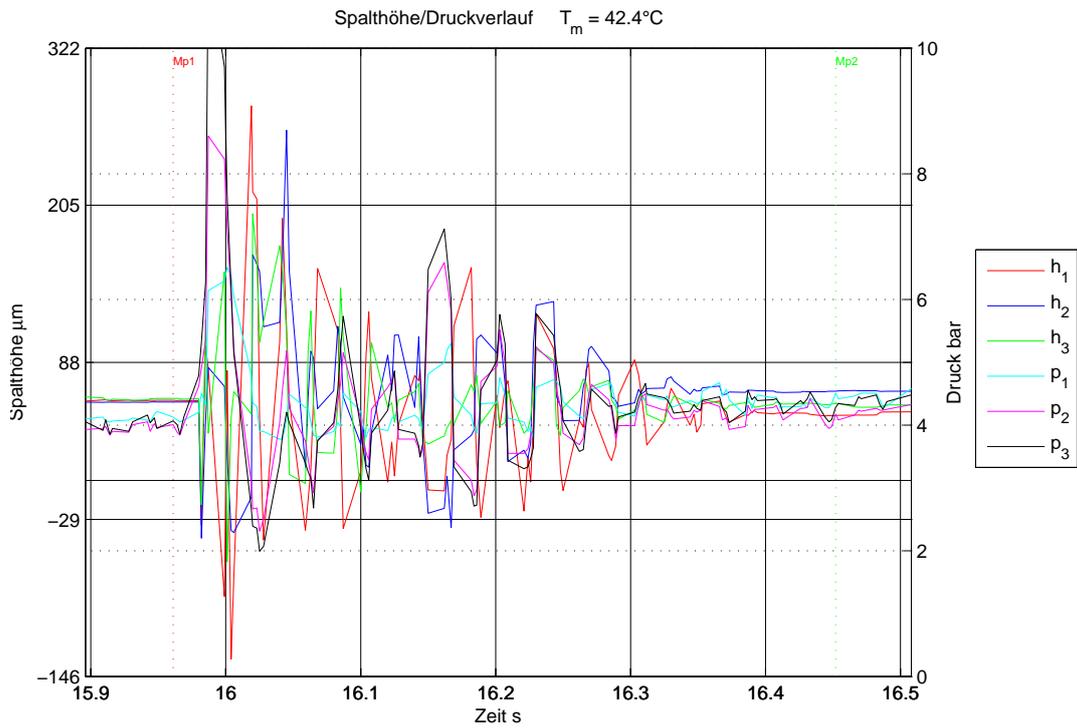
| | | | | | |
|---------------|---------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|
| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
| $h1_{max}$ | μm | $6.193994e + 001$ | $p1_{max}$ | bar | $3.949780e + 001$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $3.012702e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.606752e + 001$ |
| $h1_{min}$ | μm | $2.337646e + 001$ | $p1_{min}$ | bar | $4.173706e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $5.990967e + 001$ | $p2_{max}$ | bar | $4.088851e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.849128e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $2.699676e + 001$ |
| $h2_{min}$ | μm | $2.275928e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $4.114824e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $6.175195e + 001$ | $p3_{max}$ | bar | $4.152987e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $3.104508e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $2.717830e + 001$ |
| $h3_{min}$ | μm | $2.394726e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $4.130578e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.179937e + 001$ | T_{max} | °C | $4.313685e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $7.742662e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.296047e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.194507e + 000$ | T_{min} | °C | $4.248457e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $6.522800e - 001$ |

A.3.14. Stoss 100N



20120710 Stoss Blende 100N

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $2.790029e + 002$ | $p1_{max}$ | bar | $6.508301e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $1.859232e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $2.123984e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-1.329575e + 002$ | $p1_{min}$ | bar | $-1.750488e - 001$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.608388e + 002$ | $p2_{max}$ | bar | $1.349898e + 001$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $2.961933e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $1.897698e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-4.296191e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $-1.881543e - 001$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.986485e + 002$ | $p3_{max}$ | bar | $1.137850e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $2.283302e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $1.936741e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-6.063672e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $-2.029180e - 001$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.207324e + 000$ | T_{max} | °C | $6.371486e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.198794e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.149233e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.192065e + 000$ | T_{min} | °C | $4.018604e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $2.352882e + 001$ |



20120710 Stoss Blende 100N Detail

| Lagerspalt h1 | | | Taschendruck p1 | | |
|---------------|---------|--------------------|-----------------|-----|-------------------|
| $h1_{max}$ | μm | $2.790029e + 002$ | $p1_{max}$ | bar | $6.508301e + 000$ |
| $h1_{mittel}$ | μm | $5.277656e + 001$ | $p1_{mittel}$ | bar | $4.359532e + 000$ |
| $h1_{min}$ | μm | $-1.329575e + 002$ | $p1_{min}$ | bar | $3.776978e + 000$ |
| Lagerspalt h2 | | | Taschendruck p2 | | |
| $h2_{max}$ | μm | $2.608388e + 002$ | $p2_{max}$ | bar | $8.600908e + 000$ |
| $h2_{mittel}$ | μm | $6.558601e + 001$ | $p2_{mittel}$ | bar | $4.252390e + 000$ |
| $h2_{min}$ | μm | $-4.296191e + 001$ | $p2_{min}$ | bar | $2.314287e + 000$ |
| Lagerspalt h3 | | | Taschendruck p3 | | |
| $h3_{max}$ | μm | $1.986485e + 002$ | $p3_{max}$ | bar | $1.137850e + 001$ |
| $h3_{mittel}$ | μm | $6.122089e + 001$ | $p3_{mittel}$ | bar | $4.326340e + 000$ |
| $h3_{min}$ | μm | $-6.063672e + 001$ | $p3_{min}$ | bar | $1.994348e + 000$ |
| Kraft F | | | Temperatur T | | |
| F_{max} | kN | $1.203052e + 000$ | T_{max} | °C | $6.371486e + 001$ |
| F_{mittel} | kN | $1.198547e + 000$ | T_{mittel} | °C | $4.242564e + 001$ |
| F_{min} | kN | $1.192676e + 000$ | T_{min} | °C | $4.216619e + 001$ |
| | | | ΔT | °C | $2.154867e + 001$ |

Messpunkt 1

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $5.971045e + 001$ | $p1$ | bar | $4.127930e + 000$ |
| $h2$ | μm | $5.845362e + 001$ | $p2$ | bar | $4.008013e + 000$ |
| $h3$ | μm | $6.120019e + 001$ | $p3$ | bar | $4.069543e + 000$ |
| F | kN | $1.200000e + 000$ | T | °C | $4.218949e + 001$ |
| t | s | $1.596100e + 001$ | | | |

Messpunkt 2

| | | | | | |
|------|---------|-------------------|------|-----|-------------------|
| $h1$ | μm | $4.827100e + 001$ | $p1$ | bar | $4.509399e + 000$ |
| $h2$ | μm | $6.645264e + 001$ | $p2$ | bar | $4.175859e + 000$ |
| $h3$ | μm | $5.728515e + 001$ | $p3$ | bar | $4.283166e + 000$ |
| F | kN | $1.195728e + 000$ | T | °C | $4.225161e + 001$ |
| t | s | $1.645200e + 001$ | | | |

A.4. Datenblätter

MESSPROTOKOLL

Serie KTB82



| | | |
|---------------------------|---|---|
| Kraftaufnehmer-Typ | : | KTB82 K 20KN 2410 D |
| Serien-Nr. | : | 07120463 |
| Messbereich | : | 20kN |
| Belastungsart | : | Druck |
| Versorgungsspannung | : | 24V |
| Ausgangssignal | : | 0...10V |
| Kabel-/Steckerbelegung | : | ($\Delta\omega$) br = Vers.+ / ws = Vers.- gn = Ausg.+ / ge = Tx.- gr = Rx. / rsl = GW1 bl = GW2 / rt = Tara Schirm auf Gehäuse |

TECHNISCHE DATEN:

Grenzwerte des Aufnehmers

| | | |
|----------------------------|---|---------------------------|
| Grenzlast / Bruchlast | : | 150 % F.S. / 200 % F.S. |
| Nenn-/Gebrauchs-Temperatur | : | -10...40 °C / -20...60 °C |

Kennwerte des Aufnehmers

| | | |
|---|---|-----------------------------------|
| Nichtlinearität | : | 0,08 % F.S. |
| Hysterese | : | 0,08 % F.S. |
| max. Kennlinienabweichung | : | 0,2 % F.S. |
| Temperaturkoeffizient (Offset / Kennwert) | : | 0,05 % F.S./10K / 0,05 % F.S./10K |
| Ein-/Ausgangswiderstand | : | --- / --- Ohm |

MESSWERTE:

| | | |
|-----------------|---|----------|
| Offset | : | 0,023 V |
| Nennsignal | : | 10,007 V |
| Ausgangsspanne | : | 9,984 V |
| Nichtlinearität | : | <0,04 |

Messung mit Referenzsensoren in einer Messkette. Die Messergebnisse beziehen sich auf den Einbauzustand des Sensors unter den Umgebungsbedingungen, Temperatur 21 °C \pm 2°C, rel.Feuchte 65 % \pm 5% und Luftdruck 948 hPa \pm 50 hPa.

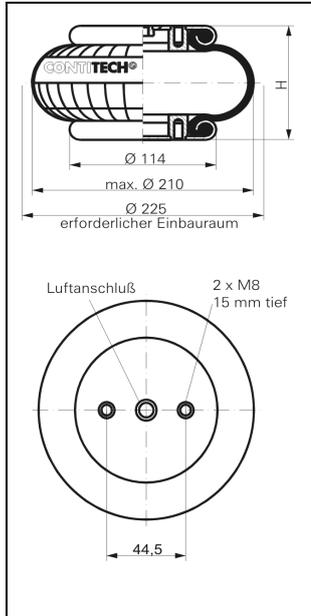
Putzbrunn, den: 14.02.2012

Prüfer / -in : Schmidt

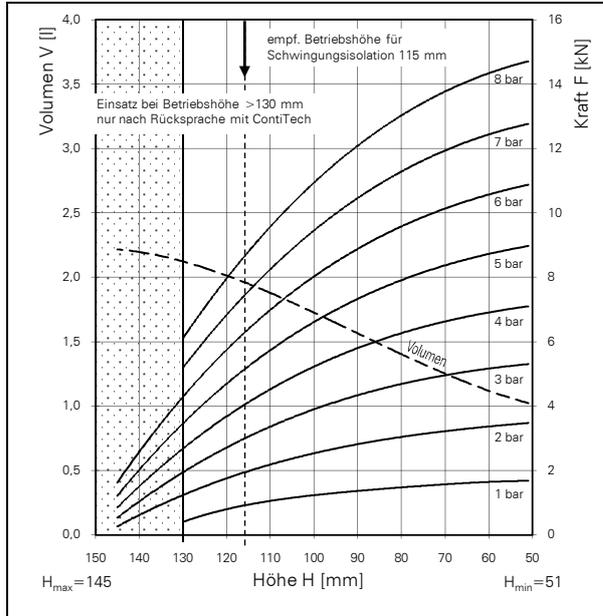
Megatron Industriesensoren * Geschäftsbereich der Megatron Elektronik AG & Co.
Hermann-Oberth-Str. 7 * 85640 Putzbrunn / München * Germany
Tel. : 089/46094-0 * Fax. 089/46094-101
www.megatron.de

FS 100-10 CI

CONTI® Einfaltenbalg



FS 100-10 CI



Kraft-Weg-Diagramm

Bestelldaten

| | |
|---|-------------|
| Ausführung | Artikel-Nr. |
| nur Gummibalg | 63457 |
| mit Bördelplatten, G 1/4 Luftanschluss | 65745 |

Technische Daten

| | |
|------------------|--------|
| Minimaldruck | 0 bar |
| Rückstellkraft | ≤ 40 N |
| Gewicht komplett | 1,4 kg |

Weitere Ausführungen auf Anfrage

Schwingungsisolation - Dynamische Kennwerte

Betriebshöhe H: empf. 115mm, minimal 100mm

| Druck p [bar] | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Vol V [l] |
|-----------------------------------|-----|------|------|------|------|------|-----------|
| Tragkraft F [kN] | 3,1 | 4,3 | 5,4 | 6,5 | 7,6 | 8,8 | 1,95 |
| Steifigkeit c [N/cm] | 987 | 1268 | 1559 | 1851 | 2136 | 2418 | |
| Eigenfrequenz f ₀ [Hz] | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | |

Pneumatische Anwendung - Statische Kennwerte

Kraft F [kN]

| Druck p [bar] | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Vol. [l] | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|------|------|----------|------|
| Höhe H [mm] | 130 | 2,0 | 2,7 | 3,5 | 4,3 | 5,2 | 6,1 | 2,13 |
| | 110 | 3,4 | 4,5 | 5,7 | 7,0 | 8,3 | 9,6 | 1,87 |
| | 90 | 4,3 | 5,8 | 7,3 | 8,9 | 10,4 | 12,0 | 1,58 |
| | 70 | 5,0 | 6,6 | 8,4 | 10,2 | 12,0 | 13,8 | 1,25 |



Montagehinweise
M 8 = 25 Nm
G 1/4 = 25 Nm

Prüfbedingungen: Raumtemperatur / Kraft- Weg- Daten quasistatisch / dynamische Daten bei 1 Hz

Bei Rückfragen Fax +49 (0)511-938-5162 oder <http://www.contitech.de/balgzylinder>



Druckregelventile → Proportionalventile

E/P Druckregelventil, Serie ED05

- Qn= 1000 l/min ► Druckluftanschluss Ausgang: G 1/4 ► Elektr. Anschluss: Stecker, ISO 15217, Form C
- Signalanschluss: Eingang und Ausgang, Stecker, ISO 15217, Form C



| | |
|--------------------------------------|---|
| Bauart | Sitzventil |
| Ansteuerung | analog |
| Zertifikate | CE-Konformitätserklärung |
| Umgebungstemperatur min./max. | +0 °C / +70 °C |
| Mediumtemperatur min./max. | +0 °C / +70 °C |
| Medium | Druckluft |
| Max. Partikelgröße | 50 µm |
| Max. Ölgehalt der Druckluft | 1 mg/m³ |
| Qn | 1000 l/min |
| Einbaulage | $\alpha = 0-90^\circ \beta = 0-90^\circ$ |
| Hysterese | < 0,06 bar |
| Betriebsspannung DC | 24 V |
| Spannungstoleranz DC | -20% / +20% |
| Zulässige Oberwelligkeit | 5% |
| Stromaufnahme max. | 1,3 A |
| Schutzart mit Leitungsdose / Stecker | IP 65 |
| Druckluftanschluss Eingang | G 1/4 |
| Druckluftanschluss Ausgang | G 1/4 |
| Druckluftanschluss Entlüftung | G 1/4 |
| Gewicht | 1,1 kg |
| | |
| Werkstoffe: | |
| Gehäuse | Aluminium-Druckguss; Stahl |
| Dichtung | Hydrierter Acrylnitril-Butadien-Kautschuk |

Nenndurchfluss Qn bei Betriebsdruck 7 bar, bei Sekundärdruck 6 bar und $\Delta p = 0,2$ bar

Technische Bemerkungen

- Der Drucktaupunkt muss mindestens 15 °C unter der Umgebungs- und Mediumtemperatur liegen und darf max. 3 °C betragen.
- Der Ölgehalt der Druckluft muss über die gesamte Lebensdauer konstant bleiben.
- Verwenden Sie ausschließlich von Bosch Rexroth zugelassene Öle, siehe Kapitel „Technische Informationen“.
- Bei ölfreier, getrockneter Luft sind weitere Einbaulagen auf Anfrage möglich.
- Die Schutzart wird nur erreicht, wenn der Stecker ordnungsgemäß montiert ist. Nähere Informationen siehe Bedienungsanleitung.

| | Betriebsdruck Max. | Druckregelbereich min./max. | Sollwerteingang | Istwertausgang | Abb. | Bem. | Materialnummer |
|--|--------------------|-----------------------------|-----------------|----------------|--------|------|-------------------|
| | [bar] | [bar] | | | | | |
| | 11 | 0 / 6 | 0 - 20 mA | 0 - 20 mA | Fig. 1 | - | 5610141300 |
| | | 0 / 6 | 4 - 20 mA | 4 - 20 mA | Fig. 1 | - | 5610141310 |
| | | 0 / 6 | 0 - 10 V | 0 - 10 V | Fig. 2 | - | 5610141330 |
| | | 0 / 6 | 0 - 10 V | - | Fig. 3 | 1) | 5610141320 |
| | | 0 / 10 | 0 - 20 mA | 0 - 20 mA | Fig. 1 | - | 5610141500 |
| | | 0 / 10 | 4 - 20 mA | 4 - 20 mA | Fig. 1 | - | 5610141510 |
| | | 0 / 10 | 0 - 10 V | 0 - 10 V | Fig. 2 | - | 5610141530 |
| | | 0 / 10 | 0 - 10 V | - | Fig. 3 | 1) | 5610141520 |

1) Ausgang 10V konstant zur Speisung eines Sollwertpotentiometers.
 Betriebsdruck min. = 0,5 bar + max. benötigten Sekundärdruck
 Zusätzliche Druckregelbereiche auf Anfrage

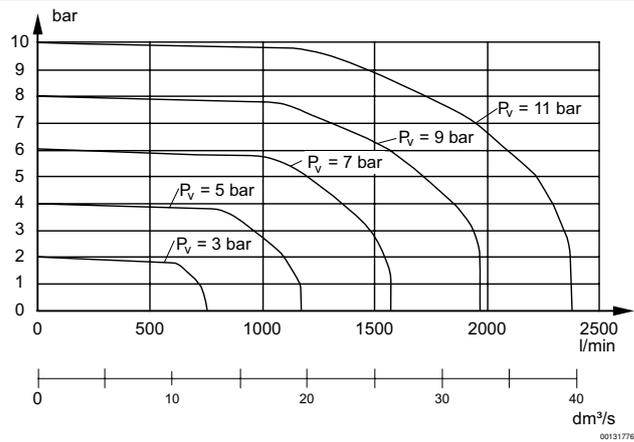
Ergänzungsprodukte
 Fett markierte Materialnummern sind ab Zentrallager Deutschland verfügbar, Detailinformationen siehe Warenkorb
 Pneumatik-Katalog, Online-PDF, Stand 2011-11-05, © Bosch Rexroth AG, Änderungen vorbehalten

Druckregelventile → Proportionalventile

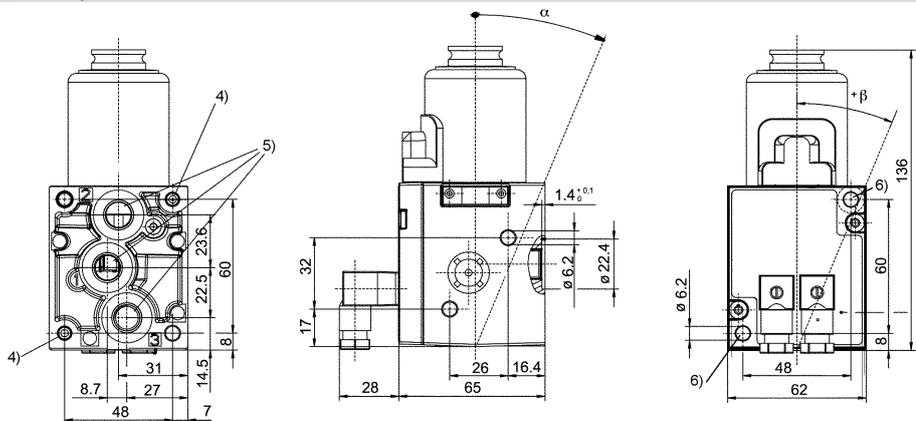
E/P Druckregelventil, Serie ED05

- ▶ Qn= 1000 l/min ▶ Druckluftanschluss Ausgang: G 1/4 ▶ Elektr. Anschluss: Stecker, ISO 15217, Form C
- ▶ Signalanschluss: Eingang und Ausgang, Stecker, ISO 15217, Form C

Durchflussdiagramm



Abmessungen



- 4) Kernloch 15 tief für selbstschneidende Schraube M6
- 5) Universell einsetzbares Gewinde für G1/4 nach ISO 228/1:2000 und 1/4-27 NPTF
- 6) Durchgangsloch

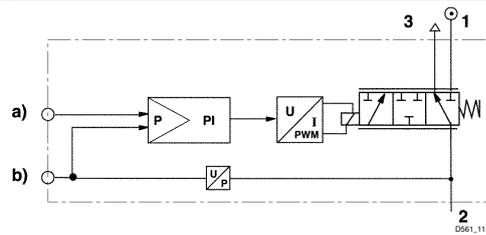
Ergänzungsprodukte
 Fett markierte Materialnummern sind ab Zentrallager Deutschland verfügbar, Detailinformationen siehe Warenkorb
 Pneumatik-Katalog, Online-PDF, Stand 2011-11-05, © Bosch Rexroth AG, Änderungen vorbehalten

Druckregelventile → Proportionalventile

E/P Druckregelventil, Serie ED05

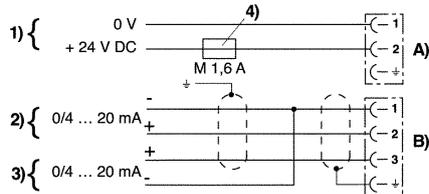
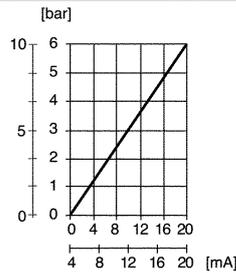
- ▶ Qn= 1000 l/min ▶ Druckluftanschluss Ausgang: G 1/4 ▶ Elektr. Anschluss: Stecker, ISO 15217, Form C
- ▶ Signalanschluss: Eingang und Ausgang, Stecker, ISO 15217, Form C

Funktionsschema



- a) Sollwerteingang
- b) Istwertausgang
- Das E/P-Druckregelventil steuert entsprechend einem analogen elektrischen Sollwert einen Druck aus.
- 1) Betriebsdruck
- 2) Arbeitsdruck
- 3) Entlüftung

Fig. 1, Kennlinie und Steckerbelegung für Strom-Ansteuerung mit Istwertausgang



- 1) Versorgungsspannung
- 2) Sollwert Strom-Ansteuerung (Bürde 100 Ω, max. 50 mA). Die Spannung am Sollwerteingang darf 12V nicht übersteigen.
- 3) Istwertausgang (max. Gesamtwiderstand der nachgeschalteten Geräte < 300 Ω).
- 4) Die Versorgungsspannung muss mit einer externen Sicherung M 1,6 A abgesichert werden.
- Zur Gewährleistung der EMV ist Stecker 2 über ein geschirmtes Kabel anzuschließen. A) Stecker 1 B) Stecker 2

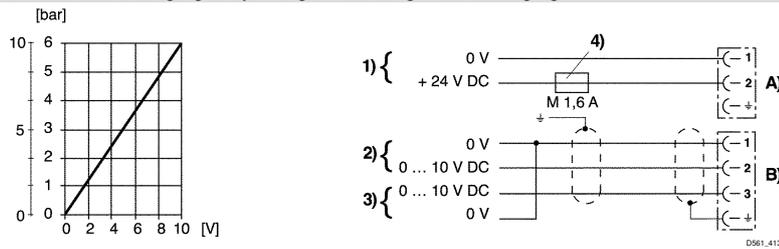
Ergänzungsprodukte
 Fett markierte Materialnummern sind ab Zentrallager Deutschland verfügbar, Detailinformationen siehe Warenkorb
 Pneumatik-Katalog, Online-PDF, Stand 2011-11-05, © Bosch Rexroth AG, Änderungen vorbehalten

Druckregelventile → Proportionalventile

E/P Druckregelventil, Serie ED05

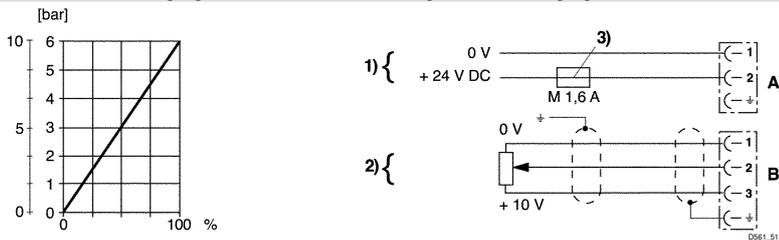
- ▶ Qn= 1000 l/min ▶ Druckluftanschluss Ausgang: G 1/4 ▶ Elektr. Anschluss: Stecker, ISO 15217, Form C
- ▶ Signalanschluss: Eingang und Ausgang, Stecker, ISO 15217, Form C

Fig. 2, Kennlinie und Steckerbelegung für Spannungs-Ansteuerung mit Istwertausgang



- 1) Versorgungsspannung
 - 2) Spannungsansteuerung
 - 3) Istwertausgang (min. externe Bürde 1 kΩ). 4) Die Versorgungsspannung muss mit einer externen Sicherung M 1,6 A abgesichert werden.
- Zur Gewährleistung der EMV ist Stecker 2 über ein geschirmtes Kabel anzuschließen.
A) Stecker 1 B) Stecker 2

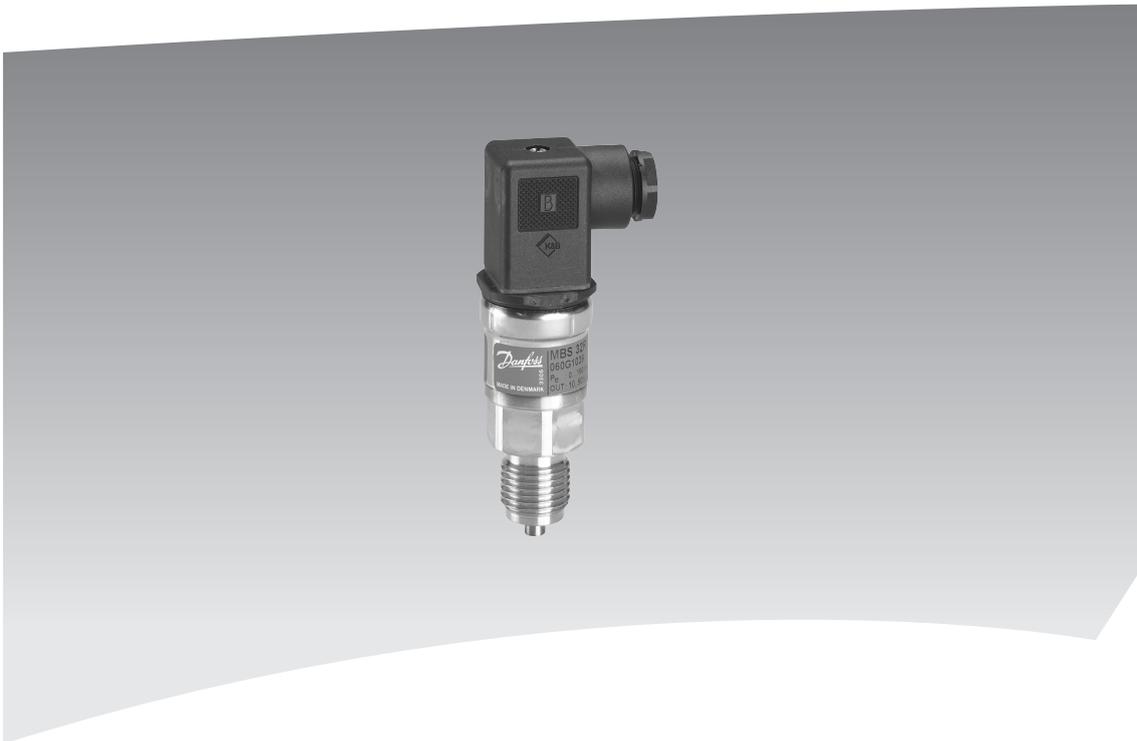
Fig. 3, Kennlinie und Steckerbelegung für Potentiometer-Ansteuerung ohne Istwertausgang



- 1) Versorgungsspannung
 - 2) Potentiometer-Ansteuerung (0 bis 2 kΩ (min.), 0 bis 10 kΩ (max.))
 - 3) Die Versorgungsspannung muss mit einer externen Sicherung M 1,6 A abgesichert werden.
- Zur Gewährleistung der EMV ist Stecker 2 über ein geschirmtes Kabel anzuschließen.
A) Stecker 1 B) Stecker 2

Ergänzungsprodukte
Fett markierte Materialnummern sind ab Zentrallager Deutschland verfügbar, Detailinformationen siehe Warenkorb
Pneumatik-Katalog, Online-PDF, Stand 2011-11-05, © Bosch Rexroth AG, Änderungen vorbehalten

Danfoss



Heavy Duty Druckmessumformer
Typ MBS 3250

Technische Broschüre



Technische Broschüre

Heavy Duty Druckmessumformer Typ 3250

Eigenschaften



- Für den Einsatz in in rauen industriellen Umgebungen konstruiert
- Für Medien- und Umgebungstemperaturen bis 125 °C
- Mit integriertem Druckstoßminderer. Geschützt gegen Kavitation, Flüssigkeitsschlag und Druckspitzen
- Alle Standard-Ausgangssignale: 4-20 mA, 0-5 V, 1-5 V, 1-6 V, 0-10 V
- Gehäuse und medienberührte Teile aus AISI 316L
- Breites Angebot an Druck- und elektrischen Anschlüssen
- Temperaturkompensiert, linearisiert und laserkalibriert

Beschreibung

Der kompakte Heavy Duty Druckmessumformer MBS 3250 mit integriertem Druckstoßminderer ist besonders für hydraulische Anwendungen konzipiert, in denen starke Medieneinflüsse wie Kavitation, Flüssigkeitsschlag oder Druckspitzen auftreten können und bietet selbst unter härtesten Bedingungen eine verlässliche Druckmessung.

Das flexible Druckmessumformer-Programm verfügt über verschiedene Ausgangssignale, Absolutwert- und Manometeranzeige (relativ), Messbereiche von 0-1 bis 0-600 Bar, sowie viele Möglichkeiten für Druckanschlüsse und elektrische Anschlüsse.

Durch seine robuste Konstruktion, hervorragende Vibrationsbeständigkeit und hohen EMC/EMI-Schutz ist der Druckmessumformer besonders für höchste industrielle Ansprüche geeignet.

Bestellung
Standardausführungen

Ausgangsleistung: 4 - 20mA
Druckanschluss:
DIN 3852-E-G $\frac{1}{4}$
Stecker: EN 175301-803-A, Pg 9

| Messbereich Pe [bar] | Überdruck (Statisch) [bar] | Berstdruck Pe [bar] | Typ | Artikel-Nr. |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------|
| 0-1.6 | 12 | 100 | MBS 3250-1211-1GB04-1 | 060G1860 |
| 0-2.5 | 24 | 100 | MBS 3250-1411-1GB04-1 | 060G1861 |
| 0-4 | 24 | 100 | MBS 3250-1611-1GB04-1 | 060G1862 |
| 0-6 | 60 | 100 | MBS 3250-1811-1GB04-1 | 060G1863 |
| 0-10 | 60 | 100 | MBS 3250-2011-1GB04-1 | 060G1791 |
| 0-16 | 150 | 150 | MBS 3250-2211-1GB04-1 | 060G1864 |
| 0-25 | 150 | 150 | MBS 3250-2411-1GB04-1 | 060G1865 |
| 0-40 | 300 | 400 | MBS 3250-2611-1GB04-1 | 060G1790 |
| 0-60 | 360 | 800 | MBS 3250-2811-1GB04-1 | 060G1866 |
| 0-100 | 600 | 1200 | MBS 3250-3011-1GB04-1 | 060G1867 |
| 0-160 | 1200 | 1200 | MBS 3250-3211-1GB04-1 | 060G1868 |
| 0-250 | 1500 | 2000 | MBS 3250-3411-1GB04-1 | 060G1779 |
| 0-400 | 1500 | 2000 | MBS 3250-3611-1GB04-1 | 060G1869 |
| 0-600 | 1500 | 2000 | MBS 3250-3811-1GB04-1 | 060G1778 |



Technische Broschüre

Heavy Duty Druckmessumformer Typ 3250

Technische Daten

Leistung (EN 60770)

| | | |
|---|--|---------|
| Genauigkeit (inkl. Linearitätsabweichung, Hysterese und Wiederholgenauigkeit) | ±0.5 % FS (typ.) ±1 % FS (max.) | |
| Linearitätsabweichung (Kleinstwerteeinstellung) | ≤ ±0.2 % FS | |
| Hysterese und Wiederholgenauigkeit | ≤ ±0.1 % FS | |
| Thermischer Fehlerbereich (kompensierter Temperaturbereich) | ≤ ±1 % FS | |
| Ansprechzeit | Flüssigkeiten mit Viskosität < 100 cSt | < 4 ms |
| | Luft und Gase | < 35 ms |
| Überdruck (statisch) | Min. 6xFS (max. 1500 bar) | |
| Berstdruck | >6xFS (max. 2000 bar) | |
| Lebensdauer, P: 10-90% FS | >10x106 Zyklen | |

Elektrische Spezifikationen

| | | | |
|--|---|------------------------|------------------------|
| U _B | Nom. Ausgangssignal (gegen Kurzschluss gesichert) | | |
| | 4-20 mA | 0-5, 1-5, 1-6 V d.c | 0-10 V, 1-10 V d.c. |
| Versorgungsspannung [U _B , polaritätsgeschützt] | 9 - 32 V d.c | 10 - 30 V d.c. | 15 - 30 V d.c. |
| Spannungsversorgung - Stromaufnahme | - | ≤ 5 mA | ≤ 8mA |
| Abhängigkeit der Versorgungsspannung | ≤ ±0.05 % FS/10 V | | |
| Strombegrenzung | 28 mA (typ.) | - | |
| Ausgangsimpedanz | - | ≤ 25 Ω | |
| Last [R _L] (Last angeschlossen an 0V) | R _L ≤ (U _B -9V)/0.02 A | R _L ≥ 10 kA | R _L ≥ 15 kA |

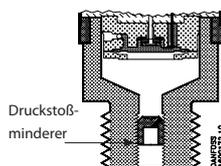
Betriebsbedingungen

| | | |
|--|-------------------------------|----------------|
| Medientemperaturbereich (abhängig vom Dichtungsmaterial) | -40 - +125°C | |
| Umgebungstemperaturbereich (abhängig vom elektrischen Anschluss) | siehe Seite 5 | |
| Kompensierter Temperaturbereich | 0 - +100°C | |
| Transporttemperaturbereich | -50 - +125°C | |
| EMV-Emission | EN 61000-6-3 | |
| EMV - Immunität | EN 61000-6-2 | |
| Isolationswiderstand | > 100 Mohm bei 100 V d.c. | |
| Netzfrequenzmessung | SEN 361503 | |
| Vibrationsbeständigkeit | Sinus 15.9 mm-pp, 5 Hz-25 Hz | IEC 60068-2-6 |
| | Willkürlich 20 g, 25 Hz-2 kHz | |
| | 7.5 g, 5 Hz - 1 kHz | |
| Schockfestigkeit | Stoß 500 g/1 ms | IEC 60068-2-27 |
| | Freier Fall | IEC 60068-2-32 |
| Schutzart (abhängig vom elektrischen Anschluss) | siehe Seite 5 | |

Mechanische Spezifikationen

| | | |
|--|------------------------|--------------------------------|
| Werkstoffe | Medienberührte Teile | EN 10088-1 ; 1.4404 (AISI316L) |
| | Schutzart | EN 10088-1 ; 1.4404 (AISI316L) |
| | Druckanschluss | siehe Seite 4 |
| | Elektrische Anschlüsse | siehe Seite 5 |
| Gewicht (abhängig von elektrischem und Druckanschluss) | | 0.2-0.3 kg |

Anwendung und Zustand des Mediums



Anwendung

In flüssigkeitsgefüllten Hydrauliksystemen, in denen sich die Durchflussgeschwindigkeit z. B. aufgrund schnellen Schließens eines Ventils oder durch Pumpenstart und -stopp ändert, können Kavitation, Flüssigkeitsschlag und Drucksitzen auftreten. Das Problem kann sowohl an der Einlass- als auch an der Auslassseite auftreten, sogar bei verhältnismäßig niedrigen Betriebsdrücken.

Zustand des Mediums

Bei verschmutztem Medium kann die Düse verstopfen. Die aufrechte Montage des Druckmessumformers minimiert das Verstopfungsrisiko, da der Durchfluss auf das Anlaufen beschränkt ist, bei dem das Totvolumen hinter der Düse gefüllt wird. Zudem ist die Düsenöffnung relativ groß (0.3 mm). Die Viskosität des Mediums hat nur geringen Einfluss auf die Ansprechzeit des Druckmessumformers. Selbst bei einer Viskosität von bis zu 100 cSt geht die Ansprechzeit nicht über 4ms hinaus.



Technische Broschüre Heavy Duty Druckmessumformer Typ 3250

Bestellung

MBS 3250 -

Messbereich

| | |
|----------------|-----|
| 0-1 bar..... | 1 0 |
| 0-1.6 bar..... | 1 2 |
| 0-2.5 bar..... | 1 4 |
| 0-4 bar..... | 1 6 |
| 0-6 bar..... | 1 8 |
| 0-10 bar..... | 2 0 |
| 0-16 bar..... | 2 2 |
| 0-25 bar..... | 2 4 |
| 0-40 bar..... | 2 6 |
| 0-60 bar..... | 2 8 |
| 0-100 bar..... | 3 0 |
| 0-160 bar..... | 3 2 |
| 0-250 bar..... | 3 4 |
| 0-400 bar..... | 3 6 |
| 0-600 bar..... | 3 8 |

Druckreferenz

| | |
|--------------------------|---|
| Manometer (relativ)..... | 1 |
| Absolut..... | 2 |

Ausgangssignal

| | |
|--------------|---|
| 4-20 mA..... | 1 |
| 0-5 V..... | 2 |
| 1-5 V..... | 3 |
| 1-6 V..... | 4 |
| 0-10 V..... | 5 |

Material des Dichtrings/O-Rings

| | |
|--------|--|
| 0..... | Keine Dichtung (siehe Druckanschlüsse) |
| 1..... | Viton (Medientemp.: -20 bis +125 °C) |

Druckanschluss

| | |
|--------------|--|
| A B 0 8..... | G $\frac{1}{2}$ A (EN 837), ohne Dichtung |
| A C 0 4..... | $\frac{1}{4}$ " - 18 NPT, ohne Dichtung |
| F A 0 9..... | DIN 3852-E-M14x1.5, Dichtung: DIN 3869-14 |
| G A 1 2..... | DIN 3852-A-M18x1.5, ohne Dichtung |
| G B 0 4..... | DIN 3852-E-G $\frac{1}{4}$, Dichtung: DIN 3869-14 |

Elektrischer Anschluss

| | |
|--------|--|
| 1..... | Stecker EN175301-803-A, Pg9 |
| 2..... | *)Stecker, AMP Econoseal, Serie J, Stecker ohne Steckbuchse |
| 3..... | Geschirmtes Kabel, 2 m |
| 5..... | *)Stecker, IEC 60947-5-2, M12x1, Stecker ohne Steckbuchse |
| 8..... | *) Stecker, AMP Superseal 1.5 Steckerserie, ohne Steckbuchse |

Ausführungen mit Manometer nur mit abgedichtetem Manometer erhältlich

Bevorzugte Ausführungen

Es können nicht standardgemäße Kombinationen zum Aufrüsten gewählt werden. Allerdings können Mindestbestellmengen zugrunde gelegt werden. Weitere Informationen zu anderen Versionen erhalten Sie bei Ihrem Danfoss-Partner.

Abmessungen/Kombinationen

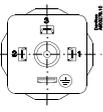
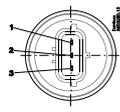
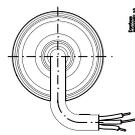
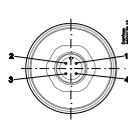
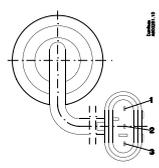
| Typ-Nr. | 1 | 2 | 3 | 5 | 8 |
|-----------------------------|-------------------------------|--|---|--------------------------------------|---|
| | EN175301-803-A, S, 9 | AMP Econoseal | 2 m geschirmtes Kabel | EN 60947 - 5 - 2 4-polig; M12 x 1 | AMP Superseal |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | G $\frac{1}{2}$ A (EN 837) | $\frac{1}{4}$ - 18 NPT | DIN 3852-E-M14x1.5 Dichtung: DIN 3869-14-NBR | DIN 3852-A-M18x1.5, ohne Dichtung | DIN 3852-E-G $\frac{1}{4}$ Dichtung: DIN 3869-14-NBR |
| Typ-Nr. | AB08 | AC04 | FA09 | | GB04 |
| Empfohlenes Anzugsmoment 1) | 30-35 Nm | 2 - 3 Umdrehungen nach Festziehen per Hand | 30-35 Nm | 30-35 Nm | 30-35 Nm |

1) Abhängig von verschiedenen Parametern wie Dichtungsmaterial, Werkstoffpaarung, Gewindeschmierung und Druckniveau.



Technische Broschüre Heavy Duty Druckmessumformer Typ 3250

Elektrische Anschlüsse

| Typen-Code Seite 4 | | | | |
|---|--|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 5 | 8 |
| EN 175301-803-A, S. 9  | AMP Econoseal Serie J (Stecker)  | 2 m geschirmtes Kabel  | IEC 60947-5-2 4-polig; M12 x 1  | AMP Superseal Serie 1.5 (Stecker)  |
| <i>Umgebungstemperatur, 4-20 mA Ausgang</i> | | | | |
| -40 bis +100 °C | -40 bis +100 °C | -30 bis +85 °C | -25 bis +90 °C | -40 bis +100 °C |
| <i>Umgebungstemperatur, 0-5 V, 1-5 V, 1-6 V und 0-10 V Ausgang</i> | | | | |
| -40 bis +125 °C | -40 bis +105 °C | -30 bis +85 °C | -25 bis +90 °C | -40 bis +125 °C |
| <i>Schutzart (IP Schutzart in Verbindung mit Gegenstecker erfüllt)</i> | | | | |
| IP 65 | IP 67 | IP 67 | IP 67 | IP 67 |
| <i>Material</i> | | | | |
| glasgefülltes Polyamid, PA 6.6 | glasgefülltes Polyamid, PA 6.6 1' | Polylefin-Kabel mit PE-Schrumpfschlauch | hartvernickeltes Messing, CuZn/Ni | glasgefülltes Polyamid, PA 6.6 2' |
| <i>Elektrischer Anschluss, 4 - 20 mA Ausgang (2-Leiter)</i> | | | | |
| Pin 1: + Spannungsversorgung Pin 2: ÷ Spannungsversorgung Pin 3: nicht belegt Masse: Am MBS-Gehäuse | Pin 1: + Spannungsversorgung Pin 2: - Spannungsversorgung Pin 3: nicht belegt | Braun: +Spannungsversorgung Schwarz: Kabel: ÷ Spannungsversorgung Rot: nicht belegt Orange: nicht belegt Abschirmung: Nicht an das MBS-Gehäuse angeschlossen | Pin 1: + Spannungsversorgung Pin 2: nicht belegt Pin 3: nicht belegt Pin 4: ÷ Spannungsversorgung | Pin 1: + Spannungsversorgung Pin 2: ÷ Spannungsversorgung Pin 3: nicht belegt |
| <i>Elektrischer Anschluss, 0-5 V, 1-5 V, 1-6 V, 0-10 V Ausgang</i> | | | | |
| Pin 1: + Spannungsversorgung Pin 2: ÷ Spannungsversorgung Pin 3: Ausgang new line Masse: Am MBS-Gehäuse | Pin 1: + Spannungsversorgung Pin 2: ÷ Spannungsversorgung Pin 3: Ausgang | Braun: Ausgang Schwarz: ÷ Spannungsversorgung Rot: + Spannungsversorgung und Orange: nicht belegt Abschirmung: Nicht an das MBS-Gehäuse angeschlossen | Pin 1: + Spannungsversorgung Pin 2: nicht belegt Pin 3: Ausgang Pin 4: ÷ Spannungsversorgung | Pin 1: + Spannungsversorgung Pin 2: ÷ Spannungsversorgung Pin 3: Ausgang |

¹⁾ Steckbuchse: GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff), PBT

²⁾ Kabel: PTFE (Teflon)

Schutzhülse: PBT-Gewebe (Polyester)

HEIDENHAIN-METRO

Messtaster mit $\pm 0,2 \mu\text{m}$ Genauigkeit

- **hohe Wiederholgenauigkeit**
- **Messbolzenbetätigung über Drahtauslöser bzw. durch das Werkstück oder pneumatisch**

Die HEIDENHAIN-METRO-Messtaster MT 1200 und MT 2500 eignen sich aufgrund ihrer hohen Systemgenauigkeit und der kleinen Signalperiode besonders für genaue Messplätze und Prüfeinrichtungen. Sie besitzen kugelgeführte Messbolzen und lassen so hohe Querkraft-Belastungen zu.

Messbolzenantrieb

Die Messtaster der Baureihe **MT 12x1** und **MT 25x1** verfügen über einen Feder belasteten Messbolzen, der in Ruhelage ausgefahren ist. Als Sonderausführung „ohne Feder“ üben sie eine besonders geringe Messkraft auf das Messobjekt aus.

Bei den „pneumatischen“ Messtastern **MT 1287** und **MT 2587** ist der Messbolzen in Ruhelage durch die eingebaute Feder eingefahren. Durch Anlegen von Druckluft fährt der Messbolzen in Messposition aus.

Anbau

Die Befestigung der Messtaster MT 1200 und MT 2500 erfolgt über den Norm-Einspannschaft $8h6$. Als Zubehör ist ein Befestigungswinkel lieferbar, um die Messtaster an Planflächen oder an das Messstativ MS 200 von HEIDENHAIN anzubauen.

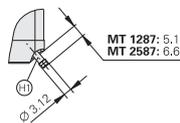
Ausgangssignale

Die Messtaster MT 1200 und MT 2500 sind mit verschiedenen Ausgangssignalen lieferbar.

Die Messtaster **MT 128x** und **MT 258x** geben sinusförmige Spannungssignale mit **1-V_{SS}**-Pegel aus, die hoch interpolierbar sind.

Die **MT 1271** und **MT 2571** verfügen über eine integrierte Digitalisierungs- und Interpolationselektronik mit 5fach- oder 10fach-Interpolation (nach Bestellung) und geben Rechtecksignale im **TTL**-Pegel aus.

MT 1287
MT 2587

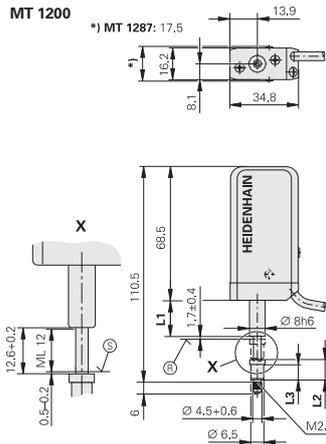


mm
Tolerancing ISO 8015
ISO 2768 - m H
< 6 mm: ± 0.2 mm

- ⊗ = Referenzmarkenlage
- ⊙ = Beginn der Messlänge
- ⊕ = Luftanschluss für 2 mm Schlauch

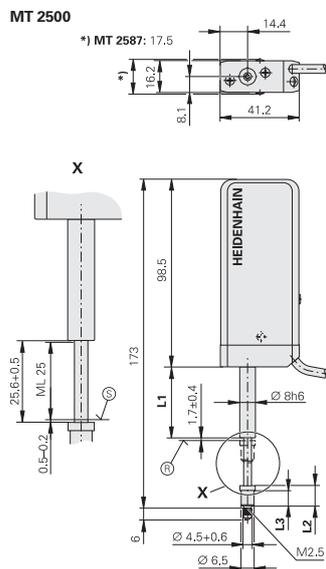
22

MT 1200



| | MT 12x1 | MT 1287 |
|----|---------|---------|
| L1 | 18,5 | 22,0 |
| L2 | 10,1 | 6,2 |
| L3 | 8,1 | 4,2 |

MT 2500



| | MT 25x1 | MT 2587 |
|----|---------|---------|
| L1 | 370 | 41,0 |
| L2 | 10,1 | 6,2 |
| L3 | 8,1 | 4,2 |

| Mechanische Kennwerte |
|--|
| Messbolzenbetätigung Messbolzenruhelage |
| Maßverkörperung |
| Systemgenauigkeit |
| Referenzmarke |
| Messweg |
| Messkraft <i>Ausführung „ohne Feder“ vertikal nach unten</i> |
| Druckluft |
| Querkraft |
| Betriebslage |
| Vibration 55 bis 2000 Hz Schock 11 ms |
| Schutzart EN 60529 |
| Arbeitstemperatur |
| Befestigung |
| Masse ohne Kabel |

| Elektrische Kennwerte für Messtaster |
|--|
| Inkrementalsignale* Signalperiode |
| Empfohlener Messschritt |
| Mech. zul. Verfahrgeschwindigkeit |
| Flankenabstand a bei Abtastfrequenz*/Verfahrgeschwindigkeit 200 kHz \leq 24 m/min 100 kHz \leq 12 m/min 50 kHz \leq 6 m/min 25 kHz \leq 3 m/min |
| Elektrischer Anschluss* (Schnittstellen-Elektronik im Stecker integriert) |
| Kabellänge |
| Spannungsversorgung |

* bei Bestellung bitte auswählen

| MT 1271 \square TTL MT 1281 \sim 1V _{SS} | | MT 2571 \square TTL MT 2581 \sim 1V _{SS} | | MT 1287 \sim 1V _{SS} | MT 2587 \sim 1V _{SS} |
|--|--------|--|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| über Drahtabheber oder durch Prüfling ausgefahren | | | pneumatisch eingefahren | | |
| DIADUR-Phasengitter-Teilung auf Zerodur-Glaskeramik; Teilungsperiode 4 μ m | | | | | |
| \pm 0,2 μ m | | | | | |
| ca. 1,7 mm vor oberem Anschlag | | | | | |
| 12 mm | 25 mm | 12 mm | 25 mm | | |
| siehe Messkraft – Messbolzenbetätigung | | | | | |
| 0,13 N | 0,17 N | – | | | |
| – | | \leq 1,4 bar | | | |
| \leq 0,8 N (mechanisch zulässig) | | | | | |
| beliebig; Ausführung „ohne Feder“: vertikal nach unten | | | | | |
| \leq 100 m/s ² (EN 60068-2-6) | | | | | |
| \leq 1000 m/s ² (EN 60068-2-27) | | | | | |
| IP 50 | | | IP 64 (mit Sperrluft) | | |
| 10 bis 40 °C; Bezugstemperatur 20 °C | | | | | |
| Einspannschaft \varnothing 8h6 | | | | | |
| 100 g | 180 g | 110 g | 190 g | | |

MT 1200



| \square TTL MT 1271 MT 2571 | | \sim 1V _{SS} MT 128x MT 258x |
|--|--|---|
| \square TTL x 5 0,4 μ m | \square TTL x 10 0,2 μ m | \sim 1V _{SS} 2 μ m |
| 0,1 μ m ¹⁾ | 0,05 μ m ¹⁾ | 0,1 μ m/0,05 μ m |
| \leq 30 m/min | | |
| \geq 0,23 μ s \geq 0,48 μ s \geq 0,98 μ s – | – \geq 0,23 μ s \geq 0,48 μ s \geq 0,98 μ s | – |
| Kabel 1,5 m mit Sub-D-Stecker, 15-polig | | Kabel 1,5 m mit • Sub-D-Stecker, 15-polig • M23-Stecker, 12-polig |
| \leq 30 m mit HEIDENHAIN-Kabel | | |
| DC 5V \pm 5 %/< 160 mA (ohne Last) | | DC 5V \pm 5 %/< 130 mA |

¹⁾ nach 4fach-Auswertung

MT 2500

