



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Onur Dogan

# **Konzeption eines Nano-BHKW für den Lehrbetrieb**

*Fakultät      Technik      und      Informatik*  
*Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science*  
*Department of Mechanical Engineering and*  
*Production Management*

**Onur Dogan**

**Konzeption eines Nano-BHKW für den Lehrbetrieb**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung  
im Studiengang Maschinenbau Energie und Anlagensysteme  
am Department Maschinenbau und Produktion  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüferin: Prof. Dr. Jan Piatek

Zweitprüfer: Prof. Dr. Martin Lauer

Abgabedatum: 21.10.2022

## **Zusammenfassung**

**Onur Dogan**

### **Thema der Bachelorthesis**

Konzeption eines Nano-BHKW für den Lehrbetrieb

### **Stichworte**

BHKW, KWK, Wasserstoff, Gasmotor, Verbrennungsmotoren, Emission, Wasserstoffverbrennung

### **Kurzzusammenfassung**

Nano-BHKW bieten eine gute Möglichkeit den Studierenden sowohl Kolbenmaschinen als auch die KWK näher zu bringen. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Anlage mit einer maximalen Leistung von 2,5 kW für den Lehrbetrieb konzipiert, die mit verschiedenen Gasen betrieben werden soll, damit Lehrende den Unterricht praxisorientierter gestalten können. Diese Arbeit legt das erste Konzept fest, worauf weitere Entwicklungen und Verbesserungen von nachfolgenden Bacheloranten/innen getätigt werden können.

**Onur Dogan**

### **Title of the paper**

Design of a nano-CHP unit for teaching purposes

### **Keywords**

CHP, cogeneration, Hydrogen, Gas engine, combustion engine, Emission, Hydrogen combustion

### **Abstract**

Nano CHP units offer a good opportunity to introduce both combustion engines and CHP to students. Within the scope of this thesis, a plant with a maximum power of 2.5 kW is designed for teaching purposes, which is to be operated with different gases, so that teachers can give more practice-oriented classes. This work establishes the initial concept, upon which further developments and improvements can be made by subsequent undergraduate students.

# Inhaltsverzeichnis

I.	Abkürzungsverzeichnis.....	III
II.	Symbolverzeichnis.....	IV
III.	Formelverzeichnis .....	VI
IV.	Abbildungsverzeichnis.....	VII
V.	Tabellenverzeichnis.....	IX
1.	Einleitung.....	1
2.	Grundlagen und Komponenten für BHKW.....	2
2.1.	Der Motor für ein BHKW .....	5
2.1.1.	Der Stirlingmotor.....	5
2.1.2.	Der Ottomotor.....	8
2.1.3.	Der Dieselmotor .....	11
2.2.	Wärmetauscher für BHKW .....	14
2.2.1.	Abgaswärmetauscher.....	14
2.2.2.	Plattenwärmetauscher.....	15
2.3.	Regelung und Messtechnik für BHKW .....	18
2.3.1.	Regelung und Messung vom Motor .....	18
2.3.2.	Regelung und Messung am Synchrongenerator .....	22
2.3.3.	Steuergeräte für Gasmotoren und BHKW.....	23
2.3.4.	Betriebsarten für BHKW .....	24
3.	Konzept eines Nano-BHKW für den Lehrbetrieb .....	25
3.1.	Auswahl eines passenden Verbrennungsmotors für das Nano-BHKW.....	25
3.1.1.	Entwicklung eines Kühlmantels für den Zylinder des Ape Calessino 200 .....	27
3.2.	Motorhalterung und Rahmen .....	30
3.2.1.	Dimensionen des Motors .....	30
3.2.2.	Auswahl der Profile und Elemente für den Rahmen.....	33
3.2.3.	CAD-Konstruktion des Rahmens in Creo Parametric .....	35
3.2.4.	Konstruktion der Motorhalterungen in Creo Parametric .....	37
3.2.5.	Befestigung der Motorhalterungen am Rahmen .....	38
3.3.	Konstruktion des Abgasrohres .....	40
3.4.	Auswahl der Wärmetauscher und weiterer Komponenten im Kühlkreislauf .....	42
3.4.1.	Auswahl des Abgaswärmetauschers .....	42



3.4.2.	Auswahl des Plattenwärmetauschers .....	46
3.4.3.	Auswahl der Kühlwasserpumpe und der Kühlschläuche .....	47
3.5.	Kraftstoff- und Ansaugsystem für das Nano- BHKW .....	48
3.5.1.	Druckminderer .....	48
3.5.2.	Kraftstoffeinspritzung für den Betrieb mit Gas .....	49
3.5.3.	Luftfiltersystem .....	51
3.6.	Auswahl der Synchronmaschine für die Anlage.....	52
3.6.1.	Auswahl der Kupplung für den Anschluss an der Anlage.....	53
3.6.2.	Konstruktion des Flansches und der Welle am Motor Ape Calessino 200.....	54
3.7.	Steuerung und Regelung der Anlage.....	55
3.7.1.	Regelung des Kühlkreislaufs.....	55
3.7.2.	Restliche Sensoren am Motor .....	55
3.7.3.	Motorsteuergerät für das Nano- BHKW.....	55
3.7.4.	Betriebsart der Anlage .....	56
3.8.	Thermodynamisches Modell der Anlage.....	57
3.8.1.	Wärmeverluste im Kühlkreislauf.....	62
3.9.	Betrieb der Anlage mit Gasen .....	66
4.	Lehrkonzept für Studierende .....	68
4.1.	Volumenstrommessung an der Anlage.....	68
4.2.	Messen von Drehzahl, Drehmoment und Leistung.....	68
4.3.	Messen von Temperaturen .....	69
5.	Stücklisten und Preise der Komponenten.....	70
5.1.	Stückliste für den Rahmen .....	70
5.2.	Stückliste der Anlagenkomponenten.....	70
5.2.1.	Stückliste der eingekauften Komponenten.....	70
5.2.2.	Stückliste der eigen konstruierten Komponenten .....	71
5.3.	Stückliste für Kleinteile.....	72
6.	Zusammenfassung.....	73
7.	Literatur.....	74
8.	Versicherung über Selbständigkeit .....	77
9.	Anhang .....	78

## I. Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
KWK	Kraftwärmekopplung
AGR	Abgasrückführung
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
H <sub>2</sub> O	Wasser
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
N <sub>2</sub>	Stickstoff
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
Upm	Umdrehung pro Minute
C	Kohlenstoff
CNG	Compressed natural gas
AG	Außengewinde
CH <sub>4</sub>	Methan
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
OT	Oberer Totpunkt
UT	Unterer Totpunkt
CO	Kohlenstoffmonoxid
HC	Kohlenwasserstoff
H <sub>u</sub>	Unterer Heizwert
RT	Raumtemperatur
PLWT	Plattenwärmetauscher
AGWT	Abgaswärmetauscher

## II. Symbolverzeichnis

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$\eta$	-	Wirkungsgrad
$\eta_{\text{Carnot}}$	-	Carnot Wirkungsgrad
$P_{\text{el}}$	W	Elektrische Leistung
$P$	W	Leistung
$P_{\text{e}}$	W	Effektive Leistung
$W_{\text{e}}$	Nm	Effektive Arbeit
$V_{\text{h}}$	$\text{m}^3$	Hubvolumen
$\dot{m}_{\text{k}}$	kg/s	Kraftstoffmassenstrom
$m_{\text{KZ}}$	kg	Kraftstoffmasse im Zylinder
$m_{\text{LZ}}$	kg	Luftmasse im Zylinder
$T_{\text{u}}$	$^{\circ}\text{C}$	Umgebungstemperatur
$T_{\text{Abgas}}$	$^{\circ}\text{C}$	Abgastemperatur
$T_{\text{W}}$	$^{\circ}\text{C}$	Wandtemperatur
$T_{\text{Bez}}$	$^{\circ}\text{C}$	Stoffbezugstemperatur
$T_{\text{W,PLWT}}$	$^{\circ}\text{C}$	Plattenwärmetauscher Wandtemperatur
$T_1$	$^{\circ}\text{C}$	Motor Eintrittstemperatur
$T_2$	$^{\circ}\text{C}$	Motor Austrittstemperatur
$T_3$	$^{\circ}\text{C}$	Abgaswärmetauscher Austrittstemperatur
$\dot{V}$	$\text{m}^3/\text{s}$	Volumenstrom
$\dot{V}_{\text{Kühlmittel}}$	l/min	Kühlmittelvolumenstrom
$\lambda$	-	Verbrennungsluftverhältnis
$p_{\text{u}}$	bar	Umgebungsdruck
$p_{\text{d}}$	bar	Dampfdruck
$p_{\text{s}}$	bar	Sättigungsdampfdruck
$p_{\text{me}}$	bar	effektiver Mitteldruck
$s$	mm	Hub
$D$	mm	Bohrung
$\varepsilon$	-	Verdichtungsverhältnis
$M$	Nm	Drehmoment
$n$	mol	Stoffmenge
$H_{\text{u}}$	MJ/kg	unterer Heizwert
$c$	-	Massenanteil Kohlenstoff im Brennstoff
$h$	-	Massenanteil Wasserstoff im Brennstoff
$o_{\text{min}}$	-	Mindestsauerstoffmenge
$\xi_{\text{O}_2 \text{Luft}}$	-	Sauerstoffanteil der Luft
$l_{\text{min}}$	-	Mindestluftmenge

$l$	-	Luftmenge
$\dot{m}_l$	kg/s	Luftmassenstrom
$b_e$	g/kJ	spezifischer Kraftstoffverbrauch
$\dot{m}_{Abgas}$	kg/s	Abgasmassenstrom
$\dot{Q}_{gesamt}$	W	Gesamter Wärmestrom
$\dot{Q}_{Abgas}$	W	Abgaswärmestrom
$\dot{Q}_{Motor}$	W	Motorabwärmestrom
$\dot{m}_{RG}$	kg/s	Abgasmassenstrom
$c_p$	kJ/kgK	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
$c_{p,d}$	kJ/kgK	spezifische Wärmekapazität von Dampf
$c$	kJ/kgK	spezifische Wärmekapazität des Kühlmittels
$\overline{c_p}$	kJ/kgK	mittlere spezifische Wärmekapazität
$\mu_{RG}$	-	Massenanteil des Rauchgases
$M$	g/mol	Molare Masse
$\xi$	-	Massenverhältnis
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte
$u_{Kühlmittel}$	m/s	Kühlmittelgeschwindigkeit
$\lambda_{Kühlmittel}$	W/m·K	Wärmeleitfähigkeit Kühlmittel
$\lambda_{Luft}$	W/m·K	Wärmeleitfähigkeit Luft
$\lambda_{Schlauch}$	W/m·K	Wärmeleitfähigkeit Schlauch
$\nu$	m <sup>2</sup> /s	kinematische Viskosität
$n$	min <sup>-1</sup>	Drehzahl
$f$	Hz	Frequenz
$p$	-	Polpaarzahl
$F$	N	Kraft
$l_{ges}$	m	Gesamtlänge Schlauch
$A$	m <sup>2</sup>	Fläche
$A_{Mantel}$	m <sup>2</sup>	Mantelfläche
$\dot{Q}_{Verlust}$	W	Wärmeverlust
$\dot{Q}_{Verlust,AGWT}$	W	Wärmeverlust Abgaswärmetauscher
$\dot{Q}_{Verlust,PLWT}$	W	Wärmeverlust Plattenwärmetauscher
$L$	m	Charakteristische Länge
$Re$	-	Reynoldszahl
$Pr$	-	Prandtl-Zahl
$Nu$	-	Nußelt-Zahl
$\alpha_{Kühlmittel}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeübergangskoeffizient des Kühlmittels
$\alpha_{Luft}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeübergangskoeffizient der Luft
$k$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchgangskoeffizient

### III. Formelverzeichnis

Formel (1): Gleichung für Leistung allg.....	57
Formel (2): Leistung für Viertakter .....	57
Formel (3): Effektiver Mitteldruck .....	57
Formel (4): effektive Arbeit.....	57
Formel (5): effektiver Wirkungsgrad .....	57
Formel (6): Kraftstoffmassenstrom .....	58
Formel (7): Massenverhältnis für vollständige Verbrennung von Kohlenstoff .....	58
Formel (8): Mindestsauerstoffmenge für vollständige Verbrennung .....	58
Formel (9): Massenanteil der Elemente im Brennstoff .....	58
Formel (10): Luftmassenstrom über Mindestluftmenge.....	59
Formel (11): Verbrennungsluftverhältnis .....	59
Formel (13): Abgasmassenstrom.....	59
Formel (14): Massenanteil von Kohlenstoffdioxid im Abgas .....	59
Formel (15): Massenanteil von Wasser im Abgas .....	59
Formel (16): Massenanteil von Stickstoff im Abgas .....	59
Formel (17): Massenanteil von Sauerstoff im Abgas.....	59
Formel (18): Massenstrom der Abgase .....	59
Formel (19): Dampfgehalt der Luft.....	59
Formel (20): Dampfdruck der in der Luft .....	59
Formel (21): Mittlere Wärmekapazität für das Abgas bei Raumtemperatur .....	60
Formel (22): Mittlere Wärmekapazität für das Abgas nach der Verbrennung.....	60
Formel (23): Wärmestrom Abgas .....	60
Formel (24): Abgasaustrittstemperatur nach Verbrennung .....	60
Formel (25): Gesamtwärmestrom .....	61
Formel (26): Definition der Wärmeströme .....	61
Formel (27): 1. Hauptsatz von (1) nach (2) .....	62
Formel (28): Kühlmittelaustrittstemperatur am Motor.....	62
Formel (29): 1. Hauptsatz von (2) nach (3) .....	62
Formel (30): Kühlmittelaustrittstemperatur nach AGR- Kühler .....	62
Formel (31): Massenstrom des Kühlmittels .....	62
Formel (32): Strömungsgeschwindigkeit für das Kühlmittel.....	62
Formel (33): Wärmeverlust durch Konvektion.....	63
Formel (34): Wärmedurchgangskoeffizient.....	63
Formel (35): Nußelt-Zahl für turbulente nicht ausgebildete Rohrströmung .....	63
Formel (36): Reynolds-Zahl.....	63
Formel (37): Prandtl-Zahl .....	63
Formel ((38): Stoffbezugstemperatur für Stoffdaten.....	63
Formel (39): Wärmeübergangskoeffizient über Nußelt- Zahl.....	64
Formel (40): Wärmeübergangskoeffizient für die Umgebungsluft.....	64
Formel (41): Wärmeverlust am Plattenwärmetauscher.....	64
Formel (42): Wärmeübergangskoeffizient der Luft an einer ebenen Wand .....	64
Formel (43): Oberfläche des Plattenwärmetauschers .....	64

## IV. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 CO <sub>2</sub> und Energieeinsparung von einer BHKW (Quelle: [1 S. 13])	2
Abbildung 2: Beispiel des Betriebs von einem BHKW mit Biogas (Quelle: <a href="http://www.bhkw-infothek.de">www.bhkw-infothek.de</a> )	3
Abbildung 3: Funktionsprinzip für ein BHKW (Quelle: <a href="http://heizung.de">heizung.de</a> )	4
Abbildung 4: Stirlingmotor in Alpha- Konfiguration mit Regenerator [2 S. 54]	5
Abbildung 5: Stirling- Prozess am Motor Typ Alpha [3]	6
Abbildung 6: Stirling- Prozess [4]	7
Abbildung 7: SOLO-Stirling-161-microKWK-Modul (Quelle: Fa. SOLO Stirling)	8
Abbildung 8: Ottomotor mit Saugrohreinspritzung (Quelle: [5])	9
Abbildung 9: Gleichraumprozess am Hubkolbenmotor [6]	10
Abbildung 10: Arbeitsdiagramm eines Viertakt- Ottomotors [7 S. 84]	10
Abbildung 11: ecopower 3.0 geöffnet (Quelle: YouTube)	11
Abbildung 12: Aufbau eines Dieselmotors (Quelle <a href="http://gleisbau-welt.de">gleisbau-welt.de</a> )	12
Abbildung 13: Lokale Lambdas bei Direkteinspritzung [8 S. 147]	13
Abbildung 14: Schadstoffkonzentration über Luftverhältnis [9]	13
Abbildung 15: Platte eines Plattenwärmetauschers [10]	15
Abbildung 16: Rohrbündelwärmetauscher mit Aufbau [11 S. 94]	16
Abbildung 17: Aufbau eines Plattenwärmetauschers [12]	17
Abbildung 18 Beispiel einer Steuerung und Regelung eines Ottomotors mit Saugrohreinspritzung für PKWs mit Erdgas [13 S. 396]	18
Abbildung 19: Lambdasonde [14 S. 221]	19
Abbildung 20: Nockenwellensensor (Quelle: <a href="http://hella.com">hella.com</a> )	20
Abbildung 21: Messzündkerze mit Miniatur Zylinderdruck-Sensor von der Firma Kistler (Quelle: <a href="http://kistler.com">kistler.com</a> )	21
Abbildung 22: Motormanagement von der Firma Trijekt (Quelle: <a href="http://trijekt.de">trijekt.de</a> )	23
Abbildung 23: Motor des Piaggio Ape Calessino 200	26
Abbildung 24: Scan am Motor (rechts), erzeugtes digitales Bild (links)	27
Abbildung 25: Eingesannter Motor mit Schnitt für die untere Platte	27
Abbildung 26: Skizze mit Splines für die untere Platte	28
Abbildung 27: untere Platte mit Befestigungsblöcken	28
Abbildung 28: obere Platte mit Bohrungen für das Kühlsystem	28
Abbildung 29: Zusammenbau des Kühlmantels mit dem Zylinder	29
Abbildung 30: Stutze an der oberen Platte für die Kühlschläuche	29
Abbildung 31: Alu-Profile der Firma ITEM (Quelle: <a href="http://item24.com">item24.com</a> )	30
Abbildung 32: Kalibrierung der Software „IC Measure“	31
Abbildung 33: Höhe und Länge des Motors	32
Abbildung 34: Breite des Motors an der breitesten Stelle	32
Abbildung 35: Maximale Zugbelastung für Verschiedene Profile	33
Abbildung 36: mechanisches Modell für die Querstreben	34
Abbildung 37: Pfeiler und Querstreben am Anfang	35
Abbildung 38: Winkel im unteren Bereich	35
Abbildung 39: Rahmen mit oberen und unteren Querstreben	36
Abbildung 40: Rahmen mit Querstreben für die Motorhalterungen	36
Abbildung 41: Lagerstelle vorne	37
Abbildung 42: Lagerstelle hinten	37
Abbildung 43: Motorhalterung hinten	37

Abbildung 44: Motorhalterung vorne	38
Abbildung 45: Schwingungsdämpfer 25150.0041 und 25150.0242 der Firma Halder mit Innengewinde	38
Abbildung 46: Motorhalterung hinten mit Dämpfer	39
Abbildung 47: Motorhalterung vorne mit Dämpfer	39
Abbildung 48: Abgasrohr mit Flansch	40
Abbildung 49: Konstruiertes Abgasrohr	41
Abbildung 50: Abgaswärmetauscher TOPRAN 305139 (Quelle: <a href="http://www.topran.de">www.topran.de</a> )	42
Abbildung 51: Messung 1, Länge und Durchmesser des AGR- Kühler	43
Abbildung 52: Messung 2, Anschlussmaße am Austritt	43
Abbildung 53: Messung 3, Anschlussmaße für das Abgasrohr	44
Abbildung 54: Flansch mit Rohr für den Austritt am AGR- Kühler	44
Abbildung 55: Flansch für den Eintritt am AGR- Kühler	45
Abbildung 56: Gesamtes Abgasrohrsystem	45
Abbildung 57: Plattenwärmetauscher	46
Abbildung 58: BOSCH 0392020034 Zusatzwasserpumpe ( <a href="http://pkwteile.de">pkwteile.de</a> )	47
Abbildung 59: Druckminderer Hercules CK1612 (Quelle: <a href="http://shop.gase-dopp.de">shop.gase-dopp.de</a> )	48
Abbildung 60: CNG- Einblasventil NG12 von Bosch (Quelle: <a href="http://bosch-mobility-solutions.com">bosch-mobility-solutions.com</a> )	49
Abbildung 61: Zusammenbau Ansaugstutze mit CNG-Ventil mit Schnitt	50
Abbildung 62: Befestigung an der Stutze	50
Abbildung 63: LPG / CNG Vergaser Umrüstkit der Firma C.T.S (Quelle: <a href="http://Amazon.de">Amazon.de</a> )	51
Abbildung 64: MX3 90L 2,2 kW- 2pol-B34 von JS-Technik (Quelle: <a href="http://js-technik.de">js-technik.de</a> )	52
Abbildung 65: ROTEX Standard Kupplung (Quelle: <a href="http://ktr.com">ktr.com</a> )	53
Abbildung 66: Nabe für das Schwungrad	54
Abbildung 67: Welle für die Verbindung zwischen Kupplung und Nabe	54
Abbildung 68: Sankey Diagramm	61
Abbildung 69: Kühlkreislauf: Schema der Anlage mit den jeweiligen Zuständen	61
Abbildung 70: Ausschnitt des Modells in Excel	65
Abbildung 71: Methanzahl für verschiedene Gase (Wikipedia.de)	66
Abbildung 72: Strommessgerät für Steckdosen ( <a href="http://amazon.de">amazon.de</a> )	69

## V. Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Drehzahl in Abhängigkeit der Polpaarzahl bei Netzfrequenz.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 2: Motordaten des Ape Calessino 200 .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 3: Dimensionen für den Motor .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabelle 4: Vergleich beider Messungen .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 5: Werkstoffdaten von item Profilen .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 6: Erforderliche Maße für die Konstruktion des Abgasrohrs .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 7: Daten des Plattenwärmetauschers .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 8: Technische Daten BOSCH 0392020034 Zusatzwasserpumpe .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 9: Daten für den Druckminderer Hercules CK1612.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 10: Technische Daten des CNG- Einblasventils NG12.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 11: Technische Daten aus Datenblatt für MX3-90L-2, 2,2 kW B34 .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 12: Stückliste der Kupplung.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 13: Stückliste für den Rahmen .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 14: Stückliste der eingekauften Komponenten .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 15: Stückliste eigen erstellten Komponenten .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle 16: Schrauben und Schläuche .....</i>	<i>72</i>



## 1. Einleitung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird für das Zentrum für Energietechnik der HAW-Hamburg ein Nano-BHKW konzipiert, welcher mit verschiedenen gasförmigen Kraftstoffen betrieben werden soll.

Ein BHKW nutzt die Kraftwärmekopplung, um die im Prozess entstehende Abwärme zu nutzen, welche bei herkömmlichen Anlagen ungenutzt bleibt. Somit wird nicht nur Strom produziert, sondern zeitgleich kann die im Prozess entstehende Abwärme zum Heizen genutzt werden. Besonders bei kleinen Anlagen für den Privatgebrauch ist dies interessant, da dadurch viel an fossilen Rohstoffen gespart werden kann, welches sich auf die Strom- und Heizkosten für deutsche Haushalte positiv auswirken würde. Durch die zusätzliche Nutzung der Abwärme im Prozess kann bei einer guten Auslegung eines Nano-BHKW für ein Privathaushalt der Rohstoffverbrauch um 50% reduziert werden. Dadurch wird auch der CO<sub>2</sub> Ausstoß deutlich reduziert. Gerade in der heutigen Zeit, wo Rohstoffknappheit herrscht, ist die KWK eine gute Lösung, um den Planeten und private Haushalte zu entlasten.

Die in dieser Arbeit konzipierte Anlage soll für Lehrzwecke dienen. Das Nano-BHKW wird für eine maximale elektrische Leistung von 2,5 kW ausgelegt. Als Treibstoff soll Erdgas, Biogas, Ammoniak oder Wasserstoff genutzt werden. Dafür werden nötige Komponenten in Creo Parametric konstruiert. Die restlichen Komponenten der Anlage werden extern über Einzelteihändler vor Ort oder Online ausgewählt. Die gesamte Anlage wird in CAD als 3D Modell der Hochschule zur Verfügung gestellt. In den ersten Abschnitten werden Grundlagen von BHKW nähergebracht und explizit auf die einzelnen Komponenten und deren Nutzen eingegangen. Zudem werden verschiedene Motoren erläutert sowie Vor- und Nachteile genannt und anhand von Nano-BHKW die es auf dem deutschen Markt gibt erläutert.

Zusätzlich wird ein einfaches thermodynamisches Modell der Anlage in Excel erzeugt, um eine grobe Auslegung festzulegen und Motorkenngrößen zu bestimmen. Dazu werden Gleichungen aus den Vorlesungsmaterialien der Module der HAW – Hamburg genutzt. Zu den Modulen gehören Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung und Kolbenmaschinen.

## 2. Grundlagen und Komponenten für BHKW

Ein Blockheizkraftwerk oder auch kurz BHKW genannt, erzeugt nicht nur technische Leistung, sondern nutzt auch die Wärme, die durch den Prozess der Energiewandlung entsteht. Dieses Prinzip wird Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) genannt und ist in vielen Bereichen des Maschinenbaus und der Energieerzeugung einsetzbar, um eine bessere Wirtschaftlichkeit der genutzten Ressourcen zu erreichen. Mit dem Vorschreiten des Klimawandels wird nach erneuerbarer Energieerzeugung geforscht und gesucht, jedoch müssen auch konventionellen Anlagen, die schon seit Jahren im Betrieb sind, erweitert oder verbessert werden. Genau aus diesem Grund ist die KWK eine ideale Lösung, um CO<sub>2</sub> Emissionen weiter zu reduzieren und somit Mensch und Umwelt zu entlasten. Die Nutzung von Fossilen Brennstoffen kann somit optimiert werden, was Verbrauch und Kosten senkt. Zusätzlich zu den fossilen Brennstoffen kann man für eine KWK- Anlage auch Biomasse, Biogas, Pflanzenöl oder Pellets verwenden.

Die Vorteile eines BHKW sind somit die Energieeinsparung und die Umweltentlastung gegenüber der herkömmlichen Strom- und Wärmeversorgung aus Kraftwerken und Heizkesseln. Die Einsparung vom KWK- Prozess hängt von der eingesetzten Technik ab, wie z.B. Kolbenmotoren, Gasturbinen, Brennstoffzellen und den Nutzungsgraden im Vergleich zur getrennten Bereitstellung von Strom und Wärme [1, S. 12]

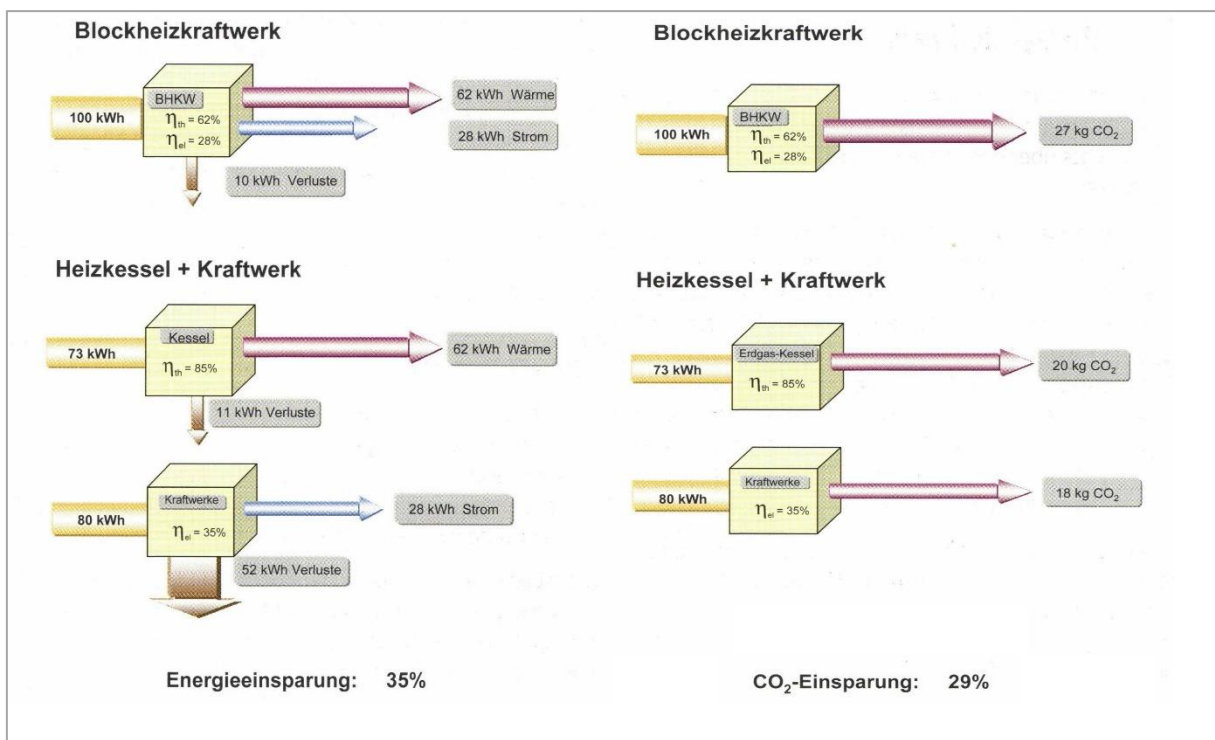


Abbildung 1 CO<sub>2</sub> und Energieeinsparung von einer BHKW (Quelle: [1, S. 13])

Anhand der Abbildungen 1&2 kann man den Vorteil von Blockheizkraftwerken deutlichen erkennen. Die Erzielten Einsparungen sind von Größe der Anlage abhängig und es kann ein elektrischer Wirkungsgrad von bis zu 40% erzielt werden [1, S. 12]. Beachtlich ist jedoch die Einsparung an CO<sub>2</sub>, die ein BHKW liefert bei einem Vergleich zu Heizkessel und Kraftwerk. So ergibt sich eine CO<sub>2</sub> Einsparung von 29% wenn man beide Kraftwerksprozesse vergleicht. Die Einsparung an CO<sub>2</sub> ist jedoch auch abhängig vom Brennstoff eines BHKW.

Ein BHKW besteht aus mehreren Komponenten, die zusammen als Anlage verpackt wird. Eine zentrale Komponente ist der Motor, welche ursprünglich aus dem Fahrzeugbau kommen, die für den spezifizierten Einsatz modifiziert werden. Der Motor eines BHKW wird größtenteils bei konstanter Drehzahl betrieben, um die Lebensdauer des Motors zu erhöhen und Wartungen an der Anlage zu reduzieren. Außerdem wird darauf geachtet, dass der Motor möglichst bei einer optimalen Drehzahl zwischen 1000 bis 2000 Umdrehungen pro Minute arbeitet. Als gängige Motorvarianten werden Ottomotoren, Gasmotoren, Dieselmotoren und Stirlingmotoren verwendet. Die Brennstoffzelle ist eine neuere Technologie, welche für BHKW verwendet werden kann und befindet sich zur Zeit dieser Arbeit noch in der Forschung.

Für ein BHKW kann eine große Anzahl verschiedener Brennstoffe verwendet werden. Dazu gehören Erdgas, Biogas, Flüssiggas, Heizöl, Diesel oder Biodiesel, Pflanzenöl, Holzpellets und im seltenen Fällen auch Wasserstoff. Bei Biogas muss auf die Gaszusammensetzung und Qualität geachtet werden, weshalb das BHKW für die bestimmte Biogasanlage und Gaszusammensetzung entwickelt und angepasst wird um Biogas direkt vor Ort als Brennstoff nutzen zu können.

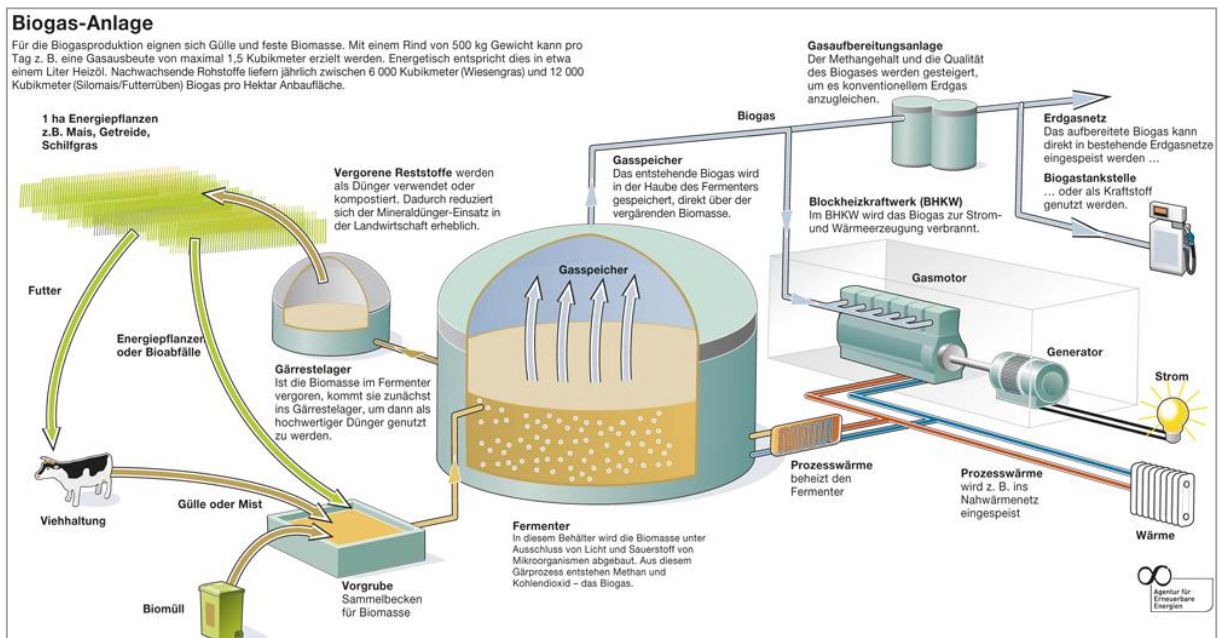


Abbildung 2: Beispiel des Betriebs von einem BHKW mit Biogas als Kraftstoff (Quelle: www.bhkw-infothek.de)

Mechanisch verbunden ist der Motor, über eine Welle und Kupplung, mit einem Generator. Als Generator kann ein Synchrongenerator als auch Asynchrongenerator verwendet werden. Der Asynchrongenerator lässt eine geringe Variabilität der Drehzahl durch den Schlupf zu, wodurch bei

kleinen Anlagen auf einen Frequenzumrichter verzichtet wird. Das spart Kosten und macht die Anlage weniger kompliziert, was besser geeignet ist für den Privatgebrauch bei Zwei- und Einfamilienhäusern. Die Drehzahlvariabilität des Asynchrongenerators reduziert aber den Wirkungsgrad, weshalb bei größeren BHKW ein Synchrongenerator mit Umrichter verwendet wird, um die Verluste bei der Stromerzeugung und der Einspeisung in das Netz zu reduzieren.

Für den Wärmeaustausch zwischen Verbraucher und Anlage sorgen zwei unterschiedliche Wärmetauscher. Die Wärme im Zylinder des Motors, welche durch die Verbrennung entsteht, wird über die inneren Kühlkanäle mit Öl an einen Kühlwasser-Wärmetauscher abgegeben. Die restliche Wärme, die noch im Abgas steckt, wird dann über die Abgasleitungen durch einen Abgaswärmetauscher entzogen. Das Abgas muss anschließend gefiltert werden, da bei der Verbrennung Schadstoffe wie z.B.  $\text{NO}_x$  oder Feinstaub entsteht. In Abbildung 3 kann man die einzelnen Komponenten und die Verbindungen zueinander sehen welches einen guten Überblick über den gesamten Prozess zeigt.

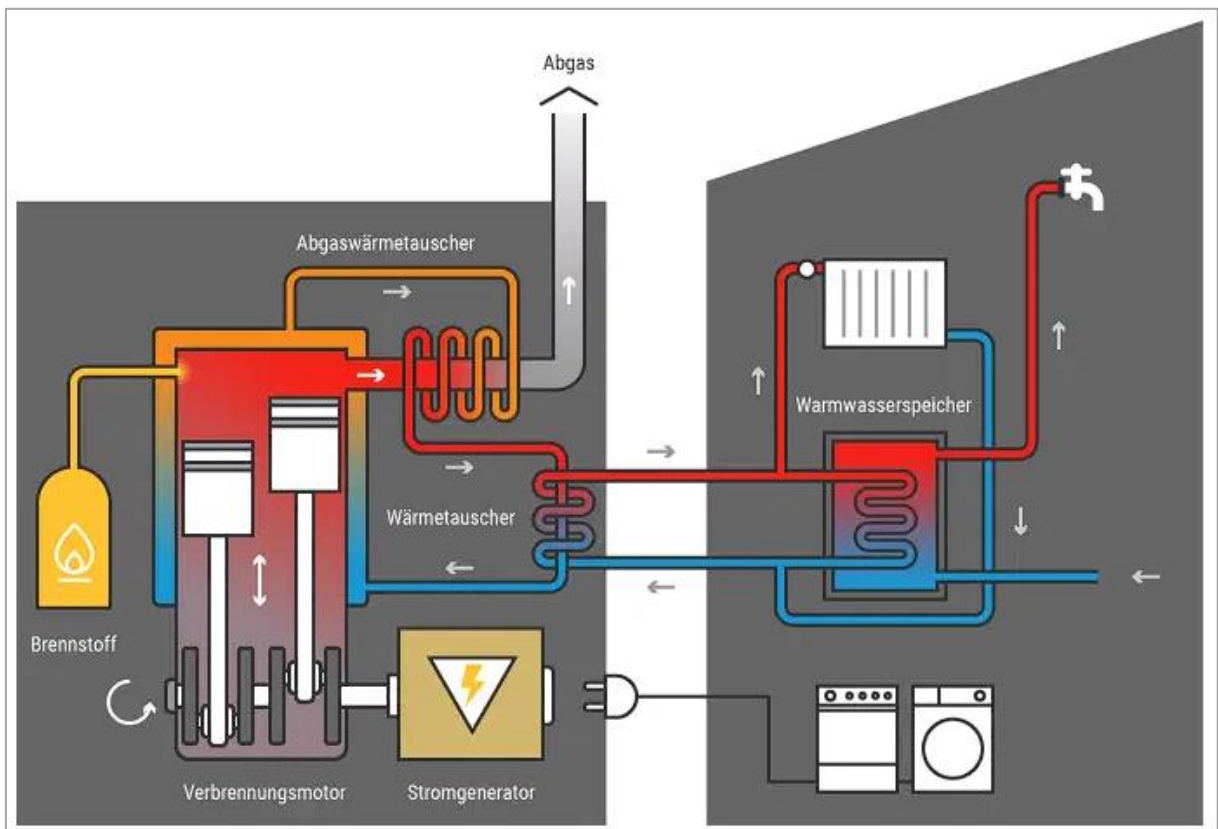


Abbildung 3: Funktionsprinzip für ein BHKW (Quelle: heizung.de)

## 2.1. Der Motor für ein BHKW

Die Wärmekraftmaschine, d.h. eine Maschine die Wärme in mechanische Energie umwandelt, ist die wichtigste Komponente für eine BHKW und legt alle anderen Dimensionierungen und Komponenten fest. Dabei ist wichtig, dass der Motor eine möglichst niedrige Drehzahl hat, um die Lebensdauer der Anlage zu erhöhen, den Verschleiß zu reduzieren und Wartungsintervalle zu verlängern. In den folgenden Unterpunkten werden gängige Motoren für ein BHKW genauer erläutert.

### 2.1.1. Der Stirlingmotor

Der Stirlingmotor ist eine von Robert Stirling entwickelte Wärmekraftmaschine. Sie ist ein Motor mit externer Verbrennung, bei der eine konstante Gasmenge (Luft, Helium, Stickstoff oder Wasserstoff) im inneren des Motors zyklisch komprimiert und expandiert wird. Die Wärmequelle dieses Motors befindet sich in einer außerhalb des Zylinders angeordneten Brennkammer. Bei Leistungsstarken Motoren erfolgt die Wärmezufuhr durch die Wand des Erhitzers, bei kleinen oder einfachen Motoren durch die Zylinderwand des heißen Zylinders. Der Stirling Prozess kann am besten durch die Alpha-Konfiguration gezeigt werden (Abb. 4).

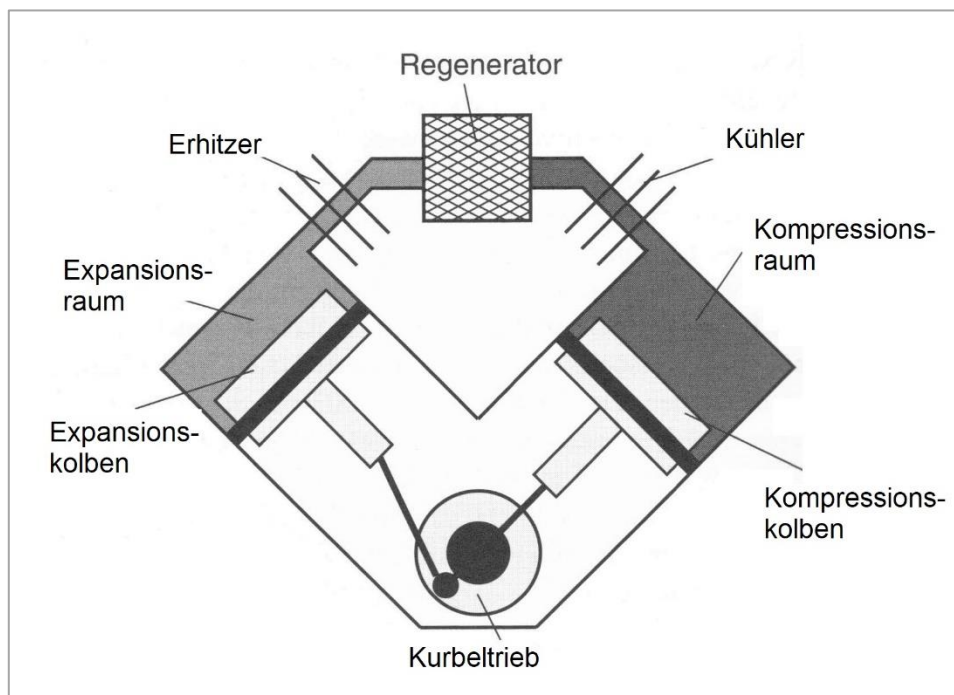


Abbildung 4: Stirlingmotor in Alpha-Konfiguration mit Regenerator (Quelle: [2, S. 54])

Der Stirlingmotor hat in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Beliebtheit gewonnen, da man nach alternativen Motorarten gesucht hat. Der Vorteil bei einem Stirlingmotor ist die einfache Verbrennung, wodurch kein hoher Aufwand betrieben werden muss, um eine effiziente und schadstoffarme Verbrennung zu erreichen. Aufgrund der äußeren Wärmezufuhr benötigt dieser Motor keinen

Hochwertigen Brennstoff und es können viele verschiedenen Brennmittel verwendet werden, weshalb dieser Motor auch als Vielstoffmotor bezeichnet wird. Als Wärmekraftmaschine durchläuft der Stirlingmotor folgenden Prozess:

1→2 Expansion des Gases im Heißen Raum (Rot in Abb. 5)

2→3 Verschiebung des Gases vom heißen Raum in den kalten Raum durch den Regenerator (Blau in Abb. 5)

3→4 Kompression des Gases im Kalten Raum mit Wärmeabgabe nach außen

4→1 Verschiebung des Gases vom Kalten Raum zum heißen Raum

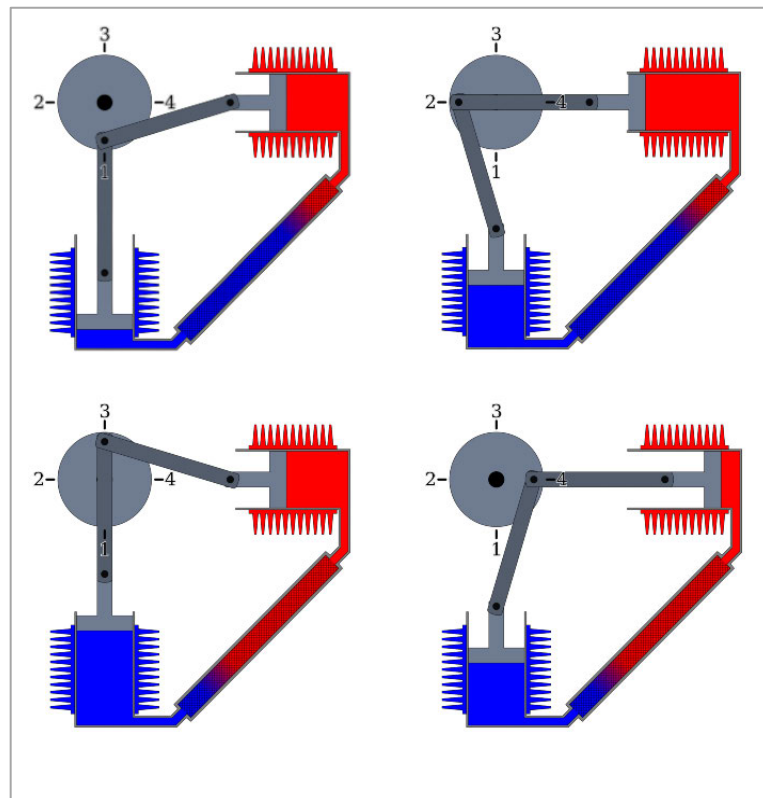


Abbildung 5: Stirling- Prozess am Motor Typ Alpha [3]

Im idealen Fall durchläuft der Stirling Motor im ersten Prozess eine Isotherme Expansion, im zweiten Prozess eine Isochore Wärmeabfuhr, im dritten Prozess eine Isotherme Kompression und im letzten Prozess eine Isochore Wärmezufuhr. In Abb. 6 kann man den Kreisprozess im p-v- und T-s- Diagramm sehen.



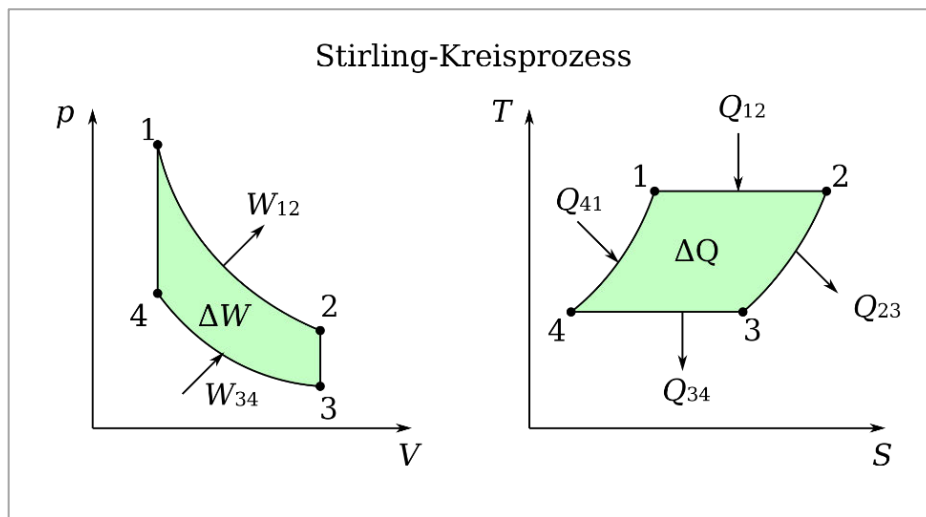


Abbildung 6: Stirling- Prozess [4]

Stirlingmotoren werden besonders bei kleinen Anlagen wie Micro- und Mini- BHKW verwendet, da sie einfach aufgebaut und preiswert am Markt verfügbar sind. Der Elektrische Wirkungsgrad ist jedoch deutlich geringer als bei anderen Motoren. So erreicht ein BHKW mit einem Stirlingmotor nur einen maximalen Wirkungsgrad von 30% [1, S. 48]. Oft liegt der elektrische Wirkungsgrad  $\eta_{el}$  weit darunter, da der Wirkungsgrad bei einem Stirling Prozess der Carnot- Wirkungsgrad  $\eta_{Carnot}$  ist.

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{Kalt}}{T_{Hei\beta}}$$

Dafür sind Stirlingmotoren leiser und Vibrationsarmer und haben ein gleichmäßigeres Drehmoment im Gegensatz zu Otto- oder Dieselmotoren, da die Verbrennung stetig und konstant abläuft.

Es versuchen viele Firmen weltweit den Stirlingmotor als BHKW-Anlage auf dem Markt einzuführen. Der Leistungsbereich der entwickelten Motoren begrenzt sich jedoch von 1 kW<sub>el</sub> bis 40 kW<sub>el</sub> [1, S. 48]. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, werden viele verschiedene Brennstoffe getestet wie z.B. Biogas oder Holz, um die Anlage so einfach wie möglich zu gestalten, damit der Preis konkurrenzfähig bleibt Aufgrund des geringen elektrischen Wirkungsgrades.

Ein Mini- BHKW welches mit dem Stirlingmotor angetrieben wird ist das SOLO-Stirling-161-microKWK-Modul der Firma SOLO Stirling, welches seit 2004 vertrieben wird [2, S. 171]. Dies war das erste in Serie produzierte mini-BHKW auf Basis eines Stirlingmotors. Bis Ende 2006 sind etwa 120 Geräte im Einsatz gewesen. Befeuert wurde der Motor mit Erdgas oder Flüssiggas und erreichte laut Hersteller eine maximale elektrische Leistung von 9kW.

Als Arbeitsgas wird Helium genutzt mit einem Maximaldruck von bis zu 225 bar. Durch Variieren des mittleren Drucks des Heliums wird die Leistung des Motors geregelt. Das Arbeitsgas wird dafür durch zwei feine Düsen von oder zu einem Vorratsbehälter gepumpt, damit das Arbeitsgas gleichmäßig auf Prozess- und Pufferraum verteilt wird. Prozess- und Pufferraum sind zusätzlich miteinander durch eine weitere Düse verbunden, wodurch sich im Pufferraum der mittlere Prozessdruck einstellt. Der Motor treibt einen Asynchrongenerator an, welcher Luftgekühlt wird und eine Poolpaarzahl von zwei hat, damit die Drehzahl des Stirling Motors knapp oberhalb von 1500 min<sup>-1</sup> liegt.

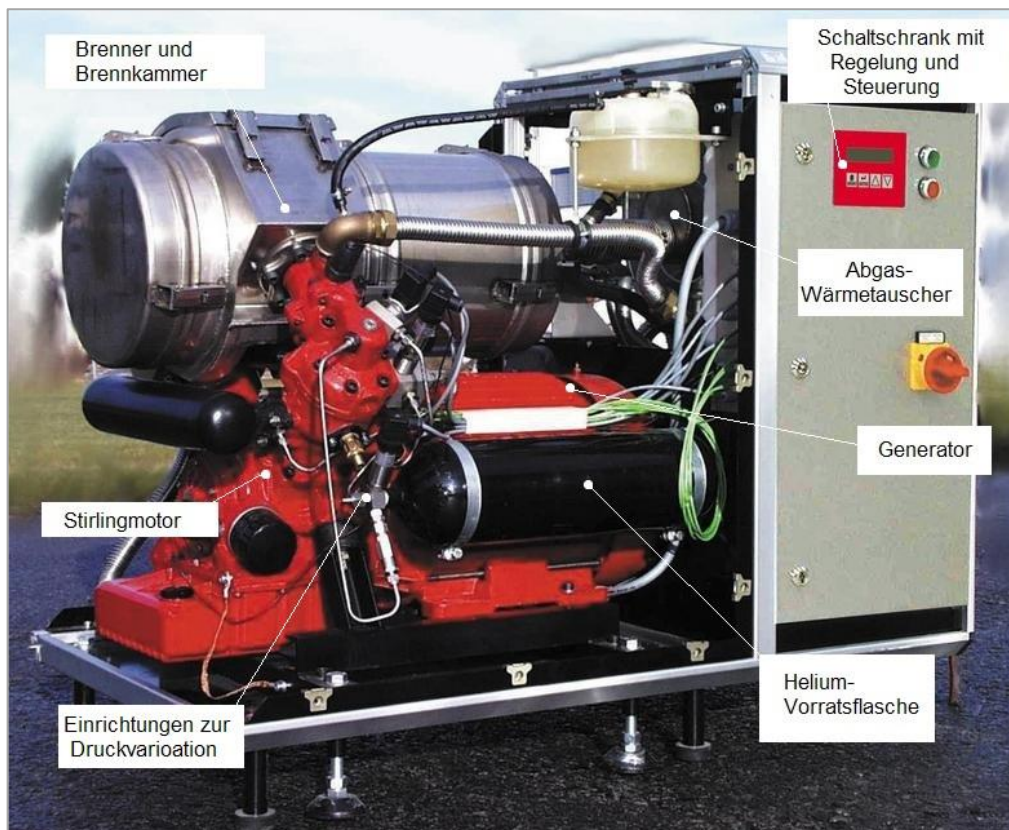


Abbildung 7: SOLO-Stirling-161-microKWK-Modul (Quelle: Fa. SOLO Stirling)

### 2.1.2 Der Ottomotor

Der Ottomotor ist eine Wärmekraftmaschine mit einer inneren Verbrennung. Das Kennzeichen des Ottomotors ist die Verdichtung eines Gemisches aus Kraftstoff und Luft, welches anschließend über eine Zündkerze am OT. Fremdgezündet wird. Als Kraftstoff dient Benzin, Flüssiggas, Erdgas, Biogas oder auch Wasserstoff. Den Ottomotor gibt es als Zweitakt- oder Viertaktmotor, jedoch ist der Viertaktmotor die weitaus verbreitetere Art. Die vier Takte bestehen aus:

1. Takt: (0→1) Ansaugen, füllen des Hubraums mit Frischladung
2. Takt: (1→2) Verdichten (isentropische Kompression) und (2→3) isochore Wärmezufuhr (Zündung und Verbrennung)
3. Takt: (3→4) Expandieren, isentrope Expansion, wodurch das heiße Gas Arbeit leistet
4. Takt: Ausschieben (4→1)

Beim Zweitaktmotor findet Ansaugen und Ausschieben leicht zeitlich versetzt voneinander statt, während der Expansion und Kompression. Der Zweitaktmotor hat durch die Verbrennung in jedem Zyklus mehr Leistung zur Verfügung, aber diese erhöhte Leistung des Motors kommt mit dem Nachteil, dass der Verschleiß erhöht und die Lebensdauer des Motors reduziert wird. Zudem erreicht man bei hohen Drehzahlen die technisch mögliche Grenze der Vollständigen Verbrennung, die aufgrund der Zündverzugszeit und der Zeit für die nötige Gemischbildung entsteht.





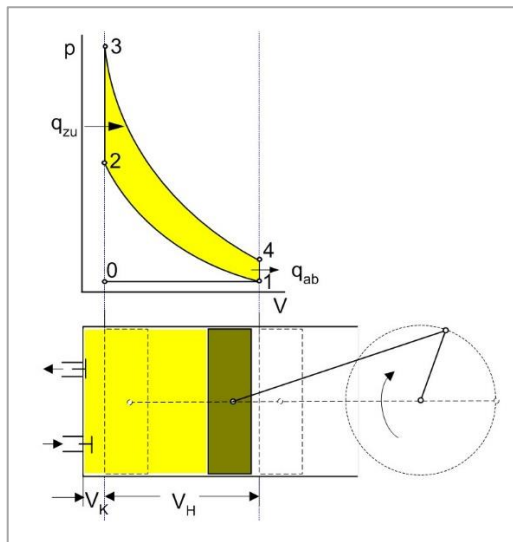


Abbildung 9: Gleichraumprozess am Hubkolbenmotor [6]

Der reale Prozess des Otto-Motors weicht jedoch deutlich vom Gleichraumprozess ab (Abb. 10). Das entsteht durch die Reibungs- und Strömungsverluste während der Expansion, Verdichtung und den Verlusten während des Ladungswechsels. Zudem ist das Verdichtungsverhältnis  $\epsilon$  begrenzt (üblich sind Verdichtungsverhältnisse von 10:1 bis 14:1 bei nicht aufgeladenen Motoren), welches den Verdichtungsdruck begrenzt. Dies ist zurückzuführen auf die Klopfestigkeit des Kraftstoff- Luft Gemischs. Die vollständige Gleichraumverbrennung wie in Abbildung 9 erzeugt extreme Druckspitzen, welche den Motor schädigen, weshalb im realen Verbrennungsprozess eine langsamere Verbrennung angestrebt wird, deren Verbrennung sich nach Art eines Gleichdruckprozesses in den Bereich der Expansion erstreckt [6]. Zusätzlich ist das Kraftstoff-Luft-Gemisch kein ideales Gas Aufgrund der Veränderung der Wärmekapazität bei hohen Temperaturen. Außerdem wird die Stoffliche Zusammensetzung des Gases bei der Verbrennung verändert, wodurch thermodynamisch relevante Eigenschaften sich mitverändern.

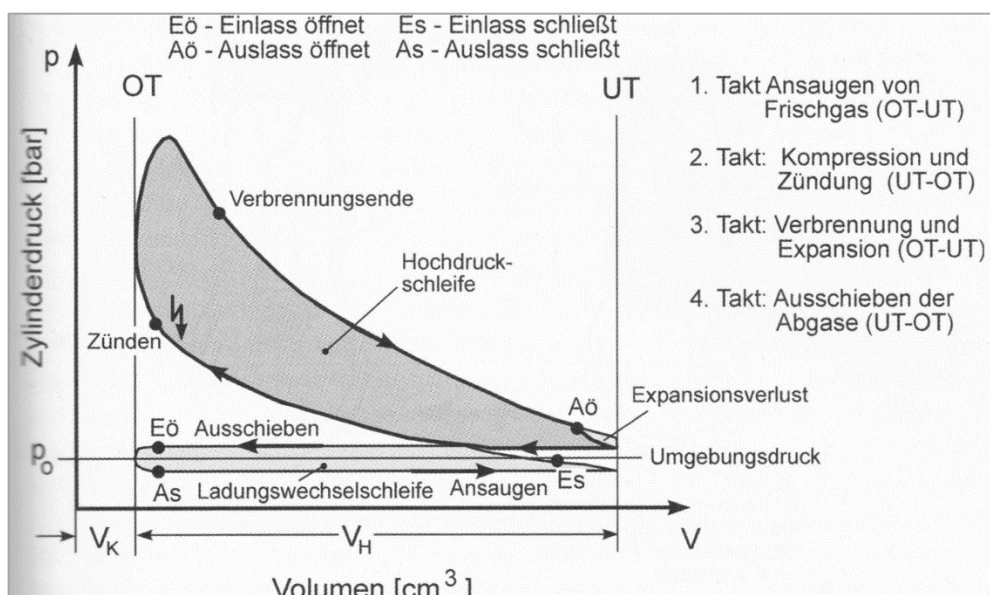


Abbildung 10: Arbeitsdiagramm eines Viertakt- Ottomotors [7, S. 84]

Da der Ottomotor in der Automobilindustrie beliebt und weitverbreitet ist, findet er auch Verwendung als Wärmekraftmaschine in einem BHKW. Als Mini- BHKW findet man auf dem deutschen Markt viele Hersteller wie z.B. die Firma Vaillant, welche verschiedene Modelle in Deutschland vertreibt. Das Modell welches als Beispiel dienen soll ist das Mini- BHKW „ecopower 3.0“. Diese BHKW wird mit Propangas oder Erdgas betrieben, die zwischen 1,3 und 4,7  $kW_{el}$  liefert [2, S. 171]. Die Leistungsvariation wird durch die Variation der Drehzahl erreicht, da ein Synchrongenerator mit Frequenzumrichter in die Anlage integriert ist, um die Leistung in das Stromnetz einspeisen zu können. Der Gasmotor ist ein Einzylinder-4-Takt Motor von der Firma Battelle, welches aus den USA stammt. Der Motor ist wassergekühlt und läuft mit einer Drehzahl von 1200 bis 3600 Umdrehungen pro Minute [2, S. 198].

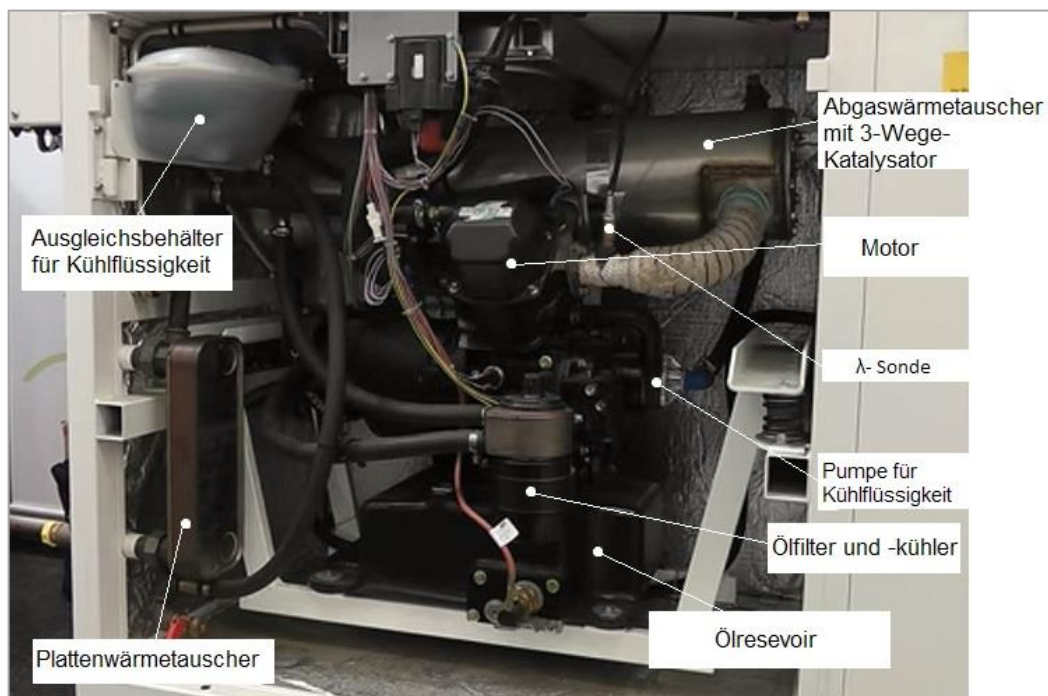


Abbildung 11: ecopower 3.0 geöffnet (Quelle: YouTube)

### 2.1.3 Der Dieselmotor

Der Dieselmotor, erfunden vom deutschen Ingenieur Rudolf Diesel ist eine Wärmekraftmaschine mit Kompressionszündung, d.h. der Treibstoff wird im Zylinder des Motors selbst gezündet. Dafür wird das Kraftstoff- Luft- Gemisch im Zylinder gebildet. Dies geschieht bei konventionellen Dieselmotoren durch die direkte Einspritzung des Kraftstoffs in die Brennkammer. Damit der Kraftstoff möglichst gleichmäßig im Hubraum verteilt, wird eine feine Einspritzdüse genutzt, die mit einem hohen Druck den Kraftstoff beim Einspritzen zerstäubt, um ein möglichst homogenes Kraftstoff-Luft- Gemisch zu erreichen.





Zerstäubung des Kraftstoffes Aufgrund der Düsenfehler Mangelhaft, wodurch ein Großteil der eingespritzten Kraftstoffmenge schlagartig verbrennt. Da Den Dieselmotor gibt es am häufigsten als Vier- oder Zweitakter. Der Viertaktmotor findet gebrauch in der Automobilindustrie sowie bei kleineren Motoren, welche höhere Drehzahlen benötigen. Der Zweitaktmotor findet häufig Verwendung im Schiffsbau oder bei großen Anlagen, welche langsamer Laufen und ständig für längere Dauer im Betrieb sind. Da der Dieselmotor eine Direkteinspritzung hat und somit das Kraftstoff-Luft-Gemisch direkt gezündet wird ist die Zündverzugszeit beim Diesel deutlich kürzer. Das führt zu einer niedrigeren maximal möglichen Drehzahl als beim Ottomotor. Dies kommt daher, dass der Kraftstoff durch die direkte Einspritzung bei zu hohen Drehzahlen nicht genug Zeit hätte, um sich fein zu zerstäuben, damit eine saubere Verbrennung stattfindet.

Die Direkteinspritzung die eine Verbrennung bei hohen Temperaturen und Verdichtungsverhältnissen ermöglicht, verursacht leider auch eine Inhomogenität im Brennraum. Dies führt zu Bildung von lokalen Luftverhältnissen, die in der Nähe der Einspritzdüse am niedrigsten ist und mit Abstand zur Düse rapide zunimmt (Abb.13). Das „fette“ Luftgemisch (Luftverhältnisse < 1) und das „magere“ Luftgemisch (Luftverhältnisse > 1) kombiniert mit hohen Temperaturen bei ca. 700°C, begünstigt Rußbildung in der Nähe der Einspritzdüse und NO<sub>x</sub> Entstehung an den äußeren Rändern im Brennraum.

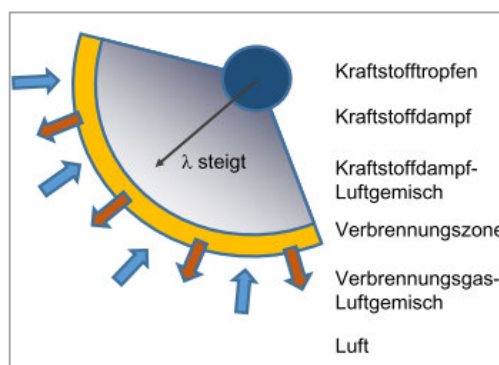


Abbildung 13: Lokale Lambdas bei Direkteinspritzung [8, S. 147]

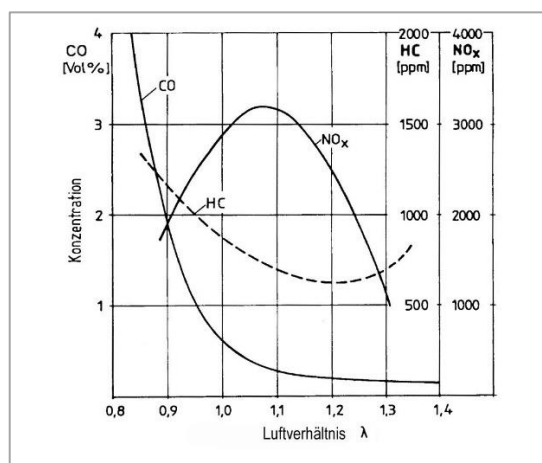


Abbildung 14: Schadstoffkonzentration über Luftverhältnis [9]

## 2.2 Wärmetauscher für BHKW

Ein Wärmetauscher nutzt die Temperaturunterschiede zwischen zwei Fluiden, die im getrennten Kreislauf fließen, um Wärme von einem Fluid in das andere zu übertragen. Die beiden Fluide werden dabei nicht vermischt, also findet kein Stoffaustausch statt. Dabei fließen die beiden Fluide im Gleichstrom oder im Gegenstrom. Die Strömung in Wärmetauschern wird durch Pumpen erzeugt, die in beiden Kreisläufen vorhanden sind. Die Rohre im inneren von Wärmetauschern haben oft besondere Oberflächenstrukturen, um Grenzschichtbildung zu minimieren. Dadurch wird eine bessere Wärmeübertragung mit Hilfe der Konvektion erreicht.

Die Wärmetauscher eines BHKW sind die wichtigsten Komponenten, um den Nutzungsgrad der Anlage zu erhöhen, da sonst kein Unterschied zu einem Notstromaggregat besteht. Die Wärmetauscher, bestehend aus Abgaswärmetauscher und Plattenwärmetauscher, werden an ein Heizkreislauf angeschlossen, um so z.B. den Warmwasserbedarf eines Haushaltes zu decken. Alternativ kann die Wärme auch zwischengespeichert werden mit Hilfe von einem Wärmespeicher.

Der Hydraulischer Anschluss lässt sich keinem Pauschalen Schema zuordnen, da dies auf den Bedarfs- und Anwendungsfall abgestimmt sein muss [2, S. 106]. Dies kann Grund dafür sein, dass eine Anlage keine optimalen Ergebnisse liefert.

Für die Basisgleichung eines Wärmetauschers ergeben sich die Variationsparameter für die Konstruktion.

### 2.2.1 Abgaswärmetauscher

Als Abgaswärmetauscher bieten sich zwei Varianten an, die im Betrieb von BHKW genutzt werden:

- Rohrbündelwärmetauscher
- Rohrwärmetauscher

Der Rohrbündelwärmetauscher besteht aus einer zylindrisch geformten Hülle und kleinen Kanälen wie in Abb. 16 zu sehen ist. Ein Fluid fließt über die Rohre, wie hier der Manteleintritt und Austritt deutlich macht. Das Zweite Fluid fließt durch die schmalen Rohre, hier Rohreintritt und Austritt. Der Rohrbündelwärmetauscher ist der am häufigsten benutzter Wärmetauscher in Öl Raffinerien und großen Chemieanlagen. Durch die vielen kleinen Rohre im Mantel wird eine große Oberfläche erzeugt, womit ein effizienter und wirksamer Wärmeaustausch gewährleistet wird. Dies ist entscheidend da das Abgas bei einem BHKW als Gas durch den Wärmetauscher strömt. Gase sind im allgemein schlecht wärmeleitend, da sie eine geringe Dichte besitzen. Dies kann man auch durch Nachschauen der Wärmeleitung verschiedener Gase in Wärme Atlassen bestätigen. Das Material des Abgaswärmetauschers ist abhängig vom Abgas. Meistens werden korrosionsbeständige

Edelstahlorten wie z.B. X6CrNiTi18-10 oder X6CrNiMoTi17-12-2 verwendet die zusätzlich gut schweißbar sind.

Ein Rohrwärmetauscher wird Aufgrund seines geringeren Wirkungsgrades und des erhöhten Raumbedarfs, durch die verhältnismäßig geringere Fläche im Vergleich zum Rohrbündelwärmetauscher, selten für kleinere Anlagen verwendet.

### 2.2.2 Plattenwärmetauscher

Der Plattenwärmetauscher bei einem nano- BHKW, dient hauptsächlich zur Wärmeübertragung der Abwärme des Motors. Ein Plattenwärmetauscher ist in verschiedenen Größen und Anordnungen verfügbar. Wie der Name schon sagt, besteht dieser Wärmetauscher aus vielen dünnen Platten, welche meistens wellenförmige Profile besitzen. Die Platten werden mit Zwischenräumen Aufeinander gelegt.

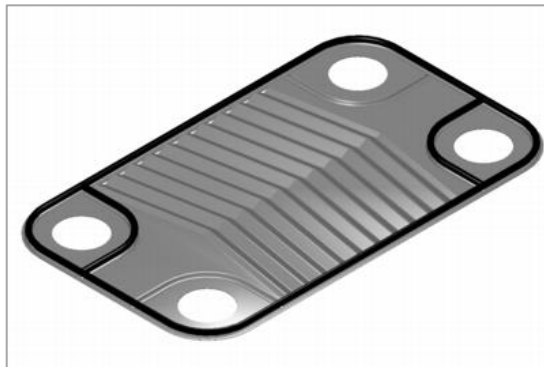


Abbildung 15: Platte eines Plattenwärmetauschers [10]

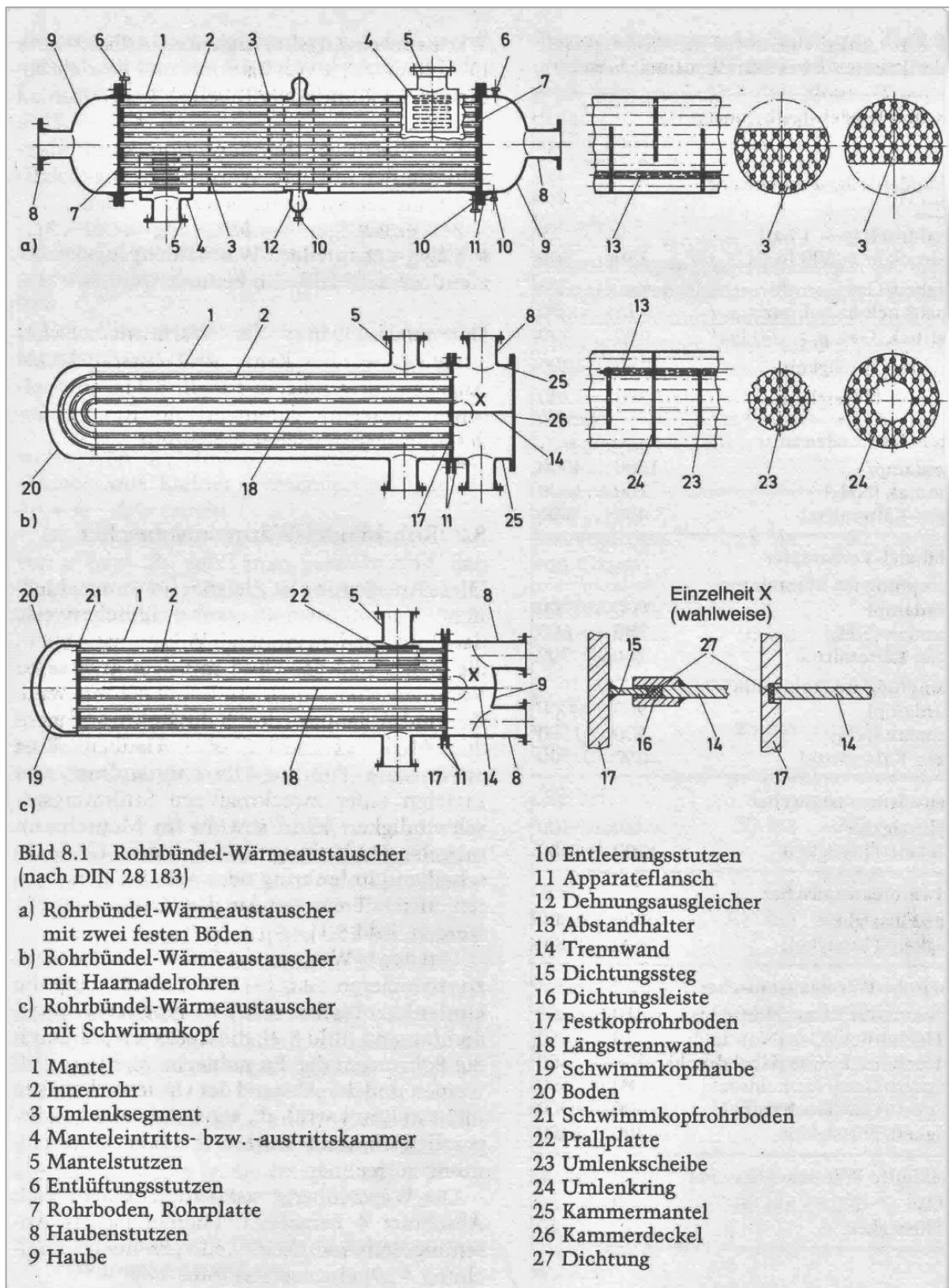


Abbildung 16: Rohrbündelwärmetauscher mit Aufbau [11, S. 94]



Die Platten werden entweder fest verlötet oder miteinander verschraubt. Beim Verlöten besteht der Nachteil, dass bei Verunreinigungen oder Ablagerungen zwischen den Platten die Reinigung deutlich schwieriger ist als bei der Verbindung durch Schrauben. Die häufigste Verbindungsart ist jedoch das Verlöten der einzelnen Platten, da dies in der Produktion einfacher ist und die verschraubten Plattenwärmetauscher regelmäßig auf Leckagen geprüft oder Schrauben nachgezogen werden müssen. Die Anzahl an Platten kann unterschiedlich sein, je nachdem welche Wärmemenge befördert werden soll. Zudem ist auch die Größe der einzelnen Platten und die Imprägnierung unterschiedlich und vom Hersteller abhängig. Auf dem deutschen Markt gibt es viele Hersteller für Plattenwärmetauscher, die Produkte passend für den Leistungsbereich eines Nano-BHKW anbieten. Die Preise liegen zwischen 50 – 150 Euro, wobei der Preis mit Leistungsfähigkeit des Apparates steigt [12].

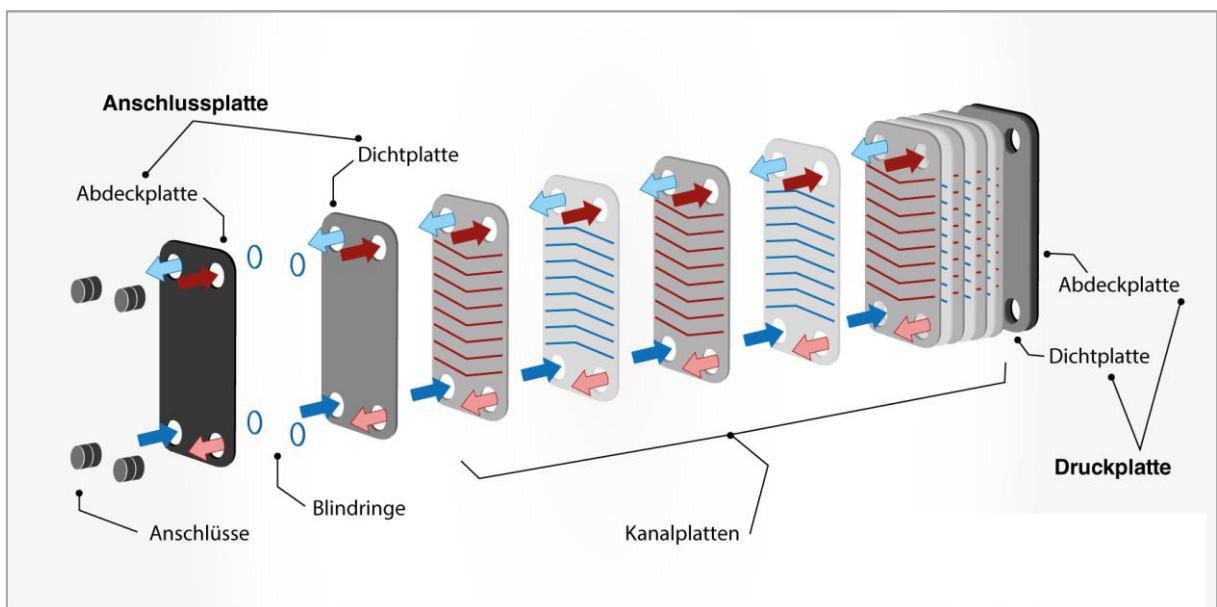


Abbildung 17: Aufbau eines Plattenwärmetauschers [12]

## 2.3. Regelung und Messtechnik für BHKW

Da ein BHKW aus vielen verschiedenen Komponenten besteht, die miteinander verbunden sind, ist die optimale Regelung und Steuerung der Anlage für einen sicheren und Wirtschaftlichen Betrieb entscheidend. Die Leistung der Anlage ist direkt abhängig vom Verbrennungsmotor. Somit kann ein großer Teil der Regelung auf den Motor begrenzt werden. Die Massenströme der Kühlkreisläufe werden über Pumpen erhöht oder reduziert und dem Kraftstoffverbrauch und der elektrischen Leistungsabnahme angepasst. Dies geschieht heutzutage komplett durch Computer und der Betrieb der Anlagen ist vollständig automatisiert. Auf dem deutschen Markt gibt es viele Hersteller die fertige BHKW- Regelsysteme anbieten.

### 2.3.1 Regelung und Messung vom Motor

Am Beispiel eines Ottomotors wird die Steuerung und Regelung erläutert, da Antriebe mit Gasen eher üblich für Ottomotoren sind. Dieselmotoren können zwar auch mit z.B. Erdgas betrieben werden, aber durch die geringe Zündwilligkeit von Erdgas wird immer eine kleine Menge an Diesel in den Hubraum eingespritzt. Zusätzlich ist die Abgasnachbehandlung beim Diesel aufwändiger als bei Ottomotoren, weshalb ein Nano-BHKW mit einem Ottomotor mehr Sinn macht.

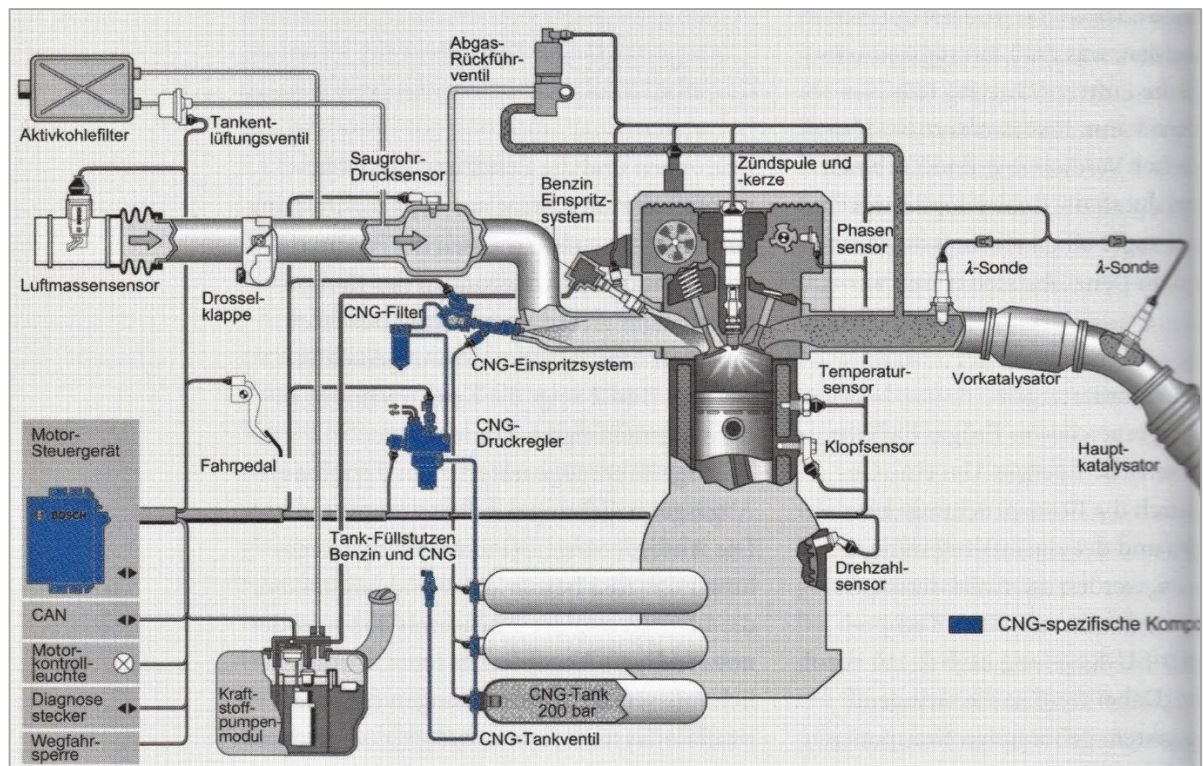


Abbildung 18 Beispiel einer Steuerung und Regelung eines Ottomotors mit Saugrohreinjection für PKWs mit Erdgas [13, S. 396]

## Lambdasonde:

Die Lambdasonde misst den Restsauerstoffgehalt nach der Verbrennung des Treibstoffs im Abgas und leitet den gemessenen Wert als elektrische Spannung an das Motorsteuergerät. Anhand dieser Spannung stellt das Steuergerät fest, ob das Kraftstoff-Luft- Gemisch fett oder mager ist. D.h. ob zu viel Kraftstoff oder zu wenig Kraftstoff im Gemisch vorhanden ist. Tritt eines der beiden Zustände ein, wird das Mischverhältnis durch Erhöhen oder Reduzieren der Kraftstoffmenge so angepasst, dass ein  $\lambda = 1$  von der Lambdasonde gemessen wird. Dies ist wichtig für die Abgasnachbehandlung, da ein Katalysator nur mit einem  $\lambda = 1$  effektiv Schadstoffe wie CO und NO<sub>x</sub> reduzieren kann.

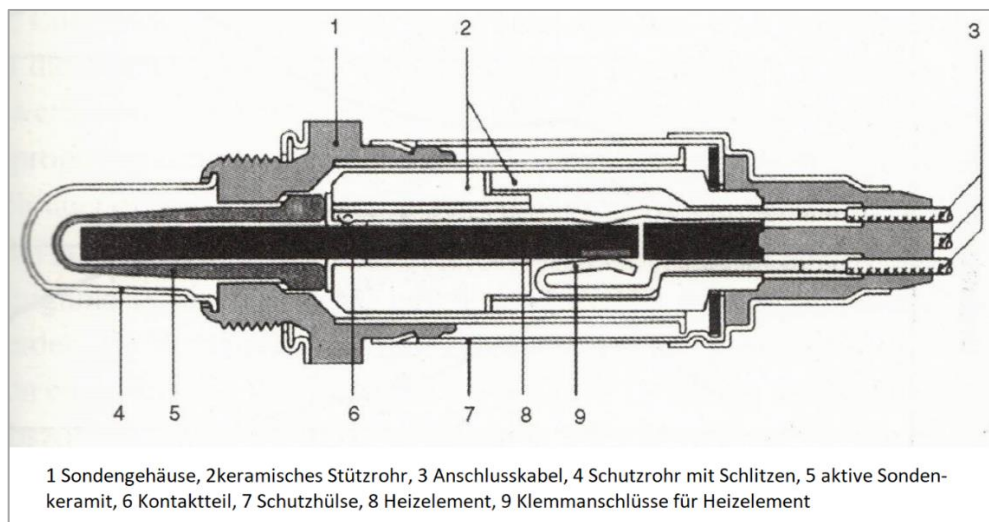


Abbildung 19: Lambdasonde [14, S. 221]

Es gibt verschieden Arten und Bauweisen von Lambdasonden, jedoch erfüllen sie denselben Zweck und haben eine ähnliche Funktionsweise und Signalausgabe an das Steuergerät. So gibt es z.B. die Fingersonde, Planarsonde, Breitbandsonde und Sprungsonde.

Da die Abgasnormen und die Grenzwerte für Abgase immer strenger werden, ist die vollständige Funktionsfähigkeit der Lambdasonde unverzichtbar. Bei vielen neuen Motoren werden zwei Lambdasonden eingesetzt, die sich gegenseitig kontrollieren und die Funktion des Katalysators überwachen (siehe Abb. 18).

Da Abgase direkt nach dem Auslass aus dem Zylinder hohe Temperaturen haben sind Lambdasonden extremen Belastungen ausgesetzt. Eine einwandfreie Lambdasonde ist wichtig für den verlässlichen Betrieb eines Motors. Die Lambdasonde ist wichtig für einen niedrigen Kraftstoffverbrauch, einen geringen Schadstoffausstoß und für korrekte Abgaswerte. Eine vollständig intakte Lambdasonde bewirkt eine Kraftstoffeinsparung von bis zu 15 % im Vergleich zu einer gealterten oder Defekten Lambdasonde.

### Saugrohrdrucksensor:

Der Saugrohrdrucksensor misst den Druck im Saugrohr, welcher nach der Drosselklappe herrscht und gibt die Daten an das Motorsteuergerät weiter. Mit den Daten des Sensors werden Luftdichte berechnet und zusätzlich erfolgt eine Luftmengenmessung des Motors.

### Nockenwellensensor:

Der Nockenwellensensor erfüllt die Aufgabe, die Position des Kurbeltriebs zu definieren. Die Daten werden anschließend an das Motorsteuergerät gesendet, damit das Steuergerät weiß, wann sich ein Zylinder im oberen oder unteren Totpunkt befindet. Die Daten vom Nockenwellensensor werden dreimal benötigt, einmal für den Einspritzbeginn, dann für das Ansteuerungssignal des Magnetventils beim Pumpe- Düse- Einspritzsystem und zusätzlich noch für die Klopfregelung für jeden Zylinder.



Abbildung 20: Nockenwellensensor (Quelle: hellas.com)

Der Nockenwellensensor funktioniert nach dem Hall-Prinzip. Dabei wird ein Zahnkranz abgetastet, welcher sich auf der Nockenwelle befindet. Durch Rotation des Zahnkranzes verändert sich die Spannung des im Sensorkopf befindlichen Hall-IC. Das Steuergerät verarbeitet dieses Spannungssignal und wertet sie aus, um erforderliche Daten festzustellen.

Defekte Nockenwellensensoren können Startschwierigkeiten, Aufleuchten der Motorkontrollleuchte und Start des Notlaufprogramms verursachen.

### Temperatursensor:

Im Motor gibt es mehrere Temperatursensoren die unterschiedliche Fluide und Temperaturen an verschiedenen Stellen messen. So wird z.B. die Temperatur des Kühlmittels im Kühlmittelkreislauf gemessen. Anhand der Temperatur aus dem Kühlmittelkreislauf, wird mit dem Motorsteuergerät die Kraftstoffeinspritzung und die Zündzeiten angepasst.

Im Ansaugtrakt des Motors befindet sich ein Ansauglufttemperatursensor, welcher wie der Name schon sagt, die Temperatur der Angesaugten Luft misst und somit die Luftdichte ermittelt wird, damit eine Korrektur für das Einspritzsystem vorgenommen werden kann, wenn dies erfordert wird.

Zusätzlich gibt es Temperatursensoren für die Außentemperatur, Motoröltemperatur, Abgastemperatur und Kraftstofftemperatur.

#### Drucksensoren:

Drucksensoren werden eingesetzt, um viele verschiedene Drücke am und im Motor zu messen. So wird z.B. der Druck der angesaugten Luft im Ansaugtrakt und der Ladedruck gemessen. Bei einem Motor mit Saugrohreinspritzung wird mit Hilfe eines Saugrohr-Absolutdruck-Sensors der Druck im Saugrohr gemessen. Bei Saugmotoren liegt der Druckbereich von unter bis etwas über 1 bar. Bei aufgeladenen Motoren kann der Ansaugdruck auf über 2 bar betragen.

Für die Fördermengen der Kraftstoff- und Ölpumpen sorgt der Mitteldrucksensor. Dieser Sensor wird in allen Arten von Verbrennungsmotoren benutzt. Auf Basis der Messdaten des Mitteldrucksensors werden Fördermengen von Kraftstoff- und Ölpumpen geregelt. Die Druckausmessung erfolgt elektrisch mithilfe einer Siliziummembran, deren Verformung mit Hilfe einer Widerstandsbrücke ausgewertet wird.

Die Messung des Zylinderdrucks im Verbrennungsprozess erfolgt häufig durch piezoelektrische Höchsttemperatur-Drucksensoren, welche durch eine Bohrung im Zylinderkopf eingebaut werden. Alternativ werden auch Messzündkerzen mit integriertem Hochtemperatur-Drucksensor benutzt, wodurch die Arbeit für eine zusätzliche Messbohrung im Zylinderkopf erspart bleibt.



Abbildung 21: Messzündkerze mit Miniatur Zylinderdruck-Sensor von der Firma Kistler [15]

#### Positionssensoren:

Als Positionssensoren gibt es z.B. Sensoren, um die Drosselklappenstellung zu erfassen. Der Drosselklappensensor ist an der Drosselklappenachse befestigt, um den Öffnungswinkel der Drosselklappe zu messen. Diese Daten werden dann zusammen mit den Daten der vorher genannten Sensoren benutzt, um die Kraftstoffmenge zu bestimmen.



### Klopfsensor:

Der Klopfsensor sorgt dafür das der Zündzeitpunkt vom Motorsteuergerät geregelt werden kann, damit Klopfen und somit Schäden am Motor verhindert werden können. Diese Sensoren werden permanent vom Steuergerät überwacht, da der Zündzeitpunkt meistens immer so gewählt wird, dass der Prozess gerade unterhalb der Klopfgrenze abläuft.

### Drehzahlsensor:

Im Motor werden Drehzahlen von der Kurbelwelle und von der Kraftstoffeinspritzpumpe gemessen. Die Motordrehzahl und die Position von der Kurbelwelle werden vom Kurbelwellensensor gemessen, wodurch das Motorsteuergerät mit diesen Daten den Einspritz- und Zündimpuls berechnen kann.

### 2.3.2. Regelung und Messung am Synchrongenerator

Der Synchrongenerator erfordert Aufgrund seiner Aufwändigen Bauart im Vergleich zum Asynchrongenerator, eine präzisere und schnellere Regelung, um Strom bei einer konstanten Frequenz von 50 Hz zu liefern. Die Regelung des Synchrongenerator wird durch zwei Regelstufen bestimmt. Die zwei Stufen bestehen aus der ersten Stufe, welche die Drehzahl des Generators konstant hält und die zweite Stufe, welche die Ausgangsspannung konstant hält. Die Drehzahl wird über eine elektronische Verschaltung oder mit einem Stellmotor am Gashebel realisiert. Die Frequenz der Spannung bei einer konstanten Drehzahl ist abhängig von der Polpaarzahl der Synchronmaschine. Sie ist definiert durch:

$$f = n \cdot p$$

Man kann auch die benötigte Drehzahl der Synchronmaschine anhand der erforderlichen Frequenz von 50Hz die vom Stromnetz vorgegeben ist berechnen:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

So ergibt sich die erforderliche Drehzahl bei Netzfrequenz in Abhängigkeit der Polpaarzahl.

*Tabelle 1: Drehzahl in Abhängigkeit der Polpaarzahl bei Netzfrequenz*

Anzahl Polpaare	Drehzahl bei $f = 50\text{Hz}$ [1/min]
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
6	500

Oft sind bei Synchronmaschinen Steuergeräte eingebaut, so dass keine externe Steuerung oder Regelung nötig ist.

### 2.3.3. Steuergeräte für Gasmotoren und BHKW

Da der Kühlkreislauf bei einer BHKW etwas größer und um einige Komponenten erweitert ist als in einem normalen PKW, gibt es verschiedene Möglichkeiten den Kühlkreislauf zu regeln. So wird ein Teil der Steuerung und Regelung von Pumpen im Kühlkreislauf vom Motorsteuergerät übernommen, wie in Punkt 2.3.1 erwähnt. Es gibt auf dem deutschen Markt aber auch Steuergeräte, die mehrere Temperaturanschlüsse erlauben, damit auf zusätzliche Steuermodule verzichtet werden kann. Ein Beispiel für so ein Motorsteuergerät ist das trijekt gas von der Firma Trijekt. Dieses Steuergerät ist speziell für Gasmotoren ausgelegt und erlaubt bis zu sechs Anschlüsse für Temperatursensoren. Zusätzlich ist das Steuergerät geeignet für ein BHKW oder für andere stationäre Anwendungen.



Abbildung 22: Motormanagement von der Firma Trijekt (Quelle: trijekt.de)

#### 2.3.4. Betriebsarten für BHKW

Aufgrund der Kraftwärmekopplung fallen beim BHKW Strom und Wärme gleichzeitig an. Deshalb kann der Betrieb eines BHKW an den Strom- oder Wärmebedarf angepasst werden. Dabei spricht man von einem stromgeführten oder wärmegeführten Betrieb der Anlage.

Der wärmegeführte Betrieb ist der Standard für ein BHKW. Diese Betriebsweise wird oft in privaten Haushalten wie Ein- und Mehrfamilienhäusern benutzt, da der Wärmebedarf im Tagesverlauf nicht so stark schwankt wie der Strombedarf. Zusätzlich nutzt man den Vorteil, den ungenutzten Strom in das öffentliche Netz einzuspeisen. So ist die Steuerung der Anlage deutlich einfacher, da nur Wärme dann erzeugt wird, wenn diese auch wirklich benötigt wird. Die wärmegeführte Betriebsweise für ein BHKW kann nach der Grundlast oder dem Spitzenbedarf ausgelegt werden. Für den Fall einer Auslegung nach der Grundlast, muss eine Zusatzheizung für die Spitzenzeiten hinzugefügt werden.

Der stromgeführte Betrieb ist darauf ausgelegt, möglichst viel Strom mit der Anlage zu produzieren, d.h. die produzierte Wärme in der Anlage wird nicht immer benötigt. Deshalb muss die Anlage um einen Pufferspeicher erweitert werden, damit die Wärme bei Bedarf, zu einem späteren Zeitpunkt benutzt werden kann. Es gibt einige Anwendungsbereiche für stromgeführte BHKW. Zum einen nutzt man die stromgeführte Betriebsweise bei Inselbetrieb, d.h. wenn die Anlage nicht an das öffentliche Stromnetz angeschlossen wird. Die andere Möglichkeit wäre, wenn die Anlage mit nachwachsenden Rohstoffen betrieben wird, da Betreiber eine Vergütung erhalten, wenn sie den erzeugten Strom in das öffentliche Netz einspeisen.



### 3. Konzept eines Nano-BHKW für den Lehrbetrieb

Um den Studierenden die KWK näher zu bringen und den Lehrbetrieb mit einer Anlage praxisorientierter zu gestalten, soll ein Nano-BHKW konzipiert werden. In diesem Abschnitt werden wesentliche Komponenten für die Anlage ausgewählt, ein grobes thermodynamisches Modell erstellt, grundlegende Gleichungen und Aufbau der Anlage erläutert sowie ein CAD-Modell erstellt. Zusätzlich werden mögliche Modifizierungen für verschiedene Kraftstoffe, Betriebsweisen und Lehrkonzepte für die Anlage eingeführt.

Die Anlage soll eine elektrische Leistung von maximal 2,5 kW liefern und mit verschiedenen Gasen wie z.B. Wasserstoff, Erdgas und Ammoniak betrieben werden.

Bei dieser Arbeit wird sich nur auf die Komponenten beschränkt die notwendig sind damit die Anlage als BHKW benutzt werden kann. Dazu gehören nicht die standartmäßig vorhandenen Komponenten des Motors wie z.B. der Akku, Anlasser, eingebaute Sensoren usw., da die Auswahl dieser Komponenten keine Eigenarbeit enthält und nicht Teil der Konzeptionierung des BHKW ist.

#### 3.1. Auswahl eines passenden Verbrennungsmotors für das Nano-BHKW

Die Suche nach einem passenden Verbrennungsmotor gestaltet sich schwieriger als zuerst gedacht. Der Motor muss wassergekühlt sein und im Leistungsbereich eines Nano-BHKW arbeiten. Zudem muss der Motor in der Lage sein mit Gas betrieben zu werden. Ein Motor welches nach dem Ottoprozess arbeitet und Fremdgezündet wird, ist besser geeignet als ein Dieselmotor, da ein Ottomotor einen größeren Spielraum für Modifikation des Motors bietet um verschiedene Gase als Kraftstoff zu nutzen. Zusätzlich sind Ottomotoren in der Abgasnachbehandlung einfacher zu betreiben als Dieselmotoren, da ein Katalysator nur bei stöchiometrischer Verbrennung effektiv Stickoxide reduzieren kann. Also wird nach einem kleinen Viertakt Gas- oder Ottomotor gesucht. Die erste Anlaufstelle im Internet sind Einzelhändler die Gasbetriebene Notstromaggregate bieten, da diese schon einen Rahmen, Dämpfung, Elektronik, Steuerung und einen Katalysator besitzen, wäre ein passendes Modell eine große Erleichterung und man müsste die Anlage nur geringfügig Anpassen. Leider findet man in dem Leistungsbereich für Notstromaggregate, die mit Gas betrieben werden, keine Variante die Wassergekühlt ist, da eine Luftkühlung für Hersteller deutlich einfacher und kostengünstiger in der Fertigung ist. PKW-Motoren scheiden aus, da sie nur in großen Stückzahlen verkauft werden und weit über dem vorgegebenen Leistungsbereich Arbeiten. Zudem sind sie viel zu teuer und gebrauchte Motoren im Internet sind nicht geprüft oder haben keine Garantie problemlos zu laufen. Die Recherche im Internet und in Literaturen für Lieferanten und Hersteller der Motoren, die in Nano-BHKW eingebaut sind und auf dem Markt verkauft werden liefert keine Ergebnisse. Die stundenlange Suche im Internet ergibt, dass Motorrad-Motoren als mögliche Auswahl für diese Arbeit zur Verfügung stehen. Motorrad-Motoren haben jedoch das Problem, dass sie mit deutlich höheren Drehzahlen laufen als übliche Motoren für BHKW. Somit muss auf die Leerlaufdrehzahl geachtet werden und es

muss eine Drehzahl für den Motor festgelegt werden, die nicht zu niedrig ist damit der Motor problemlos laufen kann, aber auch nicht zu hoch ist damit die Anlage möglichst sparsam arbeitet und Verschleiß reduziert wird.

Für das BHKW wird ein Viertakt Einzylindermotor gesucht, welches einen Hubraum von ungefähr 150 bis 200 Kubikzentimeter besitzt, da dieser Hubraum ungefähr den Leistungsbereich eines Nano-BHKW bei einer mittleren Drehzahl von knapp 2000 Umdrehungen pro Minute abdeckt.

Die Hochschule besitzt einen Motor der Firma Piaggio für das Modell „Ape Calessino 200“ welcher luftgekühlt ist. Um diesen Motor als BHKW nutzen zu können, muss ein Kühlmantel um den Zylinder entwickelt und konstruiert werden damit die Abwärme am Motor genutzt werden kann.



Abbildung 23: Motor des Piaggio Ape Calessino 200

Motor	Einzylinder-Viertakt
Hubraum (Bohrung x Hub)	197 ccm (62,6 mm x 64 mm)
Leistung	6,5 kW bei 4.750 Umdrehungen $min^{-1}$
Verdichtungsverhältnis	9,5:1
Gemischbildung	Saugrohreinspritzung
Drehmoment	14,6 Nm bei 2500 Umdrehungen $min^{-1}$
Motorgewicht trocken	40 kg

Tabelle 2: Motordaten des Ape Calessino 200

### 3.1.1. Entwicklung eines Kühlmantels für den Zylinder des Ape Calessino 200

Um einen Kühlmantel zu entwickeln, müssen zuerst exakte Maße von den Oberflächen des Zylinders entnommen werden damit an den Dichtflächen keine Leckagen auftreten. Als Material kann für den Mantel ein dünnes Blech aus Edelstahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt verwendet werden wie z.B. 1.4301. Um exakte Maße für die Dichtflächen zu bekommen, wird ein 3D Scan verfahren genutzt, welches mit blauem Licht arbeitet und ein Digitales Abbild der wichtigen Oberflächen erzeugt, damit Messdaten abgenommen werden können. Der Kühlmantel soll aus drei Teilen bestehen, dazu gehört die untere Platte, der Mantel und die obere Platte. Die Vermessung wird mit dem Projekt „HAW-ILIdenT“ vom Institut Produkt- und Produktionsmanagement der HAW Hamburg unter der Leitung von Professor Isenberg durchgeführt. Es wird mit dem Einscan HX der Firma 3D Shining im Rapid Scan Modus mit einer Auflösung von 1 mm gescannt.

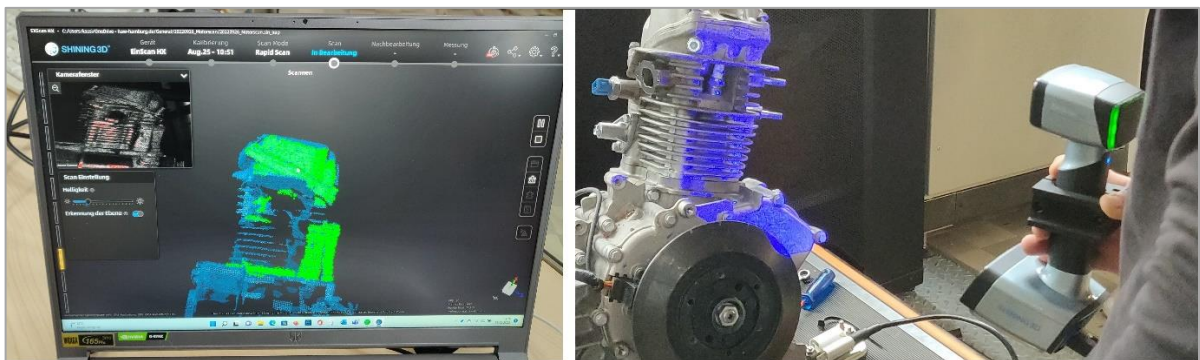


Abbildung 24: Scan am Motor (rechts), erzeugtes digitales Bild (links)

Durch Erzeugen von Ebenen an der gewünschten Stelle des Zylinders, kann durch einen Schnitt der Ebene der Querschnitt angezeigt werden.

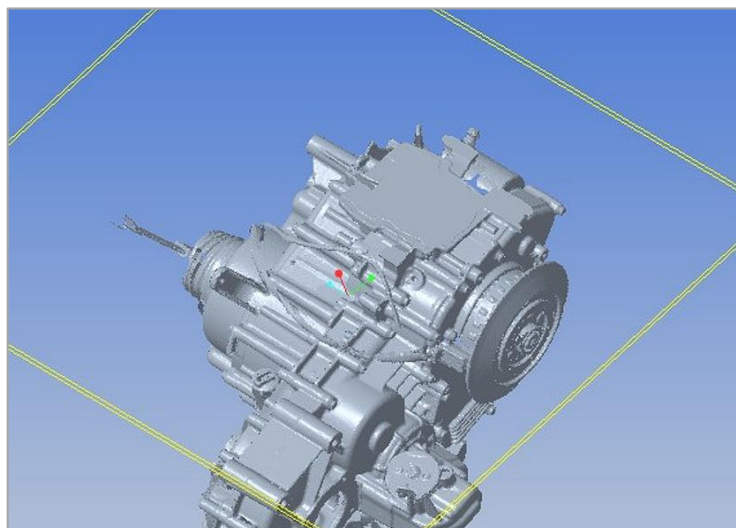


Abbildung 25: Eingescannter Motor mit Schnitt für die untere Platte



Anschließend wird eine Skizze auf dieser Ebene erzeugt, um den Querschnitt über Splines zu duplizieren. Da das Messverfahren eine Genauigkeit von 1mm liefert, muss ein kleiner Abstand zwischen der Oberfläche des Zylinders und dem erzeugten Profil vorhanden sein.



Abbildung 26: Skizze mit Splines für die untere Platte

Diese Skizze wird kopiert und in einer neuen Datei auf einer Platte als Ausschnitt erzeugt. Die Platte wird anschließend in drei Segmente aufgeteilt und mit Sechs Befestigungselementen versehen. Diese können draufgeschweißt oder mit der Platte aus einem Stück gefräst werden. Die obere und untere Platte wird me jeweils drei M8 Schrauben und M8 Muttern am Zylinder befestigt.

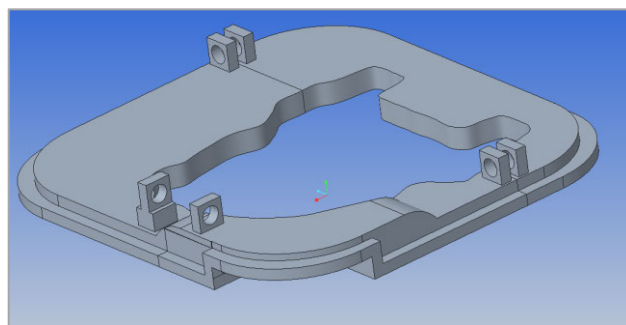


Abbildung 27: untere Platte mit Befestigungsblöcken

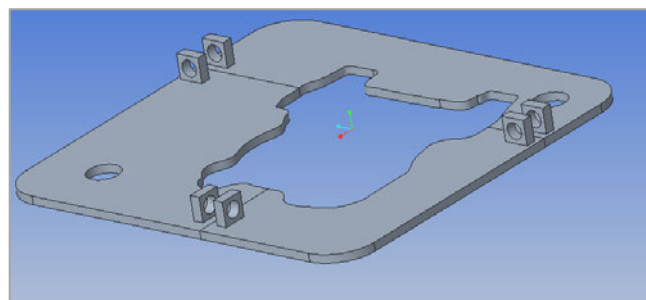


Abbildung 28: obere Platte mit Bohrungen für das Kühlsystem

Die obere Platte hat eine Dicke von 4 mm und die untere Platte eine Dicke von 10 mm. Anschließend werden beide Platten auf den Zylinder platziert um den Abstand zwischen den Platten ablesen in Creo ablesen zu können. Durch das Ablesen erhält man einen vertikalen Abstand von ungefähr 54mm von den innen liegenden Kanten der Platten zueinander. Da das Aufliegen der Platten am Zylinder und zwischen den Rippen nicht exakt ermittelt werden kann Aufgrund von fehlenden Oberflächen an den Rippen, muss der Außenmantel händisch nach Einbau der beiden Platten zurechtgeschnitten werden. Das Blech kann an der unteren Platte aufgelegt und verschweißt werden. Anschließend wird die obere Platte mit dem Blech verschweißt.

Da andere elektronische und mechanische Anschlüsse vorhanden sind und diese sehr nah am Kühlmantel liegen ist eine Verschweißung der Platten die einfachste Methode, um das Problem des begrenzten Raums zu lösen. Alternativ könnte man das Schweißen durch eine Verschraubung ersetzen, jedoch wird dadurch die Realisierung der Wasserkühlung deutlich komplexer, weil dann Ebene Platten nicht mehr möglich sind, da die Schnittstellen der einzelnen Plattensegmente Aufgrund der Außenkontur des Zylinders festgelegt werden.

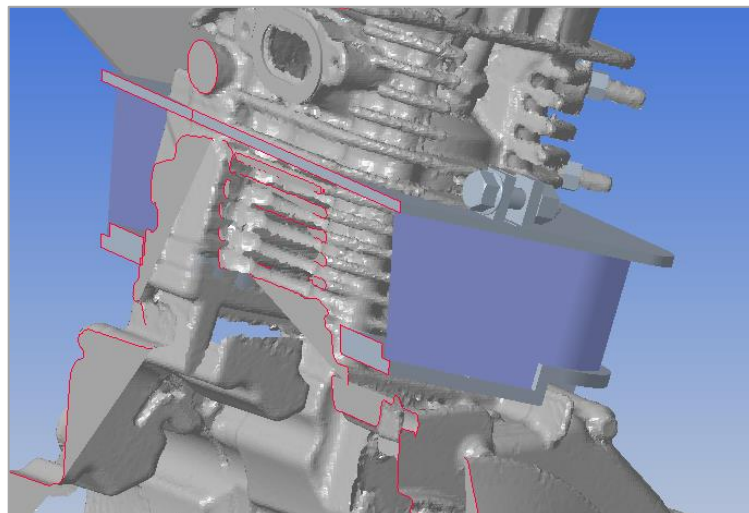


Abbildung 29: Zusammenbau des Kühlmantels mit dem Zylinder

Bei der Montage der unteren Platte kann es dazu kommen, das Ösen oder kleine Kanten an der Motoroberfläche im Weg stehen. Diese müssten dann abgeschliffen werden.

An die Bohrungen der Oberen Platte werden Stutzen für die Kühlschläuche eingesetzt, die von unten oder oben verschweißt werden.

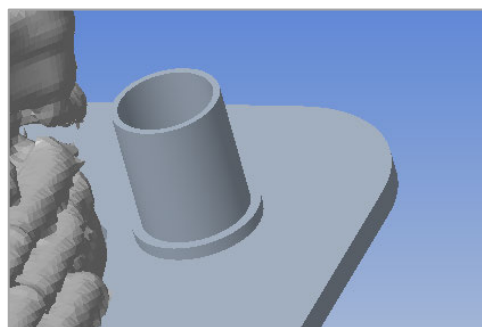


Abbildung 30: Stutze an der oberen Platte für die Kühlschläuche

### 3.2. Motorhalterung und Rahmen

Für die Anlage muss ein Rahmen konstruiert werden. Hierfür eignen sich Profile von der Firma ITEM. Diese bieten unterschiedliche Profile in verschiedenen Formen und Profildicken an.

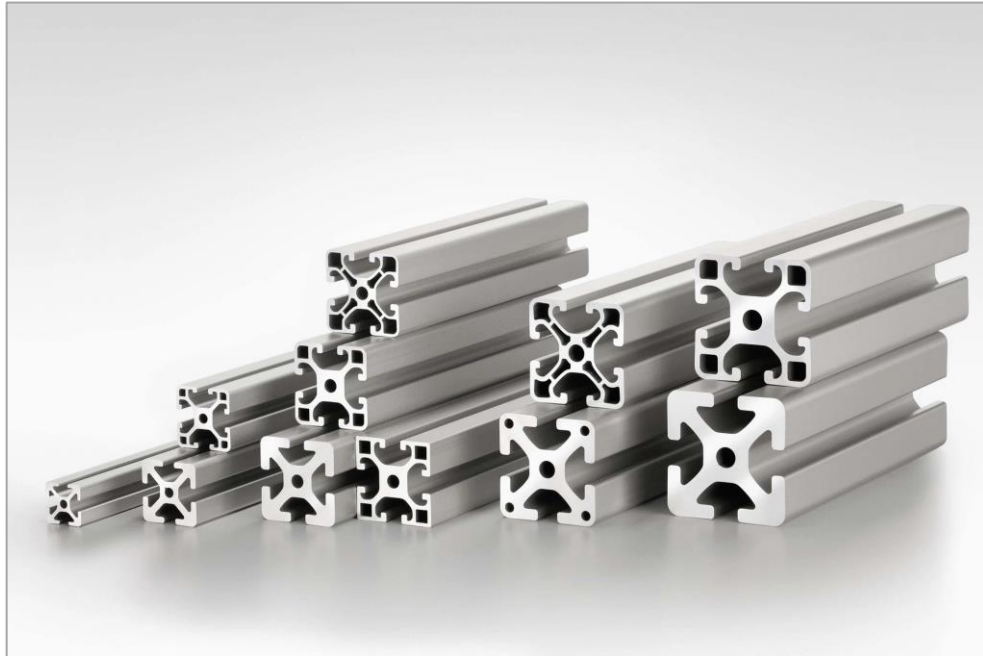


Abbildung 31: Alu-Profile der Firma ITEM (Quelle: item24.com)

Die Profile können mit verschiedenen Elementen verbunden werden. Für das Grundgerüst werden Winkel eingesetzt, um ein festes Fundament für die Lagerung des Motors und der Komponenten zu gewährleisten

Um passende Profillängen auszuwählen, muss der Motor grob vermessen werden, da keine Maße oder Technische Zeichnungen vorhanden sind. Dies wird zu Ungenauigkeiten bei der Befestigung des Motors führen, die aber nicht weiter problematisch sind, da die Profile verschraubt werden und somit verschiebbar sind. Die äußeren Maße werden mit einem großen Lineal gemessen und zusätzlich mit einer Messsoftware (IC Measure) nachkontrolliert, die Mithilfe von Fotos und Kalibrierungsangaben erreicht werden.

#### 3.2.1. Dimensionen des Motors

Die Messung mit dem Lineal ergibt folgende grobe Maße für den Motor:

Länge	510 mm
Höhe	460 mm
Breite	520 mm

Tabelle 3: Dimensionen für den Motor

Anschließend werden Fotos mit einem Lineal gemacht (Abb. 25) um eine Kalibrierung durchführen zu können, damit mit der Software gemessen werden kann.

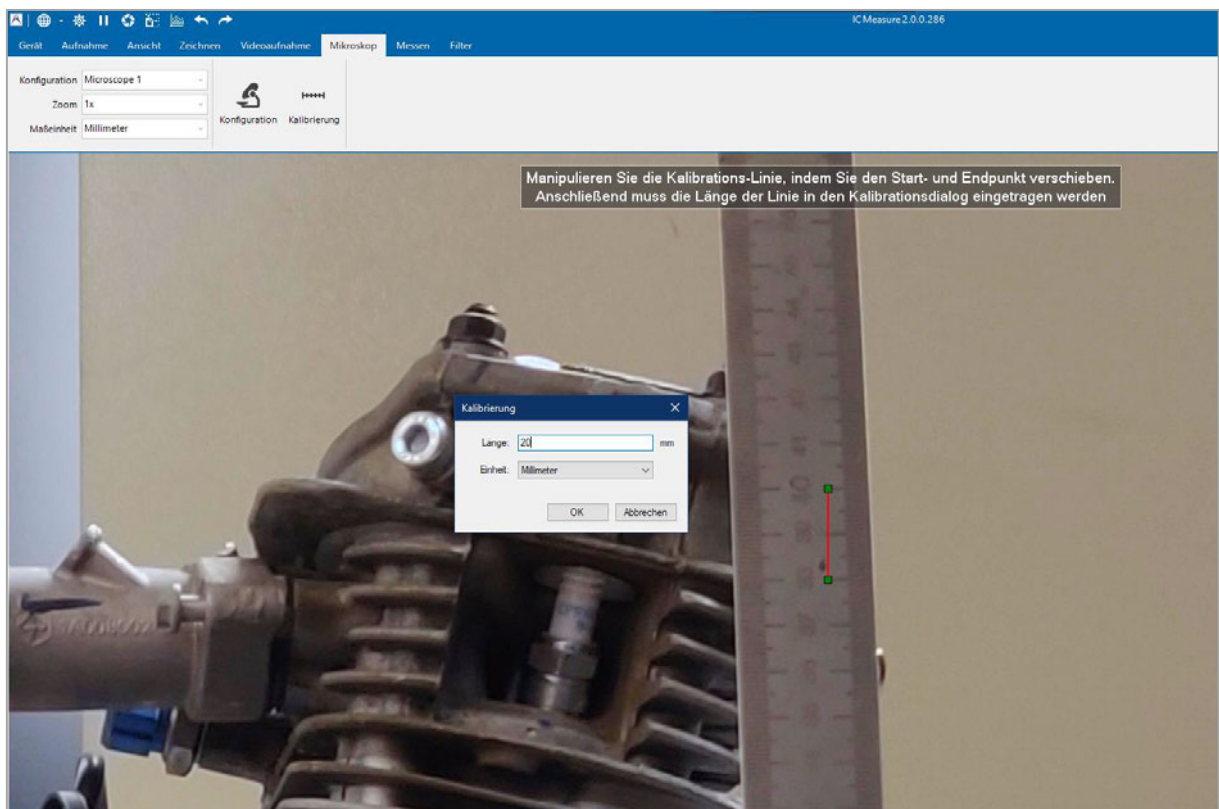


Abbildung 32: Kalibrierung der Software „IC Measure“

Danach werden Linien erzeugt, um die Länge, Höhe und Breite des Motors zu bestimmen (Abb.26 & 27).



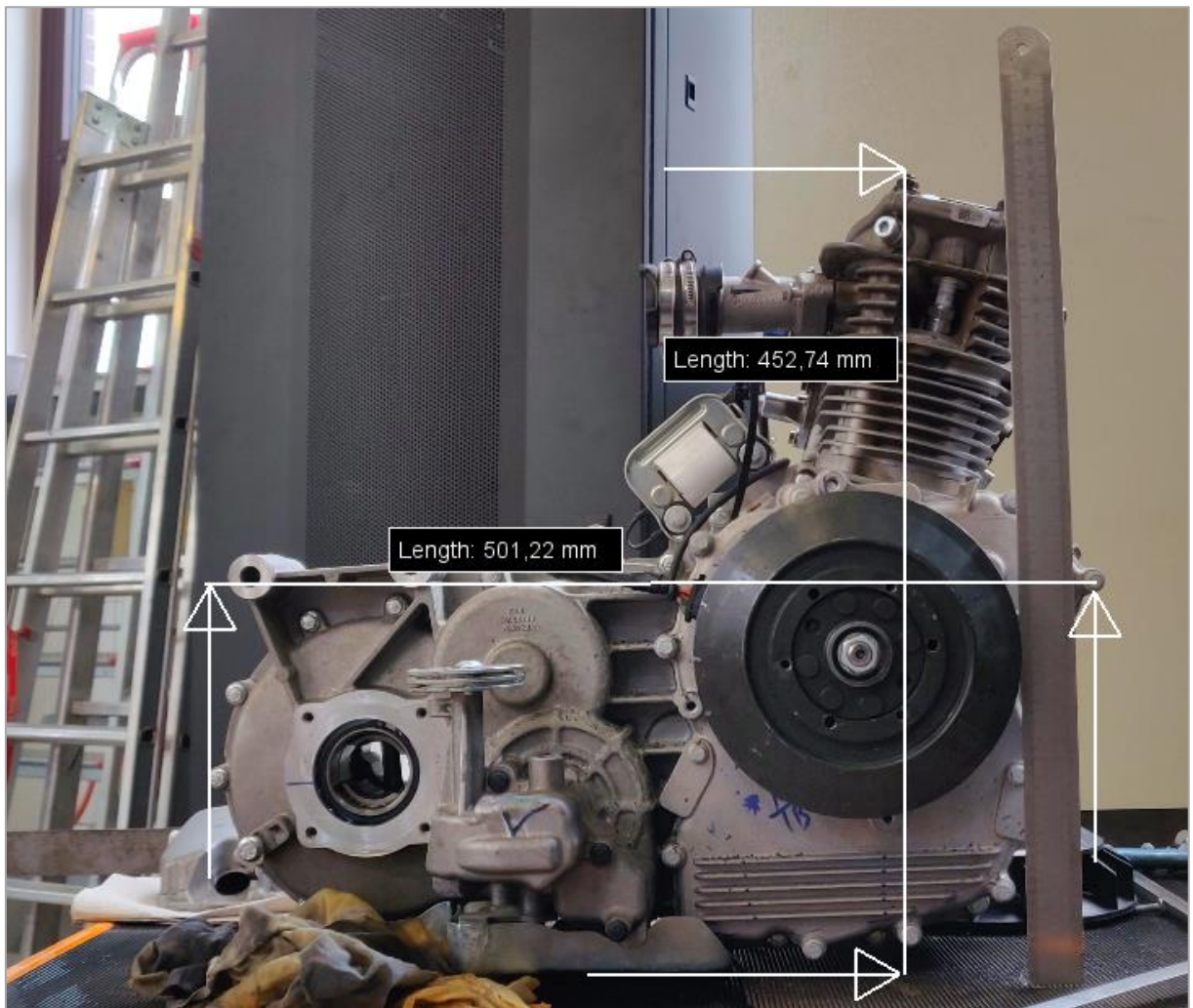


Abbildung 33: Höhe und Länge des Motors

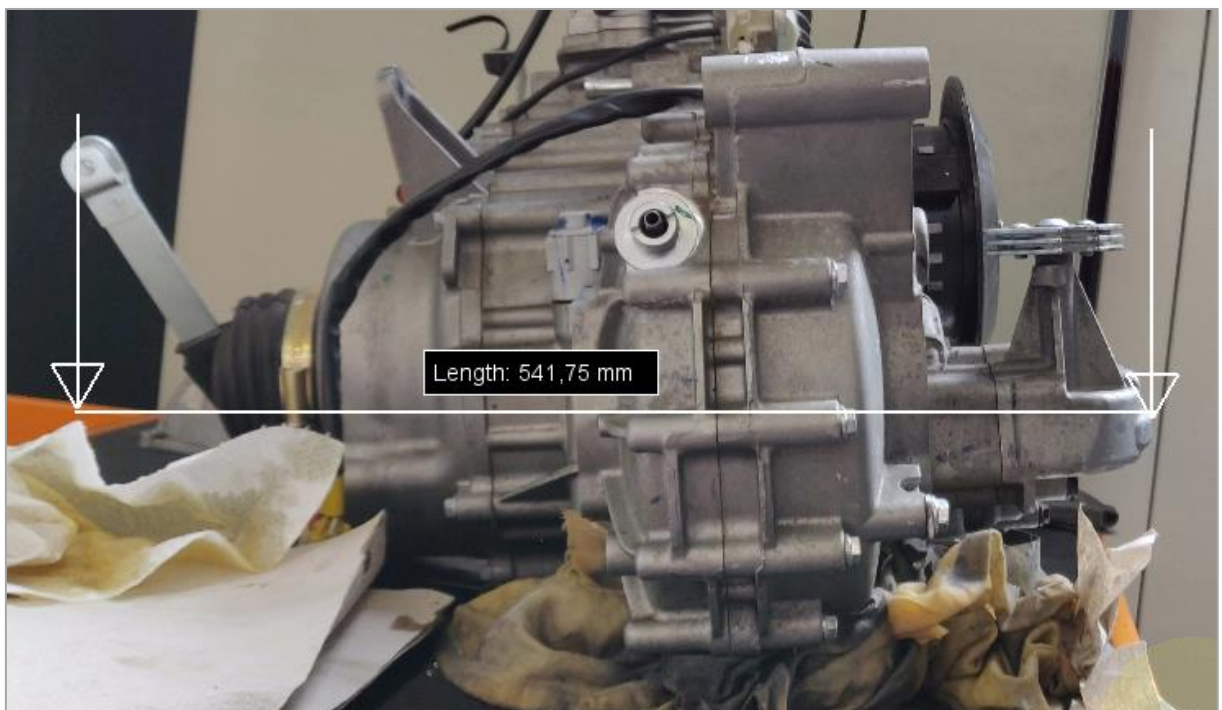


Abbildung 34: Breite des Motors an der breitesten Stelle



Dimensionen	Messung mit Lineal [mm]	Messung mit Software [mm]
Länge	500	501,22
Höhe	460	452,74
Breite	520	541,75

Tabelle 4: Vergleich beider Messungen


Der Vergleich beider Messungen zeigt, dass es teils kleine und große Abweichungen bei den Maßen gibt. Dies ist zurückzuführen auf die äußere Form des Motors die keine durchgängige Kontaktfläche mit dem Lineal erlaubt, wodurch mit großen Abständen zwischen Lineal und Motor gemessen wird.

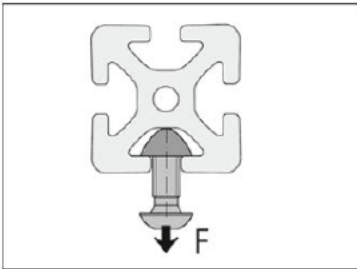
Da der Motor in Länge, Breite und Höhe fast gleichlang ist wird nur ein Maß für den Rahmen genommen, um die Konstruktion zu vereinfachen und Arbeit zu sparen. Für das Profil des Rahmens wird eine Länge von 700mm gewählt, da noch weitere Komponenten am Motor angeschlossen werden und zusätzlich Freiraum vorhanden sein sollte für spätere Modifikationen oder erweiterungen.

### 3.2.2. Auswahl der Profile und Elemente für den Rahmen

Material Kurzzeichen	Al Mg Si 0,5 F25
Werkstoffnummer	3.3206.72
Zustand	warmausgehärtet
Zugfestigkeit Rm	245 N/mm <sup>2</sup>
Fließgrenze Rp0,2	195 N/mm <sup>2</sup>
Dichte	2,7 kg/dm <sup>3</sup>
Elastizitätsmodul E	70 000 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul G	25 000 N/mm <sup>2</sup>

Tabelle 5: Werkstoffdaten von item Profilen

Nutforn					
	normal	500 N	1.750 N	5.000 N	7.000 N
leicht		500 N	2.500 N		5.000 N
E			1.750 N	3.500 N	



Angabe der zulässigen Zugkraft F auf die Nutflanken. Diese Nennlasten beinhalten bereits Sicherheitsfaktoren ( $S > 2$ ) gegen plastische Deformation.

Abbildung 35: Maximale Zugbelastung für Verschiedene Profile

Auf der Seite des Herstellers finden sich verschiedene Daten zum Material oder zur maximalen Belastung der Profile wie in Tabelle 5 und Abbildung 28 gezeigt wird. Für den Rahmen wird das Profil 8 ausgewählt, da diese eine größere Anzahl an Winkel für die Befestigung besitzt und eine maximale Zugbelastung von 5000 N an den Nutflanken erlaubt. Die Querstreben werden hauptsächlich in der Mitte belastet. Die meiste Last, die auf die Querstreben wirkt, wird am hinteren Bereich des Motors sein, dort wo sich der Zylinder und die Abgasleitung befinden. Der Motor wiegt trocken 45kg, wie aus der Tabelle 2 zu lesen ist. Es wird die Annahme genommen, dass 70% des Gewichts des Motors am hinteren Bereich und 30% des Gesamtgewichts auf den vorderen Teil wirkt. Somit wirkt auf den hinteren Querstreben eine Gewichtskraft von

$$F_{G,hinten} = 0,7 \cdot 45kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \approx 310 N$$

Um das Biegemoment und Lagerkräfte zu ermitteln, wird ein einfaches mechanisches Modell erzeugt:

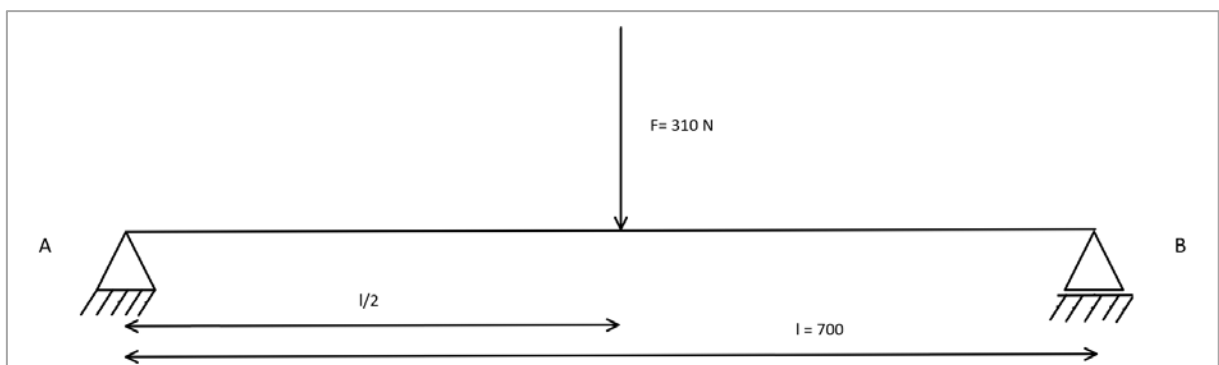


Abbildung 36: mechanisches Modell für die Querstreben

Lagerkräfte:

$$F_A = -\frac{1}{2} \cdot F_{G,hinten} = F_B = -155 N$$

Wenn man noch weitere Komponenten wie Abgaswärmetauscher, Plattenwärmetauscher, Generator, Luftfiltersystem sowie Öl und Kühlflüssigkeiten hinzufügt, kann man ein zusätzliches Gewicht von 50 Kg dazu rechnen, wodurch die maximal erlaubte Last der Profalnuten nicht überschritten wird.

### 3.2.3. CAD-Konstruktion des Rahmens in Creo Parametric

Die Item Profile gibt es vom Hersteller direkt als CAD-Datei auf der eigenen Webseite, wo direkt die passende Länge des Profils ausgewählt werden kann.

Zuerst werden die Vertikalen Pfeiler und die Querstreben positioniert. Die Querstreben werden bei einer Höhe von 180 mm gesetzt damit genug Platz unterhalb bleibt um Winkel zu montieren, damit der Rahmen fest sitzt.

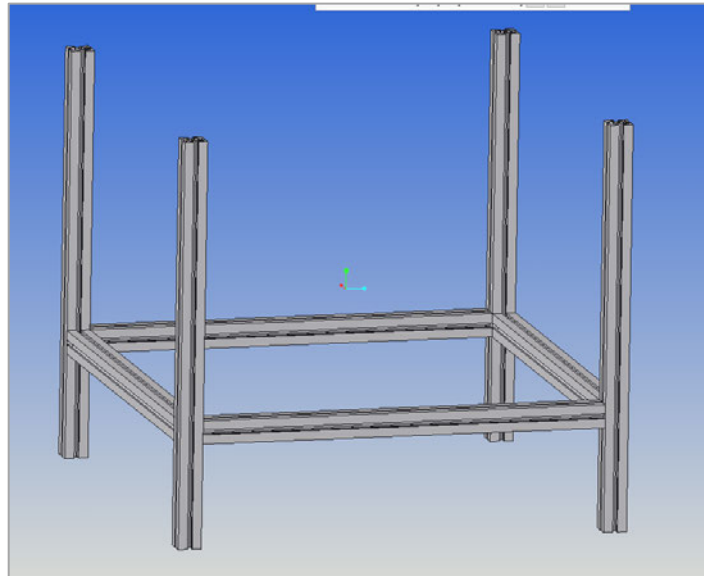


Abbildung 37: Pfeiler und Querstreben am Anfang

Für die Winkel werden 8x Winkel 8 160x160 -40 Al M8 mit der Produktnummer 0.0.619.56 benutzt. Für die Befestigung der Winkel wird der passende Befestigungssatz 0.0.479.96 ausgewählt.

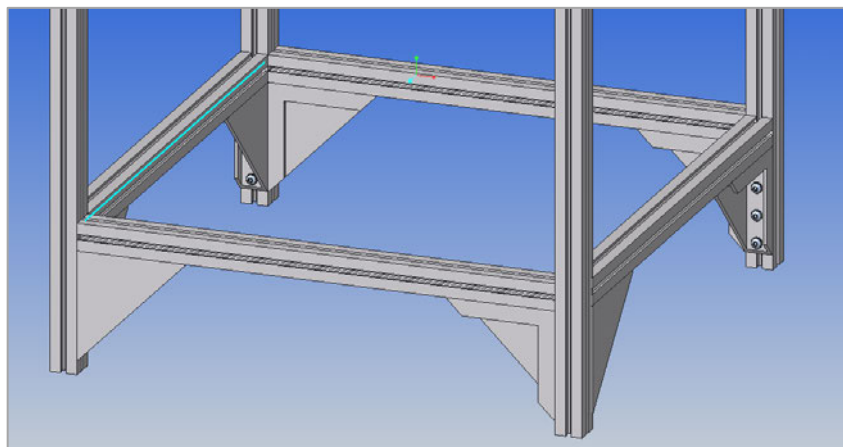


Abbildung 38: Winkel im unteren Bereich

Anschließend werden zwei obere Querstreben mit einem Abstand von 300mm über die unteren Querstreben platziert und mit vier Winkeln (0.0.619.56) und vier Befestigungssätzen (0.0.479.96) fixiert.

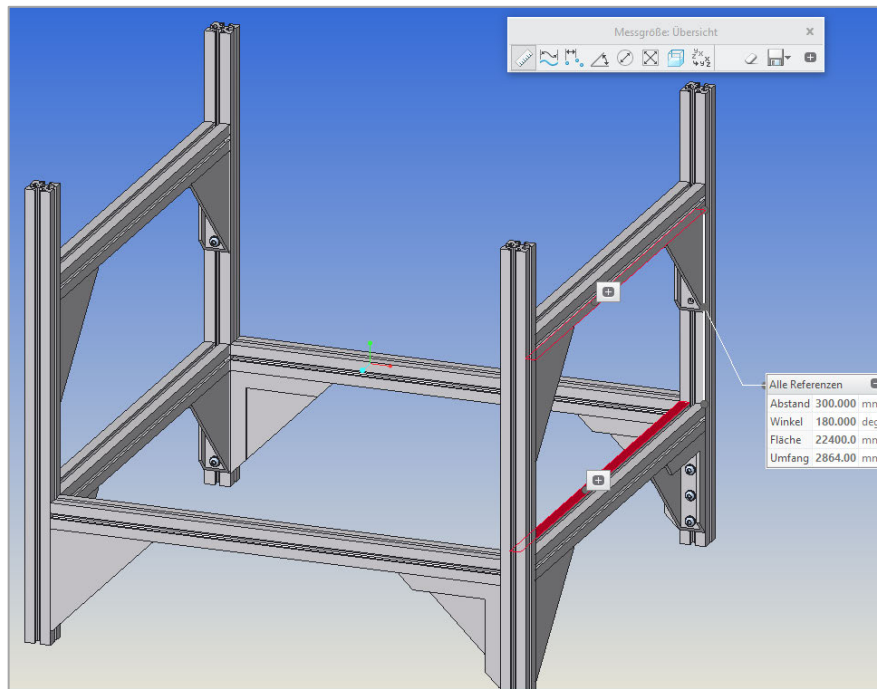


Abbildung 39: Rahmen mit oberen und unteren Querstreben

Danach werden die Querstreben für die Motorhalterungen platziert. Für diese Querstreben wird ein größeres Profil benutzt welches zwei Schienen besitzt, um nachher eine gleichmäßige Last auf die Dämpfer wirken zu lassen, wodurch das Durchbiegen der Dämpfer verhindert werden soll und zusätzlich das Verdrehen der Querstreben vermieden wird. Die Querstreben für die Motorhalterungen werden so positioniert, dass sie einen horizontalen Abstand von 560mm zueinander haben, da dies ungefähr der Abstand zwischen den Lagerstellen vorne und hinten am Motor ist. Diese Querstreben werden mit acht Automatik- Verbindungssätzen (0.0.388.08) fixiert.

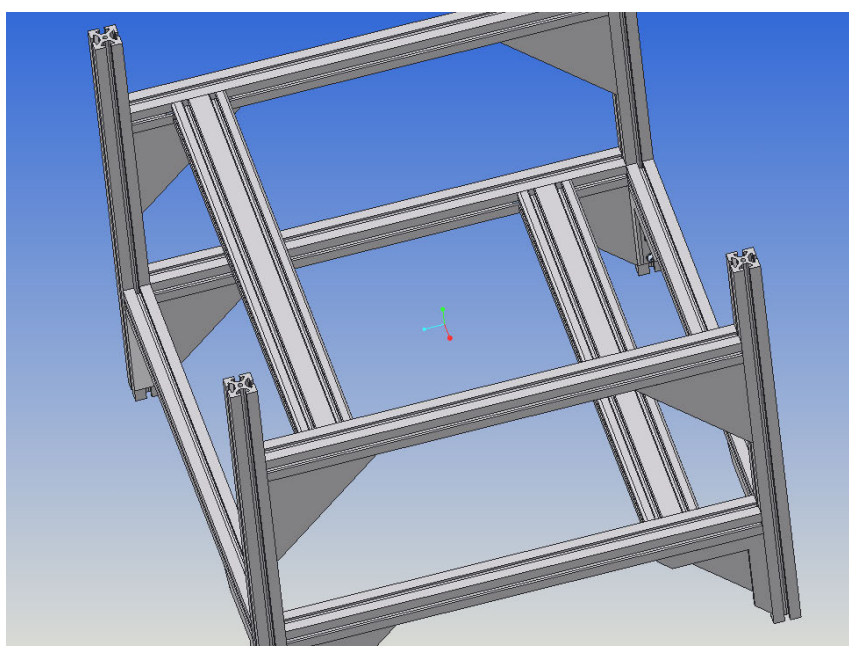


Abbildung 40: Rahmen mit Querstreben für die Motorhalterungen

### 3.2.4. Konstruktion der Motorhalterungen in Creo Parametric

Damit der Motor am Rahmen sicher befestigt werden kann, müssen Halterungen für vorne und hinten am Motor konstruiert werden.

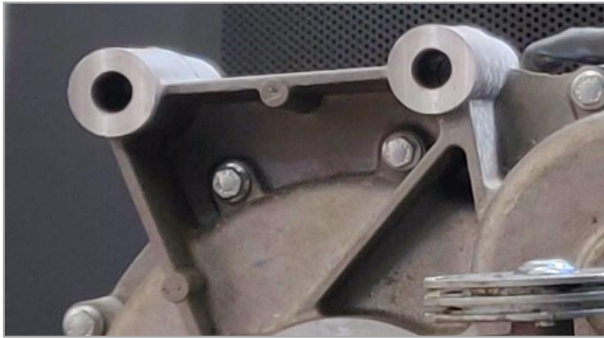


Abbildung 41: Lagerstelle vorne



Abbildung 42: Lagerstelle hinten

Die Maße für die Lagerstellen wurden mit einem Lineal gemessen. Die Lagerstelle vorne hat zwei Bohrungen mit einem Abstand von 90mm zueinander. Die Lagerstelle hinten hat vier Bohrungen mit einem vertikalen Abstand von 50mm und einem horizontalen Abstand von 111 mm.

Für die hintere Halterung wird ein Winkel aus zwei 3mm dicken Stahlplatten konstruiert. Diese können aus einfachem Baustahl sein, um das Schweißen zu vereinfachen. Zusätzlich wird eine Versteifungsrippe hinzugefügt, um zusätzlichen Halt und Stabilität zu gewährleisten.

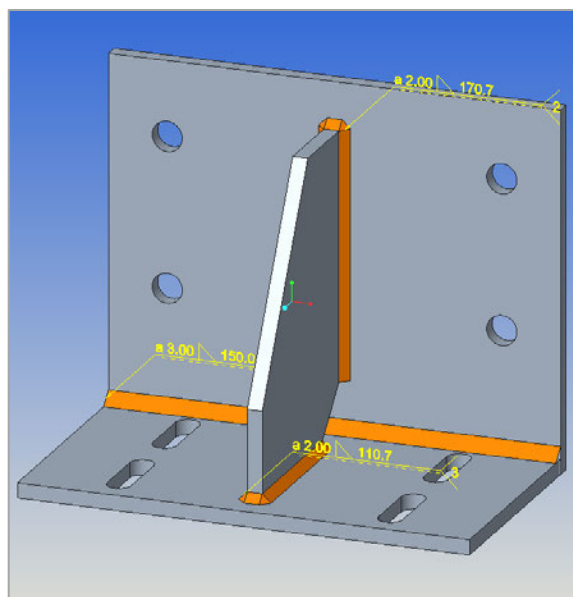


Abbildung 43: Motorhalterung hinten

Für die Motorhalterung vorne wird eine Motorhalterung konzipiert, die von oben greifen soll, da sonst Teile des Motors im Weg stehen würden, wodurch die Form der Halterung komplexer ausfallen müsste. Die Motorhalterung wird so konzipiert, dass der Motor über zwei Schrauben oder Muttern an der Halterung befestigt werden kann. Die Vertikalen Elemente werden mit einem rechteckigen Ausschnitt versehen, um Gewicht zu sparen. Die Dicke der Platten für die Halterung beträgt für die vertikalen und der horizontalen Platten 3 mm. Die vertikalen Elemente werden mit der horizontalen Platte von unten verschweißt.

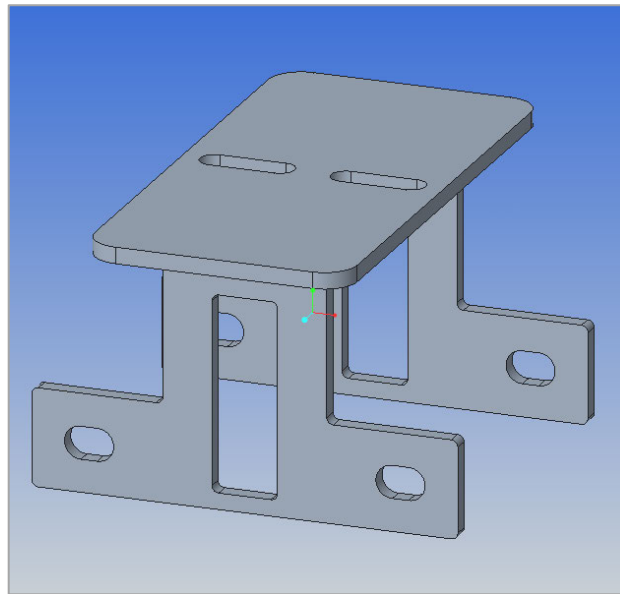


Abbildung 44: Motorhalterung vorne

### 3.2.5. Befestigung der Motorhalterungen am Rahmen

Um die Motorhalterungen am Rahmen befestigen zu können müssen Schwingungsdämpfer ausgewählt werden, um die Vibrationen, die am Motor entstehen zu reduzieren, damit andere Komponenten der Anlage keinen Schaden nehmen. Hierfür werden einfache Gummi Dämpfer ausgewählt. Ein passender Dämpfer ist z.B. die Schwingungsdämpfer 25150.0041 und 25150.0242 der Firma Halder. Diese Dämpfer gibt es mit Innen- oder Außengewinden. Für die hintere Halterung werden Vier Dämpfer benutzt, um eine Biegung zu vermeiden und für die vordere Halterung werden zwei Dämpfer benutzt, da die vordere Halterung nur einen geringen Teil der Gewichtskraft aufnimmt. Im CAD-Modell werden Dämpfer mit einem Innengewinde genutzt, was aber nicht notwendig ist, da ein Außengewinde genauso verwendbar wäre.



Abbildung 45: Schwingungsdämpfer 25150.0041 und 25150.0242 der Firma Halder mit Innengewinde

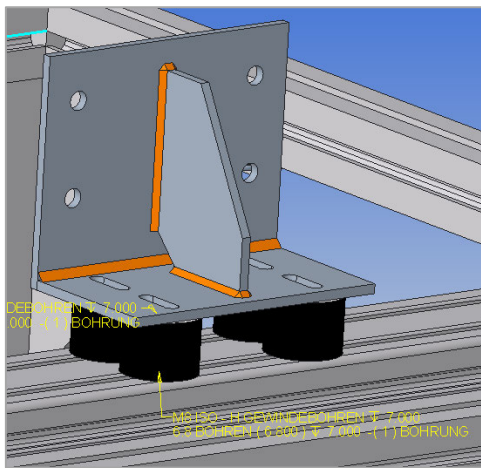


Abbildung 46: Motorhalterung hinten mit Dämpfer

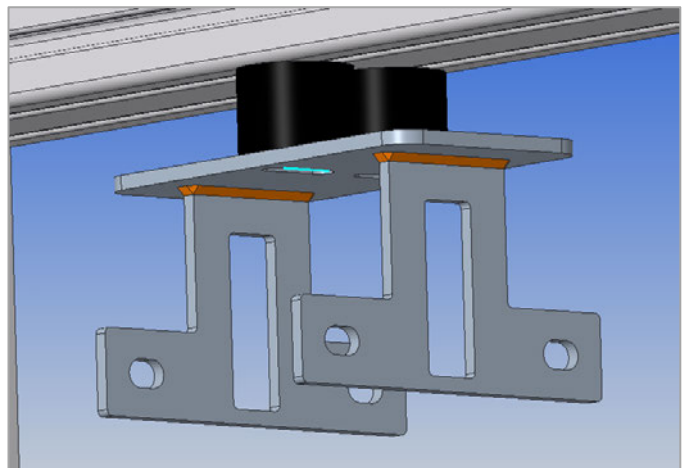


Abbildung 47: Motorhalterung vorne mit Dämpfer

Da die Auswahl zwischen einem Außengewinde oder Innengewinde für die Dämpfer offenbleiben soll, wird erstmal auf Schrauben oder Muttern verzichtet.



### 3.3. Konstruktion des Abgasrohres

Für die Abgasleitung soll ein neues Rohr konstruiert werden, dafür werden Maße vom vorhanden Abgasrohr genommen, um ein passendes Teil zu erzeugen. Die Messungen werden wieder mit der Software IC Measure durchgeführt.



Abbildung 48: Abgasrohr mit Flansch

Die Messung in der Halle und im Programm ergibt folgende Daten:

Größen	Maße in mm
Innendurchmesser	31
Außendurchmesser	39
Flansch- Bohrungsabstand	45
Flansch Abstand	41
Flanschdicke	4
Bohrungsdurchmesser Flansch	10

Tabelle 6: Erforderliche Maße für die Konstruktion des Abgasrohrs

Da die Maße nicht exakt sind werden die Bohrungen etwas vergrößert, um das Problemlose verschrauben gewährleisten zu können.

Im Wesentlichen sind die Anschlussmaße am Motor identisch, unterschied ist hier nur die Länge des Rohres und das es aus einem Stück besteht, um das Anschrauben und Abschrauben zu vereinfachen. Am Ende des Rohres ist eine Fase für die Schweißnaht angebracht, um den Flansch anzuschweißen. Für die Lambda-Sonde muss noch eine Bohrung mit einer Einschweißmutter angebracht werden. Dies kann nach Einbau des Rohres in die Anlage geschehen, da dann am besten zu sehen ist wo der optimale Sitz für die Lambda-Sonde ist.

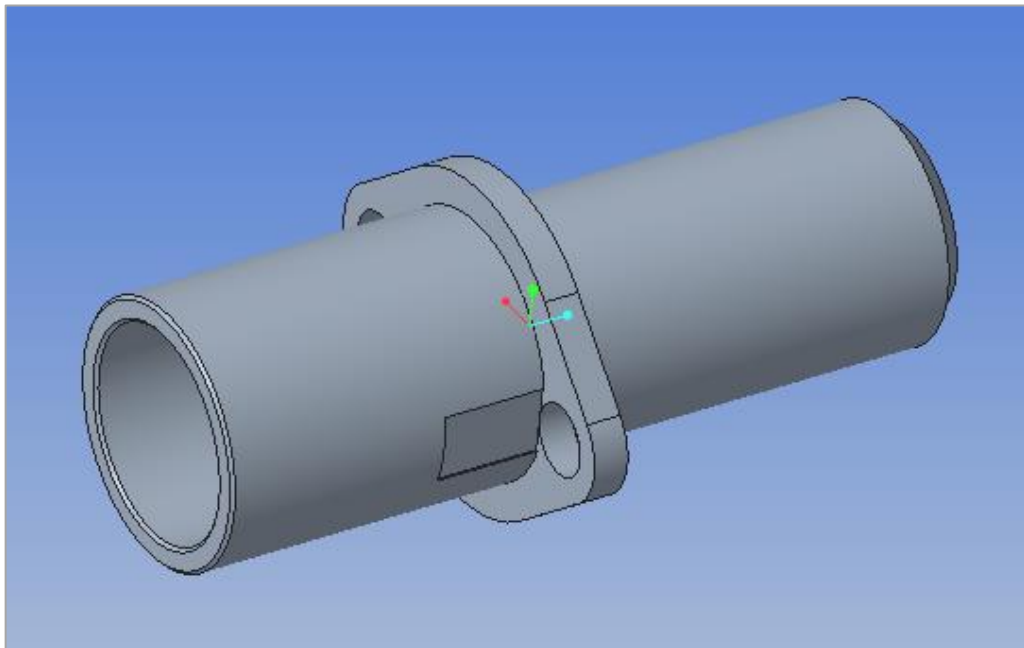


Abbildung 49: Konstruiertes Abgasrohr

### 3.4. Auswahl der Wärmetauscher und weiterer Komponenten im Kühlkreislauf

Im folgenden Abschnitt werden passende Wärmetauscher für das Kühlsystem und für das Abgas ausgewählt sowie eine Kühlwasserpumpe und Schläuche für den Kühlmittelkreislauf. Dafür werden bereits fertige Produkte, die es auf dem Markt vielen Variationen gibt, ausgewählt. Diese sind preiswert, da sie in großen Stückzahlen hergestellt werden und in vielen anderen technischen Anwendungen gebrauch finden.

#### 3.4.1. Auswahl des Abgaswärmetauschers

Um die Abwärme im Abgas nutzen zu können muss ein passender Abgaswärmetauscher ausgewählt werden. Es gibt vereinzelt Hersteller im Internet die ein passendes Angebot liefern können, welches zugeschnitten ist auf die Bedürfnisse der Anlage, jedoch ist dies nur bei großen Anlagen möglich und sinnvoll. Für das Nano- BHKW wird ein so genannter AGR-Kühler aus der Automobilindustrie ausgewählt. Dieser ist im Aufbau und in der Funktion ähnlich wie ein Rohrbündelwärmetauscher. Ausgewählt wird der AGR-Kühler „TOPRAN 305139“ vom Hersteller Hans Pries, da dieser kein AGR Ventil besitzt und platzsparend verbaut werden kann, da das Flanschrohr gekrümmt ist. Somit wird die Anlage kompakter.



Abbildung 50: Abgaswärmetauscher TOPRAN 305139 (Quelle: [www.topran.de](http://www.topran.de))

Um den Abgaswärmetauscher anschließen zu können werden Anschlussmaße benötigt. Diese werden mit der Software „IC Measure“ aufgenommen.

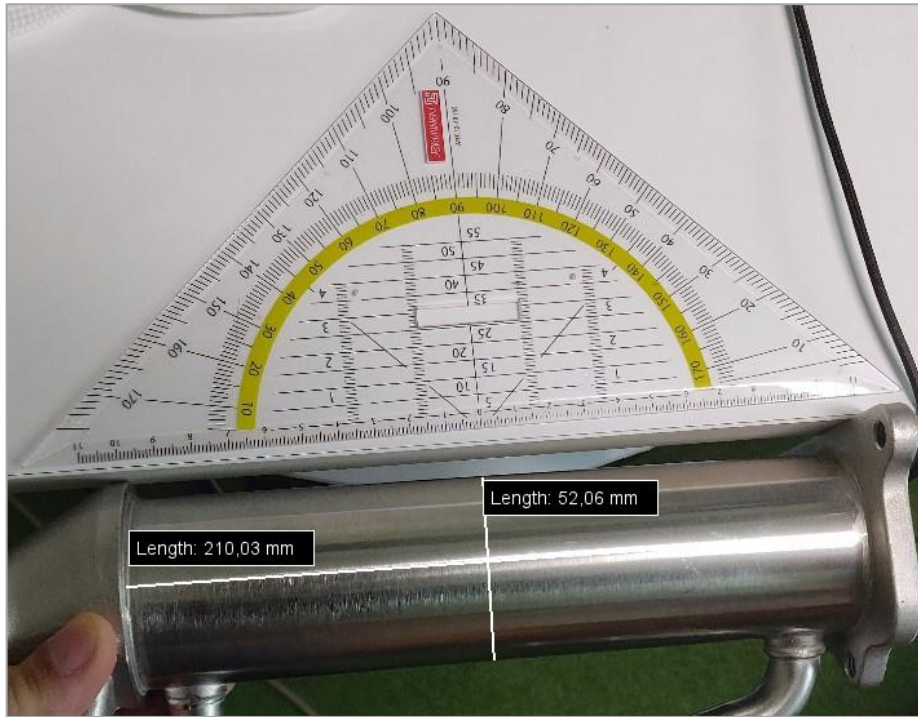


Abbildung 51: Messung 1, Länge und Durchmesser des AGR- Kühler

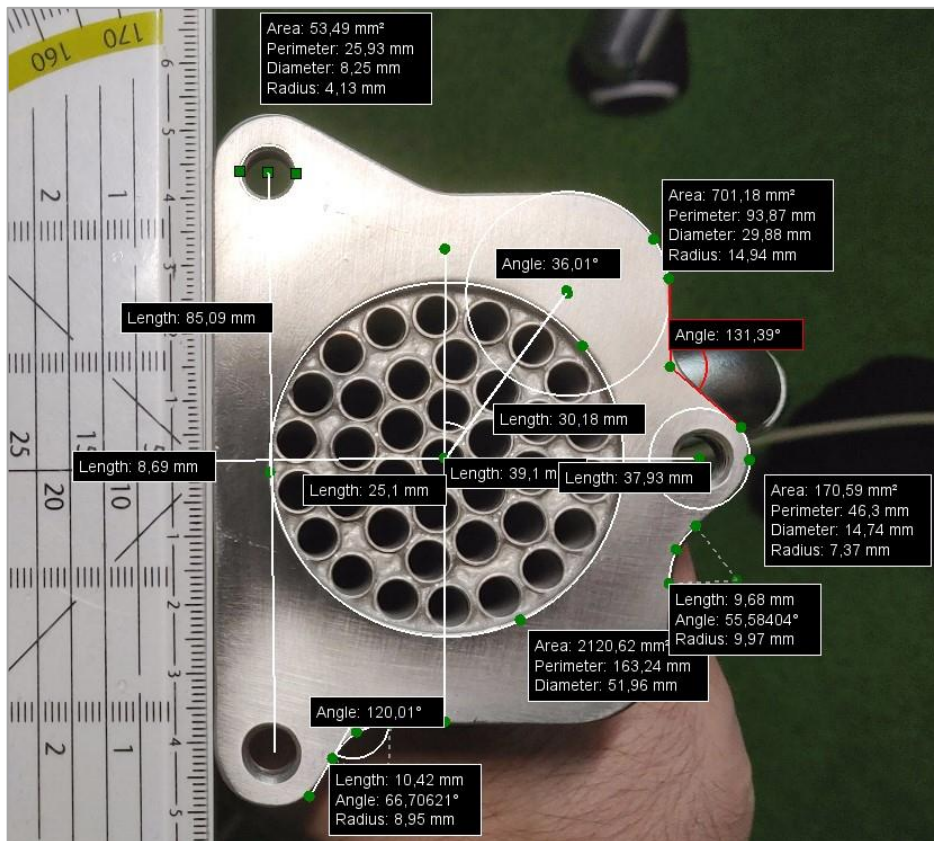


Abbildung 52: Messung 2, Anschlussmaße am Austritt

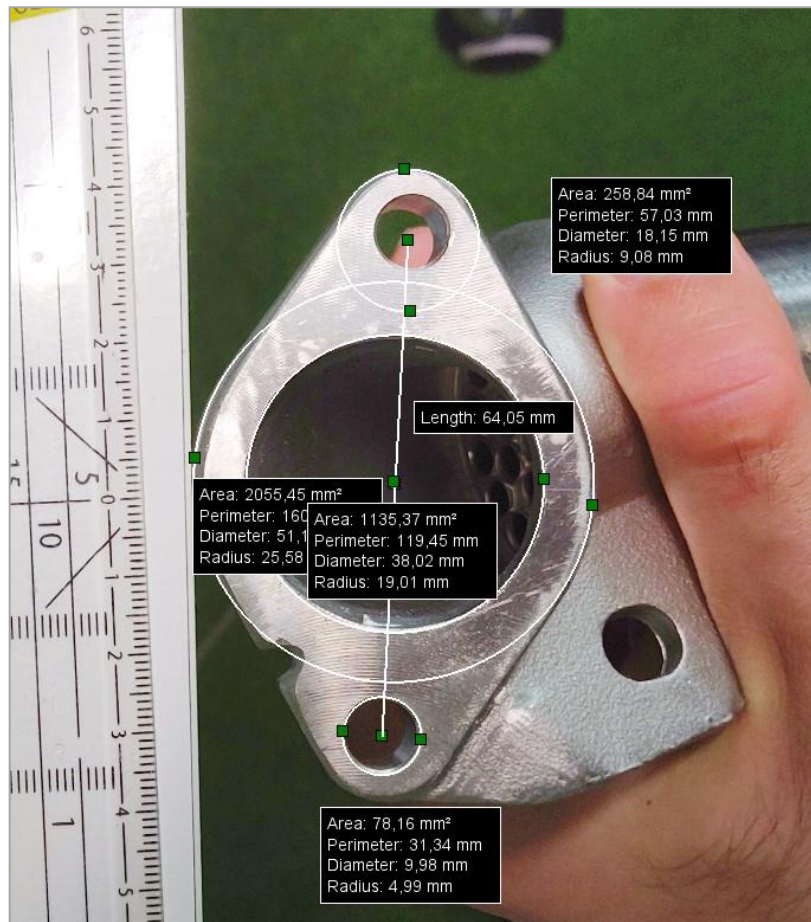


Abbildung 53: Messung 3, Anschlussmaße für das Abgasrohr

Mit den Anschluss- und Körpermaßen des AGR – Kühlers, können Flansche konstruiert werden sowie der Kühler selbst.

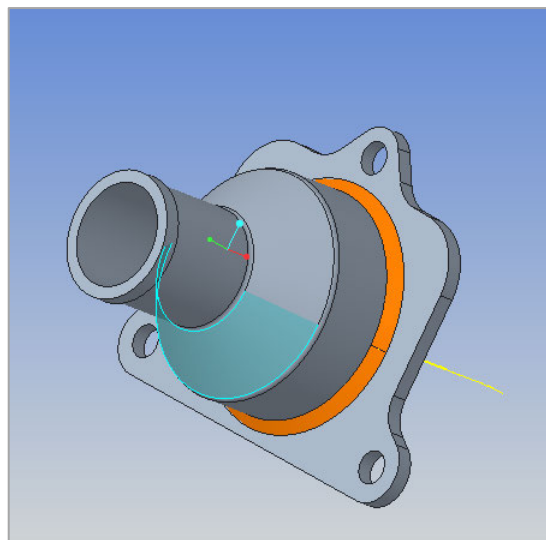


Abbildung 54: Flansch mit Rohr für den Austritt am AGR- Kühler



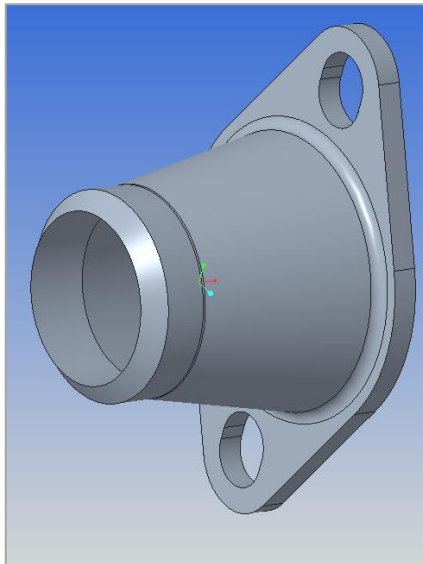


Abbildung 55: Flansch für den Eintritt am AGR-Kühler

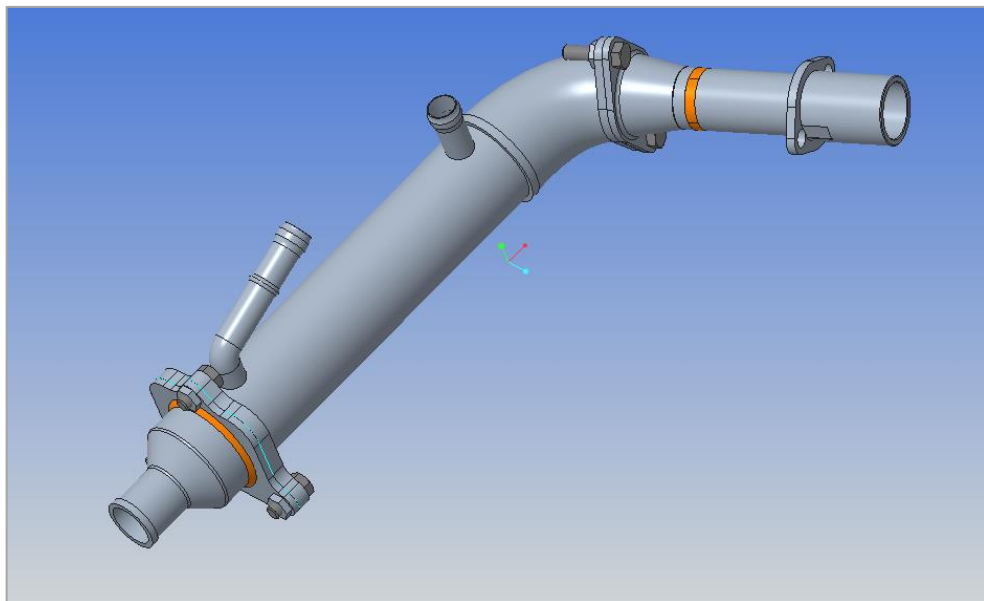


Abbildung 56: Gesamtes Abgasrohrsystem

Das Abgasrohrsystem kann über lange Kabelbinder am Rahmen des Motors aufgehängt werden, welches zusätzlich das Gewicht aufnehmen kann. Jedoch sollten die Schrauben am Abgasrohr das Gewicht halten.

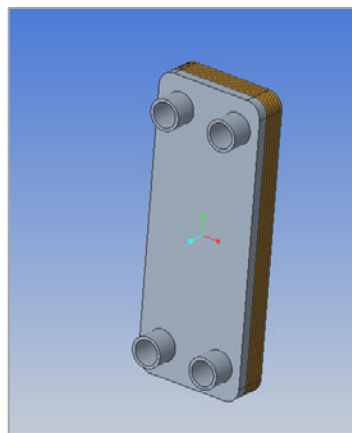
### 3.4.2. Auswahl des Plattenwärmetauschers

Um die Abwärme aus dem Kühlkreislauf zu entnehmen wird ein Plattenwärmetauscher ausgewählt. Passende Wärmetauscher mit einer guten Übersicht und einer großen Variation findet man im Internet wie z.B. auf der Seite [www.edelstahl-waermetauscher.de](http://www.edelstahl-waermetauscher.de). Hier ist ein passender Wärmetauscher der EWT-B3-12 mit 12 Platten. Eine grobe überschlägige Berechnung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von  $1000 \frac{W}{m^2K}$  und einer Fläche von  $0,12m^2$  mit einer Temperaturdifferenz von  $40^\circ C$  ergibt eine minimale Wärmeübertragung von 4800W für den Wärmetauscher. Dies ist ausreichend da der Wärmeübergangskoeffizient bei Wärmeübertragern mit Wasser zu Wasser deutlich höher ausfällt.

Modell	EWT-B3-12
Bauart	Kupfergelötet
Plattenanzahl	12
Plattenmaterial	1.4301
Höhe x Breite	191mm x 73mm
Tiefe	35,8mm
Anschlüsse	4x G 3/4 " AG DN20
Fläche	0,12 m <sup>2</sup>
Zulässiger Druck	30 bar
Zulässige Temperatur	200°C

*Tabelle 7: Daten des Plattenwärmetauschers*

Mit den obenstehenden Maßen kann ein grobes Modell in CAD erzeugt werden.



*Abbildung 57: Plattenwärmetauscher*

Der Anschluss für den Plattenwärmetauscher wird über einen passenden Schlauchanschluss und Schlauchklemmen realisiert.



### 3.4.3. Auswahl der Kühlwasserpumpe und der Kühlschläuche

Für den Kühlmittelkreislauf wird eine Pumpe benötigt. Diese sollte ein wenig überdimensioniert sein, da der Kühlkreislauf durch den AGR- Kühler erweitert ist. Passende Pumpen findet man z.B. auf Internetseiten für Motorersatzteile. Eine günstige und passende Kühlmittelpumpe ist die Zusatzwasserpumpe von BOSCH 0392020034.



Abbildung 58: BOSCH 0392020034 Zusatzwasserpumpe (pkwteile.de)

Spannung	12V
Druck	0,1 bar
Fördermenge	17 l/min
Anschlussmaß	19 mm

Tabelle 8: Technische Daten BOSCH 0392020034 Zusatzwasserpumpe

Für die Kühlschläuche muss ein Schlauch mit einem Innendurchmesser von 19 mm ausgewählt werden. Im Internet finden sich auf diversen Seiten verschiedene Angebote mit Preisen zwischen 5 und 20 € pro Meter. Ein Angebot findet sich z.B. auf der Seite Schlauch24.de wo Kühlwasserschläuche mit einem Innendurchmesser von 19 mm für 6,70€ das Meter angeboten werden. Es sollte

### 3.5. Kraftstoff- und Ansaugsystem für das Nano- BHKW

Da das BHKW mit verschiedenen Gasen betrieben werden soll, muss dem entsprechend ein System für die Kraftstoff- und Lufteinfuhr konzipiert werden. Die Kraftstoffe, die für die Anlage benutzt werden sollen, sind Wasserstoff, Erdgas/Biogas und Ammoniak. Diese sind bei Produzenten wie z.B. der Linde AG in Gasflaschen mit 20L erhältlich.

#### 3.5.1. Druckminderer

Da die Gasflaschen unter hohem Druck (200 bar) stehen, um das Gas Flüssig zu halten, muss ein Druckminderer eingesetzt werden. Ein passenden Druckminderer gibt es von der Firma Kayser. Der „Hercules“ Flaschendruckminderer CK1612 ist ein zweistufiger Druckregler für Brenngase, welcher einen variablen Ausgangsdruck von 0- 20 bar ermöglicht. Dies ist wichtig, da die zu Auswahl stehenden Gase, bei unterschiedlichem Drücken eingespritzt werden müssen, um so z.B. das Klopfen des Motors zu verhindern, wenn ein zündfreudiges Gas wie Wasserstoff verwendet wird.



Abbildung 59: Druckminderer Hercules CK1612 (Quelle: shop.gase-dopp.de)

Betriebsdruck	200 bar
Arbeitsdruck	0-20 bar, stufenlos regelbar
Flaschenanschluss	W 21,8x 1/14" Linksgewinde nach DIN477
Abgang	G3/8" links mit Absperrventil
Material	Messing
Gewicht	1,8 kg
Bauart	Nach DIN 8546

Tabelle 9: Daten für den Druckminderer Hercules CK1612

Um den Druckminderer an die Anlage anzuschließen, kann ein Propanschlauch mit einem zul. Druck von 20 bar mit dem passenden Gewinde ausgewählt werden.

### 3.5.2. Kraftstoffeinspritzung für den Betrieb mit Gas

Der Motor des Ape Calessino 200 hat standartmäßig eine Saugrohreinspritzung. Dies bedeutet, dass eine CNG- Einblasventil benötigt wird, um das Brenngas in den Motor einzuführen. Dies führt zum Problem, dass eine neue Ansaugstutze für den Motor konstruiert werden muss, da das CNG- Ventil höchstwahrscheinlich andere Maße hat als das originale Einspritzventil. Zusätzlich müssen die Maße des CNG-Einblasventils bekannt sein, um einen sicheren und dichten Kraftstoffanschluss zu gewährleisten. Als mögliches CNG- Einblasventil bieten sich die CNG- Ventile von Bosch an.



Abbildung 60: CNG- Einblasventil NGI2 von Bosch (Quelle: bosch-mobility-solutions.com)

Die Düse ist laut Bosch für Erdgas geeignet, jedoch wird keine Angabe darüber gemacht, ob Wasserstoff oder Ammoniak verwendet werden kann.

Temperaturbereich	-30 bis 125 °C
Raildruck	500 bis 1000 kPa
Gasförmige Kraftstoffe	Erdgas

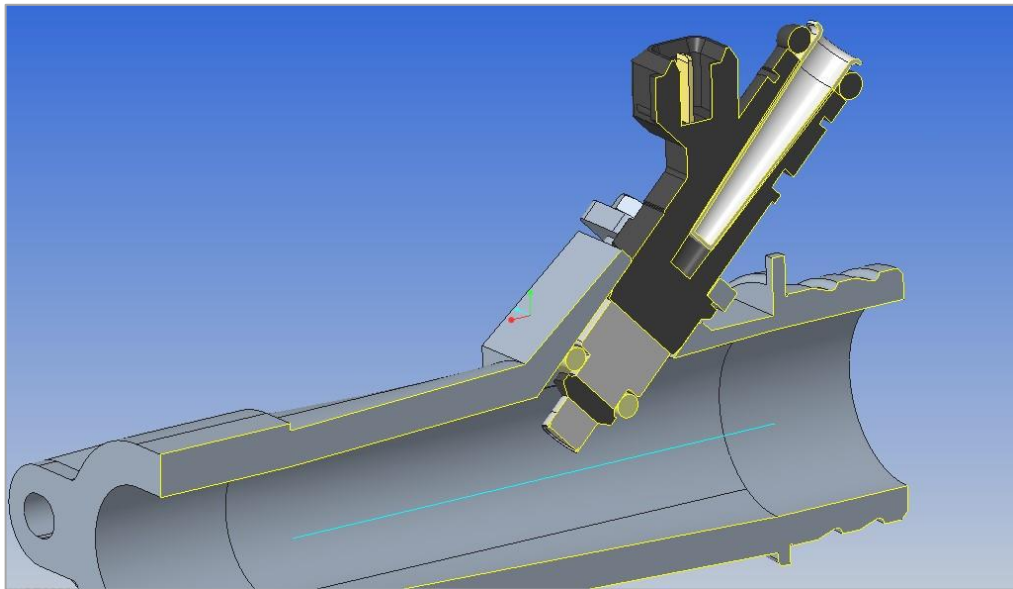
Tabelle 10: Technische Daten des CNG- Einblasventils NGI2

Alternativ könnte man das Saugrohreinspritzsystem durch ein Vergasersystem ersetzen. Im Internet gibt es auf vielen Seiten verschiedene Anbieter für solche Kits, jedoch ist es schwierig zu sagen ob diese Umrüstkits passend für den Motor sind. Auf z.B. Amazon findet man viele verschiedene LPG- / CNG- Umrüstkits, die für kleine Generatoren mit einer Leistung von 2kW gedacht sind. Jedoch muss auch hier eine neue Stutze für den Anschluss konstruiert werden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn Maße vom Vergaser vorhanden sind. Vorteil bei dieser Lösung ist die einfache Umsetzung, da das Gas über einen Schlauch an den Vergaser direkt angeschlossen werden kann. Zusätzlich ist die Steuerung deutlich einfacher, da diese meistens rein mechanisch ist.

Die Anfrage nach Maßen für die Einspritzdüse und für das Vergaser-kit bei Herstellern und Verkäufern bringt keinen Erfolg. Auf der Community- Website von GrabCAD findet man für das CNG- Ventil von Bosch ein Modell, welches verwendet wird, um die Ansaugstutze zu konstruieren.

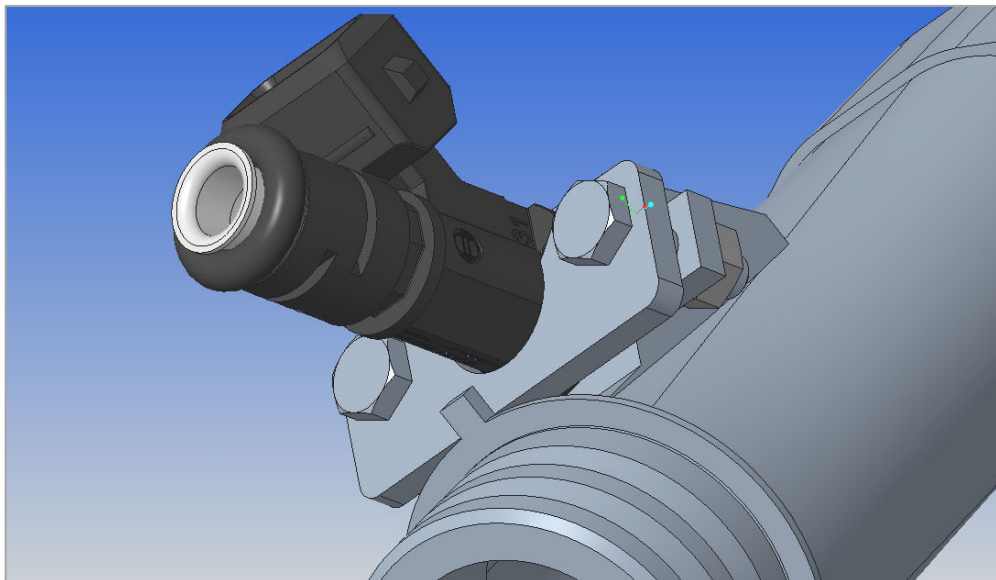
Vorher werden Anschlussmaße der Ansaugstutze vom Motor entnommen, da diese benötigt werden, um die selbst konstruierte Stutze anschließen zu können.

Mit den entnommenen Maßen wird eine Stutze in Creo Parametric konstruiert.



*Abbildung 61: Zusammenbau Ansaugstutze mit CNG-Ventil mit Schnitt*

Das CNG- Ventil wird durch eine Platte und Schrauben und Muttern an der Stutze festgehalten.



*Abbildung 62: Befestigung an der Stutze*

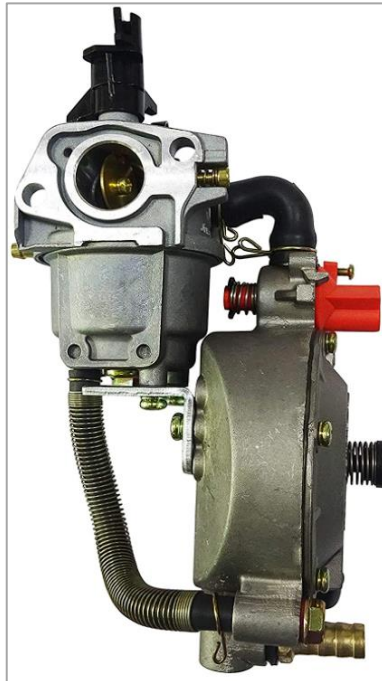


Abbildung 63: LPG / CNG Vergaser Umrüstkit der Firma C.T.S (Quelle: Amazon.de)

### 3.5.3. Luftfiltersystem

Das Luftfiltersystem des Ape Calessino 200 ist vollständig vorhanden und kann für den Betrieb der Anlage verwendet werden. Es sollte jedoch der Filtereinsatz vor dem Betrieb geprüft und ggf. ersetzt werden.

### 3.6. Auswahl der Synchronmaschine für die Anlage

Da die Anlage eine elektrische Leistung von 2,5 kW liefern soll und diese bei einer Drehzahl von ungefähr 2000 Umdrehungen pro Minute liegt, wird für die Anlage eine Synchronmaschine mit einer Polpaarzahl von 1 ausgewählt, wodurch die Drehzahl des Synchrongenerators bei 3000 Umdrehungen pro Minute bei einer Frequenz von 50 Hz festgelegt wird. Der Unterschied in der Drehzahl und der daraus folgenden niedrigen Frequenz des Stroms ist unproblematisch, da die Anlage zu Lehrzwecken dient und nicht an das Stromnetz angeschlossen wird. Falls in Zukunft ein Netzanschluss erwünscht ist, wird ein Frequenzumrichter benötigt. Im Internet findet man viele Anbieter für Synchronmaschinen, wie z.B. die Seite JS -Technik, welche eine große Auswahl an Synchronmaschinen für verschiedene Leistungsbereiche anbietet. Passende Synchronmaschinen sind:

- MX3 100L 3 kW- 2pol-B3
- MX3 90L 2,2 kW- 2pol-B34

Die beiden Synchronmaschinen sind identisch vom Aufbau und unterscheiden sich nur in der maximalen lieferbaren Leistung. Da das Nano- BHKW eine maximale Leistung von 2,5 kW haben soll ist wird die Synchronmaschine MX3 90L 2,2 kW- 2pol-B34 ausgewählt.



Abbildung 64: MX3 90L 2,2 kW- 2pol-B34 von JS-Technik (Quelle: js-technik.de)

Die Leistung, die am Synchronmotor entsteht, muss durch einen Verbraucher abgenommen werden. Hier könnte man z.B. einen Heißluftfön verwenden. Der Verbraucher wird dann über eine Steckdose, die am Synchrongenerator verbunden ist angeschlossen.

Größen	Einheit	
Leistung	kW	2,2
Drehzahl	upm	2870
Anzahl Pole	-	2
Nennstrom	A	4,35
Leistungsfaktor	cos $\phi$	0,85
Wirkungsgrad	%	85,9
Drehmoment	Nm	7,3
Frequenz	Hz	50/60
Spannung	V	230 bei 50 Hz 265 bei 60 Hz
Gewicht	kg	20

Tabelle 11: Technische Daten aus Datenblatt für MX3-90L-2, 2,2 kW B34

### 3.6.1. Auswahl der Kupplung für den Anschluss an der Anlage

Da Vibrationen und Stöße über die Welle vom Verbrennungsmotor zur Synchronmaschine übertragen werden, muss eine Kupplung zwischen Synchronmaschine und Anlage eingebaut werden, damit Vibrationen und Stöße gedämpft werden können, um Schäden am Generator zu vermeiden. Passende Kupplungen findet man im Internet. Ausgewählt wird die drehelastische Klauenkupplung „ROTEX Standard“ der Firma KTR Systems GmbH.

Anzahl	Artikelnummer	Bezeichnung
1	020245102400	ROTEX 24 ST Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9
1	020241000042	ROTEX 24 Zahnkranz 98 Sh-A =T-PUR®= lila
1	020245102400	ROTEX 24 ST Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9

Tabelle 12: Stückliste der Kupplung



Abbildung 65: ROTEX Standard Kupplung (Quelle: ktr.com)



### 3.6.2. Konstruktion des Flansches und der Welle am Motor Ape Calessino 200

Damit die Leistung vom Verbrennungsmotor über die Kupplung an den Synchrongenerator übertragen werden kann, muss ein Flansch und eine Welle konstruiert werden. Dafür soll das Schwungrad welches drei Gewindebohrungen besitzt (Abbildung 26), verwendet werden. Dafür wird eine Nabe mit den vom Schwungrad genommenen Maßen konstruiert.

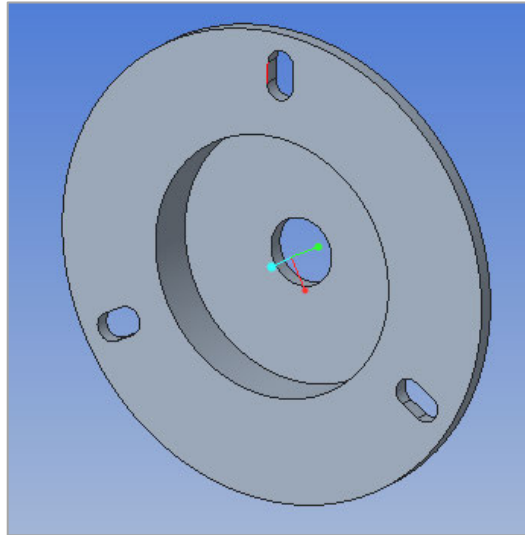


Abbildung 66: Nabe für das Schwungrad

Die Nabe wird so konstruiert, dass sie mit der Welle von innen durch eine Schraube fixiert werden kann. Die Schraube als auch die Bohrung in der Welle brauchen ein linksgängiges Gewinde, da sonst bei Betrieb der Anlage diese sich voneinander lösen würden. Als Schraube kann hier eine Sechskantschraube DIN 933 - Güte 10.9 - M12 verwendet werden. Die Länge der Schraube sollte zwischen 30 bis 50 mm sein.

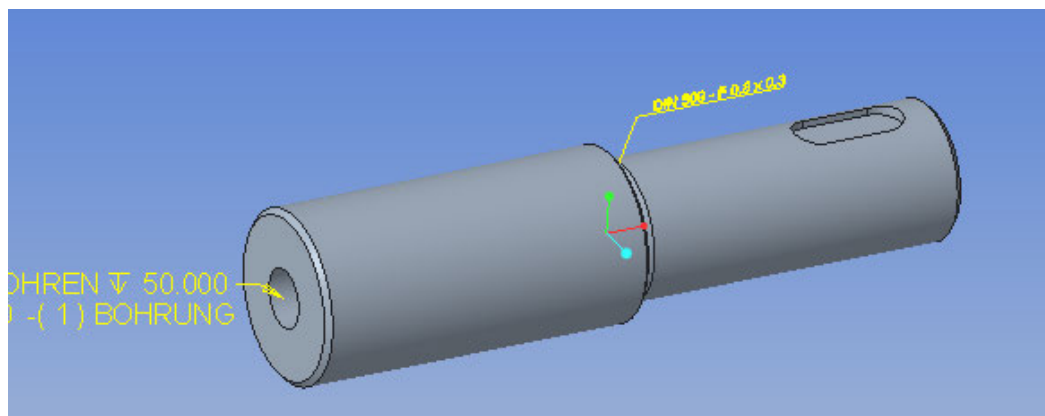


Abbildung 67: Welle für die Verbindung zwischen Kupplung und Nabe

Die Welle wird mit einem Freistich nach DIN 509 – F 0.8 x 0.3 an der Stufe ausgeführt. Zusätzlich ist eine Passfedernut für die Passfeder DIN 6885-1 Form A 8 x 7 x 20 mm am Wellenende vorhanden

### 3.7. Steuerung und Regelung der Anlage

Da die Anlage soll so einfach wie möglich zu Regeln sein. Da der Motor größtenteils bei einer konstanten Drehzahl betrieben werden soll, muss dementsprechend auch die Kraftstoffzufuhr und Luftzufuhr konstant gehalten werden. Da Ottomotoren eine Quantitätsregelung haben, kann die Anlage sowohl von einem Steuergerät als auch per Hand an der Gasflasche geregelt werden. Die Regelung an der Gasflasche, durch das Aufdrehen des Ventils per Hand, ermöglicht eine einfache Kraftstoffregelung als Alternative zum Steuergerät. Über eine Lambdasonde im Abgas, kann das Steuergerät dann nur die Luftmenge regeln. Die Art der Regelung ist abhängig von der Kraftstoffeinspritzung. Wird ein CNG -Einspritzventil verwendet so muss das Steuergerät die Kraftstoffzufuhr regeln. Bei Einsatz eines Vergasers ist dies nicht nötig, denn die Regelung per Hand ist ausreichend.

#### 3.7.1. Regelung des Kühlkreislaufs

Um den Kühlkreislauf und somit die Wasserpumpe zu Regeln wird zumindest ein Temperatursensor benötigt. Dieser kann am konstruierten Kühlmantel angebracht werden, um den Volumenstrom der Pumpe zu steuern.

Auf dem Markt gibt es viele verschiedene Hersteller und Modelle. Die Auswahl eines Temperatursensors beschränkt sich hier nur auf das im Kühlmantel vorhandene Gewinde.

#### 3.7.2. Restliche Sensoren am Motor

Der Motor des Ape Calessino 200 hat diverse Sensoren standardmäßig integriert. Dazu gehören z.B. Drucksensoren, Drehzahlsensoren sowie Nockenwellensensoren. Es wird davon ausgegangen, dass alle Notwendigen Sensoren zum motorischen Betrieb vorhanden sind. Falls dies nicht der Fall sein sollte, kann man über Ersatzteilkataloge die fehlenden Sensoren finden und im Internet nachbestellen.

#### 3.7.3. Motorsteuergerät für das Nano- BHKW

Der Motor des Ape Calessino 200 besitzt ein originales Steuergerät, welches die Grundbedarf für den Betrieb als reinen Motor erfüllt. Da jedoch der Motor standardmäßig luftgekühlt ist, werden Sensoranschlüsse für den Kühlmittelkreislauf fehlen. Um dieses Problem zu lösen, gibt es mehrere Ansätze. Zum einen könnte man das originale Steuergerät verwenden und den Kühlmittelkreislauf über ein kleines getrenntes Steuergerät regeln, dieses Steuergerät müsste jedoch selbst programmiert werden, was aber keine große Herausforderung sein sollte. Alternativ könnte man ein neues Steuergerät für die Anlage kaufen, um eine gesamte einheitliche Lösung zu haben.

Da die Anlage mit Gas betrieben werden soll, ist es sinnvoll ein Steuergerät auszuwählen, das für den Betrieb mit Gas geeignet ist. Ein passendes Steuergerät ist das im Abschnitt 2.3.3 erwähnte Steuermodul „trijekt gas“ der Firma trijekt GmbH. Alternativ gibt es weitere Hersteller für Steuergeräte wie z.B. das Steuergerät XIOS<sup>Gas</sup> von der Firma Heinzmann. Das XIOS<sup>Gas</sup> Steuergerät ist eine Komplettlösung für die Steuerung aller Systemfunktionen für Gasmotoren. Das XIOS<sup>Gas</sup> kann zusätzlich über Matlab programmiert und an die Bedürfnisse des Nano-BHKW angepasst werden.

Alternativ wäre auch eine komplett eigene Lösung der Steuerung möglich. Dafür kann ein Steuermodul wie z.B. das C-Control I UNIT M 2.0 welches über eine eigene Software programmiert werden müsste.

Die Steuerung muss verschiedene Profile besitzen, um beim Wechsel vom Verbrennungsgas keine Probleme oder Störungen in der Anlage zu verursachen. Zusätzlich vereinfacht das Anlegen verschiedener Profile in der Steuerung den Wechsel des Verbrennungsgases

#### 3.7.4. Betriebsart der Anlage

Standardmäßig wird ein Nano- BHKW wärmegeführt betrieben, da diese Betriebsweise einfacher durchzuführen ist. Das konzipierte Nano- BHKW sollte deshalb wärmegeführt sein, da bei der stromgeführten Betriebsweise die Anlage um einen Wärmespeicher erweitert werden müsste und somit die Anlage teurer und komplexer ausfällt. Zusätzlich wäre die Programmierung der Steuerung aufwändiger.

### 3.8. Thermodynamisches Modell der Anlage

Es wird ein thermodynamisches Modell erzeugt, um einen Vergleich zu den Messungen nachher im Betrieb zu haben. Dieses Modell ist vereinfacht um grob die Größen wie Luftmenge Kraftstoffmassenstrom, Leistung, Temperaturen usw. zu bestimmen. Die nötigen Gleichungen werden aus der Formelsammlung für Technische Thermodynamik 2, Wärme- und Stoffübertragung und aus dem Skript Kolbenmaschinen entnommen. Die Stoffdaten werden aus Wikipedia und dem VDI-Wärmeatlas entnommen.

Um die Leistung bei Verbrennungsmotoren zu beschreiben, werden verschieden Größen verwendet wie z.B. die Innenleistung  $P_i$  oder der Mitteldruck  $p_{me}$  benutzt. In den folgenden Seiten wird jedoch nur die effektive Leistung benutzt, da diese die abnehmbare Leistung ist, die der Motor erzeugt.

Die effektive Leistung eines Motors ist definiert als

$$P = 2\pi \cdot n \cdot M \cdot i \quad (1)$$

Da bei einem Viertaktmotor nur bei jeder zweiten Umdrehung gezündet wird muss die obige Gleichung durch zwei geteilt werden. Somit ergibt sich für die Leistung im Allgemeinen für eine Viertakt Einzylindermotor

$$P_e = \pi \cdot n \cdot M \cdot i \quad (2)$$

Mit der effektiven Leistung kann der effektive Mitteldruck  $p_{me}$  und die Arbeit  $W$  berechnet werden.

$$p_{me} = \frac{2 \cdot P}{V_H \cdot n} \quad (3)$$

$$W_e = p_{me} \cdot V_h \quad (4)$$

Da der Motor des Piaggio Ape Calessino 200 einfach gebaut ist und relativ klein ist, wird hier ein effektiver Wirkungsgrad von  $\eta = 0,3$  angenommen. Der Wirkungsgrad ist allgemein definiert als

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$$

Der Nutzen ist die effektive Leistung an der Kurbelwelle und der Aufwand das Produkt aus Kraftstoffmassenstrom und unteren Heizwert. Somit ergibt sich für den Wirkungsgrad folgende Gleichung:

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_K \cdot H_u} \quad (5)$$

Diese Gleichung kann verwendet werden um den Kraftstoffmassenstrom  $\dot{m}_K$  zu berechnen, so ergibt sich bei Umstellung der Formel für den Kraftstoffmassenstrom:

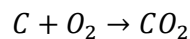
$$\dot{m}_K = \frac{P_e}{\eta \cdot H_u} \quad (6)$$

Die obigen Gleichungen können unabhängig vom Kraftstoff verwendet werden, um den nötigen Kraftstoffmassenstrom zu berechnen.

Um nun die nötige Mindestsauerstoffmenge  $o_{min}$  für die Verbrennung zu berechnen, muss der Sauerstoffbedarf für eine vollständige chemische Reaktion eines Elements mit Sauerstoff bestimmt werden.

Als Beispiel wird die Reaktionsgleich für Kohlenstoff und Sauerstoff aufgestellt, um die nötige Sauerstoffmenge pro kg Kohlenstoff berechnen.

Die Reaktionsgleich für Kohlenstoff ergibt:



Gleichung der Stoffmenge:  $1 \text{ kmol} + 1 \text{ kmol} \rightarrow 1 \text{ kmol}$

Die molaren Massen für Kohlenstoff und Sauerstoff sind:  $M_C = 12 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$ ,  $M_{O_2} = 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$ . Mit den Molaren Massen und der Stoffmenge lässt sich berechnen wie viel Kilogramm Sauerstoff für ein Kilogramm Kohlenstoff benötigt wird:

$$\frac{m_{o_{2min}}}{m_{Kohlenstoff}} = \frac{M_{O_2} \cdot n_{O_2}}{M_C \cdot n_C} = \underline{\underline{2,6667}} \quad (7)$$

Diese Rechnung und Reaktionsgleichung lassen sich für jedes Element welches Oxidiert wird, durchführen. Die Kraftstoffe, die für Verbrennungsmotoren benutzt werden, bestehen hauptsächlich aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff. Die Gleichung für  $o_{min}$  ist:

$$o_{min} = 2,667 \cdot c + 8 \cdot h + s - o \quad (8)$$

Die Größen  $c$ ,  $h$ ,  $s$  und  $o$  sind jeweils die Massenanteile der Elemente im Kraftstoff.

$$\xi = \frac{m_{element}}{m_K} \quad (9)$$

Mit  $o_{min}$  und der Sauerstoffkonzentration der Luft mit  $\xi_{O_2} = 0,23$  lässt sich die Mindestluftmenge  $l_{min}$  und der Mindestluftmassenstrom  $\dot{m}_{l_{min}}$  berechnen:

$$l_{min} = \frac{\dot{m}_{l_{min}}}{\dot{m}_K} = \frac{o_{min}}{\xi_{O_2}} \leftrightarrow \dot{m}_{l_{min}} = l_{min} \cdot \dot{m}_K \quad (10)$$

Bei einem Luftverhältnis von  $\lambda=1$  ergibt sich für Luftmenge und Luftmassenstrom:

$$\lambda = 1 = \frac{l}{l_{min}} \rightarrow l_{min} = l \quad (11)$$

Der Abgasmassenstrom  $\dot{m}_{Abgas}$  ist die Summe aus dem Luftmassenstrom  $\dot{m}_l$  und dem Kraftstoffmassenstrom  $\dot{m}_K$ :

$$\dot{m}_{Abgas} = \dot{m}_K + \dot{m}_l \quad (12)$$

Anschließend können noch die Massenanteile  $\mu_{RG,i}$  des Abgases bestimmt werden.

$$\mu_{RG,CO_2} = 3,667 \cdot c \quad (13)$$

$$\mu_{RG,H_2O} = 9 \cdot h + \lambda \cdot l_{min} \cdot x \quad (14)$$

$$\mu_{RG,N_2} = \lambda \cdot l_{min} \cdot (1 - \xi_{O_2}) \quad (15)$$

$$\mu_{RG,O_2} = o_{min} \cdot (\lambda - 1) \quad (16)$$

Um die Massenströme der Abgase zu bestimmen, müssen die Massenanteile  $\mu_{RG,i}$  mit dem Massenstrom des Kraftstoffs multipliziert werden.

$$\dot{m}_{RG,i} = \dot{m}_B \cdot \mu_{RG,i} \quad (17)$$

Der Wassergehalt  $x$  der Luft lässt sich berechnen mit dem Dampfdruck  $p_d$  und dem Umgebungsdruck  $p_u$ .

$$x = 0,622 \cdot \frac{p_d}{(p_u - p_d)} \quad (18)$$

Der Dampfdruck lässt sich mit der relativen Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  und dem Sättigungsdampfdruck  $p_s$  berechnen.

$$p_d = \frac{\varphi}{p_s} \quad (19)$$

Der Sättigungsdampfdruck kann aus einer Dampftabelle für die jeweilige Umgebungstemperatur  $T_u$  entnommen werden.



Mit den Bestandteilen des Rauchgases kann eine mittlere spezifische Wärmekapazität  $\overline{c_{p,Abgas}}$  ermittelt werden. Mit dieser Wärmekapazität lässt sich anschließend eine Abgastemperatur berechnen. Zuerst wird die mittlere Wärmekapazität bei Raumtemperatur ermittelt:

$$\begin{aligned} \overline{c_{p,Abgas,RT}} &= \sum_i \mu_{RG,i} \cdot c_{p,i} \\ &= \frac{\mu_{RG,CO_2} \cdot c_{p,CO_2,RT} + \mu_{RG,H_2O} \cdot c_{p,d} + \mu_{RG,N_2} \cdot c_{p,N_2,RT}}{\mu_{RG,Gesamt}} \end{aligned} \quad (20):$$

Nun muss die Gleichung für die mittlere spez. Wärmekapazität bei hoher Abgastemperatur berechnet werden. Da diese nicht bekannt ist, aber Stoffdaten benötigt werden, wird eine Abgastemperatur von  $T_{Abgas} = 800^\circ C$  angenommen:

$$\begin{aligned} \overline{c_{p,Abgas,800^\circ C}} &= \sum_i \mu_{RG,i} \cdot c_{p,i} \\ &= \frac{\mu_{RG,CO_2} \cdot c_{p,CO_2,800^\circ C} + \mu_{RG,H_2O} \cdot c_{p,d,800^\circ C} + \mu_{RG,N_2} \cdot c_{p,N_2,800^\circ C}}{\mu_{RG,Gesamt}} \end{aligned} \quad (21):$$

Nun kann die Gleichung für die Wärme  $\dot{Q}_{Abgas}$  aufgestellt werden. Um die Temperatur berechnen zu können muss der Wärmestrom des Abgases bekannt sein. Mit dem 1. Hauptsatz lässt sich folgende Gleichung für die Wärme im Abgas aufstellen:

$$\dot{Q}_{Abgas} = \dot{m}_{Abgas} \cdot (\overline{c_{p,Abgas,800^\circ C}} \cdot T_{Abgas,1} - \overline{c_{p,Abgas,RT}} \cdot T_{RT}) \quad (22):$$

Umstellen nach  $T_{Abgas,1}$ :

$$T_{Abgas,1} = \frac{\dot{Q}_{Abgas} - \dot{m}_{Abgas} \cdot \overline{c_{p,Abgas,RT}} \cdot T_{RT}}{\dot{m}_{Abgas} \cdot \overline{c_{p,Abgas,800^\circ C}}} \quad (23):$$

Die nötigen Stoffdaten können aus dem VDI-Wärmeatlas von Seite 157 bis Seite 357 für verschiedene Gase entnommen werden.

Um die Temperaturänderungen im Kühlkreislauf bestimmen zu können müssen die Wärmeströme bekannt sein. Es wird angenommen, dass der Wärmestrom  $\dot{Q}_{Gesamt}$  zur Hälfte am Zylinder anliegt und zur anderen Hälfte mit dem Abgas weitergeleitet wird. Der Wärmestrom kann mit der Leistung  $P$  und dem Produkt aus Kraftstoffmassenstrom und unteren Heizwert berechnet werden.

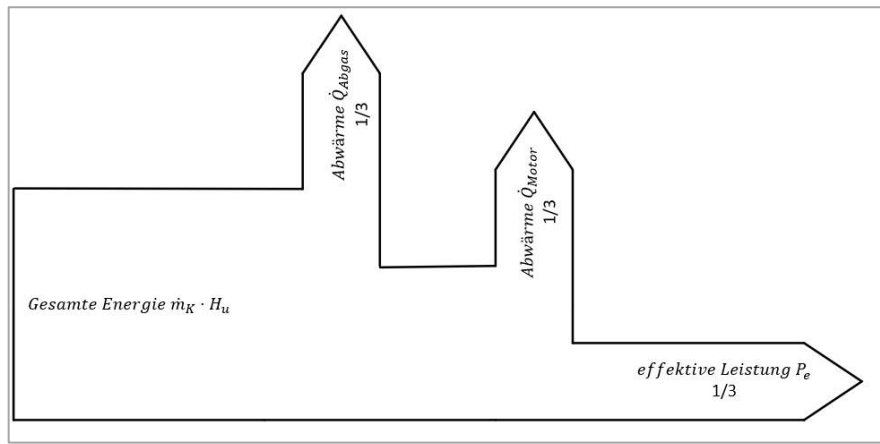


Abbildung 68: Sankey Diagramm

Dann folgt Wärmestrom  $\dot{Q}_{Gesamt}$  :

$$\dot{Q}_{Gesamt} = \dot{m}_K \cdot H_u - P \quad (24)$$

Für die Wärmeströme  $\dot{Q}_{Motor}$  und  $\dot{Q}_{Abgas}$  am Motor und im Abgas ergibt sich daraus:

$$\dot{Q}_{Motor} = \dot{Q}_{Abgas} = \frac{\dot{Q}_{Gesamt}}{2} \quad (25)$$

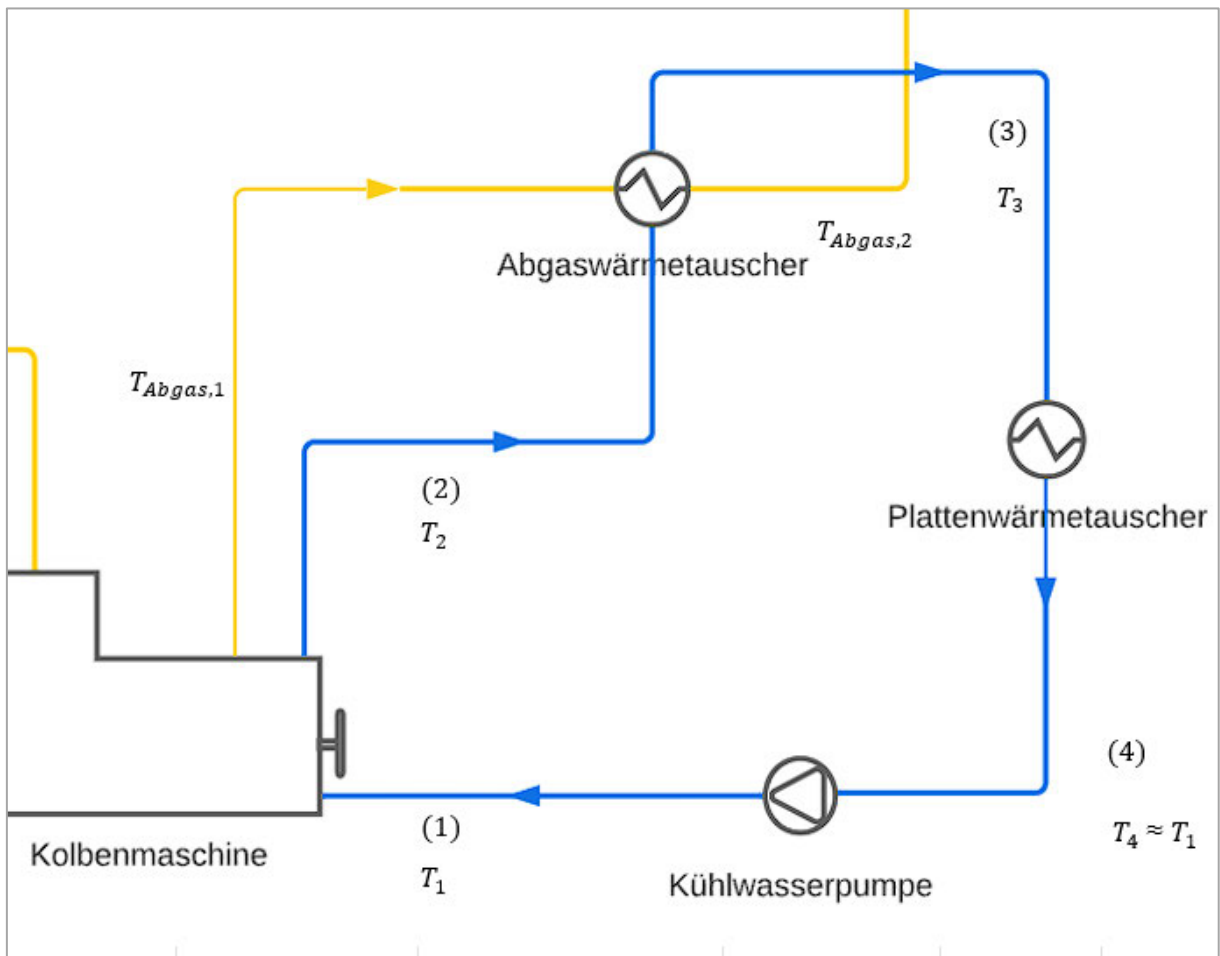


Abbildung 69: Kühlkreislauf: Schema der Anlage mit den jeweiligen Zuständen

Anschließend kann man mit den Wärmeströmen die Temperaturen im Kühlkreislauf berechnen. Um die Austrittstemperatur  $T_3$  des Kühlmittels am Abgaswärmetauscher zu bestimmen, muss zuerst die Austrittstemperatur  $T_2$  des Kühlmittels bekannt sein. Hierfür wird der 1. Hauptsatz der Thermodynamik für offene stationäre Fließprozesse benutzt.

1. Hauptsatz für die Zustände (1)  $\rightarrow$  (2):

$$\dot{Q}_{Motor} = \dot{m}_{Kühlmittel} \cdot c_{Kühlmittel} \cdot (T_2 - T_1) \quad (26)$$

$$\rightarrow T_2 = \frac{\dot{Q}_{Motor}}{\dot{m}_{Kühlmittel} \cdot c_{Kühlmittel}} + T_1 \quad (27)$$

Dieselbe Gleichung kann auch für den Prozess von (2)  $\rightarrow$  (3) benutzt werden:

1. Hauptsatz von (2)  $\rightarrow$  (3):

$$\dot{Q}_{Abgas} = \dot{m}_{Kühlmittel} \cdot c_{Kühlmittel} \cdot (T_3 - T_2) \quad (28)$$

$$\rightarrow T_3 = \frac{\dot{Q}_{Abgas}}{\dot{m}_{Kühlmittel} \cdot c_{Kühlmittel}} + T_2 \quad (29)$$

### 3.8.1. Wärmeverluste im Kühlkreislauf

Selbstverständlich treten Wärmeverluste am Motor und in den Kühlleitungen und Rohren auf. Die Wärmeverluste direkt am Motor sind nicht zu verhindern und auch nicht durch das Kühlsystem verwertbar. Deshalb wird auf eine Berechnung der Wärmeverluste auf der Motoroberfläche verzichtet. Jedoch sind die Wärmeverluste im Kühlsystem relevant, da diese den Nutzungsgrad der Anlage reduzieren. Dafür werden die Volumenströme der Pumpe und die Innendurchmesser der Schläuche benötigt, um den Kühlmittelmassenstrom  $\dot{m}_{Kühlmittel}$  und die Strömungsgeschwindigkeit  $c_{Kühlmittel}$  zu bestimmen.

Der Massenstrom des Kühlmittels ist:

$$\dot{m}_{Kühlmittel} = \dot{V}_{Pumpe} \cdot \rho \quad (30)$$

und die Strömungsgeschwindigkeit ist:

$$u_{Kühlmittel} = \frac{4 \cdot \dot{m}_{Kühlmittel}}{d^2 \cdot \rho \cdot \pi} \quad (31)$$

Der Wärmeverlust ist definiert durch:

$$\dot{Q} = k \cdot A_{\text{Bezugsfläche}} \cdot (T_{\text{Kühlmittel}} - T_{\text{Luft}}) \quad (32)$$

mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten k:

$$k = \left( \frac{1}{\alpha_A} \cdot \frac{d}{d_1} + \frac{d}{2} \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \left( \frac{d_{i+1}}{d_i} \right) + \frac{1}{\alpha_B} \cdot \frac{d}{d_{n+1}} \right) \right)^{-1} \quad (33)$$

Um den Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_{\text{Kühlmittel}}$  zu berechnen muss zuerst die Nußelt- Zahl Nu bekannt sein. Rechnungen mit verschiedenen Volumenströmen ergeben, dass die Randbedingungen für eine nicht ausgebildete turbulente Strömung gültig sind. Somit werden alle konvektiven Wärmeverluste für diesen Fall berechnet. Für die Durchströmung eines Rohrs bei nicht ausgebildeter turbulenter Strömung gilt:

$$Nu = (0,0235 \cdot Re_d^{0,8} - 230) \cdot (1,8 \cdot Pr^{0,3} - 0,8) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{d}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \cdot \left( \frac{\eta}{\eta_w} \right)^{0,14} \quad (34)$$

Reynolds-Zahl:

$$Re = \frac{u \cdot L}{\nu} = \frac{\rho \cdot u \cdot L}{\eta} \quad (35)$$

Prandtl-Zahl:

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda} \quad (36)$$

Diese Gleichung ist gültig für:

$$Re > 2300$$

$$0,6 < Pr < 500$$

$$1 < \frac{L}{d} < 10 \dots 40$$

Für die Stoffbezugstemperatur gilt:

$$T_{\text{Bez}} = \frac{T_w + T_{Fl}}{2} \quad (37)$$

Mit der Nußelt-Zahl kann man den Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  der Kühlflüssigkeit berechnen:

$$\alpha_{Kühlmittel} = \frac{Nu \cdot \lambda_{Kühlmittel}}{L} \quad (38)$$

Der Wärmeübergangskoeffizient der Luft in der Halle kann durch folgende Gleichung definiert werden:

$$\alpha_{Luft} = 1,22 \cdot \left( \frac{T_w - T_u}{D} \right)^{0,25} \quad (39)$$

Die Wärmeverluste am Plattenwärmetauscher kann man vereinfacht berechnen, indem man die Außenfläche mit dem Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_{Luft}$  und der Temperaturdifferenz zwischen Wand- und Umgebungstemperatur multipliziert:

$$\dot{Q}_{Verlust,PLWT} = \alpha_{Luft} \cdot A \cdot (T_{w,PLWT} - T_u) \quad (40)$$

Mit

$$\alpha_{Luft} = 1,74 \cdot \Delta T^{0,33} \quad (41)$$

Und

$$A = b \cdot h \cdot 2 + b \cdot t \cdot 2 + h \cdot t \cdot 2 \quad (42)$$

Die Gesamten hier Aufgelisteten Formeln und Gleichungen wurden in eine Excel Tabelle übertragen (Abb.42).

H44								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Größen		Einheit					
2	rel. Luftfeuchte $\varphi$	30	%			Kühlkreislauf		
3	Umgebungstemp. Tu	20	°C			Größen		Einheit
4	Umgebungsdruck pu	1	bar			spez. Wärmekapazität Kühlmittel c	4190	J/kgK
5	Dampfdruck $p_d$	0.006997788	bar			Dichte Kühlmittel $\rho$	990	kg/m³
6	Sättigungsdampfdruck $p_s$	0.02332596	bar			Volumenstrom $\dot{V}_{\text{Kühlmittel}}$	47	l/min
7	Zylinderhubvolumen $V_Z$	197	cm³			Massenstrom $\dot{m}_{\text{Kühlmittel}}$	0.7755	kg/s
8	Hub s	64	mm			Kühlmittelgeschw. $u_{\text{Kühlmittel}}$	2.060683836	m/s
9	Bohrung D	62.6	mm			Motor Eintrittstemp. $T_1$	70	°C
10	Verdichtungsverhältnis $\epsilon$	9.5	-			Motor Austrittstemp. $T_2$	70.98026706	°C
11	Hub - Bohrungsverhältnis s/D	1.022364217				Abgaswärmetauscher Austritt $T_3$	71.96053413	°C
12	Drehzahl n	2500	min⁻¹					
13	Drehmoment M	14.6	Nm					
14	Wirkungsgad Motor $\eta$	0.3	-					
15	Heizwert Hu	50	MJ/kg			konvektive Wärmeverluste im Kühlkreislauf für turb. Strömung		
16	Leistung $P_e$	1.911135531	kW			Größen		Einheit
17	effektiver Mitteldruck $p_{me}$	4.656573882	bar			Außendurchmesser Schlauch	0.029	m
18	effektive Arbeit $W_e$	91.73450548	J			Charakteristische Länge L	0.022	m
19	Kraftstoffmasse im Zylinder $m_{KZ}$	6.11563E-06	kg			Wandtemperatur der Leitung $T_w$	60	°C
20	Luftmasse im Zylinder $m_{LZ}$	0.00010655	kg			Stoffbezugstemperatur $T_{Bez}$	68.2352003	°C
21	Massenanteil c	0.7487				Wärmeleitfähigkeit Kühlmittel $\lambda_{\text{Kühlmittel}}$	0.6	W/m·K
22	Massenanteil h	0.2513				Wärmeleitfähigkeit Luft $\lambda_{\text{Luft}}$	0.025	W/m·K
23	Kraftstoff Massenstrom $\dot{m}_K$	0.000127409	kg/s			Wärmeleitfähigkeit Schlauch $\lambda_{\text{Schlauch}}$	0.16	W/m·K
24	Mindestsauerstoffmenge o_min	4.0071829	kg_o2/kg_k			kin. Viskosität des Kühlmittels v	0.000000365	m²/s
25	Sauerstoffanteil in Luft $\xi_{O_2, \text{Luft}}$	0.23	kg/kg			Reynoldszahl Re	124205.60	-
26	Luftmenge L_min	17.42253435	kg/kg			Prandl-Zahl Pr	2.5234275	-
27	Luftverhältnis $\lambda$	1	-			$\xi$	0.017193102	-
28	Luftmassenstrom $\dot{m}_l$	0.002219788	kg/s			Nußelt-Zahl Nu	33.18366976	-
29	spezifischer Kraftstoffverbrauch $b_e$	0.066666667	g/kJ			Wärmeübergangskoeffizient Kühlmittel $\alpha_{\text{Kühlmittel}}$	905.0091753	W/m²·K
30	Abgasmassenstrom $\dot{m}_{\text{Abgas}}$	0.002347197	kg/s			Wärmeübergangskoeffizient Außenluft $\alpha_{\text{Luft}}$	7.387993131	W/m²·K
31						Wärmedurchgangskoeffizient k	47.11005064	W/m²·K
32	Wärmstrom $\dot{Q}_{\text{Gesamt}}$	6.37045177	kW			Gesamtlänge Schlauch $l_{\text{Ges}}$	1.5	m
33	Wärmstrom im Abgas $\dot{Q}_{\text{Abgas}}$	3.185225885	kW			Mantelfläche mit Bezugsdurchmesser $A_{\text{Mantel}}$	0.103672558	m²
34	Wärmstrom am Motor $\dot{Q}_{\text{Motor}}$	3.185225885	kW			Wärmeverluststrom der Leitung $\dot{Q}_{\text{Verlust,Leitung}}$	0.248988615	kW
35								

Abbildung 70: Ausschnitt des Modells in Excel



### 3.9. Betrieb der Anlage mit Gasen

Für den Betrieb des Motors des Ape Calessino 200 mit Erdgas oder Ammoniak müssen keine großen Modifikationen getätigt werden. Notwendige Veränderungen sind in vorherigen Abschnitten genannt. Wichtig ist bei der Verwendung von Gasen die Methanzahl. Diese ist ein Maß für die Klopfestigkeit von Gasen bei der Verbrennung. Da Erdgas größtenteils aus Methan besteht ist die Methanzahl von beiden Gasen ähnlich.

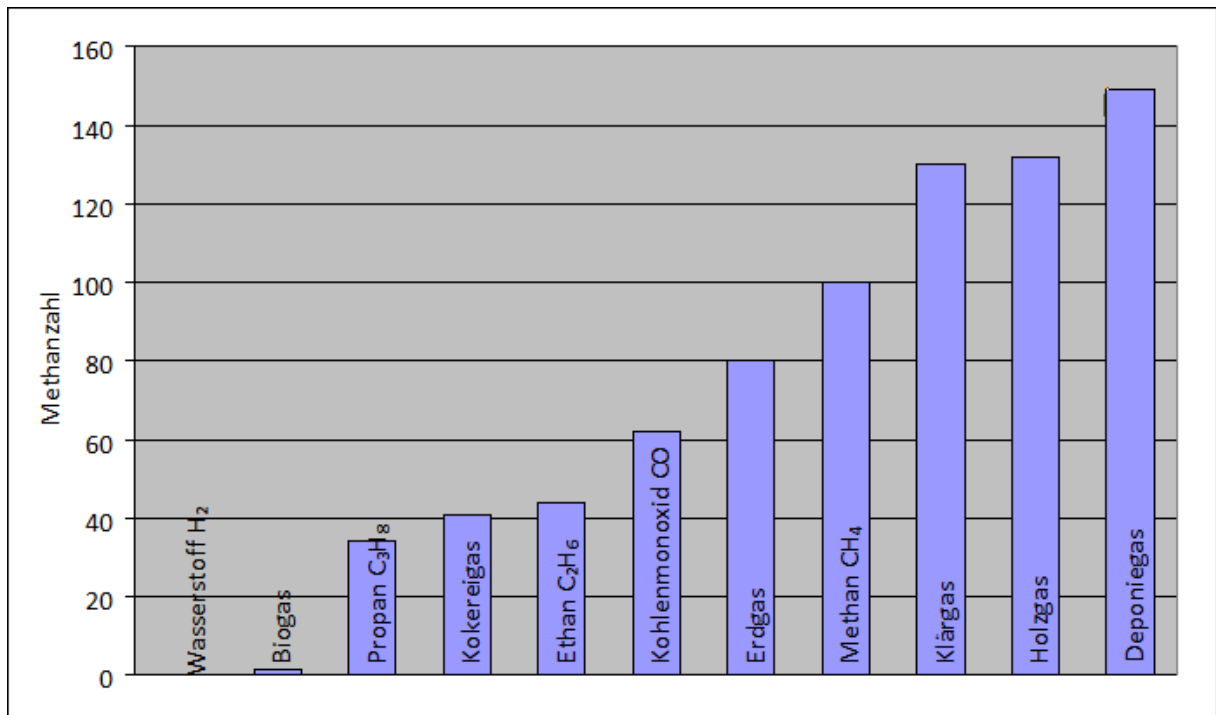


Abbildung 71: Methanzahl für verschiedene Gase (Wikipedia.de)

Der Betrieb der Anlage mit Erdgas (Methan) und Ammoniak sollte keine große Herausforderung sein, da diese Gase klopfest sind, wie in Abbildung 60 gezeigt wird. Problematischer wird jedoch die Verwendung von Wasserstoff als Brenngas sein, da Wasserstoff eine hohe Gefahr für Klopfen und Selbstzündung darstellt und somit den Verbrennungsmotor schädigen kann. Dies kann verhindert werden, indem man den Einspritzdruck in einer CNG -Düse reduziert. Alternativ für Vergaser mit Gasanschluss, kann man den Druck über den Druckminderer an der Gasflasche so weit reduzieren, dass eine Selbstzündung vermieden wird. Eine weitere Maßnahme wäre, dass Verdichtungsverhältnis des Motors des Ape Calessino 200 zu reduzieren, indem man dickere Dichtscheiben im Zylinder einsetzt. Dies würde aber den Gesamten Wirkungsgrad bei Betrieb mit anderen Verbrennungsgasen verschlechtern, weshalb von dieser Lösung abzuraten ist. Zudem ist diese Modifikation aufwändig und ermöglicht keinen problemlosen Wechsel von Wasserstoff zu einem anderen Verbrennungsgas an der Anlage für einen optimalen Betrieb. Selbst wenn alle Vorkehrungen im Ansaug- und Einspritzsystem durchgeführt sind, kann es sein das heiße Restgase während der Ansaugphase sich noch im Zylinder befinden und diese zu einer Selbstzündung des Wasserstoffs führen, wodurch eine Rückzündung stattfindet. Da Wasserstoff schlagartig und sehr schnell verbrennt, führt das zu hohen Druckspitzen

unmittelbar nach der Zündung im Brennraum. Um diese Druckspitzen gering zu halten, wäre es ratsam bei Verwenden von Wasserstoff die Einspritzmenge zu reduzieren und die Anlage bei geringerer Leistung zu fahren, um sicher zu stellen das keine Schäden entstehen. Ein weiteres Problem ist die starke Flüchtigkeit von Wasserstoff, wodurch zusätzliche Maßnahmen nötig wären, um Leckagen in den Gasleitungen und am Motor zu vermeiden. Da Wasserstoffatome sehr klein sind, können sie z.B. durch die Zylinderlaufbuchse diffundieren und Risse verursachen. Dieses Phänomen ist auch bekannt als Wasserstoffversprödung. Um dies zu verhindern, müsste man die Zylinderlaufbuchse, Zylinderkopfdichtung und den Zylinderkopf mit einer passenden Stahlsorte wie z.B. den austenitischen Stahl 1.4404 erneuern. Der Stahl 1.4404 wird z.B. bei Wasserstofftanks oder Pipelines verwendet und ist resistent gegen die Wasserstoffversprödung, mit dem Nachteil, dass die Wärmeleitung Aufgrund der hohen Legierungsanteile stark reduziert wird. Man müsste dann überprüfen, ob die Mantelkühlung noch ausreichend wäre für hochlegierte austenitische Stähle.

Vorteil der Wasserstoffverbrennung ist der emissionsfreie Betrieb der Anlage.

Weil die Verbrennung mit Wasserstoff als Brenngas so aufwändig und problembehaftet ist, sollte man überlegen, ob der Betrieb mit Wasserstoff gänzlich vermieden werden sollte oder man die Kraftstoffmenge reduziert. Da der Motor des Ape Calessino 200 jedoch mit einer maximalen Leistung von 6.5 kW besitzt, sollte der Betrieb mit 2,5 kW einen großen Puffer für den Betrieb mit Wasserstoff darstellen.

#### **Nachteile der Wasserstoffverbrennung zusammengefasst:**

- Gefahr einer Rückzündung während der Ansaugphase
- Klopfen
- Schlechte Schmierung
- Wasseranlagerungen an der Zündkerze bei Kaltstart
- Geringe Leistungsdichte
- Stark flüchtig
- Schlagartige Verbrennung und daraus hohe Druckspitzen
- Wasserstoffversprödung

## 4. Lehrkonzept für Studierende

Die Anlage soll hauptsächlich für Lehrzwecke genutzt werden und den Studierenden einen besseren Bezug zur Praxis in Kolbenmaschinen und der KWK zu ermöglichen. Studierenden soll es möglich sein in Zukunft Experimente oder Versuche an der Anlage durchzuführen. Im folgenden Abschnitt wird ein Lehrkonzept entwickelt und mögliche Messungen an der Anlage genannt, um eine erste Orientierung und Hilfestellung zur Gestaltung von Laborveranstaltungen zu erzeugen.

### 4.1. Volumenstrommessung an der Anlage

Da der Kraftstoffzufluss der Anlage von einer Gasflasche per Hand einstellbar ist, sollte es auch ermöglicht werden den Kraftstoffvolumenstrom zu messen. Dafür könnte ein Durchflussmesser eingesetzt werden. Da Druck und Temperatur des Kraftstoffes hinter dem Druckminderer bekannt sind, könnte man durch die Zustandsgleichung für ideale Gase oder mit der Dichte und dem Volumenstrom den Kraftstoffmassenstrom berechnen. Der Durchflussmesser kann direkt hinter dem Druckminderer durch ein kurzes Rohr mit einem Gewinde angeschlossen werden. Alternativ könnte man auch den Luftvolumenstrom im Ansaugsystem messen, um daraus den Kraftstoffmassenstrom zu berechnen. Die Ermittlung des Kraftstoffmassenstroms wäre nötig, um den effektiven Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors zu bestimmen.

Der Kühlmittelkreislauf kann ebenfalls um einen Durchflussmesser erweitert werden, um die Geschwindigkeit des Kühlmittels zu ermitteln, um daraus dann mit Hilfe des Massenstroms den Wärmestrom am Wärmetauscher zu berechnen.

### 4.2. Messen von Drehzahl, Drehmoment und Leistung

Da die Recherche nach Motorkennfeldern für den Motor des Ape Calessino 200 kein Erfolg liefert, können die Studierenden durch Messen der Drehzahl an der Welle zwischen Generator und Motor und anhand der Leistung, die der Generator abgibt, das Drehmoment mit der Gleichung (2) berechnen und daraus ein Motorkennfeld erzeugen. Durch das Variieren des Kraftstoffzuflusses an der Gasflasche wäre das Erzeugen des Motorkennfelds, wenn auch nur für einen kleinen Leistungsbereich, möglich. Um die Drehzahl zu messen wäre kein aufwändiger Umbau nötig, da man aus der Ferne mit einem digitalen Laser Drehzahlmesser die Drehzahl an der Welle messen könnte. Alternativ kann man auch eine Markierung an der Welle vornehmen und diese von einem Sensor erfassen lassen. Da die meisten Smartphones heute Kameras mit Zeitlupenfunktion haben, könnte man auch mit dem Smartphone die Messung durchführen. Dies ist möglich, indem man die Umdrehungen der Welle für eine bestimmte Zeit aufnimmt und diese dann auf eine Minute hochrechnet. Alternativ müssten Drehzahl und Drehmoment auch über das Motorsteuergerät auslesbar sein, da notwendige Sensoren für den Betrieb des Verbrennungsmotors im Motor verbaut sind.

Die elektrische Leistung, die am Generator entsteht, kann mithilfe von einem Strommessgerät gemessen werden. Da ein Verbraucher wie z.B. ein Fön über eine Steckdose angeschlossen wird, können handelsübliche Strommessgeräte für Steckdosen verwendet werden. Diese sind preiswert und geben Spannung, Stromstärke sowie Frequenz der elektrischen Leistung an.



Abbildung 72: Strommessgerät für Steckdosen (amazon.de)

#### 4.3. Messen von Temperaturen

Die Kühlmitteltemperatur kann durch Einbauen von Temperatursensoren im Kühlmittelkreislauf gelesen werden. Am Motor des Ape Calessino 200 sollten Temperatursensoren zum Schutz des Motors verbaut sein. Die Temperaturen im und am Motor wären dann nur über das Motorsteuergerät lesbar. Das Department Maschinenbau und Produktion der HAW Hamburg besitzt mehrere Wärmebildkameras. Falls der Einbau von Temperatursensoren im Kühlmittelkreislauf zu aufwändig ist, kann man die Wärmebildkameras nutzen, um die Temperaturen in der Anlage zu messen.

## 5. Stücklisten und Preise der Komponenten

Alle Preise und Angebote sind in den Anhängen zu finden.

### 5.1. Stückliste für den Rahmen

Beschreibung	Stückzahl	Preis
Profil 8 40x40 700 mm	12	128,18 €
Profil 8 80x40 700 mm	2	38,22 €
Profil 8 40x40 200 mm	2	6,10 €
Winkel 8 160x160-40 Al M8	14	260,82 €
Befestigungssatz für Winkel 8 160x160 M8	28	172,76 €
Automatik-Verbindungssatz 8	16	44,32 €
Nutenstein 8 St M8, verzinkt	10	4,00 €
Kosten für Zuschnitt, Versand usw.	-	162 €
<b>Gesamt</b>	<b>88</b>	<b>816,54 €</b>

*Tabelle 13: Stückliste für den Rahmen*

### 5.2. Stückliste der Anlagenkomponenten

#### 5.2.1. Stückliste der eingekauften Komponenten

Beschreibung	Stückzahl	Preis
TOPRAN 305 139 AGR-Kühler	1	124.03 €
JS-Technik MX3-90L-2, 2,2 KW, 2 polig, B34	1	210.05 €
Rotex 24 Standard	1	77.68 €
Bosch 0392020034 Wasserpumpe	1	55.2 €
BOSCH 0 280 158 821 Einspritzventil	1	79.72 €
25150.0242 - Gummi-Metall-Puffer	8	16.16 €
HERCULES CK1612 Druckminderer	1	184.64 €
Plattenwärmetauscher EWT-B3-12 mit 12 Platten	1	69€
<b>Gesamt</b>	<b>13</b>	<b>743,88 €</b>

*Tabelle 14: Stückliste der eingekauften Komponenten*

### 5.2.2. Stückliste der eigen konstruierten Komponenten

Beschreibung	Stückzahl
Abdeckdeckplatte Getriebe	2
Motorhalterung vorne	1
Motorhalterung hinten	1
Ansaugstutze	1
Spannplatte für Einspritzventil	1
Rohranschluss- Düse A	1
Rohranschluss Düse B	1
Abgasrohr	1
Flansch Abgasrohr	1
Flansch mit Rohr für AGR-Kühler	1
Flansch für Schwungrad	1
Welle für Schwungrad	1
Stutze für Kühlsystem	1
Kühlmantelplatte oben Teil 1	1
Kühlmantelplatte oben Teil 2	1
Kühlmantelplatte oben Teil 3	1
Kühlmantelplatte unten Teil 1	1
Kühlmantelplatte unten Teil 2	1
Kühlmantelplatte unten Teil 3	1

*Tabelle 15: Stückliste eigen erstellten Komponenten*



### 5.3. Stückliste für Kleinteile

Beschreibung	Stückzahl
DIN 933 M4x16 – 10.9	2
DIN 934 M4	2
ISO 4017 M3x8	2
ISO 4036 M8	5
ISO 4016 M12x100	2
DIN 555 M12	2
DIN 6921 M8x20	4
ISO 4017 M6x12	8
DIN 555 M8	14
ISO 4018 M8x20	3
ISO 4018 M8x30	2
ISO 4016 M6x40	3
DIN 609 M8x25	4
DIN 6921 M8x30	6
Gummi Kühlerschlauch Semperit FKD / FKS Ø18 mm 10m	1
Schlauchtülle, DIN EN 14423 G 3/4"-19x33mm	4
Propan Schlauch Umfüllschlauch - W21,8x1/14" LH IG ÜM - 6,3 x 5,0 mm 5m	1
Schlauchklemme Ø 16 mm - Ø 25 mm	8

*Tabelle 16: Schrauben und Schläuche*



## 7. Literatur

- [1] *Suttor, W.*: Blockheizkraftwerke – Ein Leitfaden für den Anwender, BINE-Fachbuch, Fraunhofer IRB-Verl., Stuttgart, 2014.
- [2] *Thomas, B.*: Mini-Blockheizkraftwerke – Grundlagen, Gerätetechnik, Betriebsdaten. Vogel Business Media, Würzburg, 2011.
- [3] *Wikipedia*: Stirlingmotor, 2022, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Stirlingmotor&oldid=223874309> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [4] *Wikipedia*: Stirling-Kreisprozess, 2022, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Stirling-Kreisprozess&oldid=225064065> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [5] Viertaktmotor - Antriebstechnologie :: Trackopedia, 2022, <https://www.trackopedia.com/lexikon/fahrzeuge/antriebstechnologie/viertaktmotor> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [6] *Wikipedia*: Gleichraumprozess, 2022, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Gleichraumprozess&oldid=223562291> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [7] *Böge, A. (Hrsg.)*: Das Techniker-Handbuch. Vieweg, Braunschweig, 1990.
- [8] *Piatek, J.*: Kolbenmaschinen. Vorlesungsskript. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Hamburg, 2021.
- [9] *Wikipedia*: Abgasnachbehandlung, 2021, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Abgasnachbehandlung&oldid=217921230> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [10] *Wikipedia*: Plattenwärmeübertrager, 2021, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Plattenwärmeübertrager&oldid=215261901> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [11] *Wagner, W.*: Wärmeaustauscher – Grundlagen, Aufbau und Funktion thermischer Apparate, Vogel-Fachbuch, Vogel, Würzburg, 1993.
- [12] *Lohneis, M.* Plattenwärmetauscher: Was ist das? [online]. In: Klimatechniker.net, 2016 [Zugriff am: 16.10.2022], <https://www.klimatechniker.net/magazin/plattenwaermetauscher-20163421>.

- [13] *Reif, K. (Hrsg.): Ottomotor-Management – Steuerung, Regelung und Überwachung*, Bosch Fachinformation Automobil, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014.
- [14] *Stoffregen, J.: Motorradtechnik – Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk*, SpringerLink, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018.
- [15] Zylinderdruckmessung, 2022,  
<https://www.kistler.com/de/glossar/begriff/zyylinderdruckmessung/> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [16] Wasserstoff-Motor, Motorentchnik, Gemischbildung, Vor- & Nachteile bei Emissionen, Kosten, 2021, <https://www.hydrogeit.de/wasserstoff-motor.htm> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [17] B. Mögliche Brennstoffe | BHKW-Infothek, 2022, <https://www.bhkw-infothek.de/bhkw-informationen/technische-grundlagen/moegliche-brennstoffe/> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [18] Blockheizkraftwerk, 2022, <https://www.das-wohlfuehlhaus.net/Blockheizkraftwerk> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [19] *Delphi Aftermarket: Was ist ein Saugrohrdrucksensor?* | Delphi Auto Parts, 2022,  
<https://www.delphiautoparts.com/deu/de/toolbox/was-ist-ein-saugrohrdrucksensor> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [20] *Huppertz, H.:* kfz-tech.de, 2018, [https://www.kfz-tech.de/Biblio/Elektronische\\_Motorsteuerung/Drucksensor.htm](https://www.kfz-tech.de/Biblio/Elektronische_Motorsteuerung/Drucksensor.htm) [Zugriff am: 16.10.2022].
- [21] *Märtel, C.* Motoren für Blockheizkraftwerke [online]. In: DAA GmbH, 2021 [Zugriff am: 16.10.2022], <https://www.heizungsfinder.de/bhkw/motor>.
- [22] *Nitsche, M.:* Nitsche-Planungs-Atlas – Planung und Berechnung verfahrenstechnischer Anlagen, Springer eBook Collection, Springer Vieweg, Berlin, 2020.
- [23] *Stephan, P.; Kind, M.; Schaber, K. et al. (Hrsg.): VDI-Wärmeatlas*, VDI Springer Reference, Springer, Wiesbaden, 2019.
- [24] *Wikipedia:* Dieselmotor, 2022,  
<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Dieselmotor&oldid=226842674> [Zugriff am: 16.10.2022].
- [25] *Wikipedia:* Methanzahl, 2022,  
<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Methanzahl&oldid=226362036> [Zugriff am: 16.10.2022].

[26] *Wikipedia*: Ottomotor, 2022,  
<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Ottomotor&oldid=226727713> [Zugriff am:  
16.10.2022].

## 8. Versicherung über Selbständigkeit



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

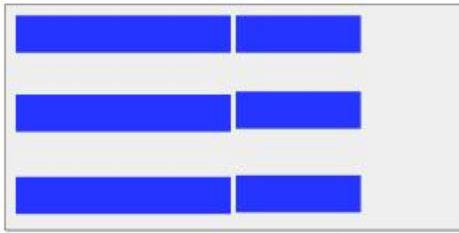
Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

<b>Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit</b>	
Hiermit versichere ich,	
Name:	<u>Dogan</u>
Vorname:	<u>Onur</u>
dass ich die vorliegende <u>Bachelorarbeit</u> ▾ bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema: <u>Konzeption eines Nano-BHKW für den Lehrbetrieb</u>	
ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.	
<i>- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -</i>	
Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der <u>-bitte auswählen-</u> ▾ ist erfolgt durch: <u></u>	
<u></u> Ort	<u></u> Datum



## 9. Anhang



### Edelstahl-Wärmetauscher

### Kupfer-, Nickel- und Edelstahl gelötete Plattenwärmetauscher



- [Home](#)
- [Online-Shop](#)
- [PWT Produkte](#)
- [Berechnungsprogramm](#)
- [Anwendungen](#)
- [Anschlussmöglichkeiten](#)
- [Montage/Wartung/Betrieb](#)
- [Kontakt](#)
- [Impressum](#)

Geben sie bitte die gewünschte Stückzahl in das entsprechende Feld ein.  
Um alle gewünschten Artikel gemeinsam in den Warenkorb aufzunehmen, klicken sie bitte ganz unten auf den Button  
"Weiter zur Kasse"

Wenns mal eilig ist, erkundigen sie sich bezüglich der Preise für den Versand mit DHL Express.

EWT-B3-12



Plattenmaterial: WNr. 1.4301; AISI 304  
Höhe x Breite: 191mm x 73mm  
Anschlussmaße: 154mm x 40mm  
Plattenpaket Tiefe: 7mm + 2,4mm \* Plattenanzahl



Platten:	Anschlüsse:	Fläche:	Gewicht:	Lieferzeit*:	Stückzahl:	Preis*:
6		0,05 m <sup>2</sup>	0,5 kg	●○○ 2-5 Tage	<input type="text" value="0"/>	49,00 €
12		0,12 m <sup>2</sup>	0,9 kg	●●○ 8 Wochen	<input type="text" value="0"/>	69,00 €
20	4 x G ¼ " AG DN20	0,22 m <sup>2</sup>	1,3 kg	●○○ 2-5 Tage	<input type="text" value="0"/>	84,00 €
30		0,34 m <sup>2</sup>	1,7 kg	●○○ 2-5 Tage	<input type="text" value="0"/>	99,00 €
50		0,58 m <sup>2</sup>	2,6 kg	●○○ 2-5 Tage	<input type="text" value="0"/>	131,90 €
12		0,12 m <sup>2</sup>	0,9 kg	●○○ 2-5 Tage	<input type="text" value="0"/>	72,00 €
20	2 x G ½ " AG	0,22 m <sup>2</sup>	1,3 kg	●○○ 2-5 Tage	<input type="text" value="0"/>	86,00 €
30	2 x G ¾ " AG	0,34 m <sup>2</sup>	1,7 kg	●○○ 2-5 Tage	<input type="text" value="0"/>	101,90 €
50		0,58 m <sup>2</sup>	2,6 kg	●○○ 2-5 Tage	<input type="text" value="0"/>	132,90 €

Substitut für Kaori K025 - 205mm x 73mm / K030 - 194mm x 80mm; Baode BL14 - 206mm x 76mm;  
Zilmet ZB10 - 190mm x 77mm  
Swep B5, E5 - 187mm x 72mm; Alfa Laval CB10 - 210mm x 74mm / APX10/APX14 190mm x 76mm,  
CB14 208mm x 78mm; GEA GBH 100  
Funke GPLK 20, Zilmet ZB 10, Hydac S400, VAU VM 12, Secespol Hexonic LA12

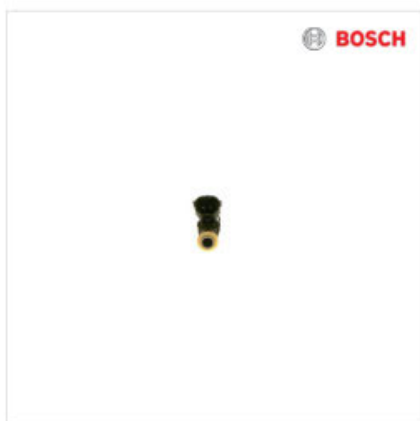
[https://www.edelstahl-waermetauscher.de/plattenwaermetauscher\\_shop\\_de.htm](https://www.edelstahl-waermetauscher.de/plattenwaermetauscher_shop_de.htm)

Testen Sie den Premium-Account

Pkw-Ersatzteile  Geben Sie die Teilenummer oder den Namen des Teils ein  Suchen 0 Artikel

Lkw-Ersatzteile Motorrad-Ersatzteile Reifen Werkzeuge Autozubehör Motoröl Filter Bremsen

KRAFTSTOFFSYSTEM EINSPRITZDÜSE BOSCH EINSPRITZVENTIL



## BOSCH 0 280 158 821 Einspritzventil

Artikelnummer: 0 280 158 821

**Kraftstoffart:** CNG  
**BOSCH:** Einspritzventil  
**Artikelnummer:** 0 280 158 821  
**Unser Preis:** 79,72 €  
**Hersteller Artikelnummer:** 0 280 158 821  
**Hersteller:** BOSCH  
**EAN-Nummer(n):** 4047024439795  
**Zustand:** Brandneu  
**Fahrzeugverwendungsnummer(n):** BOSCH NGI2K  
**EAN-Nummer(n):** BOSCH 4047024439795

Meiner Wunschliste hinzufügen

Schreiben Sie

**79,72 €**  
inkl. 19% MwSt. [Vorschau](#)

Von diesem Artikel sind **vorläufig** **Verbleibende**

KA

14 14 Tage Rückgaberecht 200 Sicher bestellen 200 Tage



PRIORITÄRER BESTELLSTATUS

MEI

BESCHREIBUNG OEM-NUMMERN BEWERTUNGEN FAQ

### OEM-NUMMERN

OEM Referenznummer(n) vergleichbar mit Original-Ersatzteil-Nummer:  
OEN NGI-2-K — BOSCH

Bitte beachten Sie, dass die abschließende Überprüfung der Kompatibilität nur mit Hilfe der sogenannten OEN (Original Equipment Number) möglich ist. Die Beschreibungen unserer Produkte enthielten Spezifikationen und können deren Kompatibilität mit einem bestimmten Fahrzeug nicht garantieren. Bevor Sie eine Bestellung aufgeben, sollten Sie die in der Beschreibung des entsprechenden A überprüf.

### Inhalt des Einspritzventil BOSCH Set:

Artikelbezeichnung	Einheiten	Artikelnummer
Gummiring	1	1 280 210 823
Gummiring	1	6 002 ER1 003
Gummiring	1	F 00V E24 028
Einspritzventil	1	F 00V E35 100

### Bewertungen

**4** Dieses Produkt wurde von 34 Kunden bewertet

Bitte bewerten Sie das Produkt

0 Sterne

5 Sterne

Testen Sie den Premium-Account

Pkw-Ersatzteile
Geben Sie die Teilenummer oder den Namen des Teils ein
Suchen
0 Artikel # 29:5

Lkw-Ersatzteile
Motorrad-Ersatzteile
Reifen
Werkzeuge
Autozubehör
Motoröl
Filter
Bremsen

Bitte wählen Sie Ihr Fahrzeug um zu Prüfen ob dieses Teil passend ist.

Marke auswählen
  Modell auswählen
  Motor (Typ) auswähl
 ODER

SIE KÖNNEN IHR AUTO NICHT IM KATALOG FINDEN?

AUSPUFF ABGASKÖHLER TOPRAN AGR KÜHLER



### TOPRAN 305 139 AGR Kühler ohne Dichtung, ohne AGR-Ventil

Artikelnummer: 305 139

Ergänzungsartikel/Ergänzende Info 2:	ohne AGR-Ventil
Ergänzungsartikel/Ergänzende Info: Neuteil	ohne Dichtung
Kühlungsart:	wassergekühlt
Altteilerückgabe nicht erforderlich	
TOPRAN:	AGR Kühler
Artikelnummer:	305 139
Unser Preis:	117,07 €
Hersteller Artikelnummer:	305 139

Meiner Wunschliste hinz.

(Schreiben Sie)

Beim Kauf dieses Artikels erhalten Sie  
**1,16 €** als Bonus

**117,07 €**

inkl. 19% MwSt., zzgl. Versand

Von diesem Artikel sind  
vorrätig. **Verbleibende**

-

KA

Fahrzeugverwendungsnummer(n): TOPRAN 305 139

EAN-Nummer(n): TOPRAN 132511000016

14 14 Tage Rückgaberecht 200 Sicher bestellen **200 Tage**

PRIORITÄRER BESTELLSTATUS

MEI

BESCHREIBUNG OEM-NUMMERN BEWERTUNGEN FAQ

#### OEM-NUMMERN

OEM Referenznummer(n) vergleichbar mit Original-Ersatzteil-Nummer:

- OEN 1 771 581 — FORD
- OEN 1 807 897 — FORD
- OEN CK3Q9F464AA — FORD
- OEN CK3Q9F464AB — FORD

#### KOMPATIBEL MIT FOLGENDEN PKWS

+ FORD

Bitte beachten Sie, dass die abschließende Überprüfung der Kompatibilität nur mit Hilfe der sogenannten OEN (Original Equipment Number) möglich ist. Die Beschreibungen unserer Produkte enthalten Spezifikationen und können deren Kompatibilität mit einem bestimmten Fahrzeug nicht garantieren. Bevor Sie eine Bestellung aufgeben, sollten Sie die in der Beschreibung des entsprechenden Artikels überprüften.

Absolut gleichwertige Produkte

<https://www.autodoc.de/topran/13896899>

Aluminum electric motors

## JS- Electric motor - MX3 90L - 2.2 kW - 2pol-B34



**€210.05 \***

Prices incl. VAT **plus shipping costs**

Delivery time ca. 3-4 Workdays

Add to shopping cart



♥ Remember

**Order number:** 3X29100108A000

**Shipping fees:** Motor + Verpackung

### Description

Three-phase motor, electric motor, Power= 2,2 kW, Speed= 2 pole, Type= B34, Shaft= 24 x 50...

### Product information "JS- Electric motor - MX3 90L - 2.2 kW - 2pol-B34"

**Three-phase motor, electric motor, Power= 2,2 kW, Speed= 2 pole,**

Type= B34, Shaft= 24 x 50 mm, Voltage= 3 x 230/400 V-50 Hz, 3 x 265/460 V-60 Hz (± 5% according to VDE 0530),

Efficiency= 50/60 Hertz, Efficiency class= IE3, Efficiency= 85,9%, Paint= RAL 5010 (gentian blue),



<https://www.js-technik.de/produkte/elektromotoren/alu-elektromotoren/7510/js-drehstrommotor-mx3-90l-2-2-kw-2pol-b34>



KTR Systems GmbH, Postfach 17 63, D-48407 Rheine

Hochschule f. Angew. Wissenschaften  
 Fachb. Masch.-bau u. Produktion  
 Berliner Tor 21  
 20099 Hamburg

<b>Angebot 20343261</b>		gültig bis 19.10.2022		Seite 1 / 2	
Anfragenummer	<b>per Mail Hr Dogan</b>	Angebotsnummer	<b>20343261</b>		
Anfragedatum	19.09.2022	Belegdatum	19.09.2022		
		Kundennummer	38246		
		Bearbeiter	Sabine Brieg		
		Telefon / Fax	+49 5971 798 459 / -6459		
		E-Mail	s.brieg@ktr.com		

Währung: EUR  
 Zahlungsbedingungen: Innerhalb 30 Tagen ohne Abzug  
 Preisstellung: Frei Haus, Fracht auf Rechnung mit Verpackung  
 Spediteur: Hausspediteur - Standard

**i** Unser Angebot ist freibleibend, Preisanpassungen innerhalb der Angebotsfrist sind aufgrund der aktuellen Dynamik am Rohstoffmarkt möglich – Zwischenverkauf vorbehalten.

Pos.	Kundenmaterial	KTR Material KTR Bezeichnung	Menge	Preis	PE	Gesamtpreis	Lieferzeit																								
10		020245102400 ROTEX 24 ST Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9 > Bauteil 1a Werkstoff Stahl	1 ST	27,12	1 ST	27,12	ab Lager																								
				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Preis Einheit</th> <th>PE Einheit</th> <th>Positionswert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bruttopreis</td> <td>33,05 EUR</td> <td>1 ST</td> <td>33,05</td> </tr> <tr> <td>Rabatt %</td> <td>-25,00 %</td> <td></td> <td>-8,26</td> </tr> <tr> <td>Nettopreis</td> <td>24,79 EUR</td> <td>1 ST</td> <td>24,79</td> </tr> <tr> <td>Materialteuerungszuschlag</td> <td>9,40 %</td> <td></td> <td>2,33</td> </tr> <tr> <td>Nettopreis</td> <td>27,12 EUR</td> <td>1 ST</td> <td>27,12</td> </tr> </tbody> </table>					Preis Einheit	PE Einheit	Positionswert	Bruttopreis	33,05 EUR	1 ST	33,05	Rabatt %	-25,00 %		-8,26	Nettopreis	24,79 EUR	1 ST	24,79	Materialteuerungszuschlag	9,40 %		2,33	Nettopreis	27,12 EUR	1 ST	27,12
	Preis Einheit	PE Einheit	Positionswert																												
Bruttopreis	33,05 EUR	1 ST	33,05																												
Rabatt %	-25,00 %		-8,26																												
Nettopreis	24,79 EUR	1 ST	24,79																												
Materialteuerungszuschlag	9,40 %		2,33																												
Nettopreis	27,12 EUR	1 ST	27,12																												
stat. Warennr.			84839089																												
Nettogewicht			0,48 kg																												

Es gelten ausschließlich unsere aktuellen allgemeinen Geschäftsbedingungen der KTR Systems GmbH (AGB), die Sie im Internet unter [www.ktr.com/de/agb-ktr/](http://www.ktr.com/de/agb-ktr/) abrufen können. Die Lieferung erfolgt zu den bekannten Liefer- und Zahlungsbedingungen der KTR. Die bestätigten Fracht-/Verpackungskosten sind voraussichtliche Werte. Berechnungsgrundlage sind die zur Zeit gültigen Tarife zu Selbstkosten. Unsere Betriebs-/Montageanleitungen finden Sie unter [www.ktr.com](http://www.ktr.com).

**KTR Systems GmbH**

Carl-Zeiss-Straße 25, D-48432 Rheine  
 Postfach 17 63, D-48407 Rheine  
 eMail: [vertrieb@ktr.com](mailto:vertrieb@ktr.com)  
 Internet: [www.ktr.com](http://www.ktr.com)  
 Geschäftsführerin:  
 Nicola Warning

**Registergericht**

Amtsgericht Steinfurt, HRB 3688  
 Ust-IdNr DE811295751

**Bank**

Commerzbank AG Rheine  
 Deutsche Bank AG Rheine  
 Stadtparkasse Rheine

**BIC**

COBADEFF403  
 DEUTDE33B403  
 WELADED1RHN

**IBAN**

DE70 4034 0030 0193 8299 00  
 DE93 4037 0079 0401 4692 00  
 DE49 4035 0005 0000 0504 76







<b>Angebot</b>	Seite 2 / 2
Angebotsnummer	20343261

Pos.	Kundenmaterial	KTR Material KTR Bezeichnung	Menge	Preis	PE	Gesamtpreis	Lieferzeit																																				
20		<b>020241000042</b> <b>ROTEX 24</b> <b>Zahnkranz 98 Sh-A =T-PUR®= Iila</b> Werkstoff =T-PUR®=	1 ST	4,84	1 ST	4,84	ab Lager																																				
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Preis</th> <th>Einheit</th> <th>PE</th> <th>Einheit</th> <th>Positionswert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bruttopreis</td> <td>5,90</td> <td>EUR</td> <td>1</td> <td>ST</td> <td>5,90</td> </tr> <tr> <td>Rabatt %</td> <td>-25,00</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td>-1,48</td> </tr> <tr> <td>Nettopreis</td> <td>4,42</td> <td>EUR</td> <td>1</td> <td>ST</td> <td>4,42</td> </tr> <tr> <td>Materialteuerungszuschlag</td> <td>9,40</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td>0,42</td> </tr> <tr> <td>Nettopreis</td> <td>4,84</td> <td>EUR</td> <td>1</td> <td>ST</td> <td>4,84</td> </tr> </tbody> </table>						Preis	Einheit	PE	Einheit	Positionswert	Bruttopreis	5,90	EUR	1	ST	5,90	Rabatt %	-25,00	%			-1,48	Nettopreis	4,42	EUR	1	ST	4,42	Materialteuerungszuschlag	9,40	%			0,42	Nettopreis	4,84	EUR	1	ST	4,84
	Preis	Einheit	PE	Einheit	Positionswert																																						
Bruttopreis	5,90	EUR	1	ST	5,90																																						
Rabatt %	-25,00	%			-1,48																																						
Nettopreis	4,42	EUR	1	ST	4,42																																						
Materialteuerungszuschlag	9,40	%			0,42																																						
Nettopreis	4,84	EUR	1	ST	4,84																																						
			stat. Warennr. 84839089 Nettogewicht 0,01 kg																																								
30		<b>020245102400</b> <b>ROTEX 24 ST</b> <b>Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9 &gt;</b> Bauteil 1a Werkstoff Stahl	1 ST	27,12	1 ST	27,12	ab Lager																																				
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Preis</th> <th>Einheit</th> <th>PE</th> <th>Einheit</th> <th>Positionswert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bruttopreis</td> <td>33,05</td> <td>EUR</td> <td>1</td> <td>ST</td> <td>33,05</td> </tr> <tr> <td>Rabatt %</td> <td>-25,00</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td>-8,26</td> </tr> <tr> <td>Nettopreis</td> <td>24,79</td> <td>EUR</td> <td>1</td> <td>ST</td> <td>24,79</td> </tr> <tr> <td>Materialteuerungszuschlag</td> <td>9,40</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td>2,33</td> </tr> <tr> <td>Nettopreis</td> <td>27,12</td> <td>EUR</td> <td>1</td> <td>ST</td> <td>27,12</td> </tr> </tbody> </table>						Preis	Einheit	PE	Einheit	Positionswert	Bruttopreis	33,05	EUR	1	ST	33,05	Rabatt %	-25,00	%			-8,26	Nettopreis	24,79	EUR	1	ST	24,79	Materialteuerungszuschlag	9,40	%			2,33	Nettopreis	27,12	EUR	1	ST	27,12
	Preis	Einheit	PE	Einheit	Positionswert																																						
Bruttopreis	33,05	EUR	1	ST	33,05																																						
Rabatt %	-25,00	%			-8,26																																						
Nettopreis	24,79	EUR	1	ST	24,79																																						
Materialteuerungszuschlag	9,40	%			2,33																																						
Nettopreis	27,12	EUR	1	ST	27,12																																						
			stat. Warennr. 84839089 Nettogewicht 0,48 kg																																								

Nettowarenwert		59,08
Fracht & Verpackung	EUR	6,20
Gesamtnettobetrag		65,28
MwSt	19,00 %	12,40
<b>Endbetrag</b>		<b>77,68 EUR</b>

Aufgrund des Krieges in der Ukraine kommt es derzeit zu einer äußerst angespannten Situation auf dem weltweiten Rohstoffmarkt. Liefer- und Versorgungsengpässe sowie massive Preisschwankungen der zur Herstellung unserer Produkte benötigten Materialien (Aluminium, Stahl, Guss) können derzeit nicht ausgeschlossen werden.

Es gelten ausschließlich unsere aktuellen allgemeinen Geschäftsbedingungen der KTR Systems GmbH (AGB), die Sie im Internet unter [www.ktr.com/de/agg-ktr/](http://www.ktr.com/de/agg-ktr/) abrufen können. Die Lieferung erfolgt zu den bekannten Liefer- und Zahlungsbedingungen der KTR. Die bestätigten Fracht-/Verpackungskosten sind voraussichtliche Werte. Berechnungsgrundlage sind die zur Zeit gültigen Tarife zu Selbstkosten. Unsere Betriebs-/Montageanleitungen finden Sie unter [www.ktr.com](http://www.ktr.com).

<b>KTR Systems GmbH</b> Carl-Zeiss-Straße 25, D-48432 Rheine Postfach 17 63, D-48407 Rheine eMail: <a href="mailto:vertrieb@ktr.com">vertrieb@ktr.com</a> Internet: <a href="http://www.ktr.com">www.ktr.com</a> Geschäftsführerin: Nicola Warning	<b>Registergericht</b> Amtsgericht Steinfurt, HRB 3688 Ust-IdNr DE811295751	<b>Bank</b> Commerzbank AG Rheine Deutsche Bank AG Rheine Stadtparkasse Rheine	<b>BIC</b> COBADEFF403 DEUTDE3303 WELADED1RHN	<b>IBAN</b> DE70 4034 0030 0193 8299 00 DE93 4037 0079 0401 4692 00 DE49 4035 0005 0000 0504 76
--	---	---	--	--





Customers who viewed this item also viewed



Automotive ▸ Car Parts ▸ Engine & Engine Parts ▸ Cooling & Heating Systems ▸ Engine Cooling & Heating ▸ Water Pumps

[amazonconfirmedfit](#) | **! This does not fit** Mercedes-benz C-klasse Stufenheck C 200 CDI  
[See similar products that fit this vehicle ▾](#)



Roll over image to zoom in

○ **Bosch**  
**0392020034**  
**Electric Water Pump**

[Visit the Bosch Automotive Store](#) [17 ratings](#)

€55.02

**& FREE Returns**  
 Prices for items sold by Amazon include VAT. Depending on your delivery address, VAT may vary at Checkout. For other items, please see [details](#).

May be available at a lower price from [other sellers](#), potentially without free Prime delivery.

- BOSCH universal auxiliary additional electric water pump for car/vehicle/heating

[Report incorrect product information.](#)

Do you want to recycle your electrical and electronic equipment for free? [Learn more](#)

€55.02

& FREE Returns

FREE delivery **Tuesday, October 11**. Order within 11 hrs 4 mins

Deliver to Onur - Hamburg 22769

**Only 1 left in stock (more on the way).**

Quantity:

[Add to Basket](#)

[Buy now](#)

[Secure transaction](#)

Dispatched from and sold by Amazon.

Return policy: [Returnable within 30 days of receipt](#)

Add gift options

[Add to List](#)

New & Pre-owned (20) from **€50.16** + €3.99 shipping

**Other Sellers on Amazon**

€55.58 [Add to Basket](#)

& FREE Delivery

Sold by: MRDAUTO Autoparts

€53.12 [Add to Basket](#)

+ €5.95 shipping

Sold by: motointegrator

€61.80 [Add to Basket](#)

& FREE Delivery

Sold by: Autodac Shop

Have one to sell?

[Sell on Amazon](#)

**Buy it with**

 <p><b>This item:</b> Bosch 0392020034 Electric Water Pump</p>	 <p>BGS 1815   Hose Clamping Pliers Set   155-255 mm   3-...</p>	 <p>4-piece 'Expert' Hose Clamps Set €17.16</p>
---	---	--

Total price: €86.64

[Add all three to Basket](#)

Some of these items are dispatched sooner than the others.  
[Show details](#)

# Druckminderer Wasserstoff Formiergas zweistufig 200 bar 0 - 20 bar stufenlos regelbar HERCULES CK1612



Artikelnummer: 12032

HERCULES (HERCULES)

**184,64 €**

inkl. 19% USt. (Versand 5,99)

**Lieferzeit:** 1 - 4 Werktage

**Beschreibung**

Bewertungen

Frage zum Produkt

Produkt Tags

**zweistufiger Druckminderer**

**Wasserstoff / Formiergas / Brenngas - kein Acetylen!**

## **200 bar / 0 - 20 bar stufenlos regelbar**

von

**HERCULES**

**Made in Germany**

2-stufiger 200 bar Flaschendruckminderer für Wasserstoff / Formiergas / Brenngas - kein Acetylen!

Betriebsdruck 200 bar maximal

mit 2 großen Manometern Ø 63 mm

Sicherheits-Inhaltsmanometer für den Flaschendruck 0-315 bar, roter Strich bei 200 bar

Arbeitsdruck stufenlos regelbar von 0-20 bar

Arbeitsdruck garantiert konstant regelbar ab ca. 0,5 bar

Sicherheits-Arbeitsmanometer für den Arbeitsdruck 40 bar , roter Strich bei 20 bar

Flaschenanschluss: W 21,8x 1/14" Linksgewinde nach DIN 477

Abgang : G 3/8" links mit Absperrventil

Tülle Ø 9 mm mit Überwurfmutter

Robuste Messingausführung

Körper komplett aus Messing!

Gewicht: ca. 1,8 kg

Made in Germany, bekannt für höchste Qualität

Zweistufiger Flaschendruckminderer, entspricht der Europäischen Norm EN ISO 2503 - Bauart nach DIN 8546.

Lieferumfang

Druckminderer inkl. Dichtung, Tülle und 1/4" Überwurfmutter

Man unterscheidet zwischen ein- und zweistufigen Druckminderern. Bei zweistufigen Modellen reduziert die erste Stufe, der erste Druckminderer, den Druck von 200 bar auf ca. 20 bar, in der zweiten Stufe reduziert der zweite Druckminderer dann auf den eingestellten Ausgangsdruck. Der 2-stu-

fige Druckminderer ist größer und schwerer als der einstufige, dafür aber absolut konstant im Ausgabedruck bzw. in der Abgabemenge.

Erklärung: Physikalisch bedingt steigt bei Reduzierung des Eingangsdruckes ( z.B. Entleerung der Flasche) bei einstufigen Druckminderern der Ausgangsdruck an. Durch die zwei Druckreduzierungsstufen beim zweistufigen Druckminderer wird dieses Phänomen verhindert, weil die erste Druckstufe den Eingangsdruck der zweiten Stufe konstant hält.

Hinweis: Dieser Druckminderer regelt den Ausgangsdruck garantiert konstant ab ca. 0,5 bar. Es wird 0 bar angegeben, dies bezieht sich auf die Manometeranzeige.

Gase Dopp

Lübbener Str.10

15910 Unterspreewald

[www.gase-dopp.de](http://www.gase-dopp.de)

[info@gase-dopp.de](mailto:info@gase-dopp.de)

Tel. 035473/819831

---

© Shop für Gase Technik Zubehör Füllungen Adapter Gasetechnik Dopp Druckminderer Gase online bestellen kaufen  
Powered by JTL-Shop (<http://jtl-url.de/jtlshop>)

<https://shop.gase-dopp.de/Druckminderer-Wasserstoff-Formiergas-zweistufig-200-bar-0-20-bar-stufenlos-regelbar-HERCULES-CK1612>

Heißwasser und Dampf

## Gummi Kühlerschlauch Semperit FKD / FKS



Semperit FKD



★ [Merken](#)    ? [Fragen?](#)

<b>Artikel-Nr.:</b>	<i>Bitte erst Variante wählen</i>
<b>Hersteller:</b>	Semperit
<b>Hersteller-Nr.:</b>	682011835

Diese Website benutzt Cookies, die für den technischen Betrieb der Website erforderlich sind und stets gesetzt werden. Andere Cookies, die den Komfort bei Benutzung dieser Website erhöhen, der Direktwerbung dienen oder die Interaktion mit anderen Websites und sozialen Netzwerken vereinfachen sollen, werden nur mit Ihrer Zustimmung gesetzt. Mehr Informationen

[Ablehnen](#)

[Alle akzeptieren](#)

[Konfigurieren](#)

<https://www.schlauch-profi.de/gummi-kuehlerschlauch-semperit-fkd/fks-2306?number=Bitte%20erst%20Variante%20w%C3%A4hlen&c=127>

Bitte wählen



ab 6,70 € [MEIN RABATT?](#)

Preise inkl. gesetzlicher MwSt. zzgl. Versandkosten - (Paketversand)



1

Meter

In den Warenkorb



(Bitte beachten Sie die max. Rollenlängen)

### Beschreibung

Flexibler Gummidruckschlauch, Heißwasserschlauch für Kühlmittelkreisläufe. Bedingt ölbeständig....

<b>Schlauchseele:</b>	EPDM Gummi, SBR Gummi
<b>Armierung:</b>	Textilgewebe
<b>Schlauchdecke:</b>	EPDM Gummi, SBR Gummi
<b>Innendurchmesser:</b>	10 mm (3/8"), 12 mm, 13 mm (1/2"), 15 mm (5/8"), 16 mm (5/8"), 18 mm, 19 mm (3/4"), 20 mm, 22 mm, 25 mm (1"), 28 mm, 30 mm, 32 mm (1 1/4"), 35 mm, 38 mm (1 1/2"), 40 mm, 42 mm, 45 mm, 48 mm, 50 mm (2"), 55 mm, 60 mm, 65 mm (2 5/8"), 70 mm, 75 mm (3"), 80 mm, 90 mm, 100 mm (4")
<b>Farbe:</b>	schwarz

Die Tabelle mit den Eigenschaften umfasst alle Filter, inkl. aller Varianten. Für die spezifische Variante beachten sie ggf. die Technischen Daten

Flexibler Gummidruckschlauch, Heißwasserschlauch für Kühlmittelkreisläufe. Bedingt ölbeständig. Zum Durchleiten von Wasser mit Frostschutzmitteln. Ideal geeignet als Kühlerschlauch an Verbrennungskraftmaschinen.

### Ausführung Semperit FKD-R

Schlauchseele: EPDM, schwarz, glatt

Einlagen: Textil gekordelt

Schlauchdecke: EPDM, schwarz, ozon- und witterungsbeständig, glatt

Merkmal: gute Alterungsbeständigkeit unter Einfluss von Heißwasser, Heißluft sowie Frostschutzmitteln,

Diese Website benutzt Cookies, die für den technischen Betrieb der Website erforderlich sind und stets gesetzt werden. Andere Cookies, die den Komfort bei Benutzung dieser Website erhöhen, der Direktwerbung dienen oder die Interaktion mit anderen Websites und sozialen Netzwerken vereinfachen sollen, werden nur mit Ihrer Zustimmung gesetzt. Mehr Informationen

Ablehnen

Alle akzeptieren

Konfigurieren

item Industrietechnik GmbH | Friedenstr. 107-109 | 42699 Solingen

HAW Hamburg  
Herr Onur Dogan  
Berliner Tor 7  
20099 Hamburg

## Angebot

10.10.2022

Angebot Nr.: **AN00198414-1**  
Kunden Nr.: 2025249  
Lieferanten Nr.:  
Ihre Referenz: WEB-AN-DE-372306  
Ansprechpartner: Herr Batuhan Davut (Tel. 0212-6580-300)  
Gültigkeit bis: 09.11.2022

Sehr geehrter Herr Dogan,

wir nehmen Bezug auf Ihre o.e. Anfrage und bieten wunschgemäß an:

**\*\* Bitte beachten Sie die Zuschläge für Rohstoffe und Energiekosten, sowie den Aluminiumzuschlag. \*\***

Pos.	Beschreibung	Menge	Preis/Einh. EUR	Rabatt %	Gesamt EUR
1,0	0.0.026.33 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/2633">https://www.item24.de/de/directlink/pro/2633</a> Profil 8 40x40 leicht natur, Zuschnitt <b>12 Stück a 700,0 mm</b> Zuschlagsgruppe: *1	8,40 m	16,95	10,00	128,18
2,0	0.0.026.30 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/2630">https://www.item24.de/de/directlink/pro/2630</a> Sägebearbeitung für kleine Querschnitte	12,00 Stück	2,88		34,56
3,0	0.0.026.34 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/2634">https://www.item24.de/de/directlink/pro/2634</a> Profil 8 80x40 leicht natur, Zuschnitt <b>2 Stück a 700,0 mm</b> Zuschlagsgruppe: *1	1,40 m	30,33	10,00	38,22

item Industrietechnik GmbH  
Friedenstraße 107-109  
D-42699 Solingen

Telefon  
+49 212 6580 0

info@item24.com  
item24.com

Geschäftsführer  
Stephan Buchmann  
Dr. Heiner Giese  
Waldemar Kurtz  
Thomas Neller

Registergericht  
Wuppertal HRB 14912

Umsatzsteuer-Ident.-Nr.  
DE 120 959 471

Qualitätsmanagement nach  
DIN EN ISO 9001

Übertrag 200,96



## Seite 2

## Angebot AN00198414-1 HAW Hamburg

Pos.	Beschreibung	Menge	Preis/Einh. EUR	Rabatt %	Gesamt EUR
				Übertrag	200,96
4,0	0.0.026.30 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/2630">https://www.item24.de/de/directlink/pro/2630</a> Sägebearbeitung für kleine Querschnitte	2,00 Stück	2,88		5,76
5,0	0.0.026.33 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/2633">https://www.item24.de/de/directlink/pro/2633</a> Profil 8 40x40 leicht natur, Zuschnitt <b>2 Stück a 200,0 mm</b> Zuschlagsgruppe: *1	0,40 m	16,95	10,00	6,10
6,0	0.0.026.30 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/2630">https://www.item24.de/de/directlink/pro/2630</a> Sägebearbeitung für kleine Querschnitte	2,00 Stück	2,88		5,76
7,0	0.0.619.56 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/61956">https://www.item24.de/de/directlink/pro/61956</a> Winkel 8 160x160-40 Al M8, weißaluminium Zuschlagsgruppe: *2	14,00 Stück	20,70	10,00	260,82
8,0	0.0.479.96 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/47996">https://www.item24.de/de/directlink/pro/47996</a> Befestigungssatz für Winkel 8 160x160 St M8 Zuschlagsgruppe: *2	28,00 Stück	6,86	10,00	172,76
9,0	0.0.388.08 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/38808">https://www.item24.de/de/directlink/pro/38808</a> Automatik-Verbindungssatz 8, verzinkt Zuschlagsgruppe: *2	16,00 Stück	3,08	10,00	44,32
10,0	0.0.480.48 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/48048">https://www.item24.de/de/directlink/pro/48048</a> Nutenstein V 8 St M8, verzinkt  Zuschlagsgruppe: *2	10,00 Stück	0,44	10,00	4,00
11,0	8.0.003.83 <a href="https://www.item24.de/de/directlink/pro/8000383">https://www.item24.de/de/directlink/pro/8000383</a> Linsenflanschschraube M8x22, verzinkt Zuschlagsgruppe: *2	4,00 Stück	0,50	10,00	1,80
				Übertrag	702,28

item Industrietechnik GmbH  
Friedenstraße 107-109  
D-42699 Solingen

Telefon  
+49 212 6580 0

info@item24.com  
item24.com

Geschäftsführer  
Stephan Buchmann  
Dr. Heiner Giese  
Waldemar Kurtz  
Thomas Neller

Registergericht  
Wuppertal HRB 14912

Umsatzsteuer-Ident.-Nr.  
DE 120 959 471

Qualitätsmanagement nach  
DIN EN ISO 9001

## Seite 3

## Angebot AN00198414-1 HAW Hamburg

Pos.	Beschreibung	Menge	Preis/Einh. EUR	Rabatt %	Gesamt EUR
				Übertrag	702,28
12,0	DL-Zuschlag-ALU *1 Aluminium- und Energie- kostenzuschlag (17,30%)	1,00 Stück			29,85
13,0	DL-Zuschlag-MAT *2 Allgemeiner Material- und Energiekostenzuschlag (9,50%)	1,00 Stück			45,95
14,0	VERSAND Versandkosten (Transport & Verpackung)	1,00 Stück	38,46		38,46

item Industrietechnik GmbH  
Friedenstraße 107-109  
D-42699 Solingen

Telefon  
+49 212 6580 0

info@item24.com  
item24.com

Geschäftsführer  
Stephan Buchmann  
Dr. Heiner Giese  
Waldemar Kurtz  
Thomas Neller

Registergericht  
Wuppertal HRB 14912

Umsatzsteuer-Ident.-Nr.  
DE 120 959 471

Qualitätsmanagement nach  
DIN EN ISO 9001

Übertrag 816,54

**Seite 4****Angebot AN00198414-1 HAW Hamburg**

Pos.	Beschreibung	Menge	Preis/Einh. EUR	Rabatt %	Gesamt EUR
					Übertrag 816,54
					<b>EUR 778,08</b>
					Warenbezugskosten 38,46
					<b>Summe 816,54</b>

Netto zuzüglich der gesetzlichen Mehrwertsteuer

Unsere UstId: DE120959471

**Geschäftsbedingungen: Wir verweisen auf die aktuelle AGB unter [www.item24.de/agb](http://www.item24.de/agb)****Preisstellung**

Netto

EXW - ab Werk, excl. Verpackung

**Zahlung**

30 Tage netto

Skonto : 14 Tage 2,00%

**Lieferzeit**

Die Lieferzeit der angefragten Artikel beträgt z. Zt. 2 Tage nach Auftragseingang.

Bitte um Beachtung: bei Flächenelementen kann es zu Abweichungen der genannten Lieferzeit kommen!

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK und Geradheits- und Ebenheitstoleranz nach DIN EN 12020 Teil 2.

Unser Qualitätsmanagementsystem ist zertifiziert nach EN ISO 9001:2015.

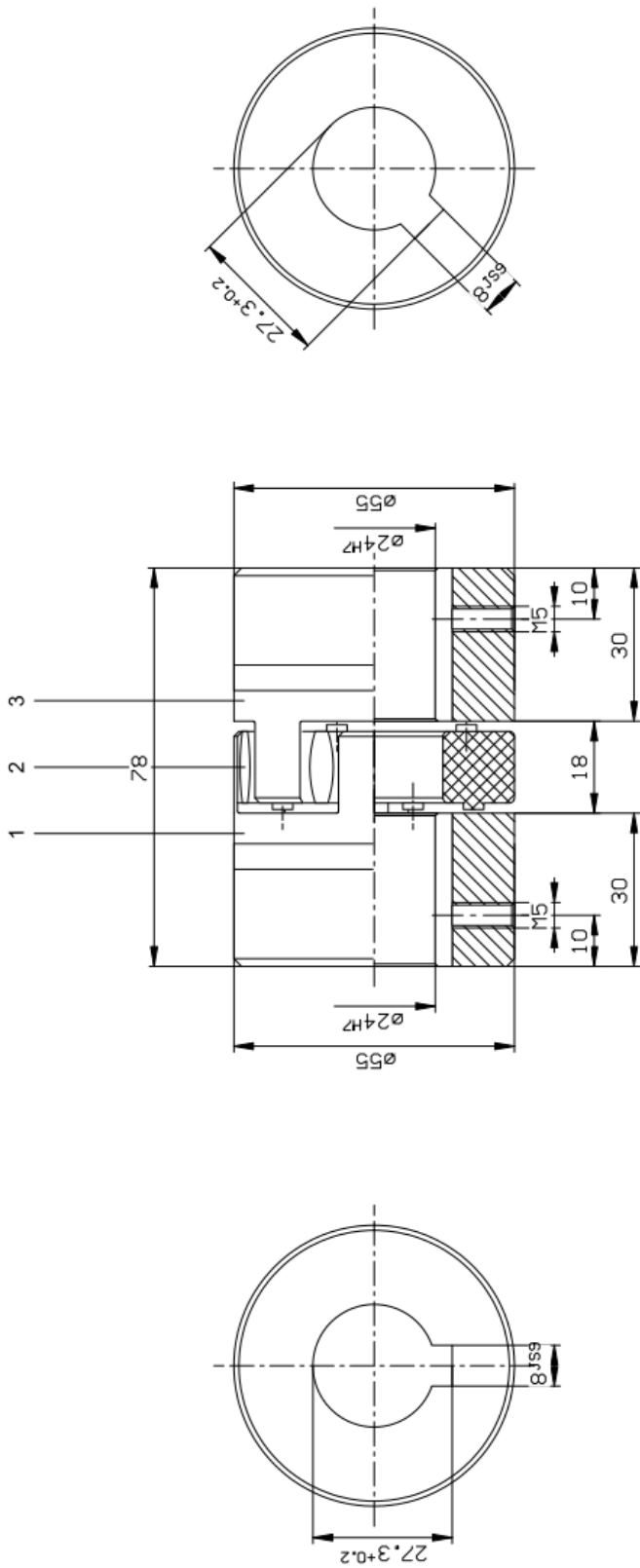
Der Mindestauftragswert beträgt 50,00€. Dieser entfällt bei Bestellungen über unseren Online-Shop.

Über item Produkte und Dienstleistungen sprechen Sie bitte mit Ihrem persönlichen Kundenberater Herr Jan Dressler (Telefon: +49 212 6580 5135), der Ihnen Ihren Nutzen durch den Einsatz des item-Systems gerne aufzeigt.

Mit freundlichen Grüßen  
item Industrietechnik GmbH

i.A. Batuhan Davut

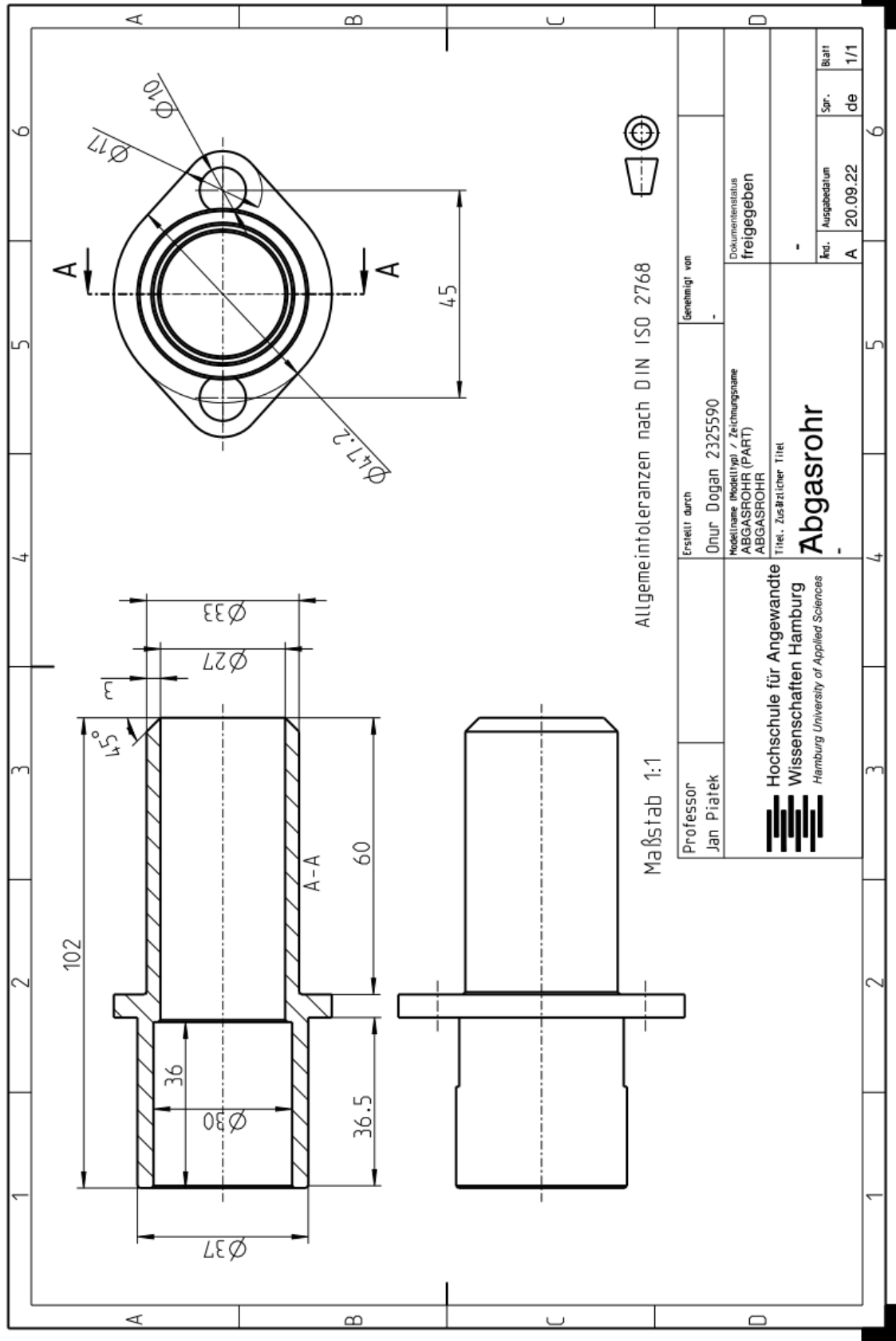
item Industrietechnik GmbH  
Friedenstraße 107-109  
D-42699 SolingenTelefon  
+49 212 6580 0info@item24.com  
item24.comGeschäftsführer  
Stephan Buchmann  
Dr. Heiner Giese  
Waldemar Kurtz  
Thomas NellerRegistergericht  
Wuppertal HRB 14912Umsatzsteuer-Ident.-Nr.  
DE 120 959 471Qualitätsmanagement nach  
DIN EN ISO 9001



Mass- und Konstruktionsänderungen behalten wir uns vor.

Drehmoment / Torque Zahnkranz / spider 92 Sh A T-PUR Tkn = 35 Nm T <sub>kmax</sub> = 70 Nm		Oberflächengüte nach DIN ISO 1302 Reihe 2 Surface quality acc. to DIN ISO 1302 line 2		Schutzvermerk nach ISO 16016 beachten Note protection mark acc. to ISO 16016																																													
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mH General tolerances acc. to DIN ISO 2768-mH		Maßstab Scale		Format DIN Size																																													
ROTEX® 24 Standard		KTR		KTR Systems GmbH D-48407 Rheine																																													
<table border="1"> <tr> <th>Pos./Anz.</th> <th>Bestelldaten</th> <th>Teilenummer</th> <th>Part Number</th> <th>Kz</th> <th>Lsg-Nr. Current number</th> <th>Index Change</th> </tr> <tr> <td>3 1</td> <td>ROTEX 24 ST Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9</td> <td>020245102400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 1</td> <td>ROTEX 24 Zahnkranz 92 Sh-A = T-PUR®- orange</td> <td>020241000045</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1</td> <td>ROTEX 24 ST Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9</td> <td>020245102400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Pos./Anz.	Bestelldaten	Teilenummer	Part Number	Kz	Lsg-Nr. Current number	Index Change	3 1	ROTEX 24 ST Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9	020245102400					2 1	ROTEX 24 Zahnkranz 92 Sh-A = T-PUR®- orange	020241000045					1 1	ROTEX 24 ST Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9	020245102400					<table border="1"> <tr> <th>gearset draht</th> <th>Werkstoff Material</th> <th>Tellenummer Part Number</th> <th>Kz</th> <th>Lsg-Nr. Current number</th> <th>Index Change</th> </tr> <tr> <td>17.09.2022</td> <td>DIN</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Datum date</th> <th>Name name</th> <th>Gewicht Weight</th> <td colspan="3"></td> </tr> </table>		gearset draht	Werkstoff Material	Tellenummer Part Number	Kz	Lsg-Nr. Current number	Index Change	17.09.2022	DIN					Datum date	Name name	Gewicht Weight			
Pos./Anz.	Bestelldaten	Teilenummer	Part Number	Kz	Lsg-Nr. Current number	Index Change																																											
3 1	ROTEX 24 ST Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9	020245102400																																															
2 1	ROTEX 24 Zahnkranz 92 Sh-A = T-PUR®- orange	020241000045																																															
1 1	ROTEX 24 ST Nabe 1.0 Ø24H7 Nut DIN 6885/1-JS9	020245102400																																															
gearset draht	Werkstoff Material	Tellenummer Part Number	Kz	Lsg-Nr. Current number	Index Change																																												
17.09.2022	DIN																																																
Datum date	Name name	Gewicht Weight																																															

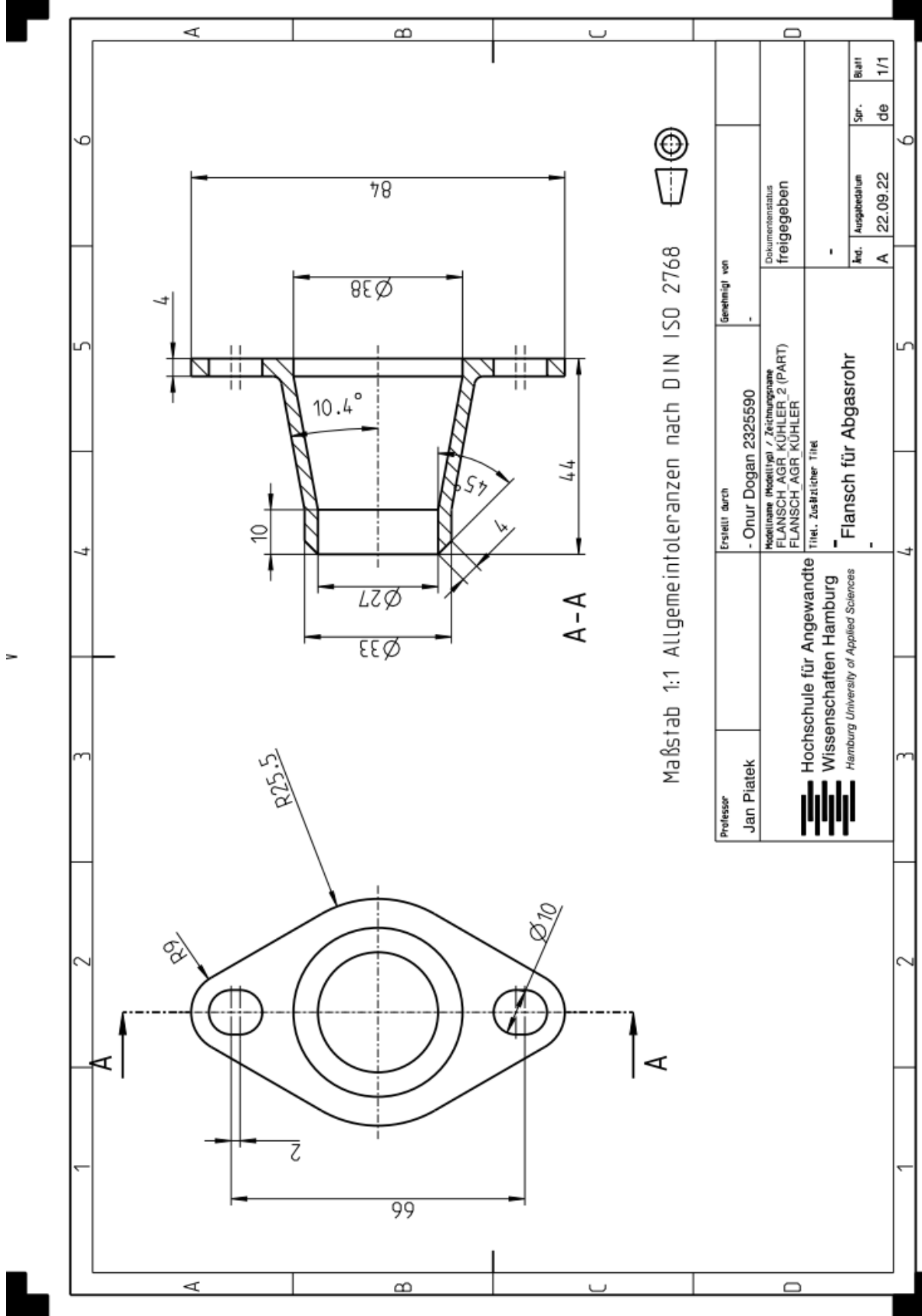
v




Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768

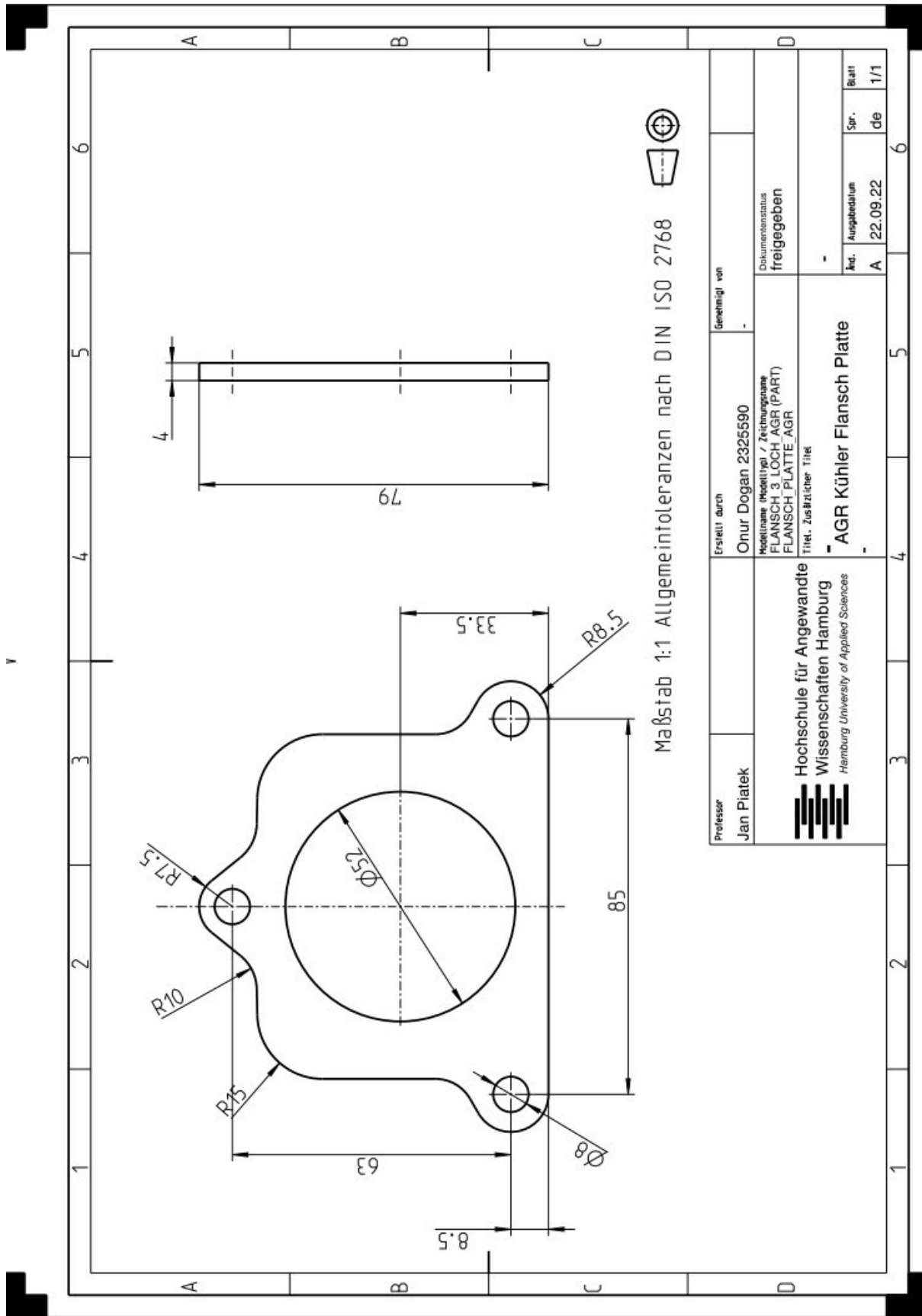
Maßstab 1:1

Erstellt durch Onur Dogan 2325590	Genehmigt von -								
Modellname (Modelltyp) / Zeichnungsname ABGASROHR (PART)	Dokumentenstatus freigegeben								
Titel - Zusatzlicher Titel <b>Abgasrohr</b>									
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences	<table border="1"> <tr> <td>Art.</td> <td>Ausgabedatum</td> <td>Spr.</td> <td>Blatt</td> </tr> <tr> <td></td> <td>20.09.22</td> <td>de</td> <td>1/1</td> </tr> </table>	Art.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt		20.09.22	de	1/1
Art.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt						
	20.09.22	de	1/1						



Maßstab 1:1 Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768

Professor Jan Piatek	Erstellt durch - Onur Dogan 2325590	Genehmigt von -	Dokumentenstatus freigegeben	
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences	Hochschullehrer / Zeichnungsleiter FLANSCH_AGR_KÜHLER_2 (PART) FLANSCH_AGR_KÜHLER	-		
	Titel, zusätzlicher Titel Flansch für Abgasrohr			
	No.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt
		A 22.09.22	de	1/1



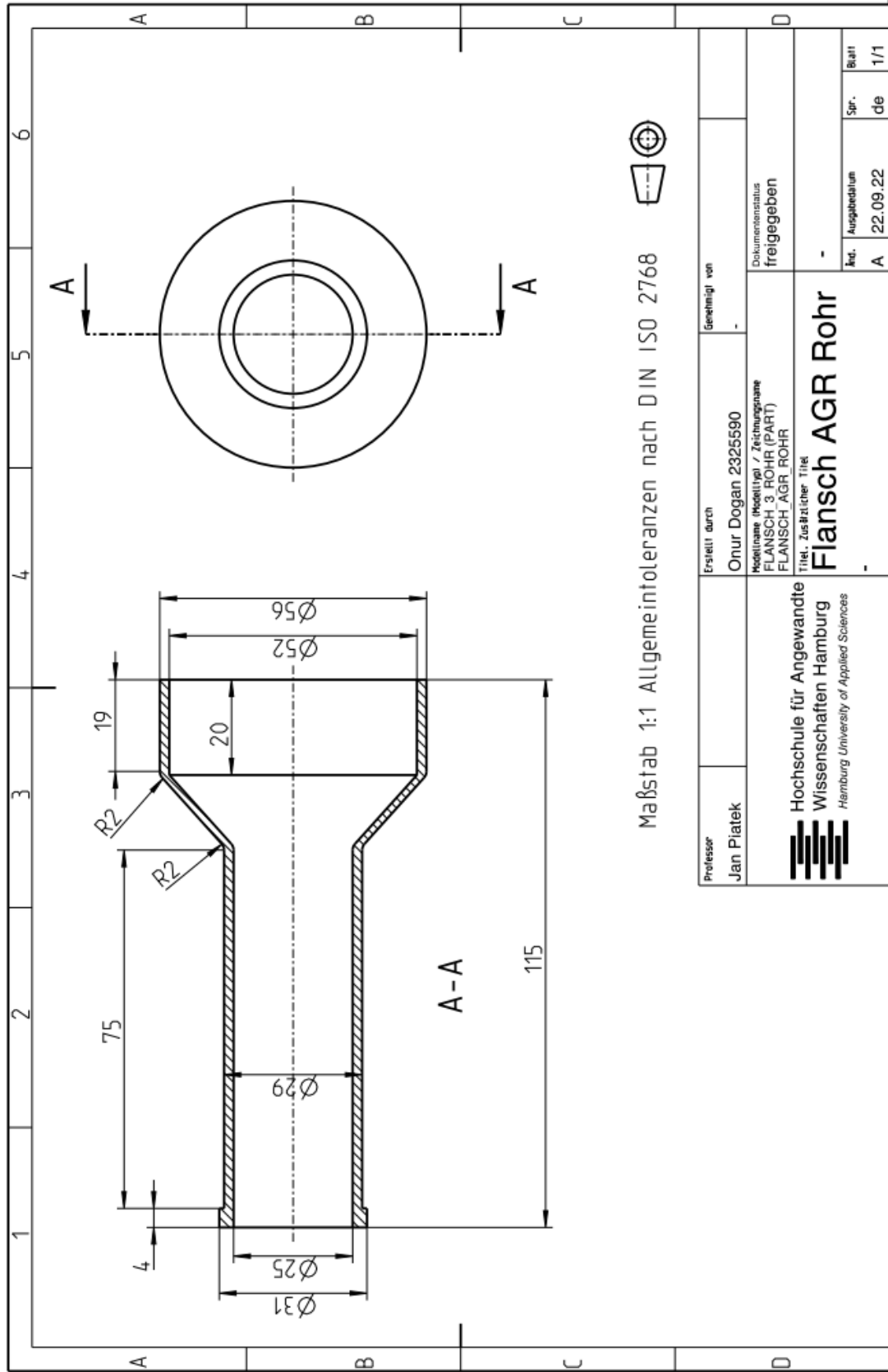
Maßstab 1:1 Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768



Professor Jan Platek	Erstellt durch Onur Dogan 2325590	Genehmigt von -	Blatt 1/1	
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences	Modellname (Modelltyp) / Zeichnungsname FLANSCH 3 LOCH_AGR (PART)	Dokumentenstatus freigegeben	Ver.	Bedr.
	FLANSCH_PLATTE_AGR		A	22.09.22
	Titel, Zusatzlicher Titel AGR Kühler Flansch Platte			



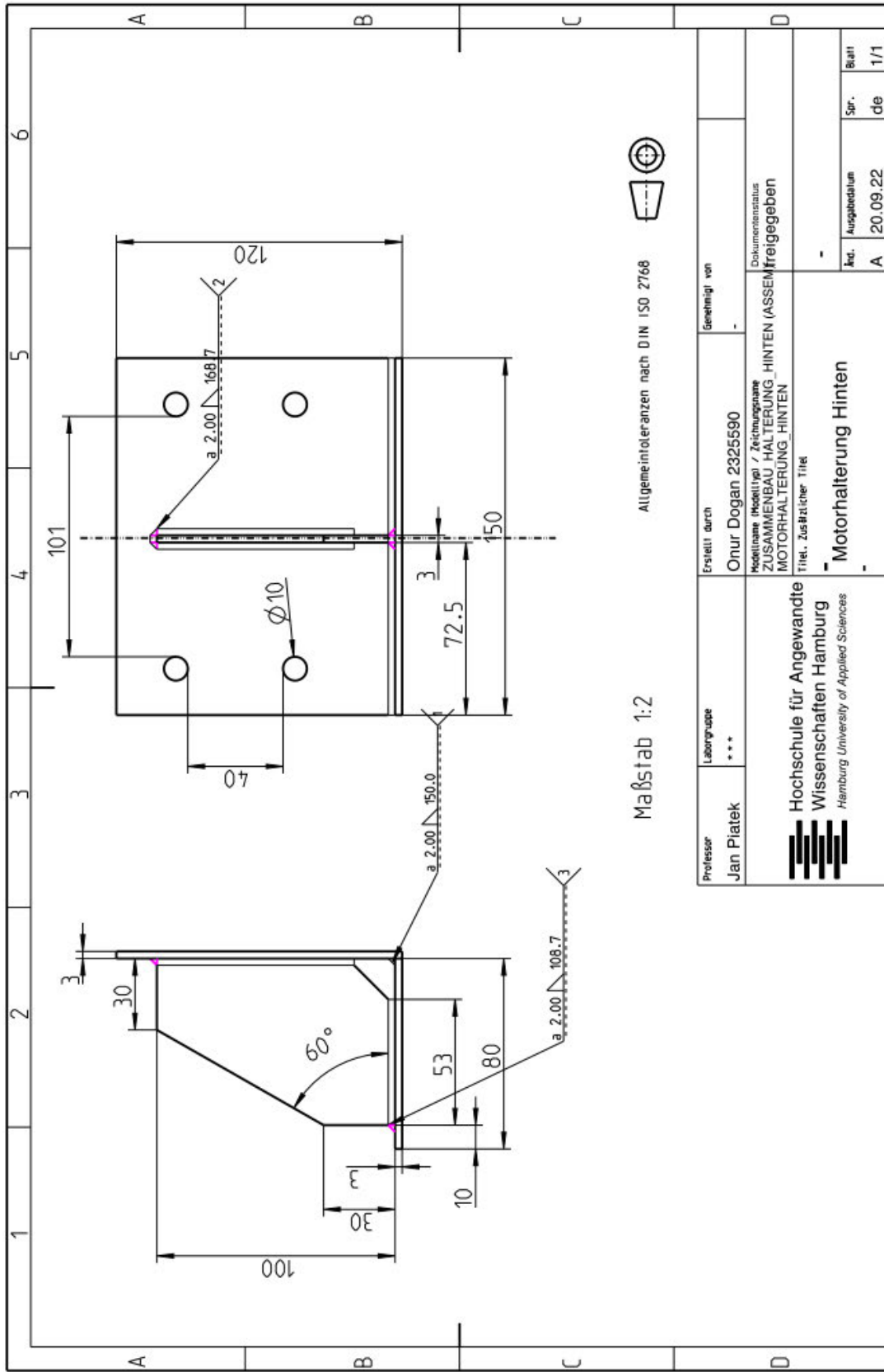
v



Maßstab 1:1 Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768


Professor Jan Piatek	Erstellt durch Onur Dogan 2325590	Genehmigt von -		
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences	Modellname (Modelltyp) / Zeichnungsname FLANSCH 3 ROHR (PART) FLANSCH_AGR_ROHR	Dokumentenstatus freigegeben		
	Titel, zusätzlicher Titel <b>Flansch AGR Rohr</b>			
	Art. A	Ausgabedatum 22.09.22	Spr. de	Blatt 1/1

V

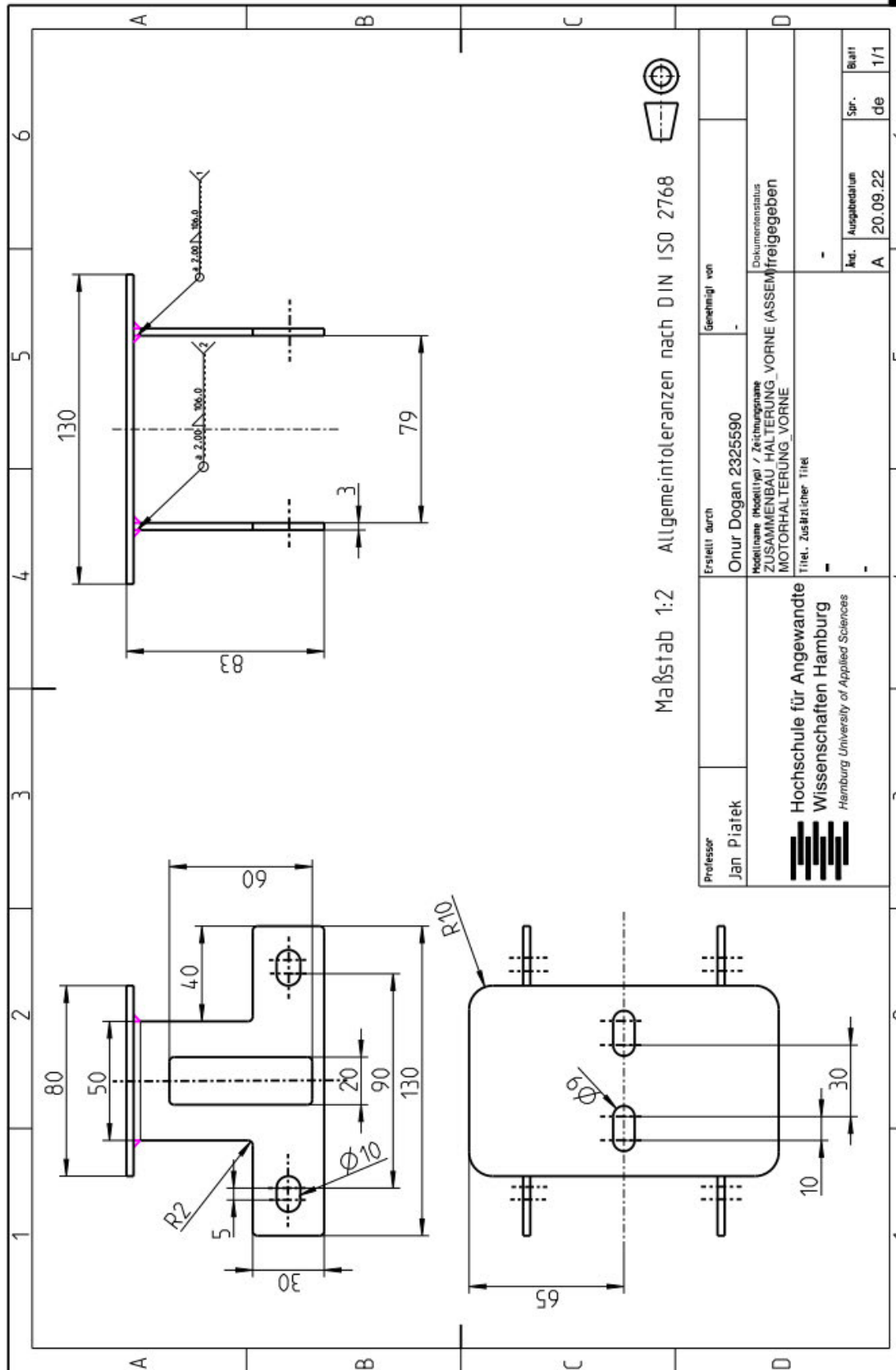


Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768


Maßstab 1:2

Professor Jan Platek	Erstellt durch Onur Dogan 2325590	Genehmigt von -
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences	Fachgruppe ***	Disziplin / Zeichnungsname ZUSAMMENBAU HALTERUNG_HINTEN (ASSEMBLY) MOTORHALTERUNG_HINTEN Titel, zusätzlicher Titel Motorhalterung Hinten
	Dokumentenstatus freigegeben	Art. A
	Ausgabedatum 20.09.22	Spr. de
		Blatt 1/1

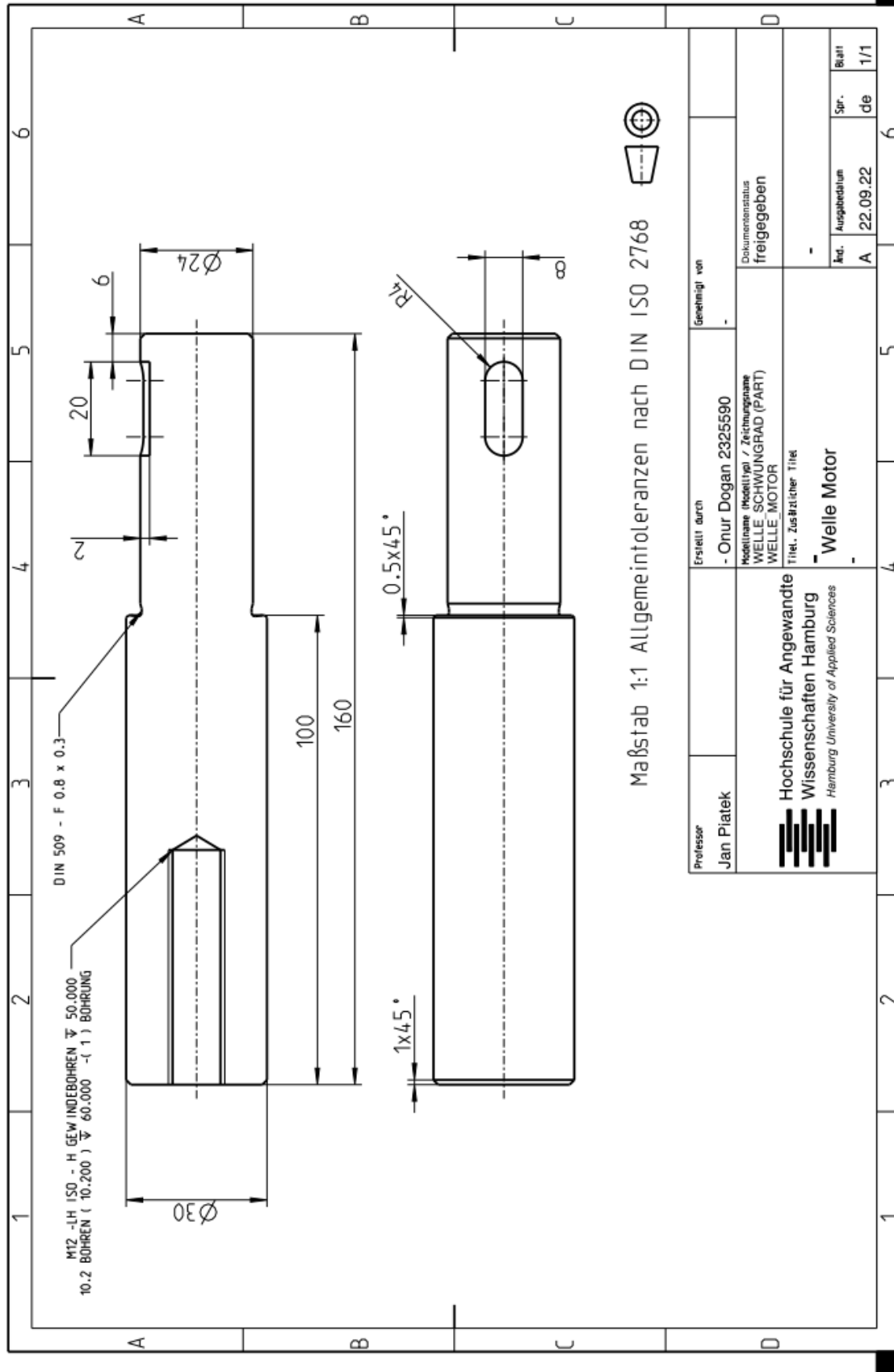
v

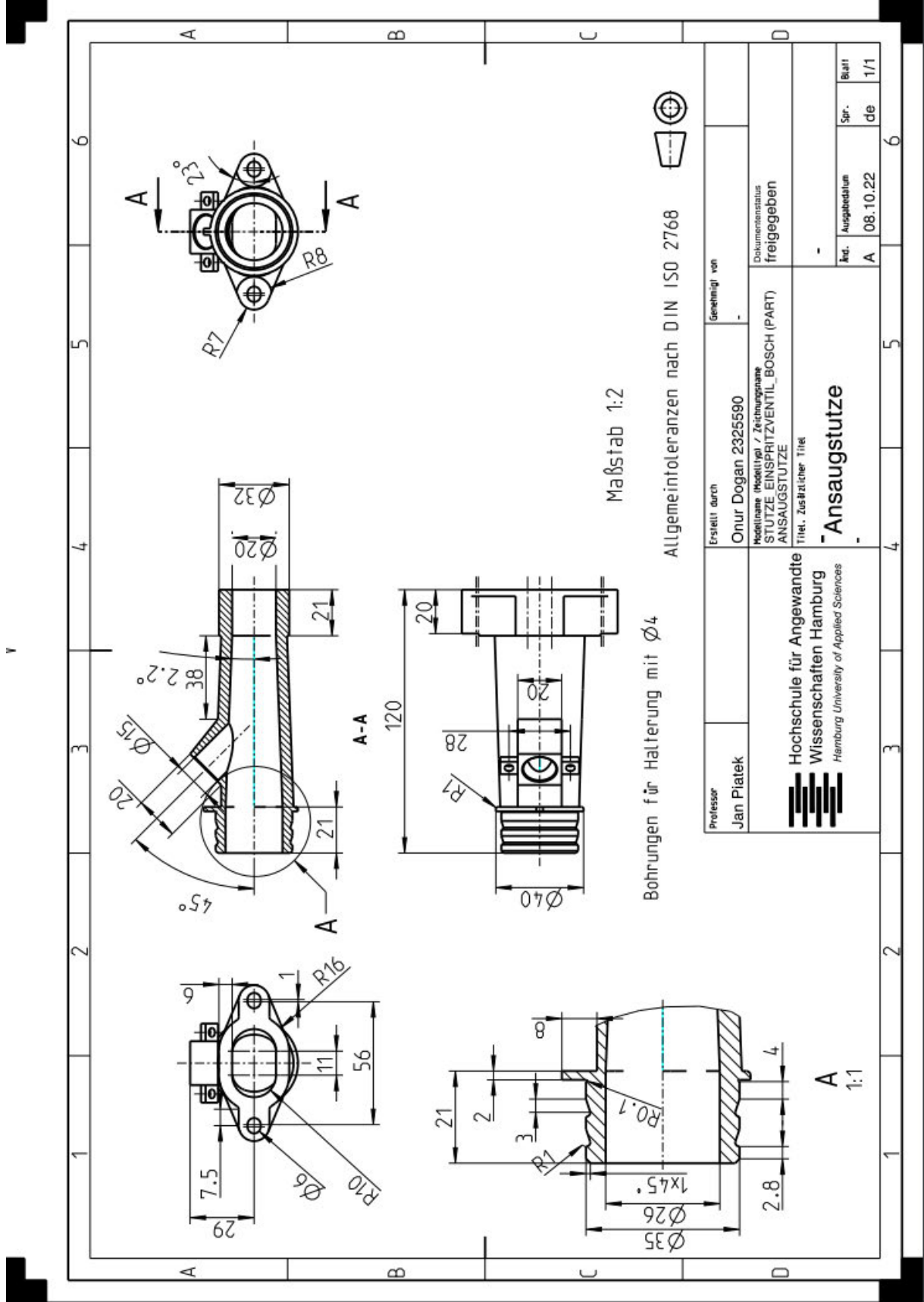



Maßstab 1:2    Allgemeine Intoleranzen nach DIN ISO 2768

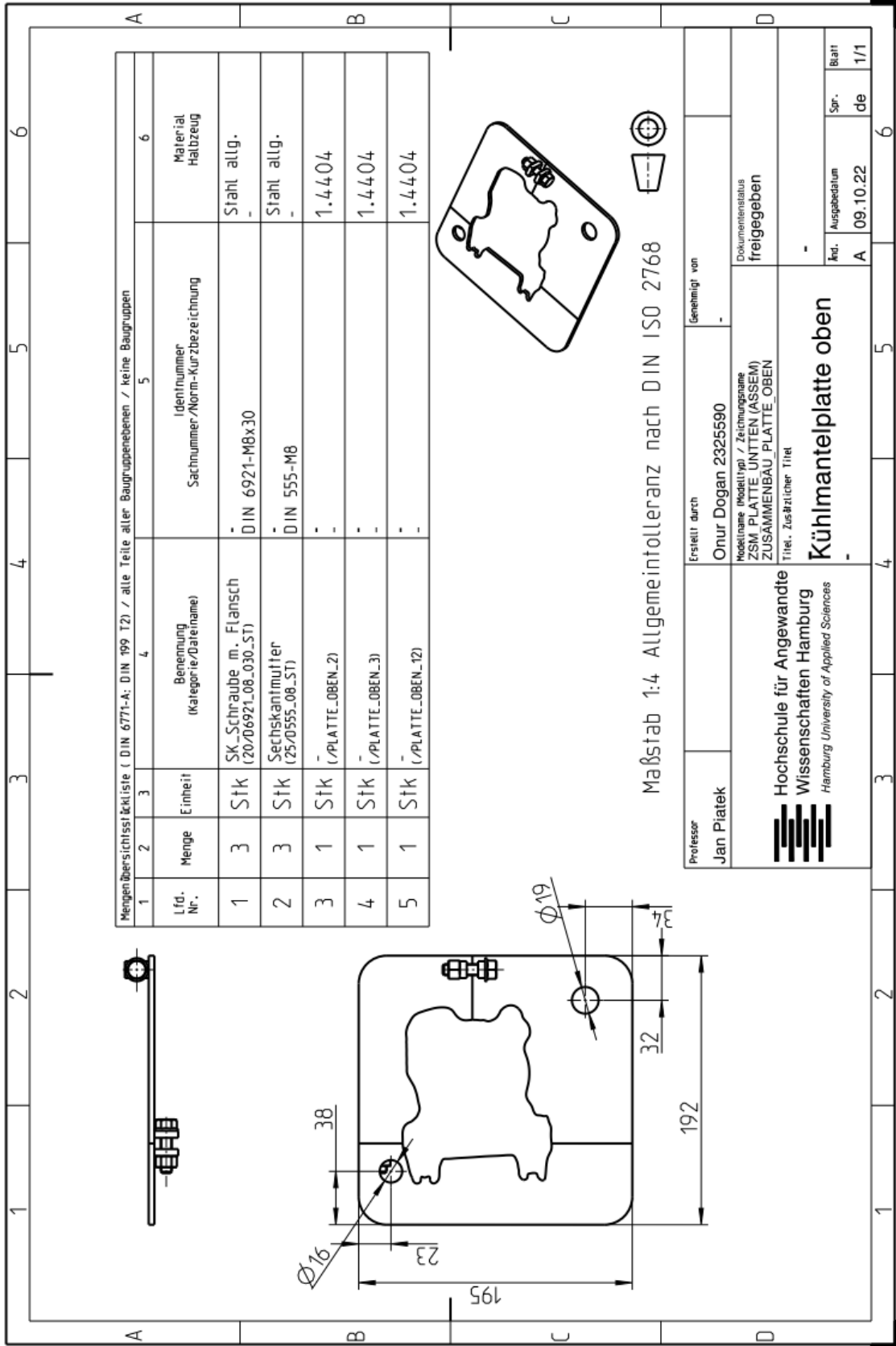
Professor <b>Jan Piatek</b>	Erstellt durch	Genehmigt von		
	Onur Dogan 2325590	-		
 <b>Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg</b> Hamburg University of Applied Sciences	Modellname (Modelltyp) / Zeichnungsname	Dokumentenstatus <b>ZUSAMMENBAU HALTERUNG_VORNE (ASSEMBLYFREIGEHEBEN)</b>		
	MOTORHALTERUNG_VORNE	Titel, zusätzlicher Titel -		
			Art.	Ausgabedatum A 20.09.22
			Spr.	Blatt de 1/1

Y



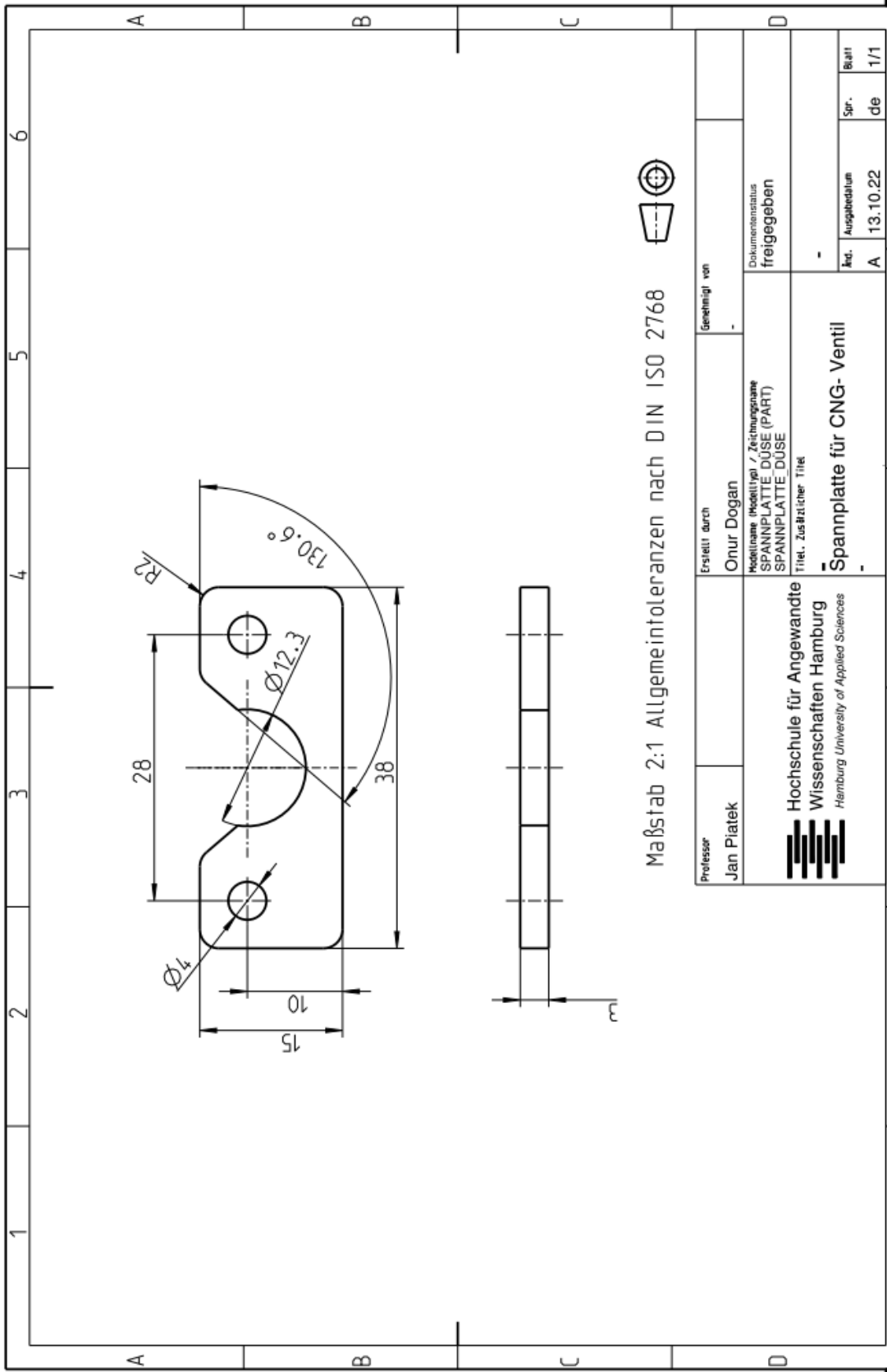


Professur	Erstellt durch	Genehmigt von
Jan Platek	Onur Dogan 2325590	-
 <b>Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg</b> Hamburg University of Applied Sciences	Hochliniennr. (Modelltyp) / Zeichnungsname	Dokumentenstatus
	STUTZE EINSPRITZVENTIL_BOSCH (PART) ANSAUGSTUTZE	freigegeben
Titel, zusätzlicher Titel		
<b>Ansaugstutze</b>		
Art.	Ausgabedatum	Blatt
A	08.10.22	de 1/1









Maßstab 2:1 Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768

Professor Jan Platek	Erstellt durch Onur Dogan	Genehmigt von -
 <b>Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg</b> <i>Hamburg University of Applied Sciences</i>	Modellname (Modelltyp) / Zeichnungsname SPANNPLATTE DÜSE (PART) SPANNPLATTE_DÜSE	Dokumentenstatus freigegeben
	Titel, zusätzlicher Titel Spannplatte für CNG- Ventil	
	Art. A	Ausgabedatum 13.10.22
		Blatt de 1/1

