



## Diplomarbeit

### **Ausarbeitung und Durchführung von Tätigkeiten zum Aufbau, zur Testung und zur Kommunikation mit einer neuartigen Parabolrinnenanlage**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur (DI) unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Manfred Grafinger  
und  
Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Rainer Riegler

Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung  
Forschungsbereich Maschinenbauinformatik und Virtuelle Produktentwicklung

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Stefan Kimeswenger

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

St. Valentin, Oktober 2022

\_\_\_\_\_  
Vorname, Nachname



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Kurzfassung

Der weltweite Energiebedarf steigt aktuell steil an und es ist kein Abflachen der Energiekurve in Aussicht. Gleichzeitig schreitet der Klimawandel voran und der Vorrat an fossilen Brennstoffen schwindet. Deswegen werden alternative Energieerzeugungsmethoden immer wichtiger. Solarthermische Anlagen sind eine vielversprechende Alternative zur Erzeugung sauberer Energie. Solabolic arbeitet aktuell an der Entwicklung einer Pilotanlage für eine neuartige Bauform eines Parabolrinnenkollektors.

Zweck dieser Arbeit ist die Planung diverser Umfänge für den Aufbau und die Testungsphase, sowie die Erarbeitung eines Konzepts zur dezentralen Überwachung des Parabolrinnenkollektors.

Der Kollektor dreht sich auf zwei Rundschiene. Der erste Teil behandelt die Zentrierung des Kollektors gegenüber den Rundschiene. Die Auswahl des Verfahrens erfolgt anhand der Bewertung von Kosten, Genauigkeit und Komplexität. Die Genauigkeit wird mithilfe eines in Inventor implementierten Mustermodells und einem Excel-Skript bewertet. Die Bewertung erfolgt durch die Analyse der Lage der Punkte, die den Lochkreis des Montageflansches definieren. Die Ergebnisse zeigen, dass die Genauigkeit des gewählten Verfahrens hinreichend ist.

Der zweite Teil behandelt die Planung des ersten Rotationstest der Anlage. Dafür ist die Konfiguration des Servo-Antriebsmotors mit dessen Regler notwendig. Es stellen sich u.a. die Fragen, welche Rotationsgeschwindigkeit für den Test sinnvoll ist, welcher Ablauf für den Test gewählt wird, sowie welche Sicherheitsmaßnahmen für den Test notwendig sind.

Der dritte Teil behandelt die Kommunikation zwischen MCU-Board und Entwickler. Ziel ist die Überwachung diverser Sensordaten des Kollektors von der Zentrale aus. Es wurde eine Literaturanalyse von IoT-Plattformen und -Anwendungen durchgeführt und eine IoT-Anwendung als Proof-of-Concept erstellt. Das Resultat der Untersuchung zeigt, dass die IoT-Plattform Azure IoT-Central eine passende, kostengünstige und benutzerfreundliche Lösung darstellt.

## Abstract

Global energy demand is currently rising and there is no prospect of the energy curve leveling off. At the same time, climate change is progressing, and the supply of fossil fuels is dwindling. Alternative energy generation methods are therefore becoming increasingly important. Solar thermal plants are a promising alternative for generating clean energy. Solabolic is currently working on the development of a pilot plant for a new type of parabolic trough collector.

The purpose of this work is of various tasks for the construction and testing phase, as well as to develop a concept for decentralized monitoring of the parabolic trough collector.

The collector rotates on two circular rails. The first part deals with the centering of the collector with respect to the round rails. The selection of the method is based on the evaluation of cost, accuracy, and complexity. Accuracy is evaluated using a sample model implemented in Inventor and an Excel script. The evaluation is done by analyzing the location of the points that define the bolt circle of the mounting flange. The results show that the accuracy of the chosen method is sufficient.

The second part deals with the planning of the first rotation test of the system. This requires the configuration of the servo drive motor with its controller. Among other things, the questions arise as to which rotation speed is appropriate for the test, which sequence is selected for the test, and which safety measures are necessary for the test.

The third part deals with the communication between MCU board and developer. The goal is the monitoring of various sensor data of the collector from the control center. A literature review of IoT platforms and applications was conducted and an IoT application was created as a proof-of-concept. The result of the research shows that the IoT platform Azure IoT-Central is a suitable, cost-effective, and user-friendly solution.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection.....</b>	<b>7</b>
2.1	Aktueller Baufortschritt .....	8
2.2	Provisorischer Rundheitscheck.....	9
2.3	Zielsetzung .....	10
2.4	Mögliche Verfahren .....	11
2.4.1	Hilfsdreiecksmethode.....	12
2.4.2	Abschlagmethode.....	15
2.5	Entscheidungsfindung Verfahren zur Ermittlung des Lochkreises .....	23
2.6	Mustermodell .....	24
2.7	Auswertung.....	30
<b>3</b>	<b>Planung eines Rotationstests für die Anlage.....</b>	<b>36</b>
3.1	Zielsetzung .....	37
3.2	Komponenten .....	38
3.2.1	Servo-Regler MG-K1AS15CA.....	38
3.2.2	Servomotor MIGE 110ST-M05030 .....	40
3.2.3	Encodersignalkabel.....	41
3.2.4	Stromversorgungskabel Servomotor.....	42
3.2.5	Stromversorgungskabel Servo-Regler .....	43
3.3	Berechnungen für den Rotationstest .....	44
3.4	Verkabelung.....	45
3.5	Kontrollmodus .....	46
3.6	Modifizierte Parameter am Servo-Regler .....	49
3.6.1	Kontrollmodusparameter PA000 .....	49
3.6.2	Parameter zur Belegung der Eingänge PA509, PA510 .....	50
3.6.3	Interne Geschwindigkeitsreferenzparameter PA301, PA302, PA303 .....	51
3.6.4	Drehmomentbegrenzungsparameter PA403, PA404.....	52
3.6.5	Soft-Start Parameter: PA305, PA 306.....	53
3.7	Ablauf des Tests.....	54

<b>4</b>	<b>Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer.....</b>	<b>56</b>
4.1	Zielsetzung.....	58
4.2	Literaturanalyse.....	59
4.2.1	IoT-Plattformen.....	60
4.2.2	Spezifische Anwendungen.....	63
4.3	Vergleich der IoT-Plattformen (PaaS).....	65
4.3.1	Internet of Things.....	65
4.3.2	Datenbanken und -verwaltung.....	66
4.3.3	Analyseservices.....	69
4.4	Erstellung einer Proof-of-Concept IoT-Anwendung.....	70
4.4.1	Verwendete Komponenten.....	70
4.4.2	Verdrahtung.....	72
4.4.3	Einrichtung der IoT-Central Komponenten.....	72
4.4.4	Vorbereitung der Entwicklungsumgebung (Arduino IDE).....	74
4.4.5	Anpassung des Codes.....	75
4.4.6	Monitoring des Geräts über IoT-Central.....	77
4.4.7	Kostenüberblick IoT-Central.....	78
<b>5</b>	<b>Fazit und Ausblick.....</b>	<b>81</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>83</b>
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>86</b>
	Logik Excel Solver.....	86
	Kabeltausch.....	88
	Literaturtabelle Kapitel 4.....	90
	Drive Connection Positioning Manual.....	100
	Rotation Test Manual.....	129

## Formelverzeichnis

Formelzeichen	Benennung	Einheit
$A-P$	Messwerte Schienendurchmesser	$mm$
$a-p$	Kalkulierte Abschlagmaße	$mm$
$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \rho_1, \rho_2$	Mustermodellradien	$mm$
$d_{0,a}$	Nennmodelldurchmesser Außenschiene	$mm$
$d_{0,i}$	Nennmodelldurchmesser Innenschiene	$mm$
$D_A, \dots, D_P$	Mustermodelldurchmesser	$mm$
$d_{falsch}$	Durch Exzentrizität falsch gemessener Durchmesser	$mm$
$d_{max,a}$	Maximaler Modelldurchmesser Außenschiene	$mm$
$d_{max,i}$	Maximaler Modelldurchmesser Innenschiene	$mm$
$d_{min,a}$	Minimaler Modelldurchmesser Außenschiene	$mm$
$d_{min,i}$	Minimaler Modelldurchmesser Innenschiene	$mm$
$d_{wahr}$	Tatsächlicher Durchmesser	$mm$
$E_{diffuse}$	Diffuse Sonneneinstrahlung	$\frac{W}{m^2}$
$E_{global}$	Globale Sonneneinstrahlung	$\frac{W}{m^2}$
$f_{Circularity}$	Maximale Schienenunrundheit	$mm$
$i_{Drive}$	Übersetzung Drive	-
$i_{Reducer}$	Übersetzung Reducer	-
$k$	Konstanter Korrekturwert Abschlagmaß	$mm$
$LK$	Lochkreisdurchmesser	$mm$
$M_{max, Kollektor}$	Maximal mögliches Drehmoment Kollektor	$Nm$
$M_{max, Mittelstufe}$	Maximal zulässiges Drehmoment Mittelstufe	$Nm$
$M_{max, Servo}$	Maximal zulässiges Drehmoment Servomotor	$Nm$
$n_{max, Kollektor}$	Maximal benötigte Drehzahl Kollektor	$rpm$
$n_{max, Mittelstufe}$	Maximal benötigte Drehzahl Mittelstufe	$rpm$
$n_{max, Servo}$	Maximal benötigte Drehzahl Servomotor	$rpm$
$Q$	Flussrate Arbeitsmedium	$\frac{m^3}{s}$
$r_{0,a}$	Nennmodellradius Außenschiene	$mm$
$r_{0,i}$	Nennmodellradius Innenschiene	$mm$
$r_{max,a}$	Maximaler Modellradius Außenschiene	$mm$

$r_{max,i}$	Maximaler Modellradius Innenschiene	<i>mm</i>
$r_{min,a}$	Minimaler Modellradius Außenschiene	<i>mm</i>
$r_{min,i}$	Minimaler Modellradius Innenschiene	<i>mm</i>
$T_{in}$	Eingangstemperatur Arbeitsmedium	°C
$T_{out}$	Ausgangstemperatur Arbeitsmedium	°C
$T_{positioning}$	Positionierungstoleranz Drive	<i>mm</i>
$x$	Berechnetes Abschlagmaß	<i>mm</i>
$y$	Korrigiertes Abschlagmaß	<i>mm</i>
$z$	Fundamentblockhöhe	<i>mm</i>
$\eta_{Drive}$	Effizienzfaktor Drive	-
$\eta_{Reducer}$	Effizienzfaktor Reducer	-
$\psi$	Winkelabstand Durchmessermessungen	°
$\omega_{max,Kollektor}$	Maximal benötigte Winkelgeschwindigkeit Kollektor	$\frac{1}{min}$
$\omega_{max,Mittelstufe}$	Maximal benötigte Winkelgeschwindigkeit Mittelstufe	$\frac{1}{min}$
$\omega_{max,Servo}$	Maximal benötigte Winkelgeschwindigkeit Servomotor	$\frac{1}{min}$

# Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
<i>ASIC</i>	Anwendungsspezifische integrierte Schaltung
<i>AWS</i>	Amazon Web Services
<i>BI</i>	Business Intelligence
<i>CSP</i>	Concentrated Solar Power
<i>DB</i>	Database
<i>dt.</i>	deutsch
<i>DTU</i>	Database Transaction Unit
<i>etc.</i>	et cetera
<i>I2C</i>	Inter-integrated Circuit
<i>IaaS</i>	Infrastructure-as-a-Service
<i>ID</i>	Identificator
<i>IDE</i>	Interactive Development Environment
<i>IoT</i>	Internet of Things
<i>KI</i>	Künstliche Intelligenz
<i>ML</i>	Maschinelles Lernen
<i>MCU</i>	Micro Controller Unit
<i>OPC-UA</i>	Open Platform Communications - Unified Architecture
<i>PaaS</i>	Platform-as-a-Service
<i>PC</i>	Personal Computer
<i>PDF</i>	Portable Document Format
<i>PTC</i>	Parabolic Trough Collector
<i>SaaS</i>	Software-as-a-Service
<i>SDIO</i>	Secure Digital Input Output
<i>SQL</i>	System Query Language
<i>SSID</i>	Service Set Identifier
<i>SPI</i>	Serial Peripheral Interface
<i>TPU</i>	Tensor Processing Unit
<i>u.a.</i>	unter anderem
<i>UART</i>	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
<i>USB</i>	Universal Serial Bus
<i>usw.</i>	und so weiter
<i>z.B.</i>	zum Beispiel

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nettostromerzeugung nach Energieträgern in Deutschland [2] .....	1
Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Parabolrinnenkollektors [3] .....	2
Abbildung 3: Mögliche Rotationsachsen eines Parabolrinnenkollektors .....	3
Abbildung 4: Parabolrinnenkollektor mit horizontaler Nachführung [6] .....	3
Abbildung 5: Schematische Darstellung 2-achsige Nachführung [5] .....	4
Abbildung 6: Solabolic RD01 Parabolrinnenkollektor [9].....	5
Abbildung 7: Azimutwinkel und Höhenwinkel [11] .....	6
Abbildung 8: Flansch für Drive-Connection .....	7
Abbildung 9: Baustellenfortschritt zu Projektbeginn.....	8
Abbildung 10: Aufbau VAE ohne Rundschienen .....	8
Abbildung 11: Provisorischer Rundheitstest der Schienen .....	9
Abbildung 12: Visualisierung Laufradauflagefläche (schematisch, nicht maßstabsgetreu) .....	10
Abbildung 13: Schematische Darstellung Mittelpunktsermittlung.....	12
Abbildung 14: Prinzipielle Implementierung "Hilfsdreieckmethode" ins Mustermodell .....	13
Abbildung 15: Auswertung "Hilfsdreieckmethode" im Mustermodell .....	14
Abbildung 16: Paarbildung Fundamentblöcke (nicht im Originalmaßstab).....	16
Abbildung 17: Entstehender Fehler bei exzentrischer Durchmesser Aufnahme .....	17
Abbildung 18: Fundamentblöcke als Referenz zur Durchmesser Aufnahme.....	18
Abbildung 19: Abstand Messpunkte zum Lochkreis (nicht im Originalmaßstab) .....	19
Abbildung 20: Übertragung Abschlagmaße auf Fundament (nicht im Originalmaßstab) .....	20
Abbildung 21: Abschlagvarianten (nicht im Originalmaßstab) .....	21
Abbildung 22: Korrektur Abschlagmaß (nicht im Originalmaßstab) .....	22
Abbildung 23: Mustermodell .....	24
Abbildung 24: Tatsächlicher Lochkreis vs. Spline durch Abschlagpunkte, außen.....	29
Abbildung 25: Tatsächlicher Lochkreis vs. Spline durch Abschlagpunkte, innen.....	29
Abbildung 26: Worst-Case-Szenario radiale Abweichungen .....	30
Abbildung 27: Ansatz I Kreisstützpunkte .....	31
Abbildung 28: Ansatz II Kreisstützpunkte .....	32
Abbildung 29: Ansatz III Kreisstützpunkte .....	32
Abbildung 30: Auswertungsverfahren Drive Positioning.....	33
Abbildung 31: Gleichungssystem Solver [14].....	33
Abbildung 32: Antriebsstrang RD01.....	36
Abbildung 33: Servo-Regler MG-K1AS15CA.....	38
Abbildung 34: Benennung Servo-Regler [15].....	39
Abbildung 35: Servomotor MIGE 110ST-M05030.....	40

Abbildung 36: Encodersignalkabel.....	41
Abbildung 37: Stromversorgungskabel Motor.....	42
Abbildung 38: Stromversorgungskabel Servo-Regler .....	43
Abbildung 39: Verkabelung Servo-Regler und Servomotor .....	45
Abbildung 40: Speed Control Operation [15] .....	46
Abbildung 41: Drehrichtung Servomotor [15] .....	47
Abbildung 42: Anordnung Rotationstest .....	55
Abbildung 43: IoT-Anwendung Referenzarchitektur [19].....	57
Abbildung 44: Kategorisierung IoT-Plattform Vergleich [22].....	60
Abbildung 45: Kategorisierung IoT-Applikationen [23].....	61
Abbildung 46: Benötigte Komponenten zum Monitoring mittels IoT Hub [26].....	63
Abbildung 47: Visualisierung Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Temperatur in Power BI [27] .....	64
Abbildung 48: Dolt ESP32 DevKit V1 [17] .....	70
Abbildung 49: Adafruit DHT11 3- und 4-Pin Ausführung [35] .....	71
Abbildung 50: Verdrahtung PC-MCU-Sensor .....	72
Abbildung 51: Erstellung der IoT-Central Anwendung .....	73
Abbildung 52: Erstellen eines neues IoT-Central Geräts .....	73
Abbildung 53: Geräteverbindungsinformationen.....	74
Abbildung 54: Serial Monitor Arduino IDE.....	77
Abbildung 55: Geräteübersicht IoT-Central.....	78
Abbildung 56: Kosten Azure IoT-Central [36] .....	78
Abbildung 57: Auswertung Koeffizienten Solver [14].....	87

## Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Modelldurchmesser Außenschiene.....	26
Diagramm 2: Modelldurchmesser Innenschiene.....	26
Diagramm 3: Radien Außenschiene.....	27
Diagramm 4: Radien Innenschiene .....	27
Diagramm 5: Box-Plot radiale Abweichung bei individuellem Abschlagmaß für die 3 Ansätze .....	34
Diagramm 6: Box-Plot radiale Abweichung bei konstantem Abschlagmaß für die 3 Ansätze.....	35
Diagramm 7: IoT-Central Monatskosten ohne Paketbildung .....	80
Diagramm 8: IoT-Central Monatskosten mit Paketbildung .....	80

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Hilfsdreiecksmethode .....	14
Tabelle 2: Vor- und Nachteile Abschlagmethode .....	23
Tabelle 3: Schienengrenzabmessungen .....	25
Tabelle 4: Durchmesser und Radien Mustermodell .....	25
Tabelle 5: Individuelle Abschlagmaße .....	28
Tabelle 6: Szenarien Rotationstest .....	37
Tabelle 7: Kombination Eingänge Servo-Regler [15].....	46
Tabelle 8: Schema zur Parametereinstellung beispielsweise für PA509 .....	47
Tabelle 9: Belegung Eingänge Servo-Regler [15] .....	48
Tabelle 10: Kontrollmodi Servo-Regler [15].....	49
Tabelle 11: Geschwindigkeitsreferenzparameter [15].....	51
Tabelle 12: Drehmomentbegrenzungsparameter [15] .....	52
Tabelle 13: Soft-Start Parameter [15].....	53
Tabelle 14: IoT-Lösungen verschiedener Anbieter [29–31] .....	65
Tabelle 15: Data Storage Lösungen verschiedener Anbieter [29–31] .....	68
Tabelle 16: Analyselösungen verschiedener Anbieter [29–31] .....	69
Tabelle 17: Messgrößen thermischer Wirkungsgrad .....	79
Tabelle 18: Koeffizienten Gleichungslöser (Maße in mm) .....	86
Tabelle 19: Ergebnisse Gleichungslöser (Maße in mm) .....	86
Tabelle 20: Encodersignalkabel Pin-Belegung motorseitig .....	88
Tabelle 21: Stromversorgungskabel Pin-Belegung motorseitig .....	88
Tabelle 22: Encodersignalkabel Pin-Belegung reglerseitig .....	89
Tabelle 23: Stromversorgungskabel Pin-Belegung reglerseitig .....	89

# 1 Einführung

Energie ist eines der Schlagwörter der modernen Gesellschaft. Der Klimawandel und die unausweichliche Erschöpfung der Vorräte an fossilen Brennstoffen auf unserem Planeten treiben die Weiterentwicklung erneuerbarer Energieerzeugungsmethoden enorm an. Weiters steigt der weltweite Energiebedarf steil an (1973 - 255650 PJ, 2015 - 571400 PJ), was ebenfalls ein Treiber für die Forschung an erneuerbaren Energiequellen ist [1].

Während früher bei der Energieerzeugung großteils auf fossile Brennstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle, sowie auf Kernenergie gesetzt wurde (Anteil 1973: 86.7%, Anteil 2015: 81.3 %), werden in der Zukunft erneuerbare Energiequellen wie Solarenergie, Windenergie und Biomasse eine größere Rolle spielen [1]. In Deutschland stieg beispielsweise der Anteil erneuerbarer Energiequellen bei der Nettostromerzeugung im Zeitraum von 2010 bis 2020 von 17% auf 45.5% (siehe Abbildung 1).

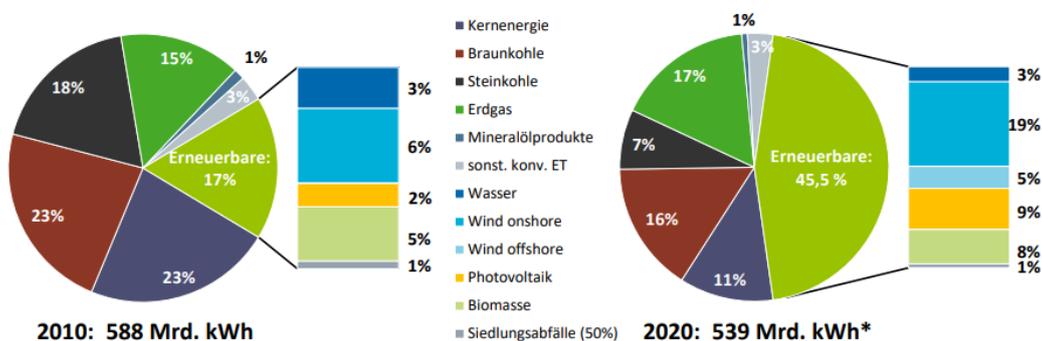


Abbildung 1: Nettostromerzeugung nach Energieträgern in Deutschland [2]

In Abbildung 1 ist auch zu erkennen, dass der Anteil der Nettostromerzeugung durch Photovoltaikanlagen von 2% auf 9% gestiegen ist. Ähnlich den Photovoltaikanlagen, welche die Strahlungsenergie der Sonne direkt in elektrische Energie umwandeln, gibt es solarthermische Anlagen, bei denen die Strahlungsenergie der Sonne in thermische Energie umgewandelt wird. Mit dieser Energie kann dann u.a. mithilfe von Turbinen Strom erzeugt werden, oder sie kann für Prozesse verwendet werden, bei denen eine Umwandlung von elektrischer Energie aus dem Netz in thermische Energie notwendig wäre (z.B. Meerwasserentsalzungsanlagen). Somit tragen solarthermische Anlagen zwar nicht direkt zur Nettostromerzeugung bei, jedoch reduzieren diese indirekt den Strombedarf.

## 1. Einführung

Eine Bauart dieser solarthermischen Anlagen sind CSP-Anlagen (Concentrated Solar Power). Eine Bauform dieser CSP-Anlagen sind Parabolrinnenkollektoren (Abbildung 2). Bei Parabolrinnenanlagen werden Sonnenstrahlen mithilfe eines parabolischen Spiegels auf einen Receiver gebündelt. Der Receiver absorbiert die durch die Sonnenstrahlen transportierte Strahlungsenergie und erhitzt sich dadurch stark. Hier erfolgt die Wärmeübertragung über Wärmestrahlung. Die Bündelung der Sonnenstrahlen auf der Oberfläche des Receivers bilden die Brennlinie. Mittels Wärmeleitung durch den Receiver und das innere Rohr wird die Wärmeenergie auf das Arbeitsmedium im Inneren (z.B. Luft, Wasser, Öle, organische Lösungsmittel) übertragen [3]. Dabei können Temperaturen von bis zu 550°C erreicht werden [4]. Dieses erhitzte Medium kann dann die in ihm gespeicherte Wärmeenergie u.a. über einen Wärmetauscher abgeben oder z.B. mit einer Turbine und einem Verdichter in kinetische Energie umgewandelt werden. Für einige Anwendungen bieten sich auch offene Systeme an (z.B. Frischwassererzeugung).

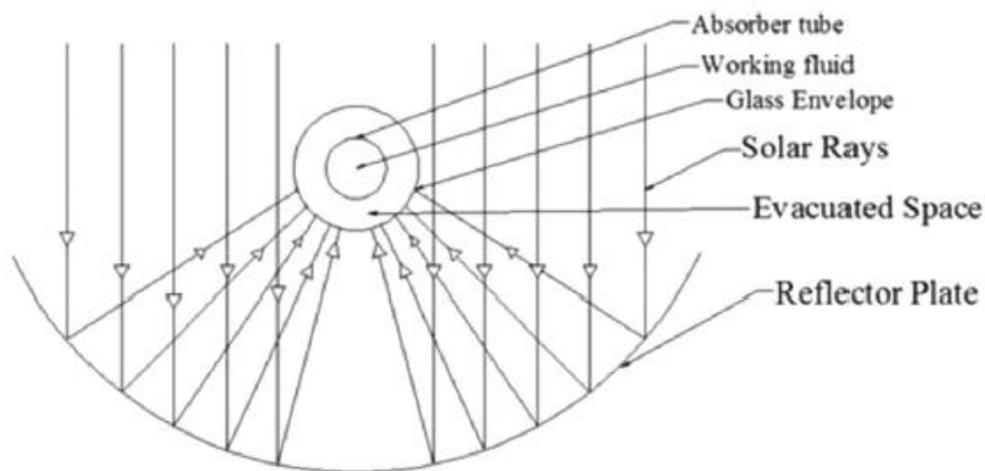


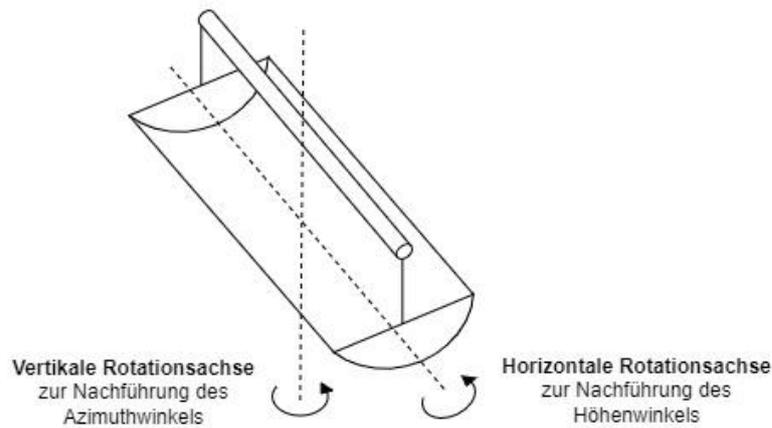
Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Parabolrinnenkollektors [3]

Die Effizienz von Parabolrinnenanlagen hängt in erster Linie von der Konzentration der Sonnenstrahlen ab [4]. Die beiden Haupteinflussfaktoren dabei sind die Ausrichtung der Spiegelemente gegenüber dem Receiver und die Ausrichtung des Kollektors gegenüber der Sonne. Um die Ausrichtung gegenüber der Sonne zu gewährleisten, verfügen Parabolrinnenanlagen über Nachführsysteme, die den Kollektor und somit die Spiegel gegenüber der Sonne ausrichten.

## 1. Einführung

---

Die Ausrichtung der Spiegel gegenüber der Sonne kann entweder über eine oder über zwei Achsen erfolgen. Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung, um welche Achsen sich ein Parabolrinnenkollektor drehen kann.



---

*Abbildung 3: Mögliche Rotationsachsen eines Parabolrinnenkollektors*

---

Parabolrinnenanlagen können also unterschiedliche Bauformen aufweisen. Am häufigsten sind Parabolrinnenkollektoren, die sich nur um die horizontale Achse drehen (Abbildung 4). Eine 2-achsige Nachführung kann im Tagesmittel eine Erhöhung der Effizienz um 5% gegenüber einer 1-achsigen Nachführung (Drehung nur um die horizontale Rotationsachse) bewirken [5]. Abbildung 5 zeigt eine schematische Darstellung eines 2-achsigen Nachführsystems.



---

*Abbildung 4: Parabolrinnenkollektor mit horizontaler Nachführung [6]*

---

## 1. Einführung

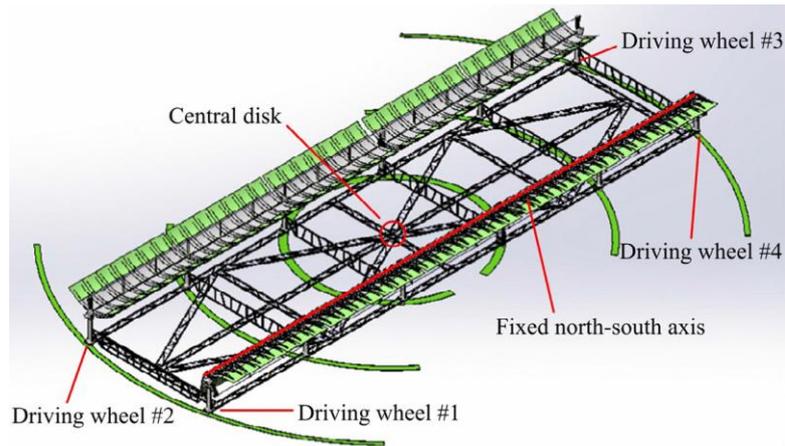


Abbildung 5: Schematische Darstellung 2-achsige Nachführung [5]

Die Besonderheit des Solabolic RD01 PTCs (Parabolic Trough Collector) ist dessen Nachführsystem (Abbildung 6). Dieser dreht sich nämlich lediglich um die vertikale Achse. Ein einachsiges Nachführsystem mit Rotation um die vertikale Achse ermöglicht vor allem große Baugrößen, da eine Rotation um die horizontale Achse bei so einem großen Spiegel zu Verformungen des Spiegels durch dessen Eigenlast führen kann. Das hat wiederum zur Folge, dass die Sonnenstrahlen nichtmehr optimal auf den Receiver reflektiert werden und sich somit die Brennlinie verändert. Ein Kollektormodul von EUROTROUGH, einem renommierten Hersteller von PTCs (einachsiges Nachführsystem um die horizontale Achse), hat beispielsweise nur eine Spannweite von 5.76m, während die Spannweite des Solabolic PTCs ca. 12m misst [7]. Solarkollektoren mit einachsiger Nachführung nur um die vertikale Achse benötigen zwar um 40% mehr Fläche als vergleichbare statische Systeme, jedoch weisen solche geringere Energiekosten auf (bezogen auf flache Module) [8].

Weiters verfügt der Solabolic PTC über einen Endspiegel („End reflector“ in Abbildung 6). Dieser hat die Aufgabe Sonnenstrahlen, die ohne Endspiegel zurück in die Atmosphäre reflektiert werden würden, doch noch auf den Receiver zu reflektieren. Somit erhöht der Endspiegel den Wirkungsgrad des Kollektors.

## 1. Einführung

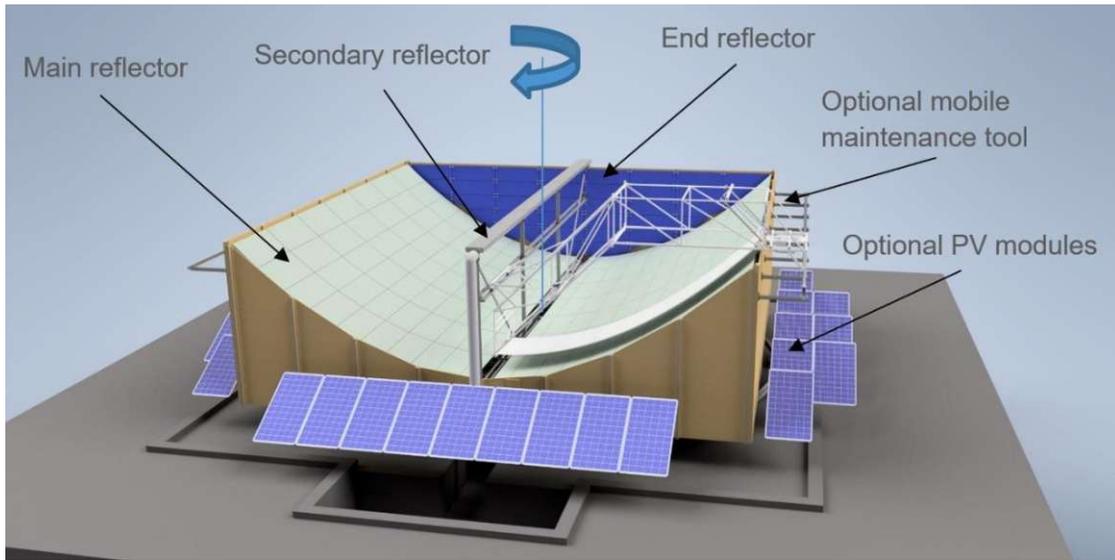


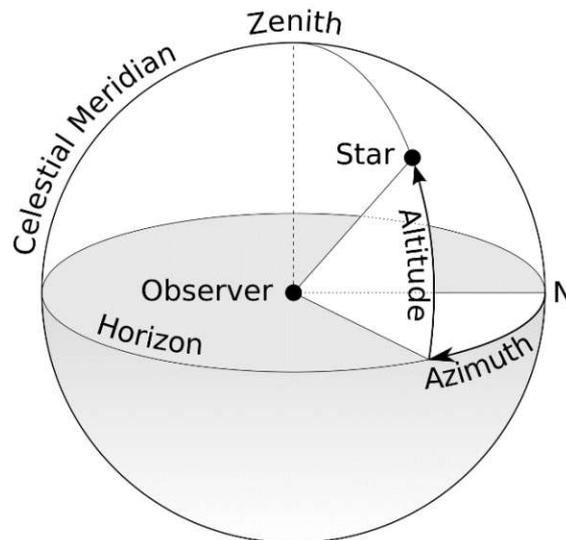
Abbildung 6: Solabolic RD01 Parabolrinnenkollektor [9]

Für die Drehung des Solabolic Parabolrinnenkollektors ist nur der in Abbildung 7 dargestellte Azimutwinkel von Bedeutung (Azimut-Tracking) [8]. Der Azimutwinkel definiert gemeinsam mit dem Höhenwinkel (auch Elevation genannt, „Altitude“ in Abbildung 7) die Position eines Punktes am Himmel von einem bestimmten Beobachtungspunkt. In Abbildung 7 ist die Drehachse des Solabolic PTCs die Achse zwischen den Punkten „Observer“ und „Zenith“. Der Azimutwinkel wird im Uhrzeigersinn von Norden aus gemessen und der Höhenwinkel von der Tangentialebene an der Erde („Horizon“ in Abbildung 7) durch den Beobachtungsstandort („Observer“ in Abbildung 7).

## 1. Einführung

---

Azimet- und Höhenwinkel sind jeweils Funktionen vom Höhen- und Breitengrad des Standorts, sowie der Solarzeit am Standort [10]. Solarzeit bedeutet, dass von der nicht exakten lokalen Uhrzeit in der jeweiligen Zeitzone auf die exakte vom Höhen- und Breitengrad abhängige Uhrzeit rückgerechnet werden muss.



---

Abbildung 7: Azimetwinkel und Höhenwinkel [11]

---

Der Höhenwinkel fließt nicht direkt in die Bewegung des Nachführsystems ein, jedoch hat er einen Einfluss auf die Betriebszeiten des Kollektors. Der Grund dafür ist, dass bei niedrigen Höhenwinkeln der Wirkungsgrad von CSP-Anlagen schlecht ist. Grund dafür ist, dass CSP-Anlagen nur den direkten Strahlungsanteil von Sonnenstrahlen verarbeiten können [12]. Bei niedrigem Sonnenstand jedoch ist der nicht verarbeitbare Anteil dieser Sonnenstrahlen, die diffuse Strahlung, sehr hoch. Diese diffuse Strahlung entsteht durch Reflexion der Sonnenstrahlen an Wolken und anderen Teilchen in der Erdatmosphäre.

Die Pilotanlage des Solabolic PTCs wird aktuell in den Vereinigten Arabischen Emiraten aufgebaut und in Österreich geplant. In dieser Arbeit werden diverse Tätigkeiten zu den Themen Aufbau, Qualitätskontrolle und Inbetriebnahme dieser Pilotanlage bearbeitet.

## 2 Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Für den Solabolic RD01 PTC ist es sehr wichtig den rotierenden Aufbau gegenüber dem Fundament so genau wie möglich zu zentrieren. Diese Zentrierung erfolgt über die möglichst genaue Bohrung der Ankerlöcher im Fundament. Mithilfe der Ankerlöcher wird ein Flansch befestigt, auf dem der restliche, sich drehende Aufbau montiert wird.

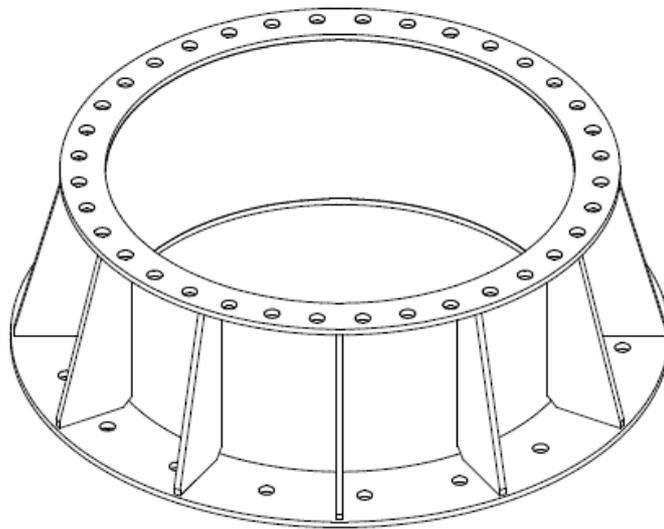


Abbildung 8: Flansch für Drive-Connection

Ziel der Planung der Vorgehensweise zur Positionierung dieses Flansches ist die Erstellung eines Manuals, das auf der Baustelle in den Vereinigten Arabischen Emiraten verwendet wird, um den Lochkreis des Flansches am Fundament anzuzeichnen. Die Ausgangslage des Positionierungsprozesses, welche in Kapitel 2.1 genauer dokumentiert ist, ist ein fertiges Fundament, sowie bereits montierte innere und äußere Rundschiene, welche in Abbildung 9 erkennbar sind. Es ist vorteilhaft den Lochkreis direkt und nicht dessen Mittelpunkt am Fundament zu markieren. Grund dafür ist, dass sich in der Mitte des Fundaments eine Vertiefung befindet. Diese Vertiefung ist in Abbildung 10 und Abbildung 11a sichtbar.

### 2.1 Aktueller Baufortschritt

In Abbildung 9 ist der Fortschritt an der Baustelle zu Projektbeginn zu sehen. Es ist erkennbar, dass das Fundament bereits fertiggestellt ist. Darauf sind die äußere sowie die innere Rundschiene montiert. Die äußere Rundschiene hat einen Nenndurchmesser von 12820 mm (Radius 6410 mm) und liegt auf 20 Fundamentblöcken auf. Die innere Rundschiene hat einen Nenndurchmesser von 7440 mm (Radius 3720 mm) und liegt auf 12 Fundamentblöcken auf. Diese Durchmesser sind jeweils auf die Mitte der Schienen bezogen. Die Schienen sind jeweils durch Biegen hergestellte IPE180 Profilträger (nach DIN 1025-5) und haben eine Breite von 91 mm. Auf der äußeren Schiene dreht sich der Aufbau auf 8 Rädern und auf der inneren Schiene auf 4 Rädern. Die Laufräder haben jeweils eine Breite von 100 mm.



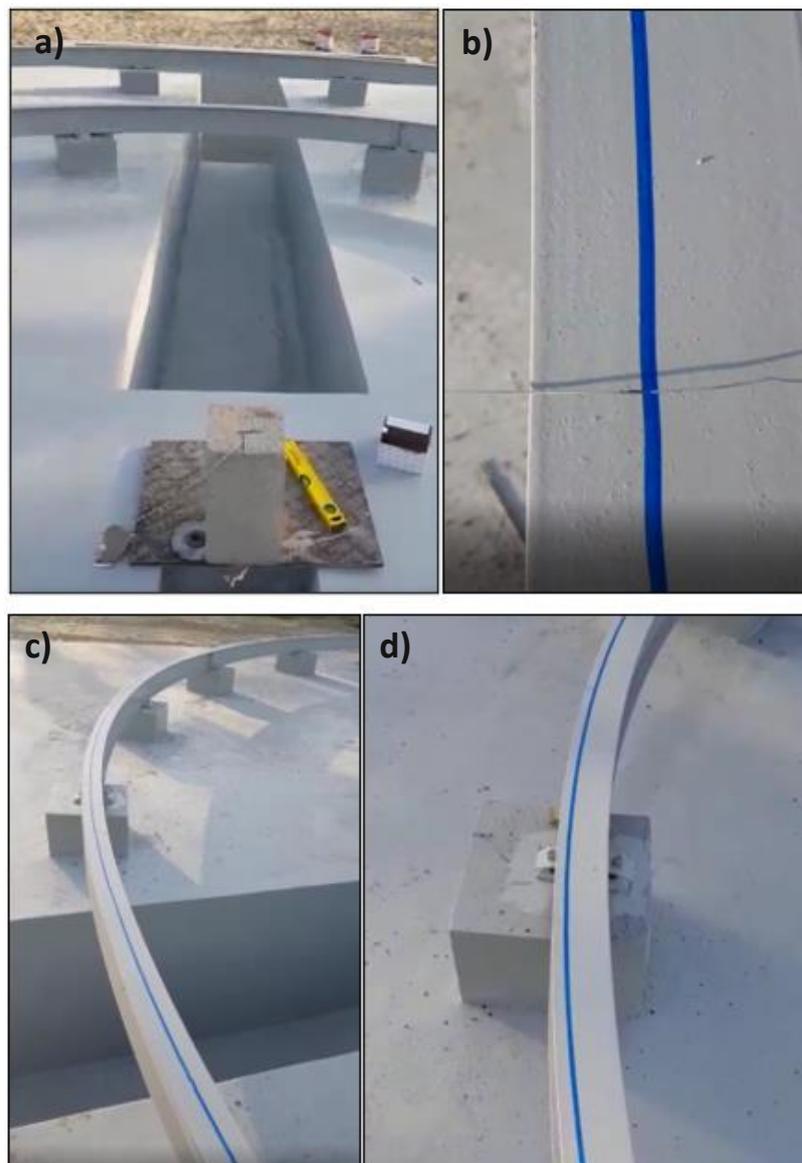
Abbildung 9: Baustellenfortschritt zu Projektbeginn



Abbildung 10: Aufbau VAE ohne Rundschiene

## 2.2 Provisorischer Rundheitscheck

Ein provisorischer Rundheitscheck der Schienen wurde bereits während dem Aufbau durchgeführt und ist in Abbildung 11 dargestellt. Dafür wurde in der Mitte des Aufbaus ein Holzblock fixiert inmitten dessen ein Nagel montiert wurde. Der Nagel wurde als Drehachse für eine Schnur verwendet, mithilfe welcher ein Referenzkreis auf den Schienen gezeichnet wurde, ähnlich wie mit einem Zirkel. Anhand dieses Referenzkreises wurde die Rundheit der Schienen bewertet.



---

*Abbildung 11: Provisorischer Rundheitstest der Schienen*  
*a) Vertiefung im Fundament, b) Schnur, c) Extremität, d) Extremität nah*

---

### 2.3 Zielsetzung

Basierend auf dem provisorischen Rundheitstest lässt sich eine Abschätzung der maximalen vorhandenen radialen Abweichung durchführen. In Abbildung 11d ist die Stelle an den Rundschiene zu sehen, an der die maximale radiale Abweichung auftritt. Es ist zu erkennen, dass die blaue Linie an der Extremstelle um etwa 25 % der Trägerbreite von der neutralen Faser des Trägers entfernt ist. Das entspricht einer radialen Abweichung von 22.75 mm, wie in Formel 1 berechnet wurde. Die Messmethode selbst weist einige Unwägbarkeiten auf. Deshalb wird mit einem aufgerundeten Wert von 25 mm gerechnet. Man war sich im Vorhinein schon bewusst, dass auf so große Durchmesser auch größere Abweichungen vom Sollwert möglich sind. Also wurde es als Ziel definiert, dass die minimale Auflagefläche der Laufräder die halbe Laufradfläche betragen sollte. Die Laufräder haben eine Breite von 100 mm. Die Schienenbreite beträgt 91mm. Somit beträgt der maximal zulässige radiale Versatz 45.5 mm, welcher in Abbildung 12 visualisiert ist. Von diesen 45.5 mm werden also im schlechtesten Fall bereits 25 mm durch mangelhafte Rundheit in Anspruch genommen. Somit bleiben noch 20.5 mm an Toleranz für die Drive Positionierung über, wie in Formel 2 zu sehen ist.

$$f_{\text{circularity}} = 91 \text{ mm} * 0.25 = 22.75 \text{ mm} \approx 25 \text{ mm} \quad (1)$$

$$T_{\text{positioning}} = 45.5 \text{ mm} - 25 \text{ mm} = 20.5 \text{ mm} \quad (2)$$

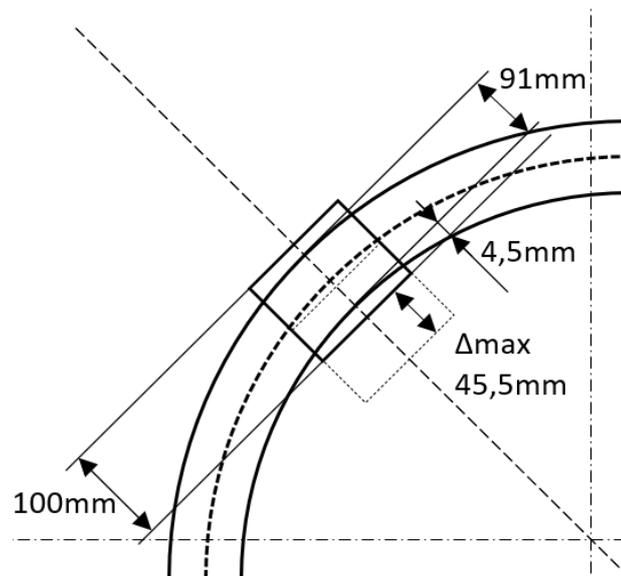


Abbildung 12: Visualisierung Laufradauflagefläche (schematisch, nicht maßstabsgetreu)

### 2.4 Mögliche Verfahren

Der nächste Schritt ist die Findung eines geeigneten Verfahrens, mit dem der Lochkreis oder der genaue Mittelpunkt des Aufbaus ermittelt werden kann. Mit Abbildung 12 und Formel 2 wurde bereits ein Ziel bezüglich der Genauigkeit festgelegt. Das Ziel ist den Mittelpunkt, bzw. den Lochkreis zur Montage des Flansches zu ermitteln. Die in Betracht gezogenen Verfahren werden in den folgenden Unterpunkten vorgestellt.

Die Genauigkeit der Verfahren wird in weiterer Folge mithilfe von Skizzen in Autodesk Inventor dargestellt und mittels Excel-Skripten bewertet. Zuerst wird das Verfahren mit den geringeren Kosten analysiert. Wenn die Untersuchungen unzureichende Ergebnisse bringen, so wird das nächste Konzept analysiert.

### 2.4.1 Hilfsdreiecksmethode

Die erste Methode ist vom Prinzip her in Abbildung 13 dargestellt. Die in Abbildung 13 rot dargestellte Hilfskonstruktion ist ein Dreieck ohne Hypotenuse mit einer verlängerten Symmetrale zwischen den Katheten. Der Winkel zwischen den Katheten ist nicht relevant (hier  $90^\circ$ ). Die Symmetrale durchquert beim Anlegen der Katheten an die Schienen den Mittelpunkt der Schienen. Die Katheten des Dreiecks müssen mindestens die Länge des Schienenradius aufweisen, damit man diese anlegen kann.

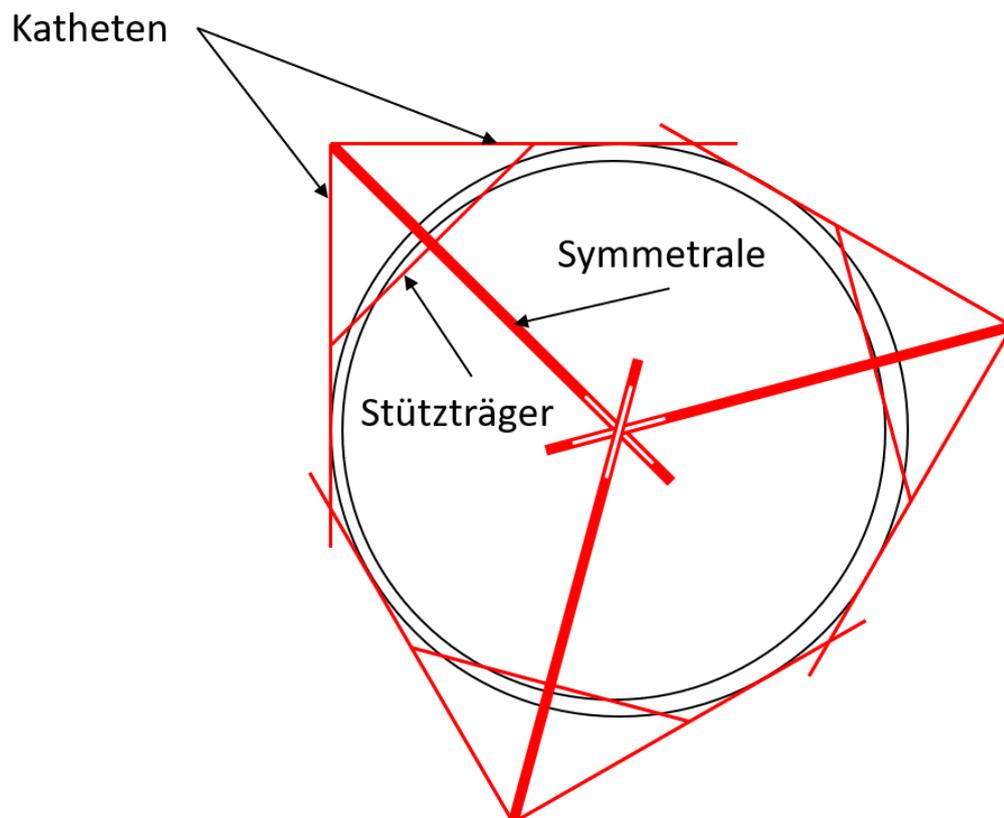


Abbildung 13: Schematische Darstellung Mittelpunktsermittlung

Die dick dargestellte Symmetrale dieses Dreiecks muss dabei sehr exakt aufgeschweißt werden. Die Symmetrale kann mit einem zusätzlichen Träger gestützt werden. Die aufgeschweißte Symmetrale hat eine Schlitzung, die den Sinn hat, eine Linie auf das Fundament aufzutragen, die durch den Schienenmittelpunkt geht. Wiederholt man diesen Schritt an mehreren rundum verteilten Stellen der jeweiligen Rundschiene, ergibt sich durch die aufgetragenen Linien ein Mittelpunkt oder zumindest ein Bereich, in dem sich der Mittelpunkt befindet. Von dort aus wird dann der Lochkreis mit einem Zirkel aufgetragen.

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Abbildung 14 zeigt, wie die Auswertung dieser Methode im Mustermodell aussieht. Die Vorrichtung wurde jeweils 4-mal an der inneren, sowie der äußeren Rundschiene angelegt. Abbildung 15 zeigt, dass sich um den Mittelpunkt ein Viereck bildet (rot punktiert). Der am weitesten vom Mittelpunkt entfernte Eckpunkt des Rechtecks gibt Aufschluss darüber, wie groß die radiale Abweichung des angenäherten Mittelpunktes zum tatsächlichen Mittelpunkt maximal sein kann. Man kann die Güte des Verfahrens verbessern, indem man die Konstruktion öfter als nur 4-mal anlegt. Dann würde das Rechteck (Abbildung 15) zu einem Vieleck werden, wobei die Anzahl der Eckpunkte abhängig von der Anzahl der Anlegestellen ist.

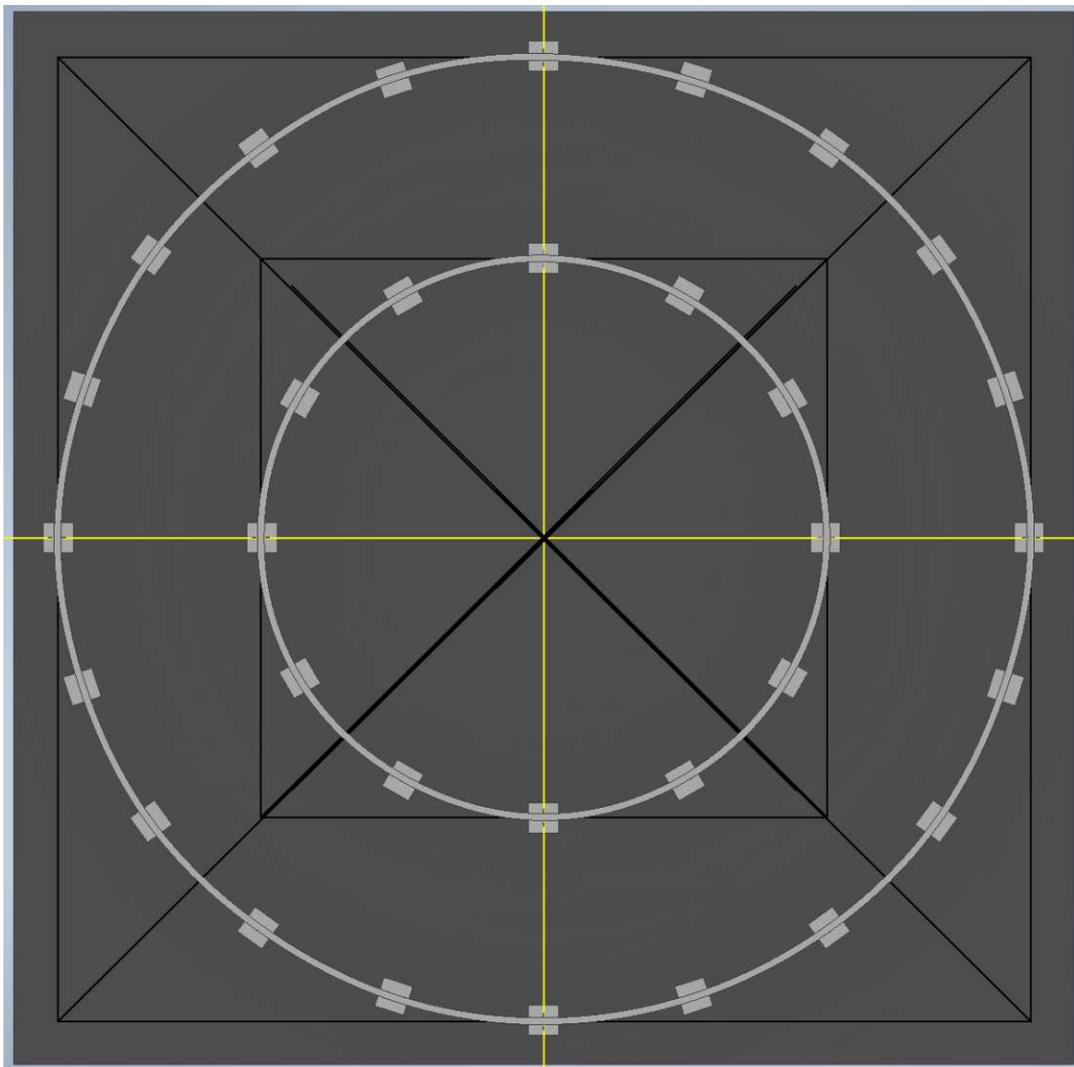


Abbildung 14: Prinzipielle Implementierung "Hilfsdreieckmethode" ins Mustermodell

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

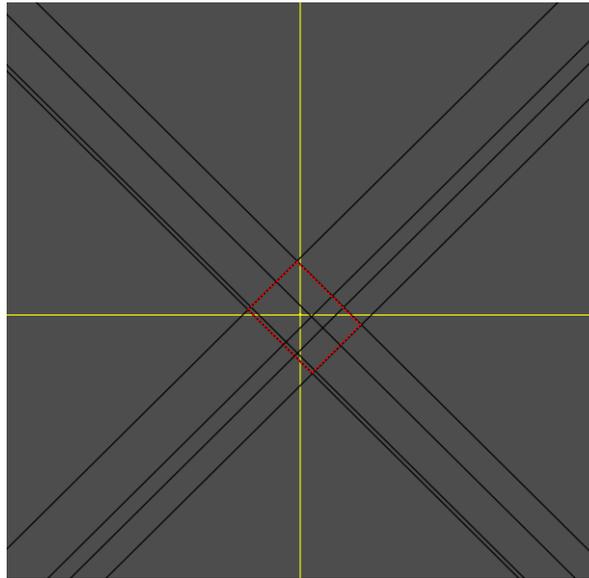


Abbildung 15: Auswertung "Hilfsdreiecksmethode" im Mustermodell

Ein Nachteil dieser Methode ist die Notwendigkeit einer großen Hilfskonstruktion. Weiters ist man an hohe Ansprüche an die Fertigkeitstoleranzen gebunden. Vor allem die Katheten der Hilfskonstruktion müssen einen hohen Biege­widerstand aufweisen, um die Abweichungen niedrig zu halten. Das erhöht die Sperrigkeit der Konstruktion, vor allem bei der äußeren Rundschiene. Ein weiterer Minuspunkt für diese Methode ist, dass das Fundament in der Mitte (wie in Abbildung 10 und Abbildung 11 zu sehen) eine Vertiefung hat. Diese muss temporär abgedeckt werden.

Als Fazit kann man sagen, dass diese Methode für kleinere Durchmesser gut geeignet wäre. Bei diesen ist die Konstruktion noch leicht genug ist, dass diese von nur einem Mitarbeiter bewegt werden kann. Da die Konstruktion in diesem Fall etwa 130 kg wiegt (Grobentwurf vorhanden), würden 4 Mitarbeiter dafür benötigt werden (max. 40 kg pro Person), um diese zu bewegen [13]. In Tabelle 1 sind die Vor- und Nachteile der Methode zusammengefasst.

<b>Methode 1: Hilfsdreieck</b>	
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Unkompliziert	Teuer aufgrund geringer Toleranzen
Wenige Teilarbeitsschritte	Sperrig

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Hilfsdreiecksmethode

### 2.4.2 Abschlagmethode

Das zweite Konzept, das in Frage kommt, ist eine Abschlagmethode. Da diese aus mehreren Teilschritten besteht als die Hilfsdreiecksmethode, ist diese Abschlagmethode in folgende Teilschritte unterteilt:

- Bildung von Fundamentblockpaaren
- Aufnahme der Durchmesser
- Kalkulation der Abschlagmaße
- Abschlagen des Lochkreises

Diese Teilschritte werden in den folgenden Unterpunkten näher erläutert.



### Aufnahme der Durchmesserschätzungen

Die zweite Methode basiert darauf, den angenäherten Durchmesser der Schienen an mehreren am Umfang verteilten Punkten, im Winkelabstand  $\psi$  wie in Abbildung 17 und Abbildung 18 dargestellt, zu messen. Die Werte der Messungen lassen sich zur Bewertung der Rundheit heranziehen. Dadurch, dass kein genauer Mittelpunkt des Schienensystems bekannt ist, entsteht ein Messfehler, welcher in Abbildung 17 dargestellt ist. Der Fehler entsteht, weil nicht gewährleistet werden kann, dass der gemessene Durchmesser  $d_{\text{falsch}}$  den Mittelpunkt kreuzt. Stattdessen wird dieser fälschlich mit einer gewissen Exzentrizität  $e$  gemessen. Der Durchmesser  $d_1$  ist kleiner als der tatsächliche Durchmesser  $d_{\text{wahr}}$ .

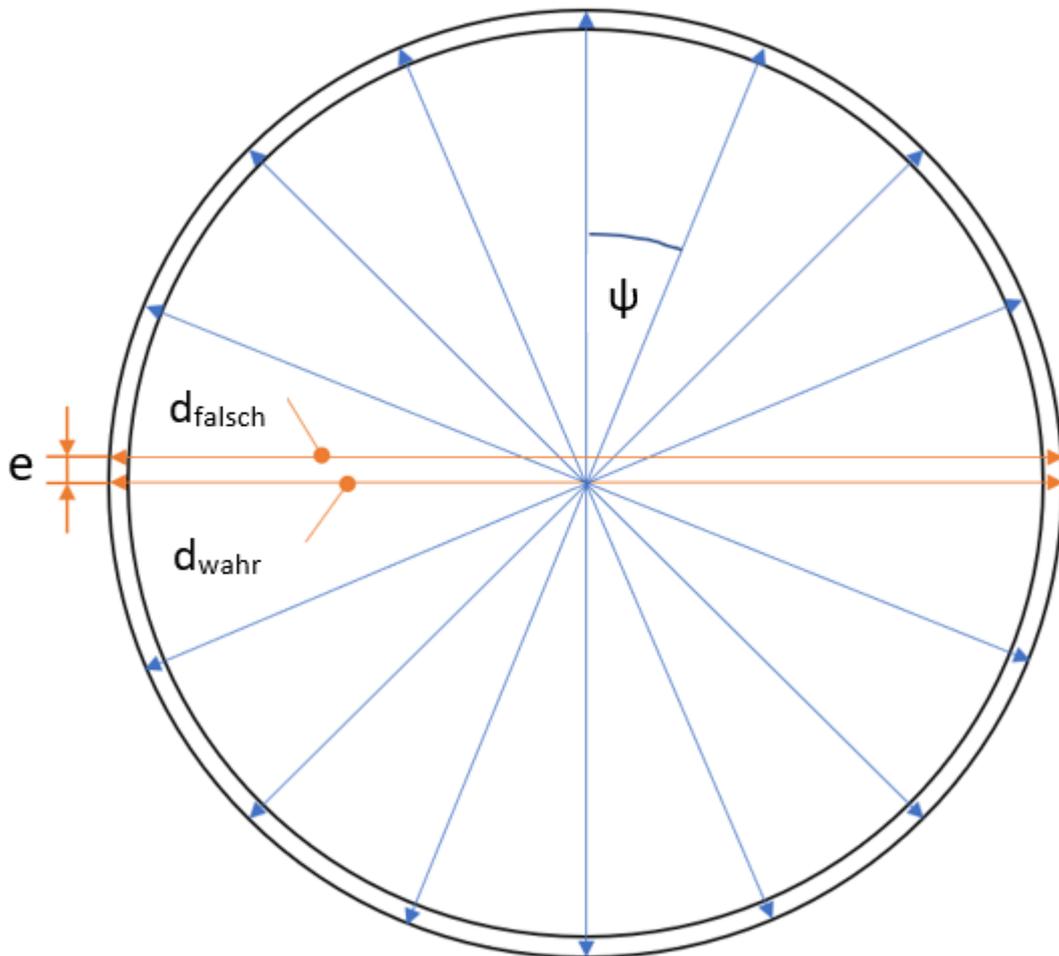


Abbildung 17: Entstehender Fehler bei exzentrischer Durchmesseraufnahme

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Um diesen Fehler zu vermeiden, werden die Fundamentblöcke, auf denen die Rundschiene aufliegen, als Referenz verwendet. Nimmt man an, dass die innere, als auch die äußere Rundschiene auf einer geraden Anzahl an Fundamentblöcken aufliegt, so ist es möglich den Durchmesser der Schienen immer von der Mitte eines Fundamentblockes aus zu dem jeweils gegenüberliegenden Fundamentblock zu messen. Eine Beispielsmessung ist in Abbildung 18 dargestellt.

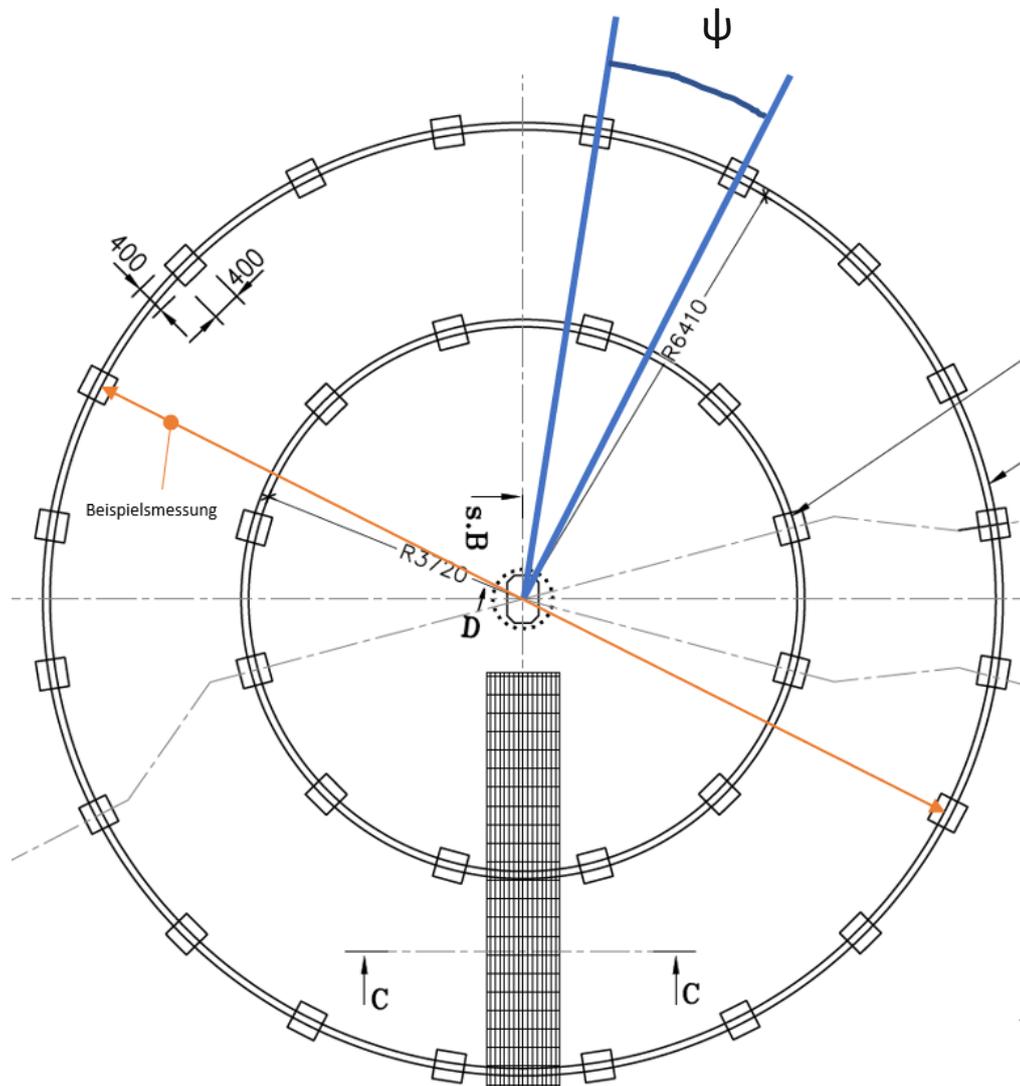


Abbildung 18: Fundamentblöcke als Referenz zur Durchmesseraufnahme

Durch das Messen der Durchmesser von diesen Fundamentblöcken aus reduziert sich die Exzentrizität  $e$  (Abbildung 17), da diese Fundamentblöcke schon mit einer hinreichenden Toleranz gegenüber einander ausgerichtet sind. Daraus folgt, dass der daraus entstehende Messfehler minimiert wird.

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

### Kalkulation der Abschlagmaße

Nachdem alle Durchmesser aufgenommen wurden, kann mit Formel 3 und anhand der in Abbildung 19 dargestellten Maße der Abstand des inneren Schienenrands zum Lochkreis ermittelt werden. Die Berechnung in Formel 3 ist beispielsweise für das Fundamentblockpaar A dargestellt. Wird nun beispielsweise der Abstand b berechnet, so muss auch A mit B ersetzt werden usw.

$$a = \frac{A-LK}{2} \quad (3)$$

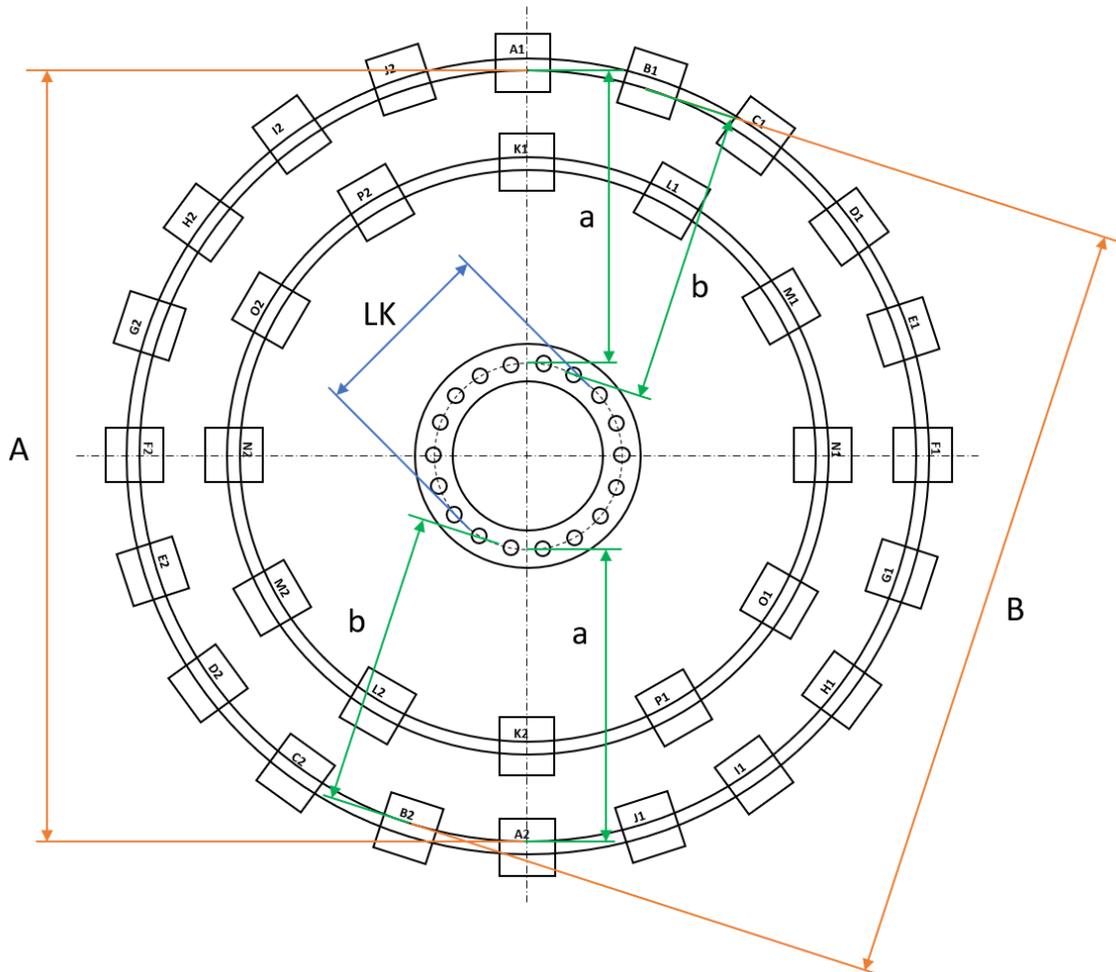


Abbildung 19: Abstand Messpunkte zum Lochkreis (nicht im Originalmaßstab)

Nachdem die Maße a bis p berechnet wurden, kann mit dem Auftragen des Lochkreises auf das Fundament begonnen werden.

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

### Abschlagen des Lochkreises

Das Auftragen des Lochkreises kann u.a. mit einer Abschlagvorrichtung oder einem an einer Schnur befestigtem Stift erfolgen (siehe Abbildung 21). Dabei wird bei Fundamentblockpaar A begonnen. Das Instrument zum Auftragen wird auf das Maß  $a$  eingestellt und das Abschlagmaß wird gleich von beiden zugehörigen Fundamentblöcken A1 und A2 aus auf das Fundament übertragen. Analog wird dann mit den Maßen  $b$  bis  $p$  vorgegangen. Das Ergebnis schaut dann so aus, wie in Abbildung 20 für die Maße  $a$  bis  $f$  dargestellt. Die Bögen der Abschläge nähern den Lochkreis tangential an.

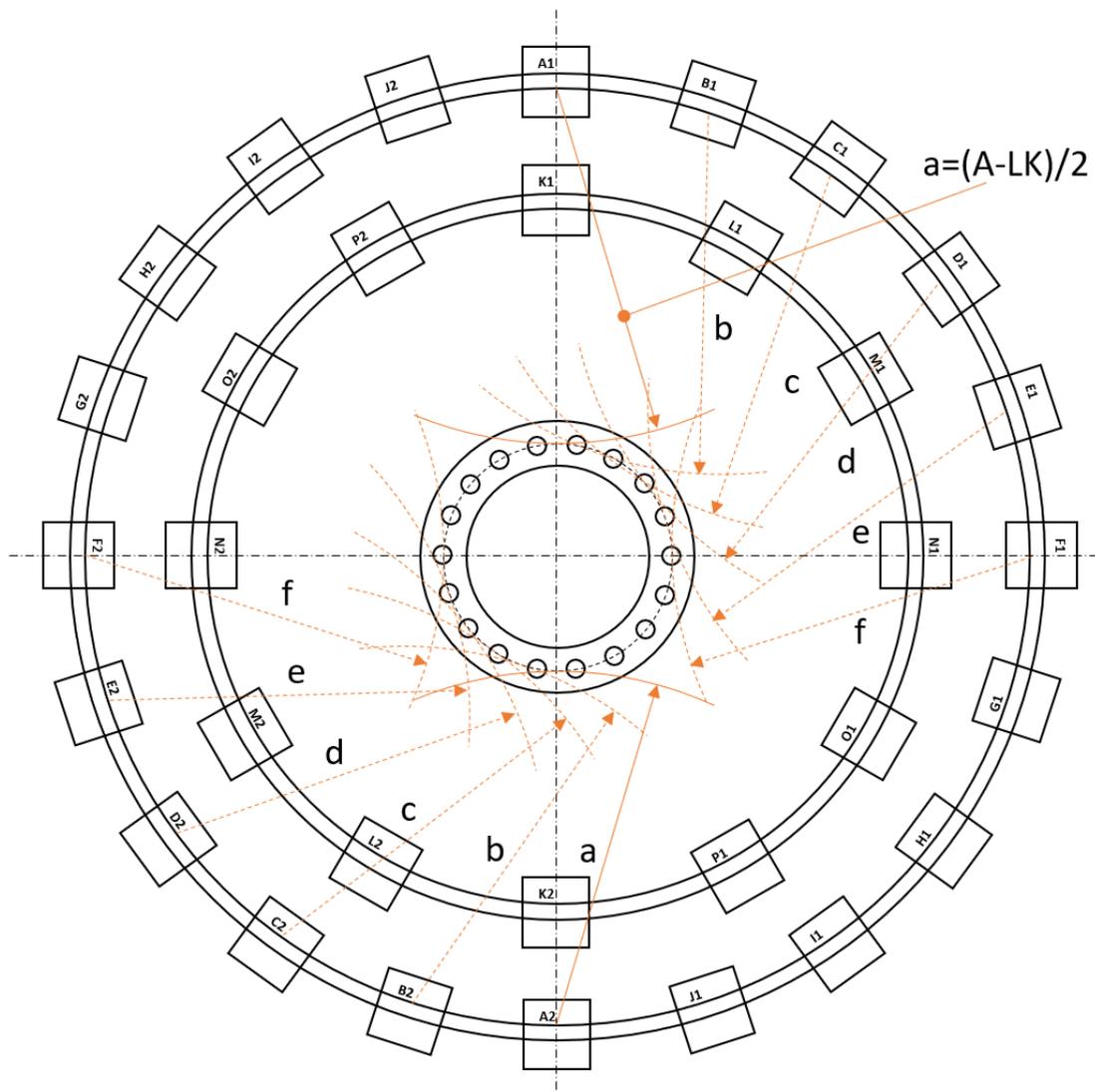


Abbildung 20: Übertragung Abschlagmaße auf Fundament (nicht im Originalmaßstab)

Es entstehen Abweichungen, weil die beiden Radien eines zugehörigen Durchmessers nicht identisch sind und die Schienen nicht die Form eines Kreises aufweisen. Diese Abweichungen werden im Mustermodell (2.6) berücksichtigt.

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Das Abschlagen der Maße mittels Stift und Schnur (Abbildung 21a), oder mittels eigener Abschlagvorrichtung (Abbildung 21b), ist in Abbildung 21 dargestellt.

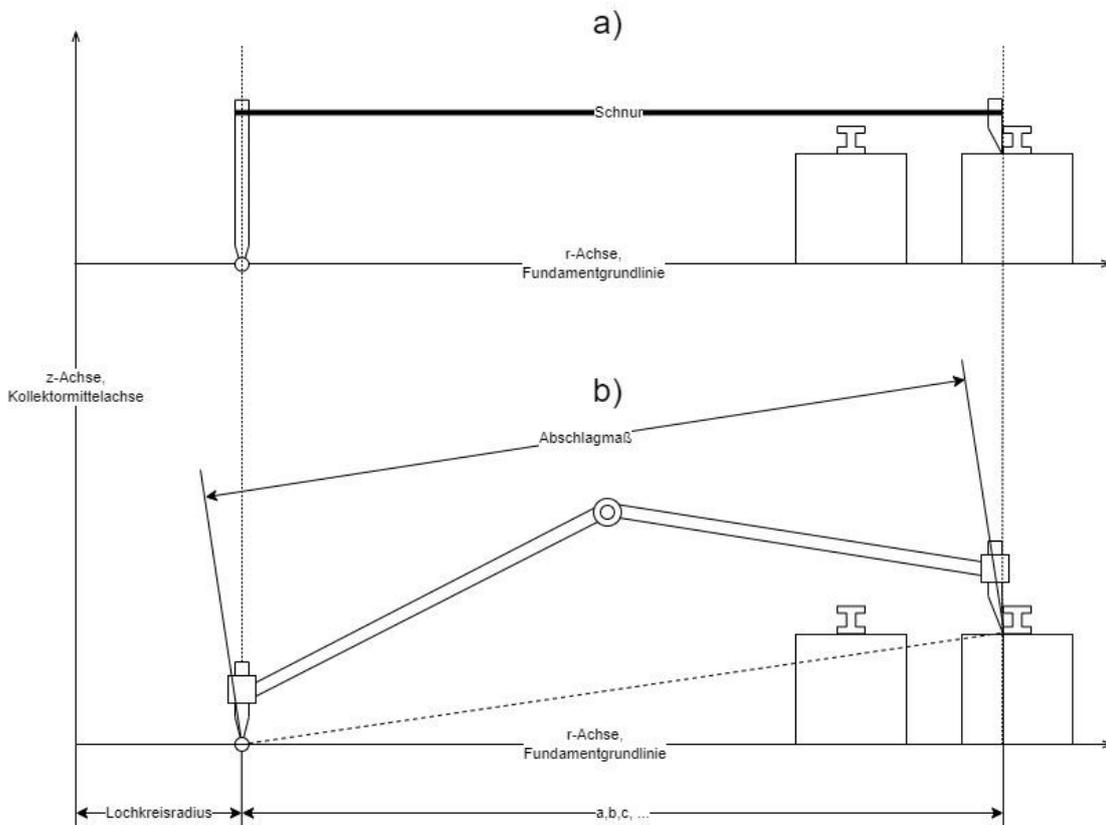


Abbildung 21: Abschlagvarianten (nicht im Originalmaßstab)

a) Abschlagen mit Stift und Schnur, b) Abschlagen mit Abschlagvorrichtung

Die Variante mit Stift und Schnur (Abbildung 21a) hat den Vorteil, dass für den gesamten Positionierungsprozess lediglich ein langes Maßband, Stift und Schnur notwendig sind. Nachteilig sind die Fehler, die entstehen können, wenn man z.B. den Stift zum Markieren, oder die „Nadel“ zum Ansetzen an der Schiene nicht genau in einem  $90^\circ$  Winkel zur Schnur anhält.

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Abbildung 21b stellt das Abschlagen mittels Abschlagvorrichtung dar. Diese Methode hat den Vorteil, dass sie genauer ist als die in Abbildung 21a dargestellte Methode. Bei dieser Vorgehensweise ist jedoch eine Korrektur des Abschlagmaßes notwendig, da die Rundschiene auf einem höheren z-Niveau liegen als das Fundament selbst (Abbildung 22). Diese Korrektur zu berechnen ist durch den pythagoräischen Lehrsatz möglich. Kathete z ist in diesem Fall die Höhe der Fundamentblöcke, Kathete x das berechnete Abschlagmaß und die Hypotenuse y das korrigierte Abschlagmaß.

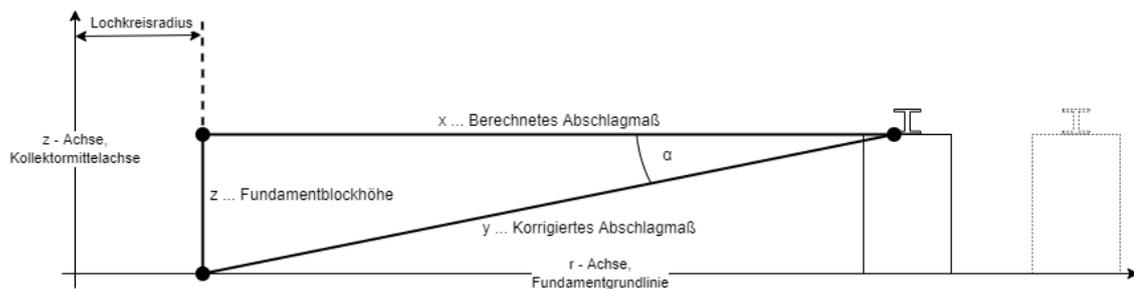


Abbildung 22: Korrektur Abschlagmaß (nicht im Originalmaßstab)

Formel 4 zeigt, wie sich das korrigierte Abschlagmaß mithilfe der Fundamentblockhöhe und des berechneten Abschlagmaßes berechnen lässt. Da die Korrekturwerte nur kleine Schwankungen aufweisen wird als Korrekturwert für die berechneten Abschlagmaße ein konstanter Wert  $k$  verwendet. Diese konstanten Korrekturwerte betragen für die äußere Rundschiene +3 mm und für die innere Rundschiene +6 mm. Formel 5 zeigt die Abschätzung des korrigierten Abschlagmaßes mittels berechneten Abschlagmaß und konstantem Korrekturwert.

$$y = \sqrt{x^2 + z^2} \quad (4)$$

$$y \approx x + k \quad (5)$$

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Nachdem alle Maße auf das Fundament übertragen wurden, werden mithilfe einer Schablone die einzelnen Bohrungen des Flansches am Fundament markiert.

Zum Abschluss kann man sagen, dass das Verfahren zwar von der Durchführung und von der Anzahl der Teilschritte her komplexer ist als die in 2.4.1 beschriebene Hilfsdreiecksmethode, jedoch ist es aufgrund der benötigten Elemente billiger. Weiters ist auch keine temporäre Abdeckung des Loches in der Mitte des Fundaments (Abbildung 10 und Abbildung 11a) notwendig.

<b>Methode 2: Abschlagmethode</b>	
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Billig	Viele Einzelschritte
Wenige benötigte Komponenten	
Direkter Rückschluss auf Lochkreis	

*Tabelle 2: Vor- und Nachteile Abschlagmethode*

## 2.5 Entscheidungsfindung Verfahren zur Ermittlung des Lochkreises

Trotz der erhöhten Anzahl an Einzelschritten der Abschlagmethode (siehe 2.4.2) gegenüber der Hilfsdreiecksmethode (siehe 2.4.1) wurde die Entscheidung getroffen, sich vorerst auf diese zu fokussieren. Die Hauptgründe dafür sind die geringeren Kosten und, dass keine zusätzlich anzufertigenden Komponenten benötigt werden. Im einfachsten Fall werden nur konventionelle Werkzeuge benötigt. Die Hilfsdreiecksmethode (siehe 2.4.1) wird vorerst nicht weiterverfolgt.

## 2.6 Mustermodell

Das Mustermodell wird in im 3D-Konstruktionsprogramm Autodesk Inventor implementiert und wird durch Excel Tabellen gesteuert. Die Berechnungen werden Inventor als Parameter übergeben. Dabei wird die Rundheit der Schienen durch variierende Radien in gewissen Winkelabständen dargestellt. Diese Radien bilden Punkte (A1, B1, ...), durch die jeweils für Außen- und Innenschiene, zwei Splines definiert werden. Diese Splines bilden die neutralen Fasern der Rundschienen. Durch Offsets in Höhe der halben Schienenbreite von den neutralen Fasern werden die Schienen modelliert. Bei den Außenschienen beträgt der Winkelabstand zwischen den Radien  $18^\circ$  (entspricht 20 Radien) und bei den Innenschienen beträgt dieser  $30^\circ$  (entspricht 12 Radien). Die Nomenklatur ist in Abbildung 16 dargestellt (A1, A2 - Punkte; A - Durchmesser; a1, a2 - Radien). Die Teilung der Rundschienen ergibt sich durch die Anzahl der Fundamentblöcke. Das Mustermodell ist in Abbildung 23 dargestellt.

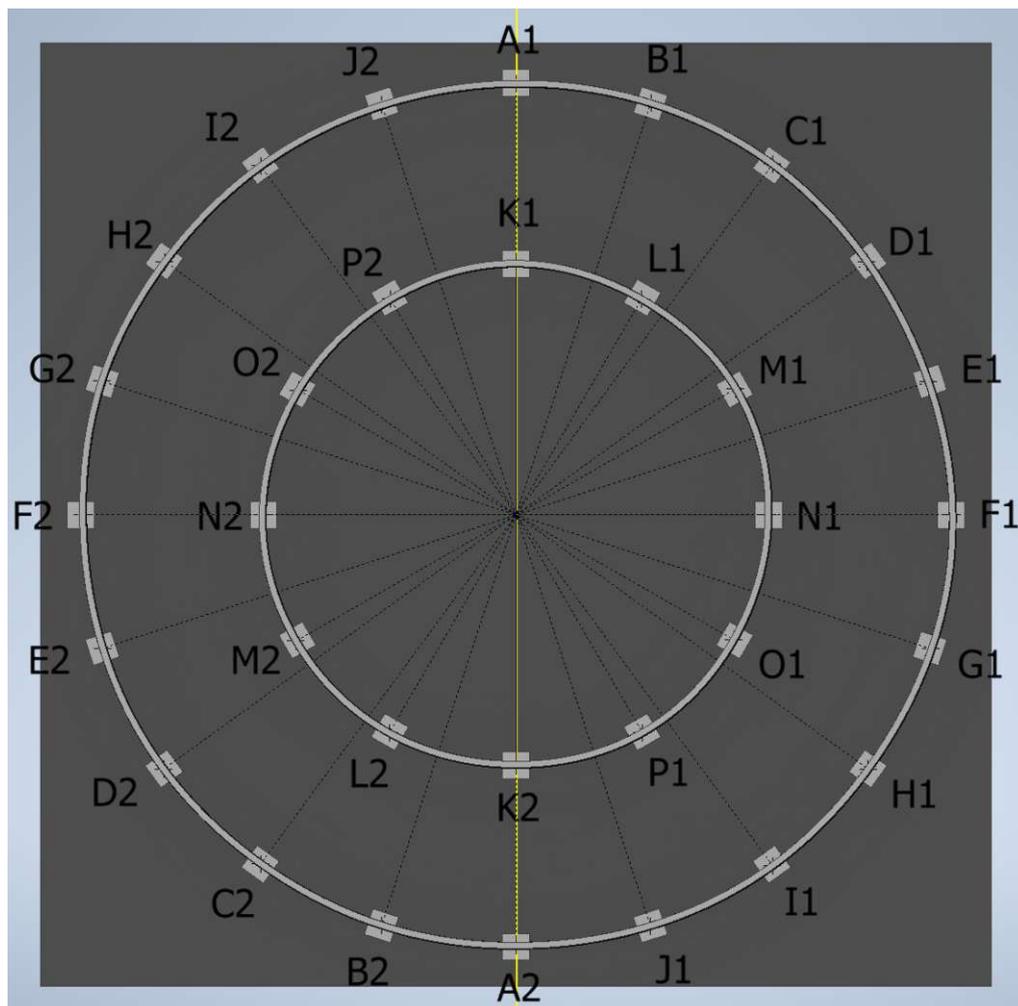


Abbildung 23: Mustermodell

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Um den Abweichungsbereich der Radien abschätzen zu können werden die tatsächlichen Abweichungen des Prototyps als Basis der Berechnung benutzt (siehe 2.2). An der Extremstelle ist der Radius um etwa 25 % von der neutralen Faser der Schiene verschoben ist (ersichtlich in Abbildung 11d). 25 % der Schienenbreite entsprechen ca. 23 mm. Somit wurde die maximale radiale Abweichung für das Modell auf +/-25 mm festgelegt (siehe 2.3). Die Grenzwerte wurden in Tabelle 3 festgehalten.

Schienengrenzabmessungen (bezogen auf Schienenmitte)	$r_0$ [mm]	$r_{min}$ [mm]	$r_{max}$ [mm]	$d_0$ [mm]	$d_{min}$ [mm]	$d_{max}$ [mm]
Innere Schienen (K-P)	3720	3695	3745	7440	7390	7490
Äußere Schienen (A-J)	6410	6385	6435	12820	12770	12870

*Tabelle 3: Schienengrenzabmessungen*

Die Radien wurden gleichverteilt mithilfe einer Excel-Tabelle generiert und sind in Tabelle 4 aufgelistet. Die Gleichverteilung wurde gewählt, da so die mittlere Abweichung vom Nennmaß in jedem Fall größer ist als z.B. bei einer Normalverteilung. Die Spalte „Abweichung Radien“ sagt aus, um wieviel der erste Radius eines Durchmessers vom zweiten Radius abweicht und ist ein Richtmaß für die Exzentrizität der Schiene im Bereich des betrachteten Durchmessers.

Bez.	Nenndurchmesser		Abweichung Radien	Bez.	Radius 1		Bez.	Radius 2	
D <sub>A</sub>	12823	mm	0.08%	a <sub>1</sub>	6414	mm	a <sub>2</sub>	6409	mm
D <sub>B</sub>	12798	mm	0.34%	b <sub>1</sub>	6388	mm	b <sub>2</sub>	6410	mm
D <sub>C</sub>	12815	mm	0.36%	c <sub>1</sub>	6419	mm	c <sub>2</sub>	6396	mm
D <sub>D</sub>	12855	mm	0.14%	d <sub>1</sub>	6423	mm	d <sub>2</sub>	6432	mm
D <sub>E</sub>	12836	mm	0.47%	e <sub>1</sub>	6433	mm	e <sub>2</sub>	6403	mm
D <sub>F</sub>	12844	mm	0.12%	f <sub>1</sub>	6418	mm	f <sub>2</sub>	6426	mm
D <sub>G</sub>	12808	mm	0.47%	g <sub>1</sub>	6419	mm	g <sub>2</sub>	6389	mm
D <sub>H</sub>	12849	mm	0.11%	h <sub>1</sub>	6428	mm	h <sub>2</sub>	6421	mm
D <sub>I</sub>	12852	mm	0.12%	i <sub>1</sub>	6430	mm	i <sub>2</sub>	6422	mm
D <sub>J</sub>	12806	mm	0.19%	j <sub>1</sub>	6409	mm	j <sub>2</sub>	6397	mm
D <sub>K</sub>	7458	mm	0.32%	k <sub>1</sub>	3723	mm	k <sub>2</sub>	3735	mm
D <sub>L</sub>	7428	mm	0.43%	l <sub>1</sub>	3706	mm	l <sub>2</sub>	3722	mm
D <sub>M</sub>	7437	mm	0.62%	m <sub>1</sub>	3707	mm	m <sub>2</sub>	3730	mm
D <sub>N</sub>	7440	mm	1.18%	n <sub>1</sub>	3698	mm	n <sub>2</sub>	3742	mm
D <sub>O</sub>	7461	mm	0.29%	o <sub>1</sub>	3725	mm	o <sub>2</sub>	3736	mm
D <sub>P</sub>	7483	mm	0.13%	p <sub>1</sub>	3739	mm	p <sub>2</sub>	3744	mm

*Tabelle 4: Durchmesser und Radien Mustermodell*

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

In Diagramm 1 und Diagramm 2 sind die Durchmesser des Mustermodells dargestellt.

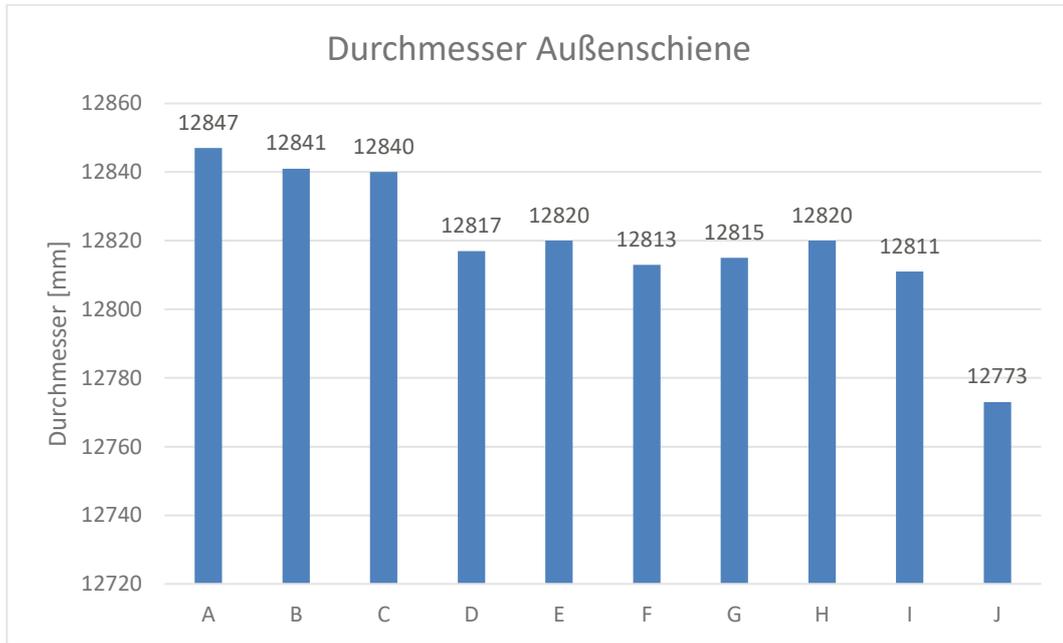


Diagramm 1: Modelldurchmesser Außenschiene

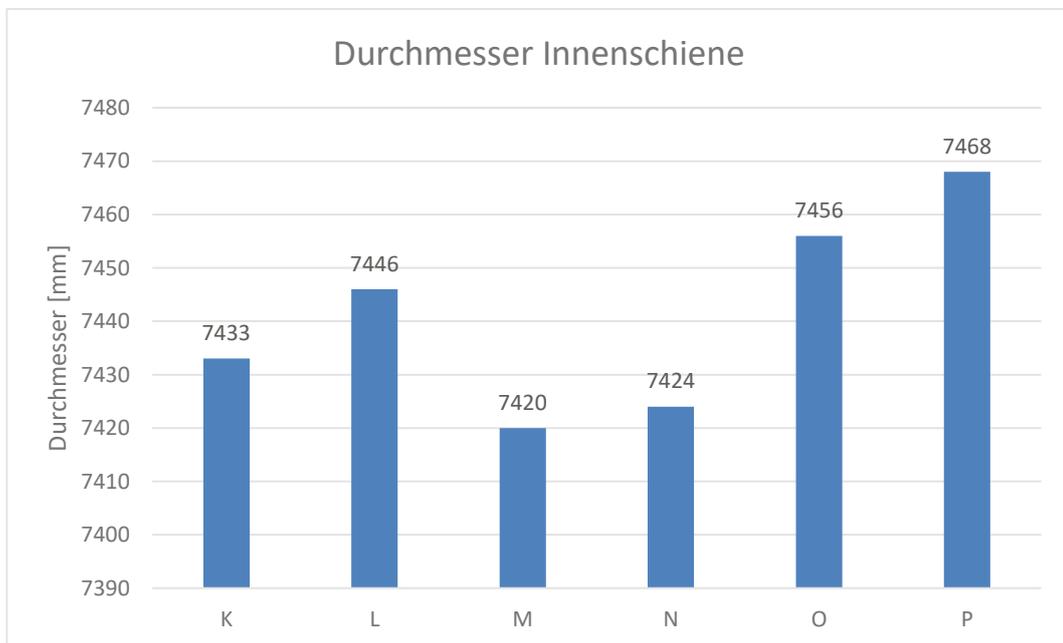


Diagramm 2: Modelldurchmesser Innenschiene

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

In Diagramm 3 und Diagramm 4 sind die Radien (primäre y-Achse) des Mustermodells, sowie deren prozentuelle Abweichung (sekundäre y-Achse) dargestellt. Auch die absolute Abweichung zwischen zwei zusammengehörigen Radien lässt sich auf der primären y-Achse durch das Delta der beiden Säulen ablesen.

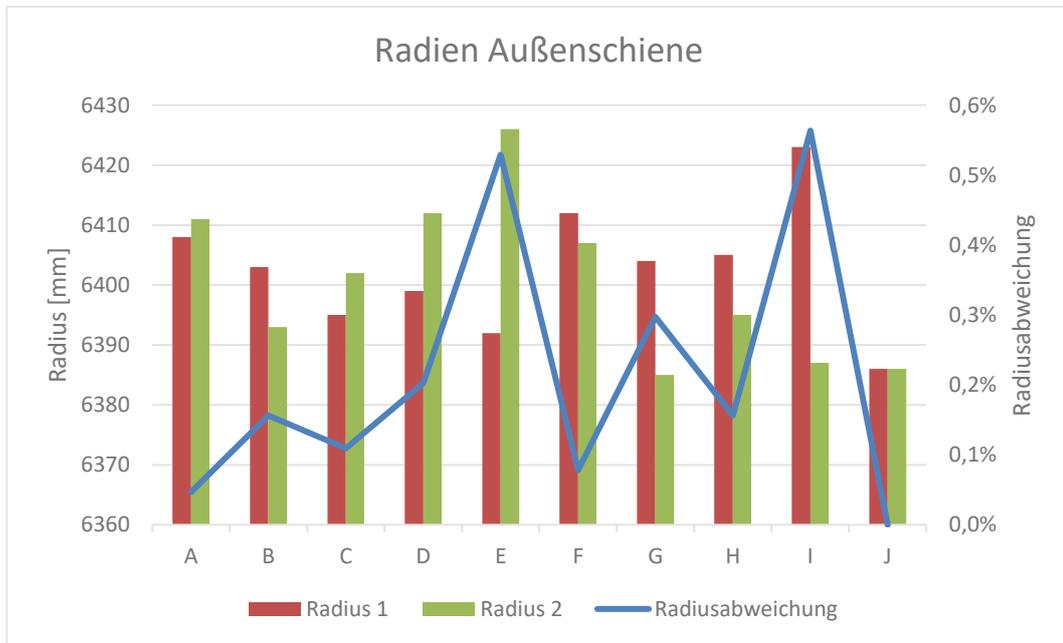


Diagramm 3: Radien Außenschiene

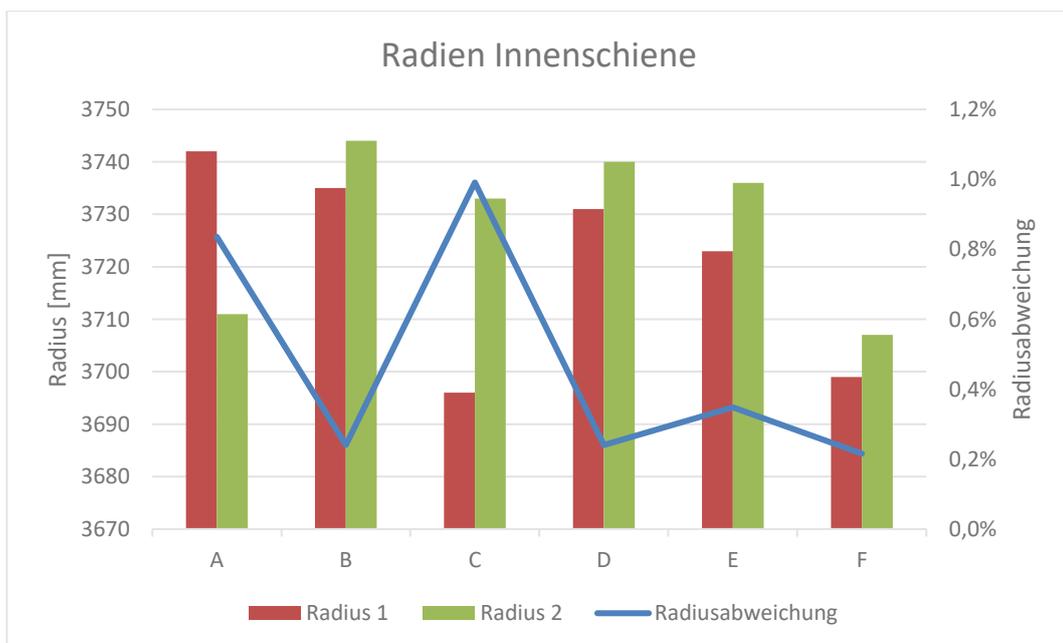


Diagramm 4: Radien Innenschiene

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Mithilfe des Mustermodells kann nun visualisiert werden, wie die Abschläge auf dem Fundament in der Realität in etwa aussehen werden.

Anhand der generierten Radien werden die individuellen Abschlagmaße für jeden Durchmesser berechnet (Formel 3) und sind in Tabelle 5 dargestellt.

Individuelle Abschlagmaße					
uere Rundschiene			Innere Rundschiene		
a	6006.5	mm	k	3324	mm
b	5994	mm	l	3309	mm
c	6002.5	mm	m	3313.5	mm
d	6022.5	mm	n	3315	mm
e	6013	mm	o	3325.5	mm
f	6017	mm	p	3336.5	mm
g	5999	mm			
h	6019.5	mm			
i	6021	mm			
j	5998	mm			

*Tabelle 5: Individuelle Abschlagmaße*

In Abbildung 24 ist der angenäherte Lochkreis durch alle Abschläge von der äußeren Rundschiene aus dargestellt. Weiters wurde durch die Schnittpunkte aller Abschlagbogen mit deren Verbindungslinie zum Mittelpunkt ein Spline gelegt, um die Form des durch die Abschläge entstandenen verzerrten Kreises zu visualisieren. In Abbildung 24 in blau eingezeichnet ist im Gegensatz zum Spline der tatsächliche Lochkreis des Flansches abgebildet. Abbildung 25 zeigt dasselbe mit den Abschlägen von der inneren Rundschiene aus.

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

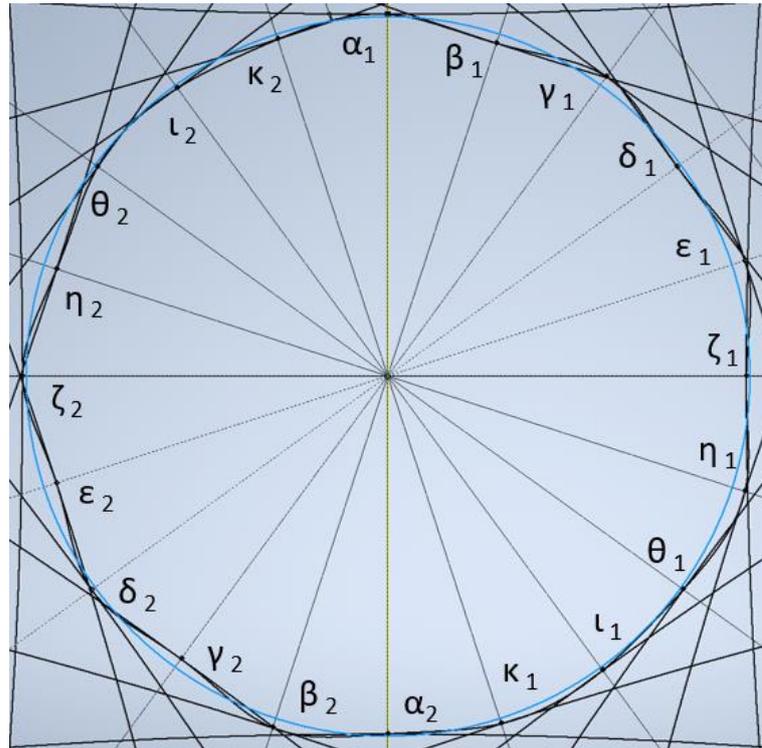


Abbildung 24: Tatsächlicher Lochkreis vs. Spline durch Abschlagpunkte, außen

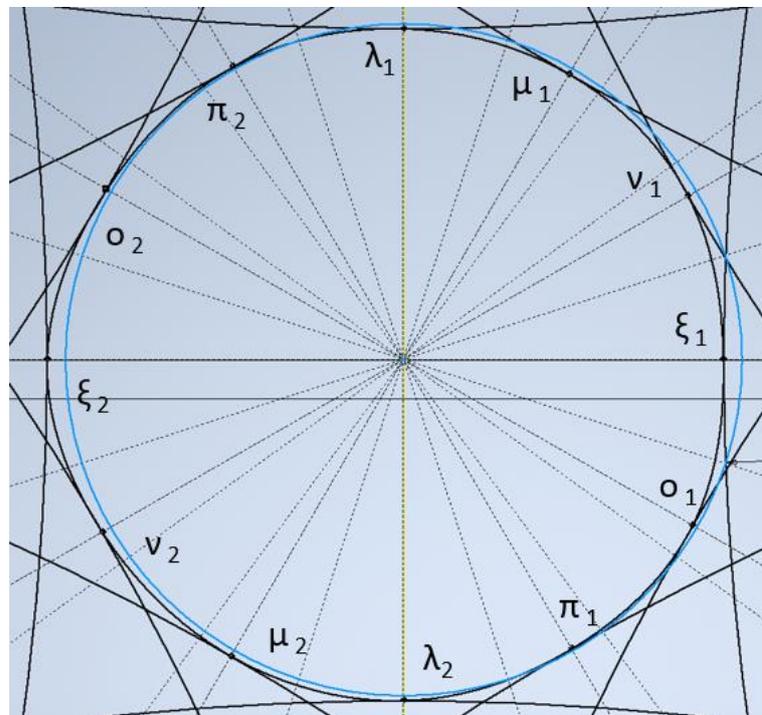


Abbildung 25: Tatsächlicher Lochkreis vs. Spline durch Abschlagpunkte, innen

### 2.7 Auswertung

Jetzt wird bewertet, wie gut der Lochkreis tatsächlich durch die Abschlagmethode (2.4.2) angenähert werden kann. Um die Qualität des angenäherten Lochkreises zu evaluieren, wurden jene Punkte analysiert, an denen die Kreisbögen der Abschlüge den zugehörigen Durchmesser kreuzen. Diese Punkte ( $\alpha_1-\pi_1$ ,  $\alpha_2-\pi_2$ ) sind in Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellt. Diese Punkte werden benutzt, weil diese bei der Abschlagmethode in jedem Fall auf den Abschlagbögen liegen. Es wurden jeweils 3 Punkte verwendet und Kreise durch diese gelegt. Durch diese Kreise ergeben sich Mittelpunkte. Es wurde die radiale Abweichung von diesen Kreismittelpunkten zum Skizzenmittelpunkt analysiert. Als Ziel für die maximale radiale Abweichung des approximierten Mittelpunktes im Gegensatz zum tatsächlichen Mittelpunkt der Rundschiene wurde die halbe Schienenbreite, also 45.5 mm definiert (siehe 2.3). Von diesen 45.5mm maximaler radialer Abweichung wurden durch die Exzentrizität der Schienen im schlechtesten Fall bereits 25 mm (Formel 1) in Anspruch genommen. Somit sind von den 45.5 mm noch 20.5 mm (Formel 2) übrig, um die der Flansch radial versetzt montiert werden darf. In diesem Worst-Case-Szenario treten diese Abweichungen in der radialen Richtung, die in Abbildung 26 die Drehachse des Kollektors und das Laufrad verbinden, auf.

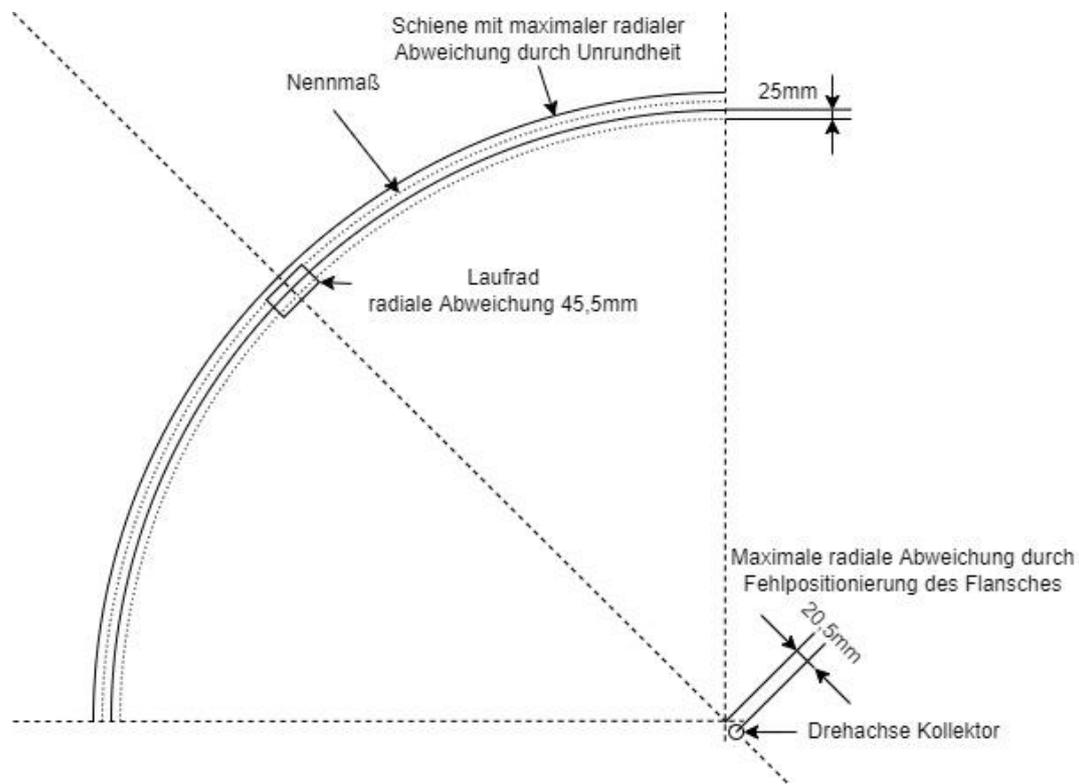


Abbildung 26: Worst-Case-Szenario radiale Abweichungen



## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

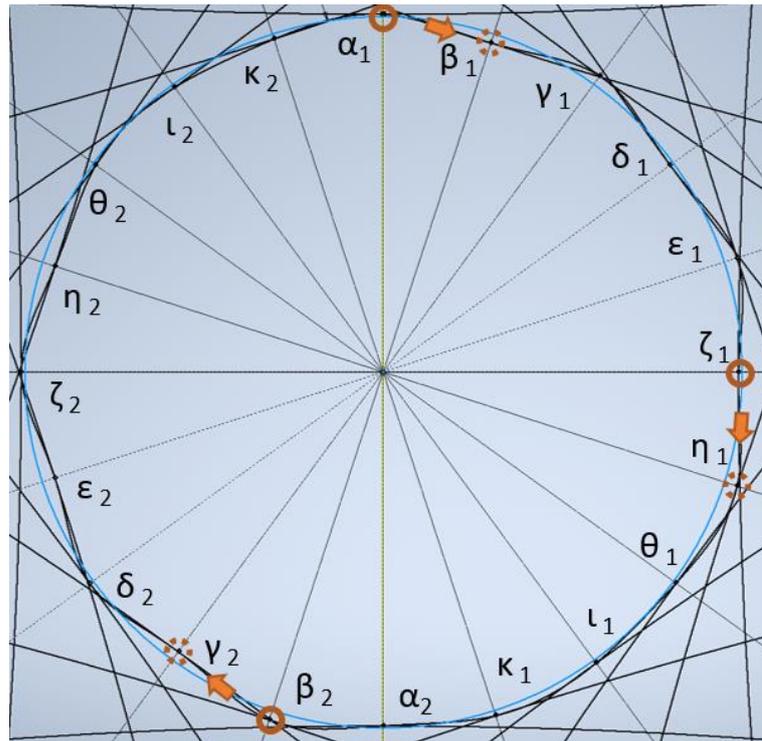


Abbildung 28: Ansatz II Kreisstützpunkte

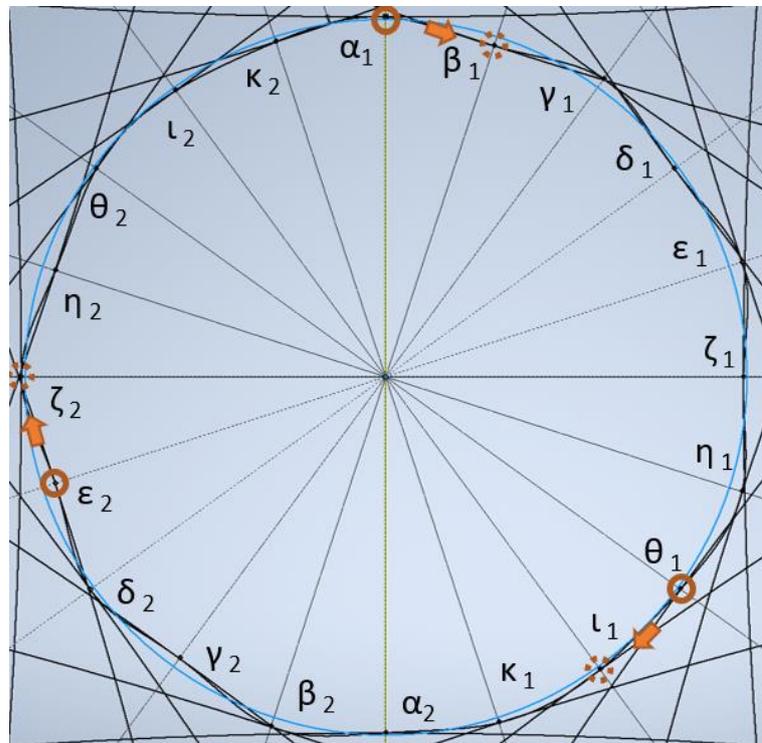


Abbildung 29: Ansatz III Kreisstützpunkte

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Pro Ansatz wurden 10 Kreismittelpunkte ermittelt und der Mittelwert der radialen Abweichung vom tatsächlichen Mittelpunkt gebildet. Mit 200 Datensätzen ergibt sich somit eine Punktwolke aus 2000 Punkten pro Ansatz für jeweils das konstante und das individuelle Abschlagmaß. Abbildung 30 zeigt eine Visualisierung der Vorgehensweise des Auswertungsverfahrens.

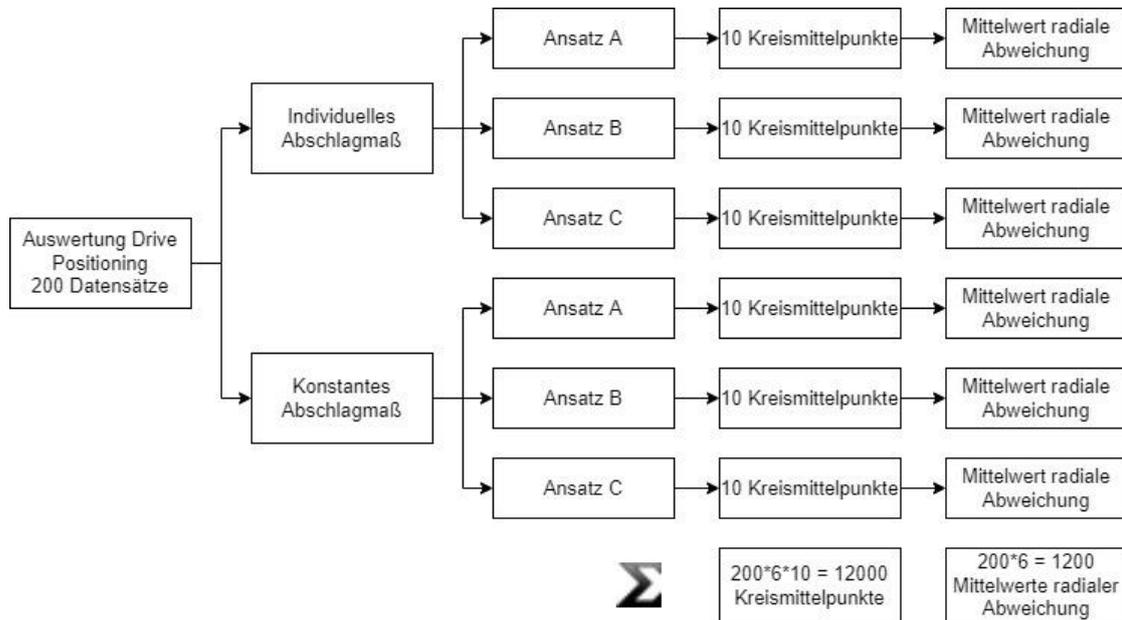


Abbildung 30: Auswertungsverfahren Drive Positioning

Um die radialen Abweichungen zu messen, wurde das Excel-Skript benutzt. Die Logik des Excel Solver Add-Ins wurde so konfiguriert, um das Gleichungssystem aus Abbildung 31 nach den Koeffizienten A, B und C aufzulösen. Von diesen Koeffizienten wird auf die Koordinaten des Kreismittelpunktes und den Radius rückgerechnet [14].

$$\begin{array}{l}
 A + B(-x_1) + C(-y_1) = -(x_1^2 + y_1^2) \\
 A + B(-x_2) + C(-y_2) = -(x_2^2 + y_2^2) \\
 A + B(-x_3) + C(-y_3) = -(x_3^2 + y_3^2)
 \end{array}$$

Abbildung 31: Gleichungssystem Solver [14]

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Diagramm 5 und Diagramm 6 zeigen Box-Plot-Diagramme von den Datensätzen für das individuelle und das konstante Abschlagmaß. Es ist zu beobachten, dass die radialen Abweichungen bei Verwendung eines individuellen Abschlagmaßes niedriger sind. Dabei sinken die Mittelwerte bei allen Ansätzen um knapp 5 mm. Auch die Ausreißer sind kleiner und weniger häufig.

Weiters zeigt sich, dass eine regelmäßige Verteilung der Stützpunkte der Kreise ebenfalls eine positive Auswirkung auf die radiale Abweichung hat. Bei Ansatz I fällt vor allem auf, dass die Streuung und somit die Ausreißer sehr groß sind. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Kreise stark abhängig von nur einem Durchmesser sind, da zwei der drei Punkte auf diesem liegen. Weist dieser einen Durchmesser nun einen sehr großen oder kleinen Wert auf und hat dazu noch eine relativ große Radiusabweichung zwischen den beiden zugehörigen Radien, so ist ein Ausreißer wahrscheinlich.

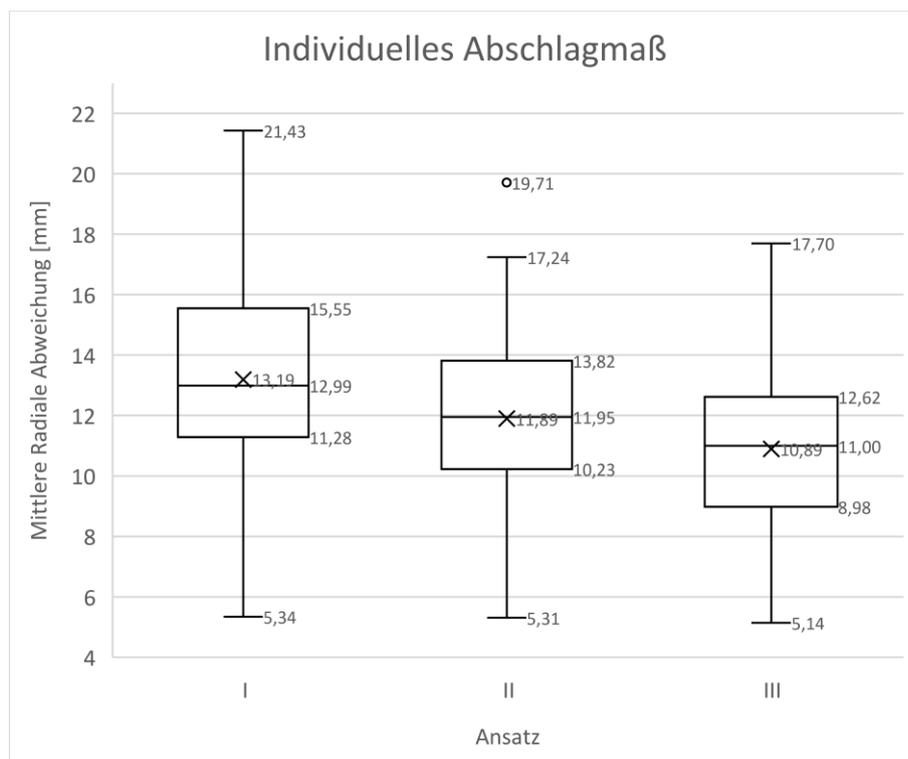


Diagramm 5: Box-Plot radiale Abweichung bei individuellem Abschlagmaß für die 3 Ansätze

## 2. Planung der Vorgehensweise zur Positionierung der Drive-Connection

Ansatz II hingegen weist eine niedrigere Streuung als Ansatz I auf. Die Verbesserung der Streuungswerte ist von Ansatz II auf Ansatz III im Vergleich zu der Verbesserung von Ansatz I auf Ansatz II geringer. Auch der Mittelwert sinkt von Ansatz II auf Ansatz III noch weiter ab.

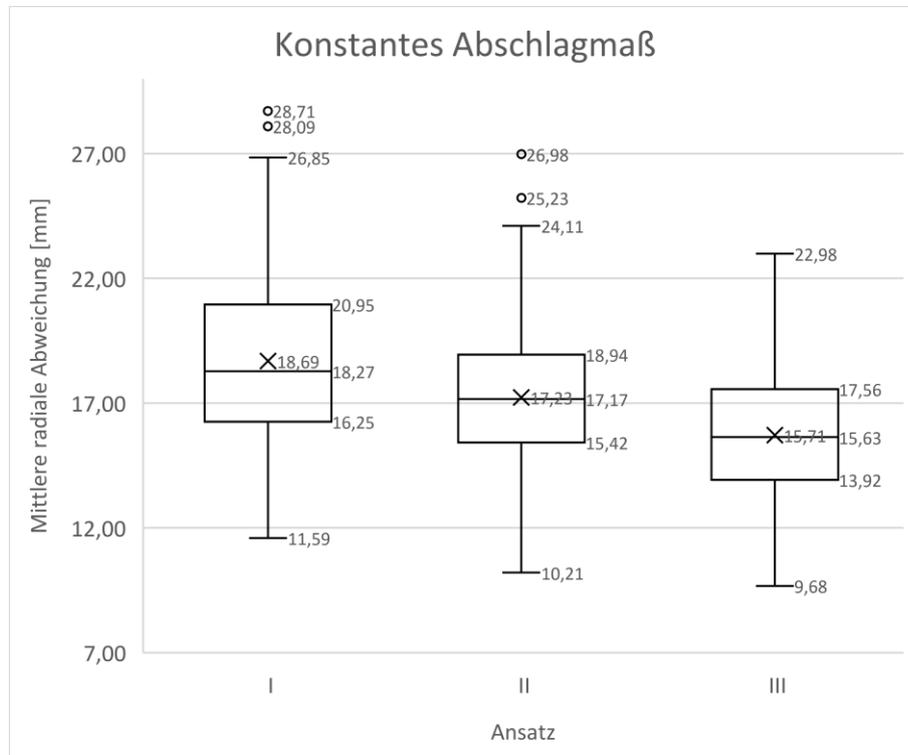


Diagramm 6: Box-Plot radiale Abweichung bei konstantem Abschlagmaß für die 3 Ansätze

Die mittlere radiale Abweichung von 11,00 mm (Diagramm 5, III) unterschreitet den Vorgabewert von 20,5 mm (Abbildung 12 und Abbildung 26) hinreichend. Weiters wird in der Realität der Lochkreis nicht nur anhand von 3 Stützpunkten approximiert, sondern anhand von 32. Somit ist diese Betrachtung eine Annäherung, die qualitativ schlechter ist als die Annäherung, die in der Realität gemacht wird.

Auf der Baustelle können noch Abweichungen durch Handhabungsfehler der verwendeten Werkzeuge entstehen. Mit der ermittelten mittleren radialen Abweichung bleiben jedoch noch beinahe 10 mm als Ausgleich für diese Handhabungsfehler übrig.

### 3 Planung eines Rotationstests für die Anlage

Bevor der Solabolic RD01 PTC seinen Regelbetrieb starten kann müssen dessen Funktionen getestet werden. Eine wichtige Funktion des Kollektors ist das Nachführsystem. Dieses wird mithilfe eines Rotationstests getestet. Beim Rotationstest wird das erste Mal ein Servomotor an den Antriebsstrang der Anlage angeschlossen und der Kollektor vollführt seine ersten Rotationen. Abbildung 32 zeigt die abstrahierten Komponenten des Antriebsstranges. Der Kollektor wird von einem Servomotor über zwei Getriebe angetrieben. Das erste Getriebe, der Reducer, ist ein Stirnradgetriebe. Das zweite Getriebe, der Drive, ist ein Schneckenradgetriebe.

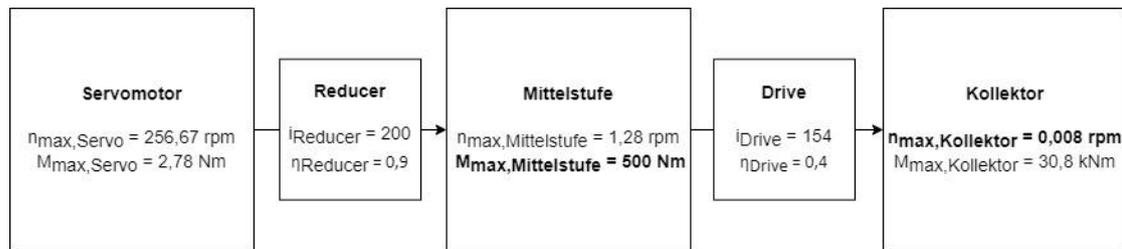


Abbildung 32: Antriebsstrang RD01

Zur Durchführung des Rotationstests der Pilotanlage in den Vereinigten Arabischen Emiraten muss eine Anleitung erstellt werden, um die Funktionalität des Antriebsstranges zu testen. Diese Anleitung wird im Rahmen dieses Kapitels erstellt. Es wird dokumentiert, was bei der Erstellung berücksichtigt wurde. Diese Anleitung ist im Anhang zu finden.

Für den Rotationstest wird der Servomotor MIGE 110ST-M05030 in Kombination mit dem Servo-Regler MG-K1AS15CA verwendet. Diese beiden Komponenten waren ursprünglich auch für den Regelbetrieb im Position-Control-Modus, also der Steuerung des Servos und somit des Nachführsystems mithilfe eines Mikrocomputers, vorgesehen. Jedoch wurde aufgrund mangelhafter Dokumentation entschieden diese Komponenten später mit einem besser dokumentierten System zu ersetzen. Für diesen Test können die Komponenten jedoch noch verwendet werden.

#### 3.1 Zielsetzung

Das Ziel des Rotationstests ist die Testung des Nachführsystems. Genauer gesagt die Überprüfung des mechanischen Aufbaus des Kollektors, sowie die Überprüfung der Dimensionierung des Antriebs des Kollektors.

Entgleisen beim Rotationstest die Laufräder, so kann das ein Indikator dafür sein, dass die Konstruktion fehlerhaft ist. Gründe dafür können u.a. eine unzureichende Steifigkeit des Aufbaus, ein Fehler bei der Positionierung der Drive-Connection (Flansch, der die Drehachse des Kollektors definiert) oder zu große Fertigungstoleranzen sein.

Ist eine Rotation möglich, diese ist jedoch zu langsam oder zu schnell, so kann das ein Indikator dafür sein, dass bei der Dimensionierung des Antriebes ein Fehler unterlaufen ist. Eine mögliche Fehlerquelle kann z.B. ein falsch gewähltes Übersetzungsverhältnis sein. Weitere Fehlerquellen können falsch getroffene Einstellungen am Servo-Regler oder fehlerhafte Komponenten im Antriebsstrang sein.

Ist keine Rotation möglich, so kann das ebenfalls ein Indikator dafür sein, dass die Dimensionierung des Antriebs fehlerhaft ist. Grund dafür können z.B. falsch berechnete Übersetzungsverhältnisse sein. Weitere Gründe können falsch getroffene Einstellungen am Servo-Regler oder fehlerhafte oder defekte Komponenten im Antriebsstrang sein.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Szenarien, die beim Rotationstest auftreten können und was deren Ursachen sein können.

Szenarien Rotationstest	Mögliche Ursachen
Test erfolgreich	-
Entgleisung der Laufräder	Zu geringe Steifigkeit des Aufbaus Zu große Fertigungstoleranzen Zu ungenaue Positionierung der Drive-Connection
Zu schnelle oder zu langsame Rotation	Fehler bei der Auslegung des Antriebs Falsche Einstellungen am Servo-Regler Fehlerhafte Antriebskomponenten
Keine Rotation möglich	Fehler bei der Auslegung des Antriebs Falsche Einstellungen am Servo-Regler Fehlerhafte/defekte Antriebskomponenten

---

*Tabelle 6: Szenarien Rotationstest*

---

Die weitere Vorgehensweise wird in den folgenden Kapiteln erläutert.

## 3.2 Komponenten

In diesem Kapitel werden die für den Rotationstest verwendeten Komponenten kurz beschrieben.

### 3.2.1 Servo-Regler MG-K1AS15CA

Abbildung 33 zeigt die Frontansicht des verwendeten Servo-Reglers. Dieser wurde im Rahmen einer vorangegangenen Diplomarbeit gemeinsam mit den anderen Komponenten, die beim Rotationstest verwendet werden, bestellt.

Die Aufgabe des Servo-Reglers ist die Stromversorgung des Servomotors. Er bildet das Bindeglied zwischen der Steuerung und dem Servomotor und wandelt Referenzsignale (z.B. von einem Mikrocomputer) in leistungsstarke Signale für den Servomotor um.



Abbildung 33: Servo-Regler MG-K1AS15CA

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

Abbildung 34 zeigt, wofür die einzelnen Elemente der Benennung des Servo-Reglers stehen. Die wichtigsten daraus ersichtlichen Merkmale sind, dass ein inkrementeller Encoder verwendet wird, dass die Nennleistung des zu betreibenden Servomotors 1.5 kW beträgt und dass nur ein Servomotor auf einmal damit betrieben werden kann.

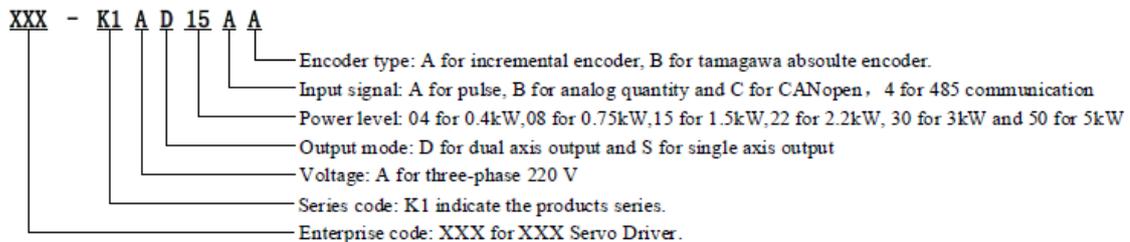


Abbildung 34: Benennung Servo-Regler [15]

#### Weitere technische Details:

- Ausgangsstrom:
  - max. 10A
- Betriebsbedingungen:
  - 0-50°C Umgebungstemperatur
  - -20-85°C Aufbewahrungstemperatur
  - Max. 90% Luftfeuchtigkeit
- Schutzfunktionen:
  - Überspannung
  - Unterspannung
  - Überstrom
  - Überlast
  - Überdrehzahl
  - Encoderfeedbackfehler
  - Regenerationsfehler
  - Nachlaufschutzfunktion (Overtravel)
- Überwachungsfunktionen:
  - Drehzahl
  - Position
  - Positionsabweichung
  - Motorstrom

Mehr technische Details sind im Servo-Regler Manual [15] nachzulesen.

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

---

#### 3.2.2 Servomotor MIGE 110ST-M05030

In diesem Kapitel wird der verwendete Servomotor vorgestellt. Dieser ist in Abbildung 35 dargestellt.

##### Motorspezifikationen vom Typenschild:

Nennleistung:	1.5 kW
Nennspannung:	220 V
Nennstrom:	6.0 A
Nenndrehzahl:	3000 rpm
Nenndrehmoment:	5 Nm
Spitzenmoment:	15 Nm
Spannungskonstante:	62 V/1000 rpm
Drehmomentkoeffizient:	0.83 Nm/A
Rotorträgheit:	$0.63 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Leitungswiderstand:	1.03 $\Omega$
Leitungsinduktivität:	3.43 mH
Mechanische Zeitkonstante:	3.33 ms



---

Abbildung 35: Servomotor MIGE 110ST-M05030

---

---

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

---

#### 3.2.3 Encodersignalkabel

Um die aktuelle Winkelposition des Rotors zu ermitteln wird ein Encoder benötigt. Dieser ist direkt am Servomotor montiert. Er liefert ein digitales Ausgangssignal, welches vom Servo-Regler decodiert wird, wodurch auf den Drehwinkel rückgeschlossen werden kann.

In diesem Fall handelt es sich beim Encodersignalkabel um ein 15-poliges Kabel mit einem Aderquerschnitt von  $0.14 \text{ mm}^2$ . Wie in Abbildung 39 ersichtlich verbindet das Kabel Servomotor und Servo-Regler.



---

*Abbildung 36: Encodersignalkabel*

---

---

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

---

#### 3.2.4 Stromversorgungskabel Servomotor

Das Stromversorgungskabel befindet sich wie in Abbildung 39 zu sehen zwischen Servomotor und Servo-Regler und hat die Aufgabe den Motor mit Strom zu versorgen. Hierbei handelt es sich um ein 4-poliges Kabel mit einem Aderquerschnitt von 4 mm<sup>2</sup>.



---

*Abbildung 37: Stromversorgungskabel Motor*

---

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

---

#### 3.2.5 Stromversorgungskabel Servo-Regler

Das Stromversorgungskabel für den Servo-Regler wird wie in Abbildung 39 ersichtlich direkt an eine 220V AC Steckdose angeschlossen und versorgt den Regler und in weiterer Folge auch den Motor mit Strom. Hierbei handelt es sich um ein 3-poliges Kabel mit einem Querschnitt von 0.75 mm<sup>2</sup>.



---

Abbildung 38: Stromversorgungskabel Servo-Regler

---

## 3.3 Berechnungen für den Rotationstest

Wie in Abbildung 32 zu sehen ist, ist es notwendig, das Drehmoment des Servomotors mit 2.78 Nm zu begrenzen und die Drehzahl auf 256.67 rpm zu begrenzen. Die Drehmomentbegrenzung ist notwendig, weil das maximale Eingangsdrehmoment von 500 Nm des „Drives“ (Schneckenradgetriebe) nicht überschritten werden darf. Die Begrenzung der Drehzahl des Servomotors erfolgt aufgrund der maximal notwendigen Drehzahl, die vom Kollektor benötigt wird. Dabei muss sich der Kollektor innerhalb einer Stunde um 180° drehen. Anschließend folgen die durchgeführten Berechnungen.

### Drehzahlen & Winkelgeschwindigkeiten:

$$\omega_{max,Kollektor} = \frac{180^\circ}{1h} = 0.052 \text{ } 1/min \quad (4)$$

$$n_{max,Kollektor} = \frac{\omega_{max,Kollektor}}{2*\pi} = 0.008 \text{ rpm} \quad (5)$$

$$n_{max,Mittelstufe} = n_{max,Kollektor} * i_{Drive} = 1.28 \text{ rpm} \quad (6)$$

$$n_{max,Servo} = n_{max,Mittelstufe} * i_{Reducer} = 256.67 \text{ rpm} \quad (7)$$

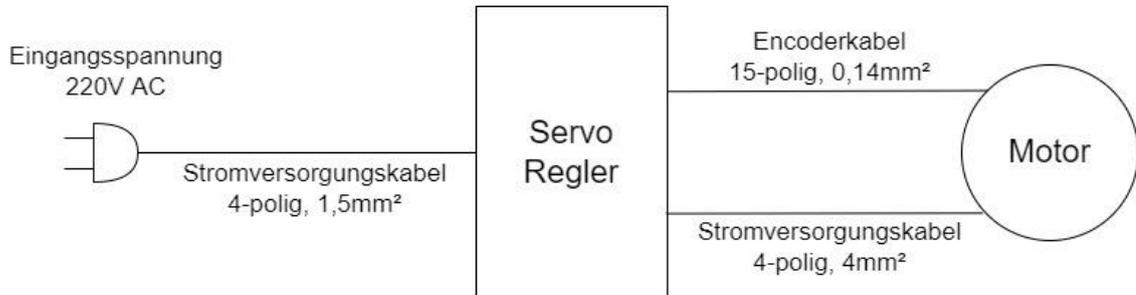
### Drehmomente:

$$M_{max,Servo} = \frac{M_{max,Mittelstufe}}{i_{Reducer}*\eta_{Reducer}} = 2.78 \text{ Nm} \quad (8)$$

$$M_{max,Kollektor} = M_{max,Mittelstufe} * i_{Drive} * \eta_{Drive} = 30.8 \text{ kNm} \quad (9)$$

## 3.4 Verkabelung

Dieses Kapitel behandelt die Verkabelung, die zwischen Servomotor und Servo-Regler notwendig ist, um den Rotationstest durchzuführen. Abbildung 39 bildet diese Verkabelung schematisch ab.



*Abbildung 39: Verkabelung Servo-Regler und Servomotor*

Der gesamte Antriebsstrang, der für den Rotationstest verwendet wird, wurde im Rahmen einer vorangegangenen Masterarbeit zusammengestellt. Da es zu dem Zeitpunkt jedoch so vorgesehen war, dass der Servomotor und der Servo-Regler auch im Regelbetrieb verwendet werden, betragen die Kabellängen des Encodersignalkabels und des Stromversorgungskabels für den Servomotor nur etwa 3 m. Beim Rotationstest muss die verantwortliche Person jedoch den Servo-Regler von außerhalb der Anlage bedienen. Deswegen war es notwendig diese beiden Kabel mit neuen Kabeln mit einer Länge von etwa 10 m zu ersetzen. Der Kabeltausch ist im Anhang dokumentiert.

### 3.5 Kontrollmodus

Für den Rotationstest reicht es aus, die Drehzahl des Motors zu steuern. Dafür wurde der Kontrollmodus „Speed Control (Internal Speed Selection) Operation“ ausgewählt. Die Auswahl des Kontrollmodus folgt über die Einstellung eines Parameters und wird in 3.6.1 noch näher erläutert. Im Speed-Control-Modus können über den Status der 3 Eingänge /P-CON, /P-CL und /N-CL die Drehrichtung geändert werden und zwischen drei voreingestellten Drehzahlen (PA301, PA302, PA303) gewechselt werden. Der Status (ON oder OFF) dieser 3 Eingänge kann entweder über analoge Eingangssignale gesteuert werden, wofür weitere Komponenten (u.a. MCU-Board) benötigt werden. Der Status der Eingänge kann auch durch Parameter am Servo-Regler im Vorhinein eingestellt werden. Das macht das Betreiben des Motors ohne externe Komponenten möglich.

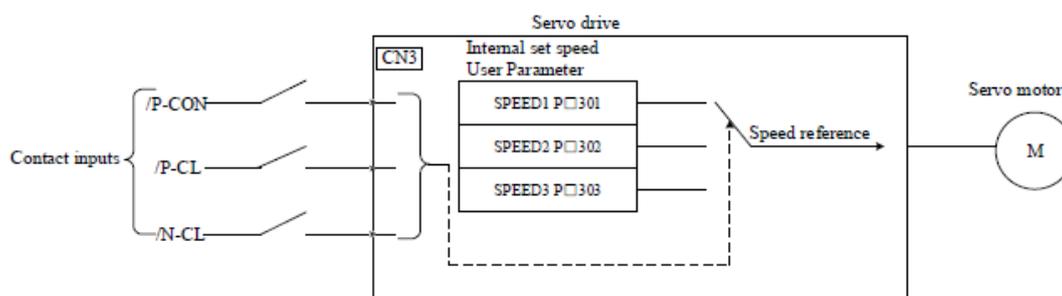


Abbildung 40: Speed Control Operation [15]

In Tabelle 7 ist zu sehen wie die Stussse dieser Eingänge zu kombinieren sind, um die gewünschten Drehzahlen und Drehrichtungen einzustellen. Es ist zu beachten, dass die positive Rotation einer Rotation gegen den Uhrzeigersinn entspricht und die negative Rotation einer Rotation mit dem Uhrzeigersinn entspricht, wie in Abbildung 41 abgebildet.

Eingänge			Drehrichtung	Aktion
/PCON	/PCL	/NCL		
OFF	OFF	OFF	Positive Rotation	Keine Rotation
	OFF	ON		Positive Rotation mit Speed 1 (PA301)
	ON	OFF		Positive Rotation mit Speed 2 (PA302)
	ON	ON		Positive Rotation mit Speed 3 (PA303)
ON	OFF	OFF	Negative Rotation	Keine Rotation
	OFF	ON		Negative Rotation mit Speed 1 (PA301)
	ON	OFF		Negative Rotation mit Speed 2 (PA302)
	ON	ON		Negative Rotation mit Speed 3 (PA303)

Tabelle 7: Kombination Eingänge Servo-Regler [15]

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

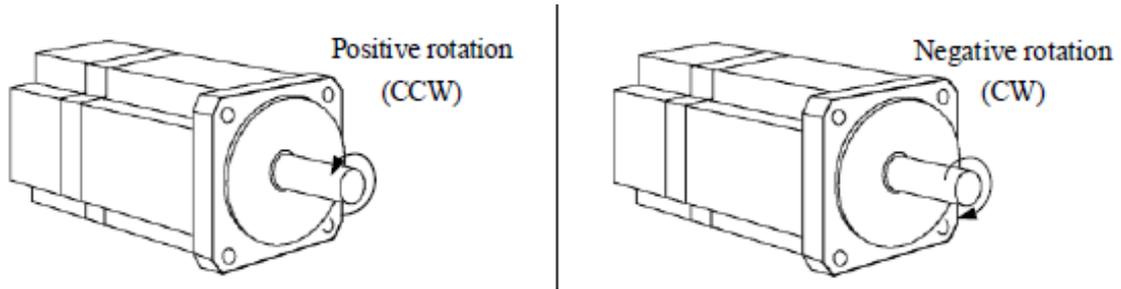


Abbildung 41: Drehrichtung Servomotor [15]

In Tabelle 9 ist zu sehen, wie man die Eingänge (/P-CON, /PCL, /NCL) auf den gewünschten Status einstellen kann. Jeder Eingang ist einem Parameter mit Bit-Nummer zugewiesen (Beispiel: /PCL – Parameter PA510, Bit-Nr. 2, also PA510.2). Der Bit-Nummer des jeweiligen Eingangs wird dabei eine Zahl von 0-9 zugewiesen. Es ist wichtig, dass die Bit-Nummer immer von der rechten Seite aus gezählt wird, wie in Tabelle 8 dargestellt.

Ändert man zum Beispiel den Parameter PA509.1 auf eine Zahl zwischen 1 und 8, so weist man dem Eingang /P-CON ein analoges Eingangssignal entsprechend dem zugeordneten Pin aus Channel 3 (CN3) zu, wie in Tabelle 9 zu sehen ist. Das wird nur benötigt, wenn man den Servomotor mit einer externen Geschwindigkeits-, Drehmoment- oder Positionierungsreferenz betreiben will. Setzt man diese Parameter auf 0 oder 9, so weist man diesen ein permanentes „ON“ oder „OFF“ zu.

Betriebsmodus Servo-Regler	Achsen- Bez.	Parameter Nr.	Bit Nr. 3	Bit Nr. 2	Bit Nr. 1	Bit Nr. 0
P	A	509	9	9	9	9
User parameter mode	Achse A		/NOT	/POT	/P-CON	/S ON

Tabelle 8: Schema zur Parametereinstellung beispielsweise für PA509

Um beispielsweise mit dem voreingestellten Speed 2 in positiver Drehrichtung zu operieren, muss man den Eingang /P-CON auf OFF (PA509.1 = 0 - Always invalid), den Eingang /PCL auf ON (PA510.2 = 9 - Always valid) und den Eingang /NCL auf ON (PA510.3 = 9 - Always valid) setzen.

Die endgültigen Parametereinstellungen werden in Kapitel 3.6 noch genauer behandelt.

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

Signal	Input Signal	CN3 Pin no.								No Connection Required	
		14 (IN1)	15 (IN2)	16 (IN3)	17 (IN4)	39 (IN5)	40 (IN6)	41 (IN7)	42 (IN8)	Always invalid	Always valid
Servo ON PA509.0	/S-ON	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Proportional action reference PA509.1	/P-CON	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Positive-side over travel prohibited PA509.2	POT	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Negative over travel prohibited PA509.3	NOT	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Alarm reset PA510.0	/ALM-RST	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Deviation counter reset PA510.1	/CLR	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Positive-side external torque limit PA510.2	/PCL	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Negative side external limit PA510.3	/NCL	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Gain switch PA511.0	/G-SEL	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Select internal position setting PA511.1	/POS0	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Select internal position setting PA511.2	/POS1	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Select internal position setting PA511.3	/POS2	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Reference point switch PA512.0	/HOME-REF	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Allow position start PA512.1	/POS-START	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Position change step PA512.2	/POS-STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
Homing start PA512.3	/START-HOME	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9

*Tabelle 9: Belegung Eingänge Servo-Regler [15]*

## 3.6 Modifizierte Parameter am Servo-Regler

In diesem Abschnitt wird dokumentiert, welche Parameter am Servo-Regler verändert wurden, welche Funktion diese Parameter haben und warum diese Funktionen implementiert wurden.

### 3.6.1 Kontrollmodusparameter PA000

Dieser Parameter legt fest, in welchem Kontrollmodus der Servomotor betrieben wird. Es wird der Kontrollmodus „Speed Control (selection of internal speed)“ verwendet. Der Parameter PA000 wird also auf H.0030 eingestellt. Andere mögliche Kontrollmodi wären zum Beispiel über Drehmomentregelung oder über Positionssteuerung. Diese weiteren Kontrollmodi sind in Tabelle 10 ersichtlich. Im Regelbetrieb des RD01 PTCs würde der „Position Control (pulse train reference)“- Kontrollmodus verwendet werden.

User Parameter	Control modes
PA000	<b>H.0000</b> <b>Speed control (analog voltage reference)</b> Control RPM of servo motor by reference of analog voltage speed in case of: · required RPM control · feedback from frequency dividing output by encoder of servo; setting position loop in command controller; and implementation of position control
	<b>H.0010</b> <b>Position control (pulse train reference)</b> Control position of servo motor via reference of pulse train position. Control position via number of incoming pulse and control speed via frequency of incoming pulse. Use it if in need of positioning operation.
	<b>H.0020</b> <b>Torque control (analog voltage reference)</b> Control output torque of servo motor by analog voltage torque reference which should be used if required amount of torque for operations such as pressing.
	<b>H.0030</b> <b>Speed control (selection of internal set speed)</b> With 3 input signals (/P-CON, /P-CL and /N-CL), speed is controlled by operation speed set by servo in advance. 3 operation speeds can be set for the servo without analog voltage reference.

*Tabelle 10: Kontrollmodi Servo-Regler [15]*

#### 3.6.2 Parameter zur Belegung der Eingänge PA509, PA510

Die Parameter zur Belegung der Eingänge geben im Speed-Control-Kontrollmodus die Drehzahl, sowie die Drehrichtung vor, wie in Tabelle 7 ersichtlich ist. In Tabelle 9 ist zu sehen, welcher dieser Eingänge welchem Bit der Parameter entspricht.

Der Eingang /P-CON entspricht Bit-Nr. 1 des Parameters PA509, also PA509.1. Der Eingang /PCL entspricht Bit-Nr. 2 der Parameters PA510, also PA510.2. Der Eingang /NCL entspricht Bit-Nr. 3 des Parameter PA510, also PA510.3.

Die Parameter zur Belegung der Eingänge wurden wie folgt eingestellt (Bit-Nr. wird von rechts gezählt und beginnt bei 0):

- PA509 = H9999  
Das Bit Nummer 1 repräsentiert den Eingang /P-CON und steuert, wie in Tabelle 7 ersichtlich, die Drehrichtung im gewählten Kontrollmodus (0 – Positive Rotation, 9 – Negative Rotation).  
Ebenfalls relevant ist das Bit Nummer 0, also /S ON. Dieses Bit steuert, ob sich der Servo bei Anschluss an eine Stromquelle sofort dreht oder nicht (0 – Servo OFF, 9 – Servo ON).
- PA510 = H9000  
Zweites und drittes Bit repräsentieren die Eingänge /PCL und /NCL und steuern, wie in Tabelle 7 ersichtlich, die Drehzahl im gewählten Kontrollmodus.

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

#### 3.6.3 Interne Geschwindigkeitsreferenzparameter PA301, PA302, PA303

Diese 3 Parameter legen die Drehzahl fest, mit der sich der Motor im Speed-Control-Kontrollmodus dreht. In diesem Fall wurden diese 3 Parameter allesamt auf den Wert 257 eingestellt, was einer Drehzahl von 257 rpm entspricht. Im Falle einer fehlerhaften Drehzahlauswahl im Speed-Control-Kontrollmodus kann somit nicht unabsichtlich eine falsche Drehzahl eingestellt werden. Diese Drehzahl wurde anhand Formel 7 ermittelt.

Die Parameter wurden auf folgende Werte eingestellt:

- PA301 = 257
- PA302 = 257
- PA303 = 257

PA301	Internal set speed 1			
	Setting range	Setting unit	Factory setting	Power reboot
	0-6000	1 rpm	100	Not required
PA302	Internal set speed 2			
	Setting range	Setting unit	Factory setting	Power reboot
	0-6000	1 rpm	100	Not required
PA303	Internal set speed 3			
	Setting range	Setting unit	Factory setting	Power reboot
	0-6000	1 rpm	100	Not required

*Tabelle 11: Geschwindigkeitsreferenzparameter [15]*

3.6.4 Drehmomentbegrenzungsparameter PA403, PA404

Das im Antriebsstrang verwendete Schneckenradgetriebe, der Drive, hat ein maximales Eingangsdrehmoment von 500 Nm. Um dieses maximale Eingangsdrehmoment nicht zu überschreiten, wurden beide Drehmomentbegrenzungsparameter auf 55 % eingestellt. Das entspricht einem maximalen Motormoment von 2.75 Nm, da das Nennmoment des Servomotors 5 Nm beträgt. Weiters wurde dieses Drehmomentlimit sowohl bei Rotation in positiver Drehrichtung (PA403) als auch bei Rotation in negativer Drehrichtung (PA404) festgelegt.

Die Parameter wurden auf folgende Werte eingestellt:

- PA403 = 55
- PA404 = 55

PA403	Positive torque limit			
	Setting range	Setting unit	Factory setting	Power reboot
	0-300	1%	300	Not required
PA404	Negative torque limit			
	Setting range	Setting unit	Factory setting	Power reboot
	0-300	1%	300	Not required

Set value of this parameter is constantly valid. Set unit corresponds to a percent (%) of motor rated torque. Even through the value is set to exceed the maximum torque of the used servo motor, it will still be limited to be the actual maximum torque of the servo motor. Factory setting: equivalent to 300%.

No internal torque limit  
(Maximum torque can output)

With internal torque limit

Tabelle 12: Drehmomentbegrenzungsparameter [15]

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

#### 3.6.5 Soft-Start Parameter: PA305, PA 306

Um das Anfahrmoment beim Rotationstest zu reduzieren, wurden die Soft-Start-Parameter PA305 und PA306 verwendet. Der Wert wurde auf das Maximum von 10000 eingestellt. Für eine Beschleunigung von 0 rpm auf 1000 rpm würde das einer Dauer von 10000 ms oder 10 s entsprechen, wie in Tabelle 13 ersichtlich ist. Da in diesem Fall jedoch nur auf eine maximale Drehzahl von 257 rpm beschleunigt wird, entspricht die Dauer, bis diese Drehzahl erreicht wird etwa 2500 ms oder 2.5 s.

Die Parameter wurden auf die folgenden Werte eingestellt:

- PA305 = 10000
- PA306 = 10000

PA305	Positive torque limit			
	Setting range	Setting unit	Factory setting	Power reboot
	0-10000	1 ms	0	Not required
PA306	Negative torque limit			
	Setting range	Setting unit	Factory setting	Power reboot
	0-10000	1 ms	0	Not required

While inputting step speed reference or selecting internal speed setting, smooth speed control is available (set "0" for common speed control).  
Setting values are listed as below.

- P 305 : time required from the OFF state to the speed of 1000r/min
- P 306 : time required from the speed of 1000r/min to the OFF state

Tabelle 13: Soft-Start Parameter [15]

## 3.7 Ablauf des Tests

Bevor mit dem Test begonnen werden kann, müssen Sicherheitsmaßnahmen kontrolliert werden und ein Dry-Run absolviert werden. Beim Dry-Run wird der Motor das erste Mal in Betrieb genommen und erlernt, wie man die Drehrichtung des Motors ändert. Dabei dreht sich der Motor jedoch frei und hängt nicht am Antriebsstrang des Kollektors. Die Details zu den Sicherheitsmaßnahmen und dem Dry-Run sind im Manual im Anhang nachzulesen.

### Sicherheitsmaßnahmen für den Rotationstest:

- Zuvor absolvierter Dry-Run
- Zuvor Kontrolle, ob keine Swivel-Joints montiert sind (Rohrdrehgelenk, durch das der rotierende Teil des Kollektors, mit dem nicht rotierenden Teil des Kollektors verbunden ist)
- Zuvor Kontrolle, ob keine Kabel die Schienen kreuzen
- Einhaltung der Testanordnung wie in Abbildung 42 dargestellt

Der Test besteht aus zwei ganzen Rotationen des Kollektors, je eine Rotation pro Drehrichtung. Diese beiden Rotationen erfolgen mit der maximal notwendigen Drehzahl des Kollektors. Dabei ist es erforderlich, dass während der gesamten Dauer des Rotationstests, welche etwa 4 Stunden betragen wird (2 Stunden pro Rotation), 4 Mitarbeiter um den Kollektor verteilt den Ablauf beobachten. Die Hauptaufgabe der 4 Mitarbeiter ist die Beobachtung der Laufräder auf den Schienen. Falls sich eine Entgleisung anbahnt können die Beobachter ein akustisches Signal an den Bediener des Servo-Reglers geben, damit dieser die Rotation stoppt. Die geringe Anzahl der Beobachter in Relation auf die Dimension des Kollektors wurde aufgrund der geringen Drehzahl gewählt. Die Anordnung beim Test ist in Abbildung 42 dargestellt.

Um zu kontrollieren, ob die Übersetzung des Antriebes korrekt ist, wird es notwendig sein die Zeit für eine Rotation beim Rotationstest zu stoppen. Da die eingestellte Drehzahl am Servo-Regler (267 rpm) knapp höher ist als die tatsächliche maximale Drehzahl (266.67 rpm), wird eine Rotation 1 h, 59 min, 50 sek dauern. Eine derartig genaue Zeitmessung ist ohne geeignete Hilfsmittel nicht möglich. Für diesen Test ist eine derartig hohe Genauigkeit jedoch auch nicht zweckmäßig.

### 3. Planung eines Rotationstests für die Anlage

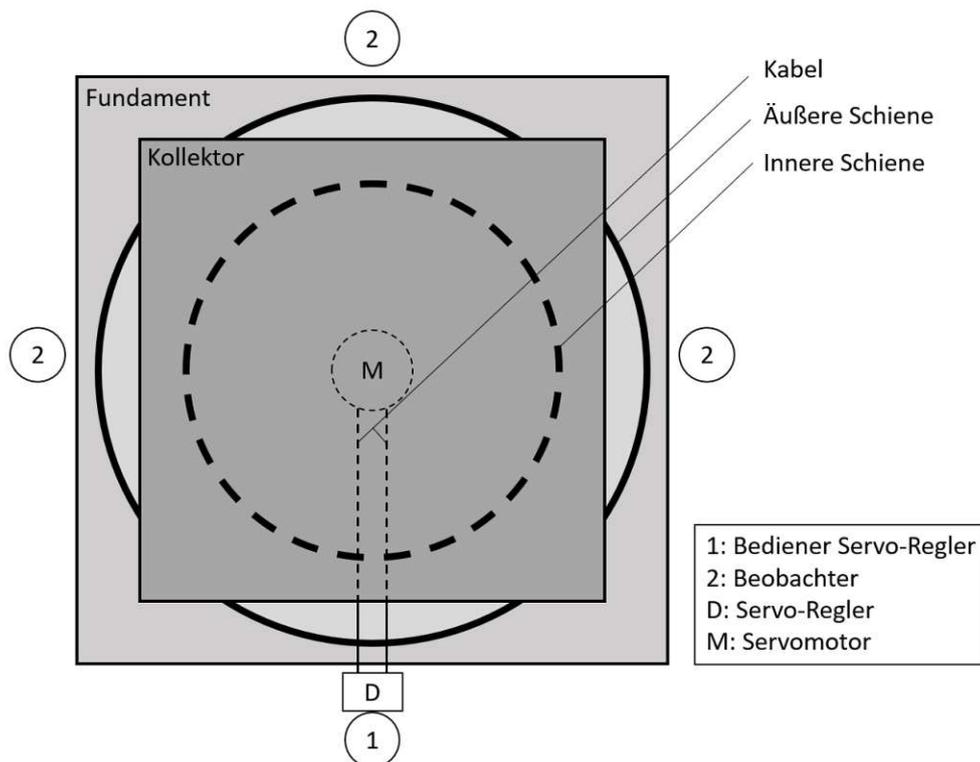


Abbildung 42: Anordnung Rotationstest

#### Testablauf:

1. Einnehmen der Testanordnung
2. Einschalten des Servo-Reglers und Blick auf die Uhr
3. Nach 2 Stunden Ändern der Drehrichtung am Servo-Regler
4. Ausschalten des Servo-Reglers
5. Wiedereinschalten des Servo-Reglers und Blick auf die Uhr
6. Nach 2 Stunden Ausschalten des Servo-Reglers

## 4 Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

Dieses Kapitel behandelt Methoden, wie die Kommunikation zwischen MCU-Board (Micro Controller Unit - Board) in Abu Dhabi und Developer in Österreich erfolgen kann. Die Aufgaben des MCU-Boards sind die Steuerung des Nachführsystems und das Sammeln von Sensordaten. Anhand dieser Daten können wichtige Kollektorkennzahlen wie thermischer oder optischer Wirkungsgrad ermittelt werden. Da sich das MCU-Board in Abu Dhabi befindet, ist es notwendig mit diesem von Österreich aus zu kommunizieren. In diesem Kapitel werden Methoden untersucht, welche die Kommunikation ermöglichen. Bei dem für das Projekt vorgesehenen MCU-Board handelt es sich um das Modell STM32303E-EVAL [16]. Dieses Kapitel umfasst auch einen Proof-of-Concept Teil. In diesem wird eine MCU der ESP32 Mikrocontrollerfamilie [17] verwendet.

Ein wichtiges Werkzeug, um diese Kommunikation zu realisieren ist ein IoT-Hub (Internet of Things - Hub), welcher benötigt wird, um die vom MCU gemessenen Sensordaten online erreichbar zu machen. In weiterer Folge können mithilfe des IoT-Hubs die Sensordaten (Temperaturen, etc.) überwacht werden.

Das Internet of Things besteht aus allen Geräten, die mit dem Internet verbunden sind. Das können Smartphones, Tablets, etc. sein. Aber auch Straßenleuchten, Kühlschränke oder Thermostate, also Geräte, die man nicht intuitiv mit dem Begriff Internet verknüpft, gehören zum IoT. Mit 2020 waren etwa 250 Milliarden Geräte mit dem Internet verbunden [18]. Abbildung 43 zeigt die Struktur einer Anwendung, die mittels IoT-Hub mit dem Internet verbunden ist.

#### 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

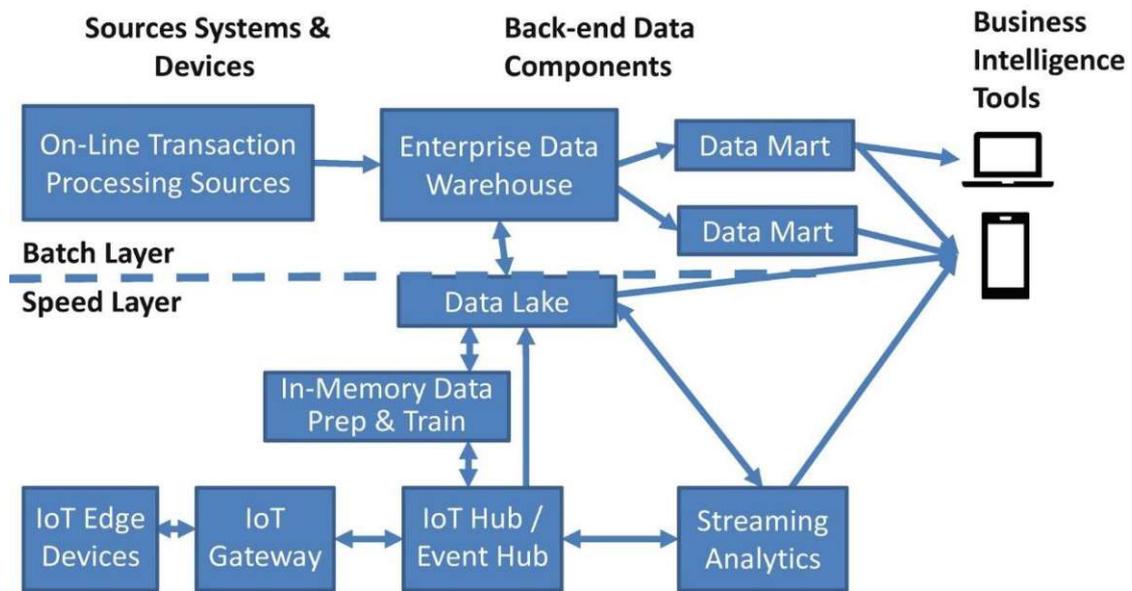


Abbildung 43: IoT-Anwendung Referenzarchitektur [19]

Verwendet man beispielsweise Microsoft Azure als IoT-Anbieter, so stellt die MCU das IoT-Edge Device dar und als IoT-Hub/Event Hub verwendet man, wie in Abbildung 43 dargestellt, entweder Azure IoT Hub oder Azure IoT Central [19]. Der IoT-Hub ist ein Dienst, der auf der Cloud-Computing-Plattform gehostet wird und die Kommunikation zwischen IoT-Anwendung und Geräten ermöglicht. Im Data Lake können sowohl strukturierte als auch unstrukturierte Daten im Ist-Zustand abgelegt werden, oder zuvor durch die Schnittstelle In-Memory Data Prep & Train strukturiert werden. Für In-Memory Data Prep & Train kann Azure Databricks verwendet werden, für Data Lake kann Azure Data Lake Storage oder Azure Cosmos Database verwendet werden. In das Enterprise Data Warehouse gelangen dann relationale Daten, die bereits für anwendungsspezifische Analysen vorbereitet sind. Dafür kann Azure SQL Database oder SQL Data Warehouse verwendet werden. Die Data Marts enthalten Kopien dieser Teildatenbestände. Dafür kann der Azure Analysis Service verwendet werden. Via Streaming Analytics können Daten nicht in Batches sondern kontinuierlich weiterverarbeitet und analysiert werden. In Microsoft Azure können dafür die Dienste Azure Stream Analytics oder Azure Time Series Insights verwendet werden. Durch die BI Tools können dann Daten aus all diesen Quellen kompakt und übersichtlich in Dashboards dargestellt werden.

Verwendet man Amazon Web Services oder Google Cloud als IoT-Anbieter, so muss man diese Services mit äquivalenten Services vom jeweiligen Anbieter ersetzen.

### 4.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Kapitels ist die Erstellung eines Konzepts zur Kommunikation zwischen RD01 PTC und Developer in Österreich.

Der erste Schritt ist das Erlangen von allgemeinem Wissen über das IoT und in weiterer Folge die Identifizierung einer geeigneten Plattform, mithilfe welcher die Anwendung realisiert wird, über welche die Kommunikation erfolgt. Diese Identifizierung wird mithilfe einer Literaturanalyse über IoT-Plattformen und -Anwendungen realisiert.

Danach muss überprüft werden, ob die gewählte Plattform tatsächlich für die Anwendung des RD01 PTCs geeignet ist. Die Überprüfung erfolgt durch die Erstellung einer Proof-of-Concept Anwendung. Ziel der Proof-of-Concept Anwendung ist das Live-Streaming von Sensordaten.

Als letztes wird überprüft, ob die Kosten für die gewählte Plattform akzeptabel sind. Deswegen wird eine Kostenanalyse der in der Proof-of-Concept Anwendung verwendeten IoT-Plattform durchgeführt.

### 4.2 Literaturanalyse

In diesem Kapitel wurde eine Literaturanalyse zu über das IoT und IoT-Plattformen (4.2.1), wie z.B. Microsoft Azure und Google Cloud, und zu spezifischen IoT-Anwendungen (4.2.2) durchgeführt. Das Ziel der Literaturanalyse ist in erster Linie das Erlangen von Grundwissen über das IoT und IoT-Plattformen und in weiterer Folge das Erlangen von Wissen über die Erstellung solcher Anwendungen. Der erste Teil der Literaturanalyse ist also sensitiv über das gesamte IoT (Tags: „IoT“, „IoT Hub“, „IoT Vendor“, ...). Nachdem durch den ersten sensitiven Teil der Literaturanalyse ein Wissensfundament aufgebaut wurde, wird die Analyse dann spezifischer in Richtung IoT-Anwendungen (Tags: „MCU Communication Microsoft Azure“, „MCU Communication Cloud“, ...). Das Einschlusskriterium für die gefundene Literatur ist die Untersuchung oder Verwendung von Microsoft Azure, Amazon Web Services oder Google Cloud. Es wurden auch Arbeiten ausgeschlossen, die sich zu großen Teilen mit anderen Arbeiten überlappen. Als Suchmaschine für die Literaturanalyse wurde ausschließlich Google Scholar verwendet. Es wurden insgesamt 33 Arbeiten untersucht. Die untersuchten Arbeiten sind im Anhang in einer Literaturtabelle kurz zusammengefasst und falls Arbeiten ausgeschlossen wurden, ist die Begründung in der Literaturtabelle angeführt.

### 4.2.1 IoT-Plattformen

Zur Kommunikation zwischen Developer und Board ist es notwendig, das Board mit dem Internet zu verbinden. Für diese Verbindung wird ein IoT-Hub (Internet of Things) benötigt. Dafür wird eine der IoT-Plattformen Microsoft Azure, Amazon Web Services oder Google Cloud genutzt. Ein nutzungsbasierter Vergleich dieser drei Anbieter wurde in [20] durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass AWS den größten Marktanteil hat und die meisten Device-Device, sowie Device-Cloud Hub Verbindungen aufweist. Microsoft Azure zeichnet sich vor allem durch die guten Datenvisualisierungstools aus. Auch Google Cloud stellte sich als zuverlässiger Anbieter heraus.

Eine andere Studie [21] verglich ebenfalls IoT-Plattformen, jedoch in einem breiteren Spektrum. Neben den IoT-Plattformen AWS, Microsoft Azure und Google Cloud wurden auch kleinere Plattformen wie IBM BlueMix, ThingSpeak, ThingWorx, Zetta und Nimbits untersucht. Hier wurde der Schluss gezogen, dass Microsoft Azure und Nimbits die vielversprechendsten Anbieter sind. Als Vorteil von AWS wird die Skalierbarkeit durch die guten IaaS (Internet-as-a-Service) Angebote erwähnt. Google Cloud wird gutgeschrieben, dass deren Compute Engine, App Engine und Container Engine sehr fortschrittlich sind.

Eine weitere Studie [22], die IoT-Plattformen verglich, beurteilte diese nach 6 Kategorien. Diese Kategorien sind „Pricing“, „Availability“, „Confidentiality“, „Secrecy“, „Tier Account“ und „Service Level Agreement“ (Abbildung 44). Die Studie zeigte, dass Microsoft Azure in den Kategorien Pricing und Availability besser abschneidet, während AWS in der Kategorie Tier Account besser abschneidet.

<b>Factors</b>	<b>Sub-Factors</b>
Pricing	Currencies, purchasing ways, the minimum billing cycle and pricing calculator.
Availability	Calculation uptime percentage and Error Rate.
Confidentiality	Confidentiality countermeasures.
Secrecy	Data in transit and data in rest.
Tier Account	Provided services, period of free tier and user's data continuance.
SLA	SLA provided ratio of different services: Virtual Machine, Cloud Storage, DNS, CDN

Abbildung 44: Kategorisierung IoT-Plattform Vergleich [22]

#### 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

In einer anderen Arbeit [23] wurde eine systematische Literaturuntersuchung zu IoT-Applikationen durchgeführt. Dabei wurden verschiedene IoT-Applikationen in die in Abbildung 45 zu sehenden Untergruppen kategorisiert. Danach wurden die Studien tabellarisch, einzeln für jede Kategorie, aufgelistet. In diesen Tabellen wurden für jede Studie die Aspekte Hauptkontext, Vorteile, Nachteile und Neuheiten beurteilt. Abschließend wurde eine statistische Auswertung darüber gemacht, welcher Anteil an Studien welchen Untergruppen angehört und was der häufigste Hauptkontext dieser Studien war. Die größten drei Untergruppen sind dabei „Smart-city“ (29%), „Health-care“ (20%) und „Commercial“ (14%). Die häufigsten beiden Hauptkontexte sind „Quality-of-Service-awareness“ (21 Studien) und „Intelligent Monitoring“ (17 Studien).

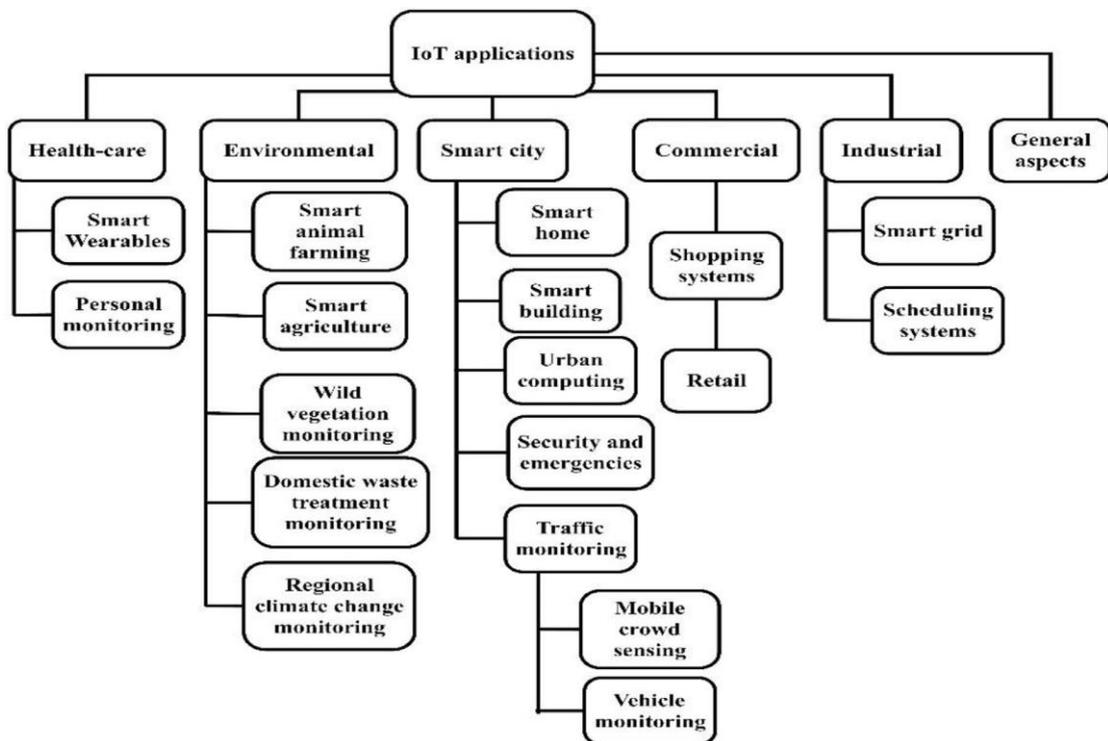


Abbildung 45: Kategorisierung IoT-Applikationen [23]

#### 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

---

Eine weitere Studie [24] befasste sich damit, wie sich die Performance des Microsoft Azure IoT-Hubs verändert, wenn dieser sehr große Datenmengen verarbeiten muss. Dafür wurden mithilfe des Clemson Supercomputers enorme Datensätze generiert, welche die Sensordaten einer großen Produktionsstätte simulieren sollen. Es wurden unterschiedliche Frequentierungen der Datenpakete, unterschiedliche Zusammensetzungen der Datenpakete und unterschiedliche Größen der Datenpakete untersucht. Diese wurden jeweils mit variierenden IoT-Hub Konfigurationen getestet. Es stellte sich heraus, dass das Senden von Datenpaketen einzelner Sensoren in zu hohen Frequenzen, die IoT-Hubs zum Teil überwältigte und somit einen negativen Effekt hatte. Das Hinzufügen von Partitionen stellte sich als hilfreich heraus, da es die Latenz verringert, ohne die Kosten signifikant zu erhöhen. Die optimale Nachrichtengrößen ergab sich in der Größenordnung von einigen Kilobytes.

In einer anderen Studie [25] wurde eine Kosten- und Leistungsevaluierung eines IoT-Systems, bestehend aus einem Azure IoT-Hub und OPC-UA (Open Plant Communication – Universal Architecture) durchgeführt. OPC-UA ist ein Standard für den Datenaustausch, der die Kommunikation zwischen diversen industriellen Applikationen ermöglicht. Bei der Evaluierung wurde ein industrielles Szenario imitiert, indem 1500 Sensoren, von denen 600 ihre Werte einmal pro Sekunde verändern, simuliert wurden. Es zeigte sich, dass mobile Internetverbindungen im Gegensatz zu kabelgebundenen Internetverbindungen um ca. 400 ms längere Reaktionszeiten (Mittelwerte 1150 ms vs. 770 ms) vorwiesen. Für Anwendungen in der simulierten Größenordnung ergaben sich Kosten von ca. 5000 \$ pro Monat für den gesamten Cloud Service.

### 4.2.2 Spezifische Anwendungen

In [26] wurde mittels Microsoft Azure eine Web Anwendung eingerichtet um die Daten eines Gyroskops und eines Beschleunigungssensors in Echtzeit wiederzugeben. Das Gyroskop und der Beschleunigungssensor sind mit einem Development Board (ESP32 Microcontroller) verbunden. Dafür wurde der Azure IoT Hub verwendet, welcher zur Plattform Microsoft Azure gehört. Zur Einrichtung des Azure IoT Hubs wurde noch ein zusätzliches MCU Board (Azure IoT DevKit MX development board) verwendet. Große Vorteile dieser Cloud Lösung sind gute Überwachbarkeit, Skalierbarkeit, Stabilität und Sicherheit.

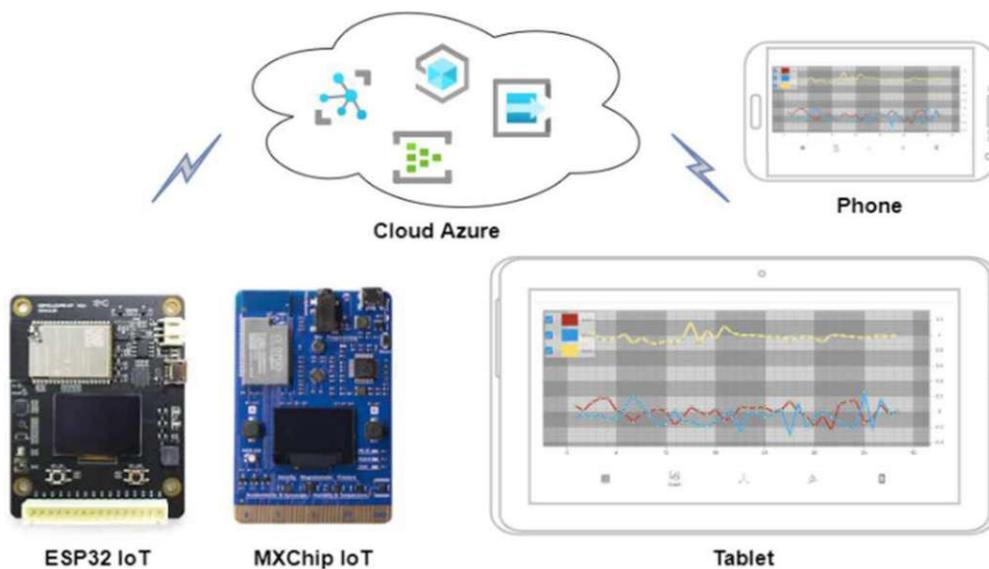


Abbildung 46: Benötigte Komponenten zum Monitoring mittels IoT Hub [26]

In einer weiteren Arbeit [27] wurde ebenfalls ein IoT Hub eingerichtet, um die Daten eines Sensors in einer Cloud darzustellen. Dieser Sensor misst Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit sowie Luftdruck und gibt diese über einen RaspberryPi 4 MCU an den Microsoft Azure Cloud Service weiter. In weiterer Folge wurden diese Daten in einer SQL-Datenbank gespeichert. Diese SQL-Datenbank kann mithilfe des Stream Analytics Service mit dem IoT-Hub verbunden werden. Zur Visualisierung wurde der Power BI Service verwendet. Zweck dieser Arbeit war nur der „Proof-of-Concept“, also die Evaluierung, ob diese Methode für derartige Anwendungen geeignet ist. Das Endergebnis, also die Visualisierung der Sensordaten mittels Power BI ist in Abbildung 47 dargestellt. Die Sprungstellen in den Kurven zeigen, dass der Sensor nach 6 Tagen in Innenräumen nach Außen verlegt wurde.

#### 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

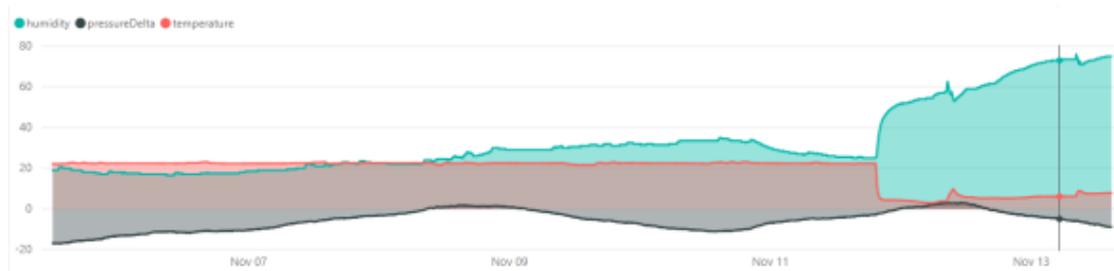


Abbildung 47: Visualisierung Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Temperatur in Power BI [27]

Eine weitere Arbeit [28] beschäftigt sich mit der Feuchtigkeitsmessung von Erde. Der IoT-Hub wurde auf einer Raspberry Pi MCU eingerichtet, die via MQTT- und Mosquitto-Protokoll mit einer weiteren MCU kommuniziert. Node ist eine grafische Programmierumgebung von IBM, die oft für die Einrichtung von IoT-Anwendungen benutzt wird. Die AWS EC2 IoT-Plattform läuft hier auf einem Raspberry Pi 3 Mikrocomputer.

Ein weiteres Paper [29] führte einen Vergleich von Mikrocontrollereinheiten durch, die spezifisch für IoT-Anwendungen ausgelegt wurden. Die verglichenen MCUs sind ESP-Wroom-32, ESP8266-12E, CC3220MODSF und XB2B-WFPS-001. Es zeigte sich, dass MCUs der ESP32 Mikrocontrollerfamilie eine ausgezeichnete Wahl für die Erstellung von IoT-Anwendungen sind, da diese mit guter Performance überzeugen, preiswert sind und in unterschiedlichen Ausführungen für spezifische Anwendungen erhältlich sind. Nach dem Vergleich wurde mithilfe einer ESP-WROOM-32 MCU eine portable Oszilloskop-Anwendung erstellt.

### 4.3 Vergleich der IoT-Plattformen (PaaS)

In diesem Kapitel werden die 3 IoT-Plattformen Microsoft Azure, Amazon Web Services und Google Cloud gegenübergestellt. IoT-Plattformen werden auch als PaaS (Platform-as-a-Service) bezeichnet. Es werden jeweils die Softwarelösungen der Anbieter (SaaS – Software-as-a-Service) tabellarisch dargestellt. Dabei wird in die 3 Kategorien unterschieden.

#### 4.3.1 Internet of Things

Die hier aufgelisteten Softwarelösungen sind die übergeordneten IoT-Plattformen. Bei Microsoft Azure können beispielsweise mit Azure IoT Hub und Azure IoT Central dieselben Dinge realisiert werden. Der Unterschied ist, dass Azure IoT Hub nicht so benutzerfreundlich wie Azure IoT Central ist. Azure IoT Central ist jedoch teurer, hat aber den Vorteil, dass einige Konfigurationsschritte wegfallen. Azure IoT Central ist also mehr auf Plug-and-Play (PnP) ausgelegt. In den jeweiligen Anwendungen können dann Geräte, Ressourcen, Datenbanken, etc. erstellt werden und miteinander verknüpft werden. Die Kosten für die IoT-Anwendungen sind abhängig von der Anzahl der Geräte, die mit der Anwendung verknüpft sind und der Anzahl der Nachrichten, die täglich über diese Anwendung verschickt werden. Je nach Geräteanzahl und monatlicher Nachrichtenanzahl, die diese Geräte versenden, können unterschiedliche Tarife gewählt werden.

Internet of Things	SaaS Bezeichnung	Details
Microsoft Azure	Azure IoT Hub	Verbinden, überwachen und verwalten Sie Milliarden von IoT-Assets.
	Azure IoT Central	Vom Proof of Concept (Konzeptnachweis) zum Proof of Value (Wertnachweis) wechseln.
AWS	AWS IoT 1-Click	Erstellen einer AWS Lambda Trigger mit nur einem Klick.
	AWS IoT Core	Verwalten von Geräten mit der Cloud.
	AWS IoT Analytics	Analytik für IoT-Geräte.
Google Cloud	Cloud IoT Core	Dienst zum Verwalten, Einbinden und Verbinden von IoT-Geräten.
	Edge TPU	ASIC zum Ausführen von ML-Inferenzen und KI auf Edge-Geräten.

*Tabelle 14: IoT-Lösungen verschiedener Anbieter [30–32]*

### 4.3.2 Datenbanken und -verwaltung

Durch Sensoren u.a. gemessene Daten können gespeichert werden, um später daraus Analysen erstellen zu können. Dafür ist eine Datenbank notwendig. In Tabelle 15 sind ausgewählte Lösungen der diversen Anbieter aufgelistet.

Es wird grundsätzlich in die folgenden 3 Datentypen unterschieden [27]:

- **Structured Data (Strukturierte Daten):**
  - Daten, die sauber in Zeilen und Spalten in Tabellen gespeichert werden können. Als Beispiel kann ein Temperatursensor genommen werden. Jeder Messwert besteht aus einem Zeitstempel und einem Temperatureintrag. Diese Daten eignen sich zur Speicherung in SQL-Datenbanken und werden auch als Relational Data (bezogene Daten) bezeichnet.
- **Semi-structured Data (Halbstrukturierte Daten):**
  - Diese Daten können nicht mehr so einfach in Tabellen abgelegt werden. Stattdessen werden die Daten mit Keys oder Tags versehen, um diese in eine Hierarchie zu systematisieren. Diese Daten werden auch NoSQL-Data oder Non-relational Data (nicht relationale Daten) bezeichnet.
- **Unstructured Data (Unstrukturierte Daten):**
  - Solche Daten haben keine Struktur und aufgrund des Struktur mangels fallen alle möglich Datentypen in diese Unterkategorie. Beispiele hierfür sind PDF-Dokumente oder Videos.

Weiters werden Daten nach Zugriffsfrequenz unterschieden:

- **Hot:** Für Daten auf die sehr oft zugegriffen wird.
- **Cool:** Für Daten auf die nicht so oft zugegriffen wird und die für mindestens 30 Tage gespeichert werden.
- **Archive:** Für Daten auf die sehr selten zugegriffen wird und die für mindestens 180 Tage gespeichert werden.

### Kosten einer SQL-Datenbank

Für die RD01-Pilotanwendung kann eine SQL-Datenbank verwendet werden. In diesem Unterpunkt wird aufgeschlüsselt, wie sich die Kosten für so eine Datenbank zusammensetzen. Als Beispiel hierfür wurde die Azure SQL-Datenbank gewählt.

Die wichtigste Konfigurationsmöglichkeit einer Einzeldatenbank ist das Kaufmodell. Dabei wird in 2 Kategorien unterschieden:

- DTU: Festgelegte der Datenbank zugewiesene Ressourcen, unflexibel, Kosten abhängig von DTUs (Database Transaction Units) und inbegriffenem Speicher, 3 verfügbare Tarife
- Virtueller Kern: Compute- und Speicherkapazitäten je nach Workloadanforderungen skalierbar, sehr flexibel, Kosten abhängig von der Speichergröße, der Sicherungsspeichergröße, der Anzahl der Sicherungen, der Mindest- und Maximalanzahl der verfügbaren CPU-Kerne, sowie deren Arbeitsspeicher

Die Mindestspeichermenge, die gekauft werden muss, beträgt 5 GB und kann in 1 GB Schritten konfiguriert werden. Für den billigsten Tarif fallen Kosten von 0.13 €/GB/Monat an [33]. Bezüglich Sicherung der Daten wird in Sicherungsspeicher (Aufbewahrungsdauer bis 35 Tage) und langfristiger Aufbewahrung (Aufbewahrungsdauer bis 10 Jahre) unterschieden. Für andere Datenbanksoftwarelösungen sind die Kostenabhängigkeiten sehr ähnlich.

Für die RD01-Pilotanwendung wäre eine DTU-Einzeldatenbank ausreichend. Diese ist zwar nicht so gut skalierbar wie eine Datenbank mit virtuellen Kernen, diese Skalierbarkeit wird jedoch für die RD01-Anwendung nicht benötigt.

#### 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

Datenbanken und -verwaltung	SaaS Bezeichnung	Details
Microsoft Azure	Azure Cosmos DB	Schnelle NoSQL-Datenbank mit offenen APIs für jede Größenordnung.
	Azure Data Factory	Hybriddatenintegration auf Unternehmensebene leicht gemacht.
	Azure SQL	Verwaltete, stets aktuelle SQL-Instanz in der Cloud.
AWS	Amazon Aurora	Leistungsstarke, verwaltete, relationale Datenbank.
	Amazon DynamoDB	Verwaltete NoSQL-Datenbank.
	Amazon Neptune	Vollständig verwalteter Graphdatenbankservice.
Google Cloud	AlloyDB for PostgreSQL	Vollständig verwaltete, mit PostgreSQL kompatible Datenbank für anspruchsvolle Unternehmensarbeitslasten.
	Cloud Bigtable	Cloudnative, spaltenorientierte Datenbank für große Arbeitslasten mit niedriger Latenz.
	Cloud SQL	Vollständig verwaltete Datenbank für MySQL, PostgreSQL und SQL-Server.

*Tabelle 15: Data Storage Lösungen verschiedener Anbieter [30–32]*

### 4.3.3 Analyseservices

Mithilfe der Analyseservices können Auswertungen der Daten aus Datenbanken oder in Echtzeit durchgeführt werden. Die Daten können in beliebigen Mengen und Geschwindigkeiten gesammelt werden und verarbeitet und visualisiert werden.

Analyseservices	SaaS Bezeichnung	Kurzebeschreibung
Microsoft Azure	Power BI Embedded	Für Power BI-Inhalte ist auch ein Whitelabeling möglich, damit schnell und einfach Dashboards und Analysen für Ihre Kunden in Ihre Apps integriert werden können.
	Azure Analysis Service	Für Unternehmen geeignete Analyse-Engine-as-a-Service.
	Azure Event Hubs	Empfangen von Telemetriedaten von Millionen von Geräten.
	Stream Analytics	Echtzeitanalyse für blitzschnelle Streamingdaten.
AWS	Amazon EMR	Einfache Ausführung von Big-Data-Frameworks.
	Amazon Quicksight	Schneller Geschäftsanalyse-Service.
	Amazon Kinesis	Analysieren von Video- und Datenstreams in Echtzeit.
Google Cloud	BigQuery	Data Warehouse für geschäftliche Agilität.
	Looker	Plattform für BI, Datenanwendungen und eingebettete Analysen.
	Dataflow	Streaminganalysen für die Stream- und Batchverarbeitung.

*Tabelle 16: Analyzelösungen verschiedener Anbieter [30–32]*

### 4.4 Erstellung einer Proof-of-Concept IoT-Anwendung

Als Proof-of-Concept wird in diesem Kapitel die Erstellung einer IoT-Anwendung dokumentiert. Die Anwendung beinhaltet das Monitoring von 2 Sensormesswerten (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) mithilfe der IoT-Plattform IoT-Central von Microsoft Azure. Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden mithilfe eines Adafruit DHT11 Sensors [34] gemessen. Der Sensor ist an eine ESPRESSIF ESP32 MCU [17] angeschlossen. Die Programmierung der MCU erfolgt über die Arduino IDE (Interactive Development Environment). Das Einrichten der Anwendung ermöglicht das dezentrale Monitoring der Sensordaten. Über einen Microsoft Account können dadurch die Sensordaten in Abu Dhabi befindlichen RD01 PTCs von Wien aus überwacht werden. Die Einrichtung erfolgte größtenteils analog zu folgender Anleitung [35].

#### 4.4.1 Verwendete Komponenten

##### [Dolt Espressif ESP32 DevKit V1 \[17\]](#)

Als MCU wurde ein Development-Kit mit einer Espressif ESP32 MCU (Abbildung 48) verwendet. Dieses und auch Development-Kits mit Espressif ESP8266 MCU werden sehr häufig in Arbeiten zum Thema IoT-Plattformen verwendet, da sich diese vor allem aufgrund deren WLAN- und Bluetooth-Module gut als Node-MCU für derartige Anwendungen eignen. Eine Node-MCU (dt. Knoten-MCU) dient als Schnittstelle zwischen Anwendung und Internet.



---

Abbildung 48: Dolt ESP32 DevKit V1 [17]

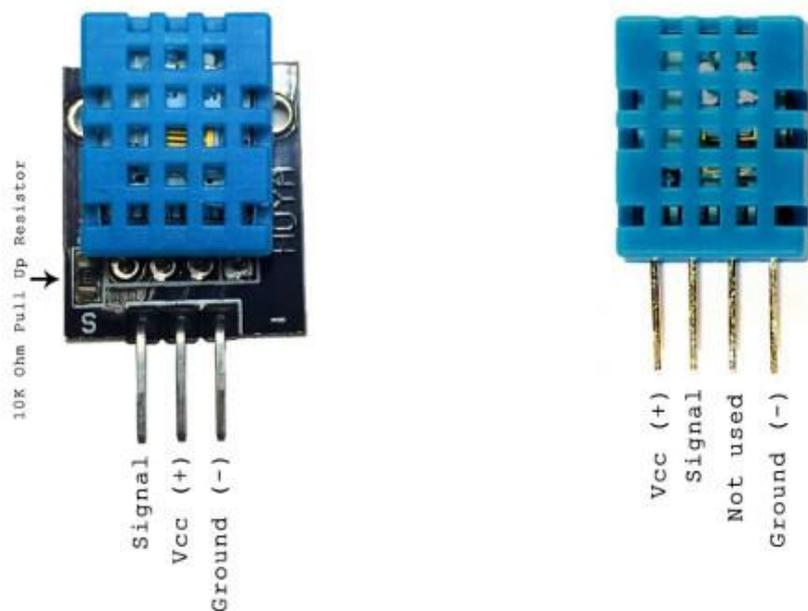
---

### Wichtige technische Details:

- Temperaturbereich  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Wi-Fi und Bluetooth über SPI/SDIO oder I2C/UART Interface
- PC-Konnektivität PC: USB, MCU: Mikro-USB
- 5 V/GND und 3.3 V/GND Header-Pins

### Adafruit DHT11 Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor [34]

Um Temperatur und Luftfeuchtigkeit zu messen wurde der Adafruit DHT11 Sensor verwendet. Von diesem gibt es eine Ausführung mit 3 und mit 4 Pins (Abbildung 49). In dieser Arbeit wurde die Variante mit 3 Pins verwendet.



*Abbildung 49: Adafruit DHT11 3- und 4-Pin Ausführung [36]*

---

### Wichtige technische Details:

- 3 V bis 5 V Versorgungsspannung
- Geeignet für Luftfeuchtebereich 20-80 % mit 5 % Toleranz
- Geeignet für Temperaturbereich von  $0\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$  mit  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  Toleranz
- Max. 1 Hz Samplingrate

## 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

### 4.4.2 Verdrahtung

Die Verdrahtung von PC, MCU und Sensor erfolgte analog zu Abbildung 50. Um die Verdrahtung kompakter zu gestalten und lose Teile zu vermeiden wurde die Verdrahtung auf einem Breadboard durchgeführt.

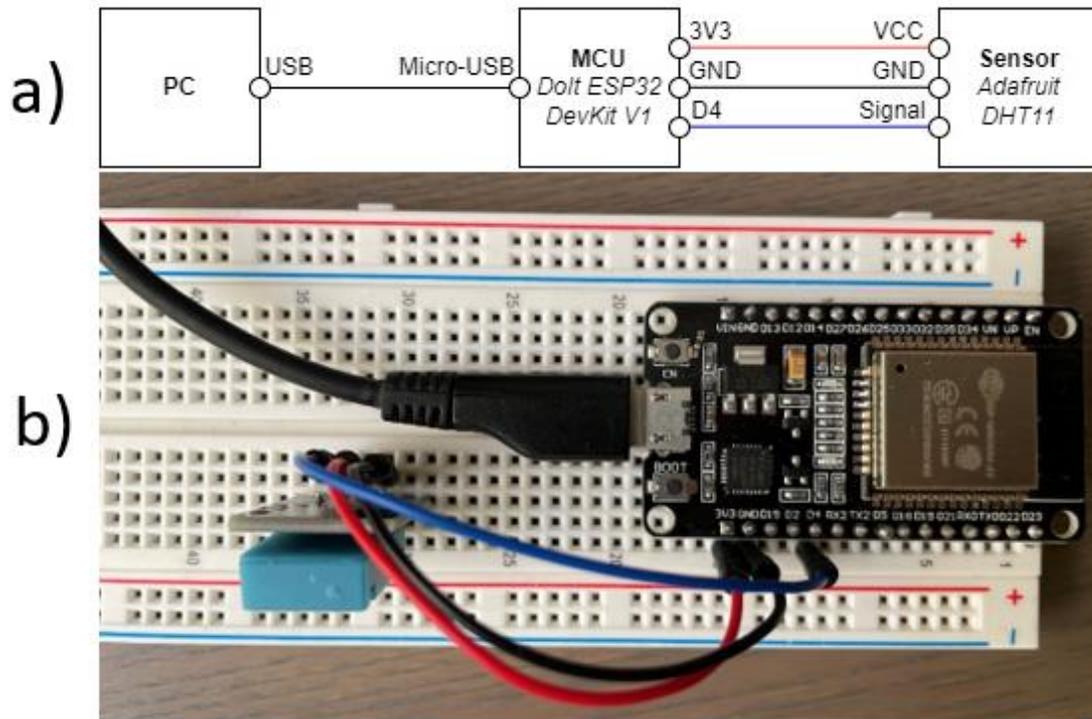


Abbildung 50: Verdrahtung PC-MCU-Sensor

a) Schematische Darstellung, b) Foto vom Breadboard inkl. Komponenten

### 4.4.3 Einrichtung der IoT-Central Komponenten

Bevor mit dem Programmieren begonnen werden kann, müssen die IoT-Central Anwendung und das IoT-Central Gerät via Web-Browser eingerichtet werden. Die Einrichtung dieser Anwendung wird in diesem Unterpunkt dokumentiert.

1. Erstellen einer IoT-Central Anwendung ausgehend vom Azure IoT-Central Portal (Abbildung 51): Meine Apps → Neue Anwendung → App erstellen (Benutzerdefinierte App) → Eingabe von Anwendungsname, Anwendungs-URL (optional), Auswahl einer Anwendungsvorlage, Auswahl von Tarif → Erstellen

## 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

Erstellen > Neue Anwendung

Benutzerdefiniert

Beantworten Sie einige kurze Fragen, damit wir Ihre App in Betrieb nehmen können.

### Informationen zu Ihrer App

Anwendungsname \*

URL \*

Anwendungsvorlage \*

**Tarif**

**Kostenlos**  
7 Tage ohne Verpflichtung ausprobieren  
5 kostenlose Geräte

**Standard 0**  
Für Geräte, die einige Nachrichten pro Tag senden  
2 kostenlose Geräte 400 Nachrichten/Monat

**Standard 1**  
Für Geräte, die einige Nachrichten pro Stunde senden  
2 kostenlose Geräte 5.000 Nachrichten/Monat

**Standard 2 (besonders beliebt)**  
Für Geräte, die alle paar Minuten Nachrichten senden  
2 kostenlose Geräte 30.000 Nachrichten/Monat

Durch Klicken auf "Erstellen" stimmen Sie der [Abonnementvereinbarung](#) und der [Datenschutzerklärung](#) zu. Vereinbarungbestimmungen in Bezug auf Preise, Stornierungsgebühren, Bezahlung und Datenaufbewahrung gelten nicht für den Free-Tarif. Für Standard-Pläne ist ein Azure-Abonnement erforderlich, und Sie bestätigen, dass dieser Dienst im Rahmen der für Ihr Azure-Abonnement geltenden Bedingungen für Sie lizenziert ist.

### Wir halten Ihnen den Rücken frei

**Preise**  
Keine Kündigungsgebühren. Sie zahlen nur für das, was Sie benötigen. [Preisdetails abrufen](#)

**Sicherheit**  
Schützen Sie Ihre verbundenen Produkte mit integrierter IoT-Sicherheit für Ihr gesamtes System. Behalten Sie die Kontrolle über Ihre Daten – mit Datenschutzfeatures wie rollenbasiertem Zugriff und Integration in Ihre Active Directory-Berechtigungen.

**Dezimalstellen**  
Sie investieren in Ihr Unternehmen. Microsoft investiert in IoT. Wir erstellen und erfinden jeden Tag neue Features und Lösungen. Sie möchten Ihr System hochskalieren? Wir sind bereit.

Abbildung 51: Erstellung der IoT-Central Anwendung

- Hinzufügen eines IoT-Central Geräts zur Anwendung (Abbildung 52): Geräte → Neu → Eingabe von Gerätenamen, Geräte-ID (optional), Auswahl einer Gerätevorlage (nicht zugewiesen) → Erstellen

Erstellen eines neuen Geräts

Wählen Sie zum Erstellen eines neuen Geräts einen Vorlagentyp, einen Namen und eine eindeutige ID aus. [Weitere Informationen](#)

Gerätenamen \*

Geräte-ID \*

Organisation \*

Gerätevorlage \*

Dieses Gerät simulieren?  
Ein simuliertes Gerät generiert eine Telemetrie, mit der Sie das Verhalten Ihrer Anwendung testen können, bevor Sie eine Verbindung mit einem realen Gerät herstellen.

Nein

Abbildung 52: Erstellen eines neues IoT-Central Geräts

## 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

3. Kontrolle, ob das Gerät unter Geräte in der IoT-Central Anwendung aufscheint
4. Auf den Gerätenamen klicken und über den Verbinden-Button die Informationen abrufen, die im Code benötigt werden, um das Gerät eindeutig zu identifizieren (ID-Bereich, Geräte-ID und Primärer Schlüssel, Abbildung 53)

### Geräteverbindungsgruppen ×

ID-Bereich ⓘ

Geräte-ID ⓘ

Wählen Sie den Verbindungstyp für dieses Gerät aus. Sie können diesen später bei Bedarf ändern.

Authentifizierungstyp

Schlüssel   QR-Code

Shared Access Signatures (SAS) verwenden Sicherheitstoken und Schlüssel, um eine Verbindung mit IoT Central herzustellen. Verwenden Sie die SAS-Schlüssel aus der unten gezeigten Standardregistrierungsgruppe, um Ihr Gerät zu registrieren. [Weitere Informationen](#) 

Primärer Schlüssel ⓘ

Sekundärer Schlüssel ⓘ

Abbildung 53: Geräteverbindungsinformationen

### 4.4.4 Vorbereitung der Entwicklungsumgebung (Arduino IDE)

Um die Entwicklungsumgebung mit den verwendeten Komponenten (MCU, Sensor) kompatibel zu machen ist es notwendig Libraries zu installieren. Diese Libraries sind eine Sammlung von Unterprogrammen, die den Umgang mit den Komponenten erleichtern. Weiters muss nach der Installation der Libraries der Entwicklungsumgebung bekanntgegeben werden, welche MCU verwendet wird und an welchem PC-Port diese angeschlossen ist.

## 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

---

### Installation der Libraries:

In der geöffneten Arduino IDE unter Sketch → Include Library → Manage Libraries folgende Libraries installieren:

- DHT sensor library by Adafruit
- Adafruit Unified Sensor by Adafruit
- Azure SDK for C by Microsoft Corporation
- Espressif ESP32 Azure IoT Kit Sensors by Ewerthon Scaboro da Silva

### Einstellen MCU-Modell und Ermittlung Anschlussport:

- In der geöffneten Arduino IDE unter Tools → Boards → ESP32 Arduino → DOIT ESP32 DEVKIT V1 auswählen, um das MCU-Board zu definieren
- Durch Rechtsklick auf das Windows Symbol → Geräte Manager → Anschlüsse (COM&LPT) schauen, an welchem Serial Port die MCU angeschlossen ist
- In der geöffneten Arduino IDE unter Tools → Port den im Geräte Manager angezeigten Port einstellen

### 4.4.5 Anpassung des Codes

Nun wird ein vorgefertigter Code, der spezifisch für MCUs der ESP32 Mikrocontrollerfamilie angefertigt wurde, modifiziert. Da sich die MCU mit dem WLAN verbinden muss, müssen WLAN-Name (SSID) und Passwort angegeben werden. Weiters müssen die in Abbildung 53 abgebildeten Verbindungsinformationen an das Programm weitergegeben werden. In der Anleitung [35] wurde ein Espressif ESP32-Azure IoT Kit als MCU verwendet. Dieses ist standardmäßig mit Temperatur-, Luftfeuchtigkeits-, Bewegungs-, Licht- und Drucksensoren, sowie einem Magnetometer ausgestattet. Aus diesem Grund sendet der Grundcode bei Verwendung einer anderen MCU nur simulierte Daten an IoT-Central. Deswegen müssen noch einige spezifische Änderungen am Code vorgenommen werden, um Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsdaten vom externen Sensor zu beziehen. Diese Änderungen werden in den folgenden Unterpunkten dokumentiert.

#### 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

---

In der geöffneten Arduino IDE unter File → Examples → Azure SDK for C → Azure\_IoT\_Central\_ESP32\_AzureIoTKit öffnen.

##### Im Unterprogramm `iot_configs.h` die benötigten Informationen eingetragen:

- IOT\_CONFIG\_WIFI\_SSID            WLAN-SSID (WLAN-Name) eintragen
- IOT\_CONFIG\_WIFI\_PASSWORD      WLAN-Passwort eintragen
- DPS\_ID\_SCOPE                    ID-Bereich des IoT-Geräts eintragen
- IOT\_CONFIG\_DEVICE\_ID           Geräte-ID eintragen
- IOT\_CONFIG\_DEVICE\_KEY         Primären Schlüssel eintragen

##### Im Unterprogramm `Azure_IoT_PnP_Template.cpp` folgende Codezeilen hinzufügen:

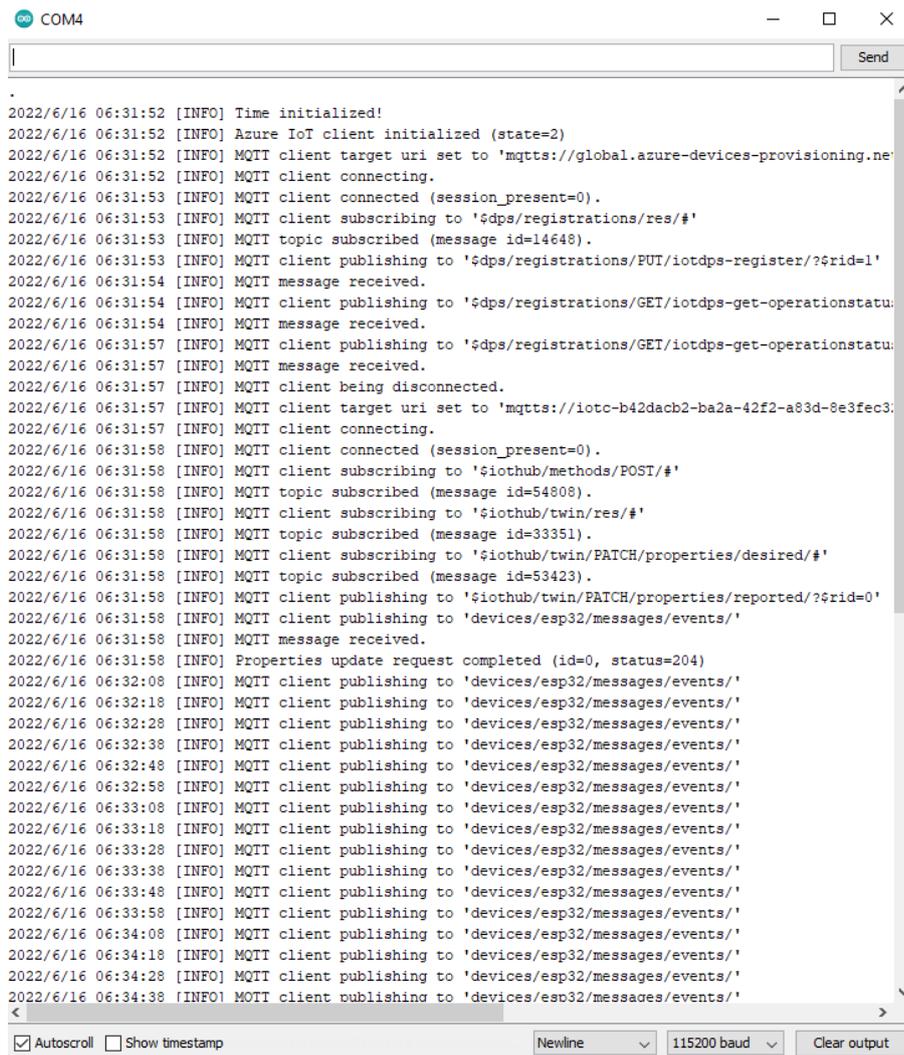
- `#include „DHT.h“`            Laden der Library für den Sensor
- `#define DHTPIN 4`             Signalpin hängt an Pin 4 der MCU
- `#define DHTTYPE DHT11`        Definition des Sensortyps
- `dht.begin();`                 Starten des Sensors

##### Im Unterprogramm `Azure_IoT_PnP_Template.cpp` folgende Codezeilen ersetzen:

- `temperature = simulated_get_temperature();` wird ersetzt durch  
`temperature = dht.readTemperature();`
- `humidity = simulated_get_humidity();` wird ersetzt durch  
`humidity = dht.readHumidity();`

Betätigt man nun die Schaltfläche Upload in der Arduino IDE, so startet die IDE mit dem Kompilieren und danach wird der Code auf die MCU übertragen. Über den Serialmonitor (Baudrate 115200) in der IDE lässt sich die MCU lokal überwachen (Abbildung 54).

## 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer



```
COM4
2022/6/16 06:31:52 [INFO] Time initialized!
2022/6/16 06:31:52 [INFO] Azure IoT client initialized (state=2)
2022/6/16 06:31:52 [INFO] MQTT client target uri set to 'mqttp://global.azure-devices-provisioning.net'
2022/6/16 06:31:52 [INFO] MQTT client connecting.
2022/6/16 06:31:53 [INFO] MQTT client connected (session_present=0).
2022/6/16 06:31:53 [INFO] MQTT client subscribing to '$dps/registrations/res/#'
2022/6/16 06:31:53 [INFO] MQTT topic subscribed (message id=14648).
2022/6/16 06:31:53 [INFO] MQTT client publishing to '$dps/registrations/EUT/iotdps-register/?$rid=1'
2022/6/16 06:31:54 [INFO] MQTT message received.
2022/6/16 06:31:54 [INFO] MQTT client publishing to '$dps/registrations/GET/iotdps-get-operationstatus'
2022/6/16 06:31:54 [INFO] MQTT message received.
2022/6/16 06:31:57 [INFO] MQTT client publishing to '$dps/registrations/GET/iotdps-get-operationstatus'
2022/6/16 06:31:57 [INFO] MQTT message received.
2022/6/16 06:31:57 [INFO] MQTT client being disconnected.
2022/6/16 06:31:57 [INFO] MQTT client target uri set to 'mqttp://iotc-b42dacb2-ba2a-42f2-a83d-8e3fec3'
2022/6/16 06:31:57 [INFO] MQTT client connecting.
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT client connected (session_present=0).
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT client subscribing to '$iothub/methods/POST/#'
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT topic subscribed (message id=54808).
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT client subscribing to '$iothub/twin/res/#'
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT topic subscribed (message id=33351).
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT client subscribing to '$iothub/twin/PATCH/properties/desired/#'
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT topic subscribed (message id=53423).
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT client publishing to '$iothub/twin/PATCH/properties/reported/?$rid=0'
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:31:58 [INFO] MQTT message received.
2022/6/16 06:31:58 [INFO] Properties update request completed (id=0, status=204)
2022/6/16 06:32:08 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:32:18 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:32:28 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:32:38 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:32:48 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:32:58 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:33:08 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:33:18 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:33:28 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:33:38 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:33:48 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:33:58 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:34:08 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:34:18 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:34:28 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
2022/6/16 06:34:38 [INFO] MQTT client publishing to 'devices/esp32/messages/events/'
Autoscroll  Show timestamp  Newline 115200 baud Clear output
```

Abbildung 54: Serial Monitor Arduino IDE

### 4.4.6 Monitoring des Geräts über IoT-Central

Sobald die MCU anfängt die Telemetriedaten an die IoT-Central Anwendung zu senden ändert sich in der Anwendung der Gerätestatus von „registriert“ auf „bereitgestellt“ und dem Gerät wird automatisch eine Gerätevorlage zugewiesen („nicht zugewiesen“ → „Espressif ESP32 Azure IoT Kit“), obwohl beim Erstellen des Geräts keine Vorlage ausgewählt wurde. Klickt man nun in der IoT-Central Anwendung unter Geräte auf den Gerätenamen, so kommt man in den Geräteüberblick. Hier werden nun die Sensordaten von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, sowie die simulierten Daten von den restlichen Sensoren in Diagrammen dargestellt. Will man nun die simulierten Daten aus der Ansicht entfernen, so kann man das über Vorlage verwalten → Vorlage bearbeiten → Vorlage veröffentlichen machen. Danach sieht die Übersicht wie in Abbildung 55 dargestellt aus.

## 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

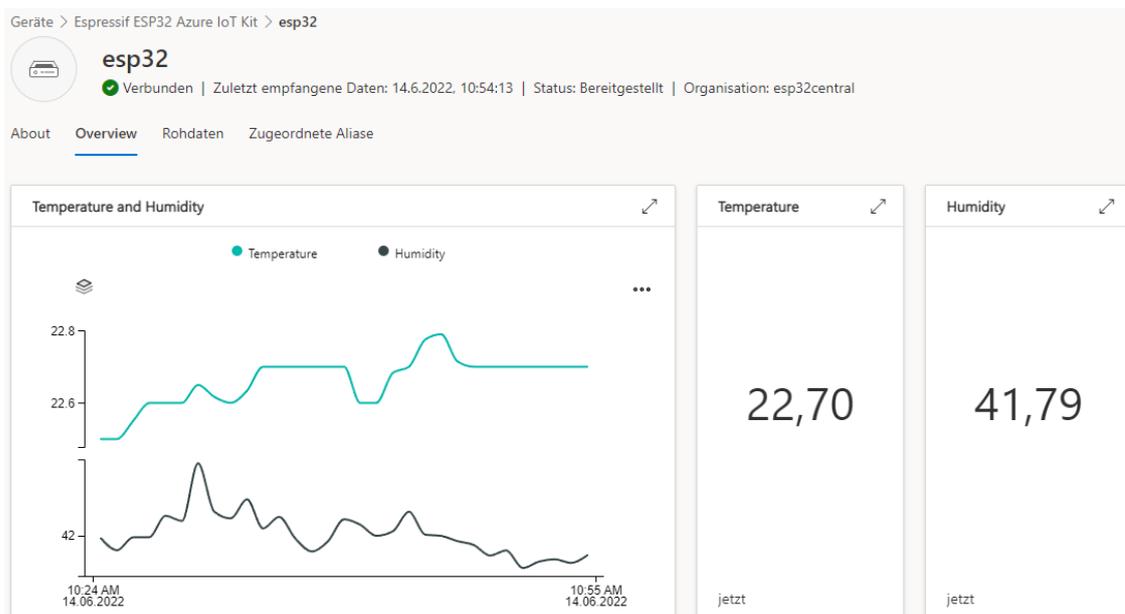


Abbildung 55: Geräteübersicht IoT-Central

Die in Abbildung 55 gezeigten Sensordaten können nun global mithilfe des Microsoft Accounts überwacht werden. Somit ist der Proof-of-Concept abgeschlossen. Im nächsten Unterpunkt wird noch ein Kostenüberblick für IoT-Central Anwendung erstellt.

### 4.4.7 Kostenüberblick IoT-Central

Die monatlichen Kosten für IoT-Anwendungen sind abhängig von der Anzahl der Geräte innerhalb der Anwendung, der monatlich gesendeten Nachrichten dieser Geräte, sowie vom gewählten Tarif. Abbildung 56 zeigt die Kostenübersicht für Azure IoT-Central (Stand 16.6.22).

Tarif	Standard-Tarif 0	Standard-Tarif 1	Standard-Tarif 2
Anwendungsfall	Für Geräte, die pro Tag nur wenige Nachrichten senden	Für Geräte, die pro Stunde nur wenige Nachrichten senden	Für Geräte, die im Abstand weniger Minuten Nachrichten senden
Preis pro Gerät und Monat	€0,08 pro Monat	€0,37 pro Monat	€0,66 pro Monat
Monatliches Nachrichtenkontingent pro Gerät*	400 Nachrichten	5.000 Nachrichten	30.000 Nachrichten
Enthaltene kostenlose Menge pro Anwendung	2 kostenlose Geräte (800 enthaltene Nachrichten)	2 kostenlose Geräte (10.000 enthaltene Nachrichten)	2 kostenlose Geräte (60.000 enthaltene Nachrichten)
Überschreitungskosten pro 1000 Nachrichten <sup>1</sup>	€0,066 pro 1.000 Nachrichten	€0,015 pro 1.000 Nachrichten	€0,015 pro 1.000 Nachrichten

\* Das gesamte Nachrichtenkontingent wird von allen Geräten in einer IoT Central-Anwendung geteilt.

<sup>1</sup> Die Standardgröße von Nachrichten beträgt 4 KB. Wenn das Gerät beispielsweise eine Nachricht mit 4,5 KB sendet, wird diese als 2 Nachrichten berechnet.

Abbildung 56: Kosten Azure IoT-Central [37]

#### 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

Die Anzahl der Nachrichten, die ein Gerät sendet, ist abhängig von der Anzahl der Sensoren und der benötigten Aktualisierungsrate dieser Sensoren. Hat man nun beispielsweise 5 Sensoren, die ihre Daten einmal pro Sekunde senden (das entspricht 12 960 000 Nachrichten pro Monat), so erreicht man sehr schnell sehr hohe Nachrichtenanzahlen. Wie in Abbildung 56 ersichtlich ist sind im Tarif mit dem größten Nachrichtenkontingent (Standard-Tarif 2) nur 30 000 Nachrichten pro Gerät enthalten. Die maximale Nachrichtengröße beträgt 4 KB. Ein Messwert des Datentyps float oder integer benötigt nur einen Speicherplatz von 4 Bytes, also ein 1024tel von 4 KB oder 4096 Bytes [38]. Man kann also durch ein Verpacken und Entpacken dieser Nachrichten die Nachrichtenkosten beinahe um den Faktor 1024 reduzieren, vorausgesetzt alle Messgrößen sind vom Datentyp float oder integer. Zahlen vom Datentyp float weisen 6-7 signifikante Stellen auf. Wird eine höhere Genauigkeit des Messwerts benötigt, so muss man auf den Datentyp double umstellen, welcher 15-16 signifikante Stellen aufweist (Speicherbedarf 8 Bytes) [38].

Einer der Zwecke des Monitorings der Sensordaten des RD01 PTCs ist die Ermittlung des thermischen Wirkungsgrades der Anlage. Für den thermischen Wirkungsgrad der Anlage werden 5 Messgrößen benötigt. Diese Größen sind die Eingangs- und die Ausgangstemperatur des Arbeitsmediums in und aus dem Receiver, die Flussrate des Arbeitsmediums, sowie die globale und die diffuse Sonneneinstrahlung und sind in Tabelle 17 abgebildet.

Messgröße	Formelzeichen	Einheit	Datentyp	Speicherplatz
Temperatur in	$T_{in}$	°C	float	4 Bytes
Temperatur out	$T_{out}$	°C	float	4 Bytes
Flussrate	$Q$	m <sup>3</sup> /s	float	4 Bytes
Globale Einstrahlung	$E_{global}$	W/m <sup>2</sup>	float	4 Bytes
Diffuse Einstrahlung	$E_{diffuse}$	W/m <sup>2</sup>	float	4 Bytes

*Tabelle 17: Messgrößen thermischer Wirkungsgrad*

In Diagramm 7 sind die monatlichen Kosten für eine IoT-Central-Anwendung ohne Verpacken der Nachrichten abgebildet, während in Diagramm 8 die monatlichen Kosten mit Verpacken der Nachrichten abgebildet sind. Diese sind in Abhängigkeit verschiedener Aktualisierungsintervalle, sowie für alle verfügbaren Tarife von IoT-Central abgebildet. Ohne Paketbildung sind die Nachrichtenkosten der dominante Term, während mit Paketbildung die Gerätefixkosten der dominanter Term sind. Die Preise wurden mithilfe der Tarife aus Abbildung 56 und einem Excel-Skript ermittelt.

#### 4. Kommunikationsmethoden zwischen MCU und Developer

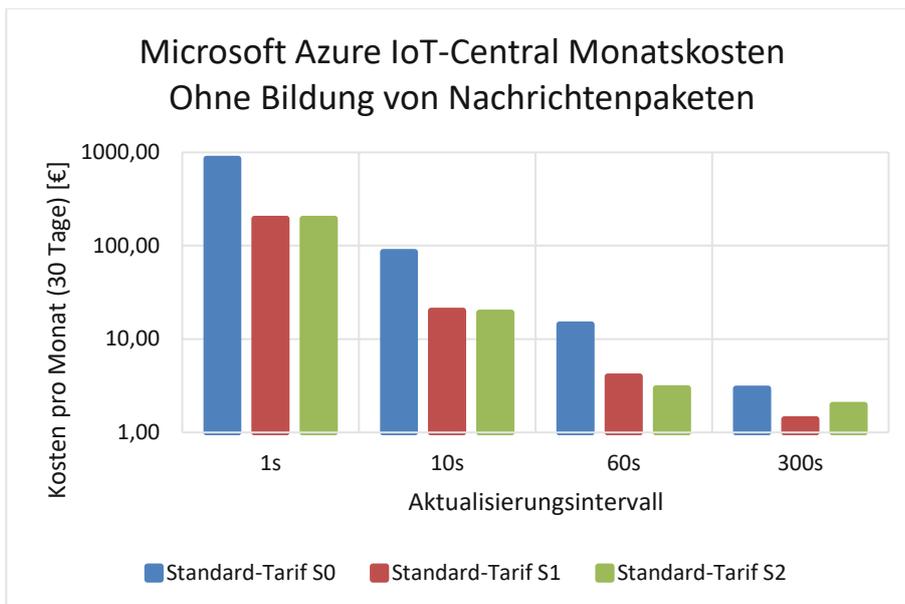


Diagramm 7: IoT-Central Monatskosten ohne Paketbildung

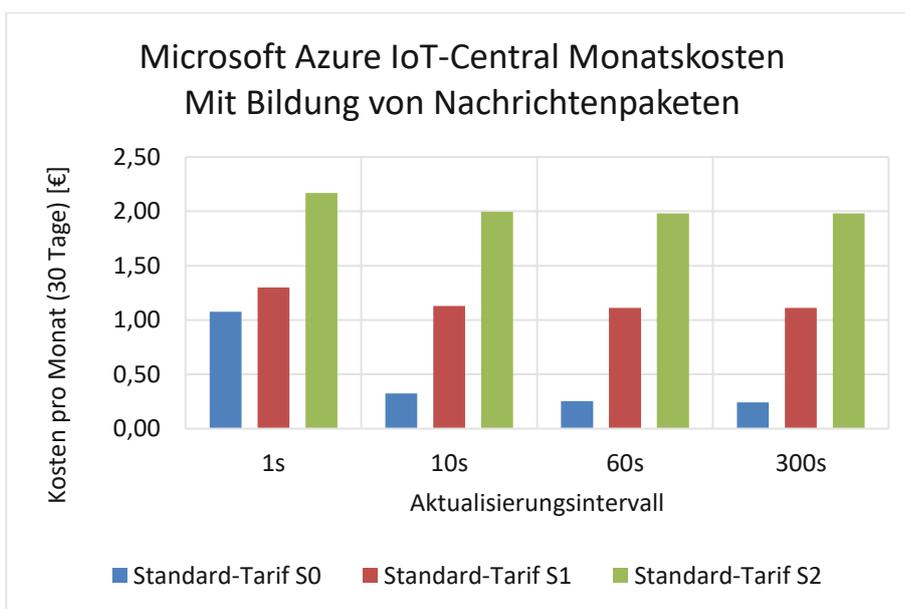


Diagramm 8: IoT-Central Monatskosten mit Paketbildung

# 5 Fazit und Ausblick

Im ersten Teil wurde ein Verfahren gesucht, um den Flansch, der die Drehachse des Solabolic PTCs definiert, gegenüber den bereits fertiggestellten Laufschiene zu positionieren. Dafür standen 2 Verfahren zur Auswahl. Das ausgewählte Verfahren ist eine Abschlagmethode. Dieses erhielt aufgrund von Kostenvorteilen und geringerer Komplexität den Vorzug. Danach war es notwendig zu evaluieren, ob das gewählte Verfahren hinreichend genau war. Das Ziel bezüglich der Genauigkeit wurde anhand einer Abschätzung der bereits fertiggestellten Laufschiene definiert. Das Verfahren wurde mithilfe eines Mustermodells und eines Excel-Skripts bezüglich Genauigkeit untersucht. Die ermittelte Genauigkeit des Verfahrens erreichte das definierte Ziel. Somit stellt die untersuchte Abschlagmethode eine unkomplizierte, kostengünstige und hinreichend genau Methode dar, um die Drive-Connection zu positionieren. Nach der Positionierung der Drive-Connection mit der Abschlagmethode kann mit dem weiteren Aufbau und weiteren Tests des Kollektors fortgefahren werden. Einer dieser Tests ist der im nächsten Teil behandelte Rotationstest.

Der im zweiten Teil geplante Rotationstest soll Rückschluss darauf geben, ob die Antriebsauslegung des PTCs korrekt durchgeführt wurde, ob der Aufbau eine hinreichende Steifigkeit aufweist, ob die Fertigungstoleranzen passend gewählt wurden und ob alle Antriebskomponenten korrekt funktionieren. Der erste Schritt war das Einlesen in die Dokumentation des Servo-Antriebssystems. Danach war es notwendig einen geeigneten Betriebsmodus des Antriebssystems auszuwählen, ein geeignetes Drehmoment und eine geeignete Drehzahl für die Rotationen auszuwählen, sowie optionale Funktionen zum gewählten Betriebsmodus miteinzubeziehen. Es musste ein Teil der vorhandenen Kabel zwischen den Komponenten des Antriebsstranges ausgetauscht werden, um die Sicherheit bei dem Rotationstest gewährleisten zu können. Abschließend musste eine sinnvolle Abfolge für den Test gewählt werden und eine Anleitung für diesen erstellt werden. Nach der Durchführung des Rotationstests kann beurteilt werden, ob noch Änderungen oder Umbauten notwendig sind, oder ob mit dem Aufbau und der Testungsphase fortgefahren werden kann. Ein weiterer Teil der Testungsphase ist die Kommunikation zwischen Kollektor und Entwickler und wurde im letzten Teil behandelt.

## 5. Fazit und Ausblick

---

Es wurde ein Konzept erarbeitet, wie der Kollektor und dessen MCU von Abu Dhabi aus mit den Entwicklern in Wien kommunizieren kann. Dafür war zuerst eine Literaturanalyse über das IoT notwendig. Nachdem so ein Grundwissen aufgebaut wurde, wurde die Literaturanalyse spezifischer in Richtung IoT-Anwendungen fortgesetzt. Durch das erlernte Knowhow der Literaturanalyse wurde eine Proof-of-Concept Anwendung erstellt. Das Ziel der Proof-of-Concept Anwendung war das Livestreaming von Sensordaten über eine IoT-Plattform. Die Anwendung wurde mithilfe der IoT-Plattform Azure IoT-Central realisiert und es wurden die Luftfeuchtigkeits- und Temperaturmesswerte eines Sensors gestreamt. Diese Messwerte konnten über ein Microsoft-Konto von einem beliebigen Standort aus überwacht werden. Somit war der Proof-of-Concept erfolgreich. Danach wurde eine Kostenanalyse der verwendeten Plattform durchgeführt. Diese zeigte, dass die monatlichen Kosten für eine derartige Anwendung nur wenige Euros betragen. Die Erstellung der Anwendung verlief größtenteils reibungslos und der Support war bei Fragen sehr hilfreich. Somit kann die IoT-Plattform Azure IoT-Central für den weiteren Verlauf des Projektes empfohlen werden.

Mithilfe der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Tätigkeiten kam der RD01 PTC seinem Regelbetrieb wieder ein paar Schritte näher. Die Arbeit kann als Basis für weiterführende Arbeiten, die sich mit der Inbetriebnahme und Testungsphase des Kollektors befassen genutzt werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] *International Energy Agency: Key world energy statistics 2017*. International Energy Agency. OECD Publishing, Paris, 2017.
- [2] *Bdew: Nettostromerzeugung in Deutschland - Zehnjahresvergleich, 2022*, <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/nettostromerzeugung-deutschland-zehnjahresvergleich/> [Zugriff am: 07.03.2022].
- [3] *Jebasingh, V.K.; Herbert, G.J.: A review of solar parabolic trough collector*. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 (2016), S. 1085-1091. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.043>.
- [4] *Yilmaz, İ.H.; Mwesigye, A.: Modeling, simulation and performance analysis of parabolic trough solar collectors: A comprehensive review*. In: *Applied Energy* 225 (2018), S. 135-174. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.014>.
- [5] *Qu, W.; Wang, R.; Hong, H. et al.: Test of a solar parabolic trough collector with rotatable axis tracking*. In: *Applied Energy* 207 (2017), S. 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.114>.
- [6] *Sun & Wind Energy: New parabolic trough collector from 3M and Gossamer, 2012*, <https://www.sunwindenergy.com/news/new-parabolic-trough-collector-3m-and-gossamer> [Zugriff am: 08.03.2022].
- [7] *E. Luepfert, M. Geyer, EUROTROUGH Konsortium: EUROTROUGH Collector Qualification (2003)*.
- [8] *Lorenzo, E.; Pérez, M.; Ezpeleta, A. et al.: Design of tracking photovoltaic systems with a single vertical axis*. In: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 10 (2002), Heft 8, S. 533-543. <https://doi.org/10.1002/pip.442>.
- [9] *SOLABOLIC | Next Generation of Parabolic Trough Solar Collectors, 2022*, <http://www.solabolic.com/> [Zugriff am: 08.03.2022].
- [10] *Suneetha Racharla; K. Rajan: Solar tracking system – a review (2017)*.
- [11] *Diverse Autoren: Wikipedia - Azimut, 2022*, <https://de.wikipedia.org/wiki/Azimut> [Zugriff am: 01.04.2022].
- [12] *Walter, M.: DA Walter Sekundaerreflektor\_einer\_Solarthermieranlage (2019)*.
- [13] *Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz: Manuelle Lasthandhabung Heben, Halten, Tragen (2013)*.
- [14] *Brünner, A.: Kreis durch 3 Punkte, 2001*, <https://www.arndt-bruenner.de/mathe/scripts/kreis3p.htm> [Zugriff am: 05.05.2022].

## 6. Literaturverzeichnis

---

- [15] wcs: K1 Servo Drive User Manual V1.6 (2019).
- [16] *STMicroelectronics*: STM32303E-EVAL - STMicroelectronics, 2022, <https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32303e-eval.html> [Zugriff am: 17.05.2022].
- [17] DOIT Esp32 DevKit v1 — Zerynth Docs documentation, 2022, [https://olddocs.zerynth.com/r2.6.2/official/board.zerynth.doit\\_esp32/docs/index.html](https://olddocs.zerynth.com/r2.6.2/official/board.zerynth.doit_esp32/docs/index.html) [Zugriff am: 14.06.2022].
- [18] *Familiar, B.*: Microservices, IoT and Azure: Leveraging DevOps and Microservice Architecture to Deliver SaaS Solutions. Berkeley, CA: Apress L. P, Berkeley, CA, 2015.
- [19] *Stackowiak, R.*: Azure IoT Solutions Overview. *In*: Berkeley, CA: Apress, Berkeley, CA, 2019, S. 54.
- [20] *Muhammed, A.S.; Ucu, D.*: Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives. *In*: : 2020 8th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS). IEEE, Beirut, Lebanon, 2020, S. 1-4.
- [21] *Nakhuva, B.; Champaneria, T.*: Study of Various Internet of Things Platforms. *In*: International Journal of Computer Science & Engineering Survey 6 (2015), Heft 6, S. 61-74. <https://doi.org/10.5121/ijcses.2015.6605>.
- [22] *Al-Sayyed, R.M.H.; Hijawi, W.A.; Bashiti, A.M. et al.*: An Investigation of Microsoft Azure and Amazon Web Services from Users' Perspectives. *In*: International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET) 14 (2019), Heft 10, S. 217. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i10.9902>.
- [23] *Asghari, P.; Rahmani, A.M.; Javadi, H.H.S.*: Internet of Things applications: A systematic review. *In*: Computer Networks 148 (2019), S. 241-261. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.12.008>.
- [24] *Halabi, W.H.; Smith, D.N.; Hill, J.C. et al.*: Viability of Azure IoT Hub for Processing High Velocity Large Scale IoT Data. *In*: Bourcier, J. (Hrsg.): Companion of the ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering, ACM Digital Library. Association for Computing Machinery, Virtual Event France, 2021, S. 73-76.
- [25] *Institute of Electrical and Electronics Engineers; Product Safety Engineering Society*: A Performance and Cost Evaluation of Combining OPC-UA and Microsoft Azure IoT Hub into an Industrial Internet-of-Things System – May 8-10, Holiday Inn San Jose, Silicon Valley : 2017 proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers; Product Safety Engineering Society. IEEE, Piscataway, NJ, 2017.

## 6. Literaturverzeichnis

---

- [26] *Babiuch, M.; FoltYnek, P.:* Creating a Mobile Application with the ESP32 Azure IoT Development Board Using a Cloud Platform. *In: : 2021 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC).* IEEE, Velké Karlovice, Czech Republic, 2021, S. 1-4.
- [27] Proof of Concept for a Data Streaming Application in Azure IoT Hub Meder Österlund (2019).
- [28] *Chandra, M.B.; Puneeth, K.; Dubey, G.:* Moisture Level Sensor Using Node-Red. *In: International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology* (2021), S. 406-412. <https://doi.org/10.32628/CSEIT217283>.
- [29] *Picking, R.; Cunningham, S.; Houlden, N. et al. (eds.):* Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things – Proceedings of the seventh International Conference : Tuesday 12th-Friday 15th September 2017, Wrexham Glyndŵr University, Wales, UK. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE, Piscataway, NJ, 2017.
- [30] Cloud-Computing-Dienste | Microsoft Azure, 2022, <https://azure.microsoft.com/de-de/> [Zugriff am: 02.06.2022].
- [31] *Amazon Web Services, Inc.:* Amazon Web Services AWS – Server Hosting & Cloud Services, 2022, [https://aws.amazon.com/de/?nc2=h\\_lg](https://aws.amazon.com/de/?nc2=h_lg) [Zugriff am: 02.06.2022].
- [32] *Google Cloud:* Cloud-Computing-Dienste &nbsp;|&nbsp; Google Cloud, 2022, <https://cloud.google.com/?hl=de> [Zugriff am: 02.06.2022].
- [33] Preise: Azure SQL-Datenbank – Einzeldatenbank | Microsoft Azure, 2022, <https://azure.microsoft.com/de-de/pricing/details/azure-sql-database/single/> [Zugriff am: 06.06.2022].
- [34] *Adafruit Industries:* DHT11 basic temperature-humidity sensor + extras, 2022, <https://www.adafruit.com/product/386> [Zugriff am: 09.08.2022].
- [35] *GitHub:* azure-sdk-for-c-arduino/readme.md at main · Azure/azure-sdk-for-c-arduino, 2022, [https://github.com/Azure/azure-sdk-for-c-arduino/blob/main/examples/Azure\\_IoT\\_Central\\_ESP32\\_AzureIoTKit/readme.md](https://github.com/Azure/azure-sdk-for-c-arduino/blob/main/examples/Azure_IoT_Central_ESP32_AzureIoTKit/readme.md) [Zugriff am: 14.06.2022].
- [36] Projekt:RaspberryPiElektronik – Schaffenburg, 2022, <https://wiki.schaffenburg.org/Projekt:RaspberryPiElektronik> [Zugriff am: 14.06.2022].
- [37] Preise – Azure IoT Central | Microsoft Azure, 2022, <https://azure.microsoft.com/de-de/pricing/details/iot-central/> [Zugriff am: 16.06.2022].
- [38] *Corob-msft:* Typ 'float', 2022, <https://docs.microsoft.com/de-de/cpp/c-language/type-float?view=msvc-170> [Zugriff am: 17.06.2022].

## 7 Anhang

### Logik Excel Solver

$x_i$  und  $y_i$  sind jeweils die Koordinaten für die Punkte, die den Kreis definieren. Das sind die Punkte, die in Abbildung 27 dargestellt sind. Durch Auswertung der Koeffizienten A, B und C ergeben sich die x-Koordinate, die y-Koordinate sowie der Radius des entstehenden Kreises. In Tabelle 18 sind die Werte dargestellt, die in der Gleichungslöser verarbeitet. Diese sind hier beispielsweise für den Kreis, der sich aus den Abschlägen der Radien A1, F1 und A2 bildet, dargestellt.

Ansatz I	Koeffizienten			Ergebnisvektor
	A	B	C	
$\alpha_1$	1	0.00	-407.50	-166056.25
$\zeta_1$	1	-416.00	0.00	-173056.00
$\alpha_2$	1	0.00	411.50	-169332.25

Tabelle 18: Koeffizienten Gleichungslöser (Maße in mm)

Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse, die der Gleichungslöser für die Koeffizienten A, B und C liefert. Durch diese lassen sich dann der Mittelpunktsabstand in x-Richtung  $x_m$ , der Mittelpunktsabstand in y-Richtung  $y_m$  und der Radius des entstandenen Kreises  $r$  berechnen. Die dafür verwendeten Formeln sind in Abbildung 57 abgebildet. Mithilfe des pythagoreischen Lehrsatzes wird aus  $x_m$  und  $y_m$  noch die radiale Abweichung des Mittelpunkts des entstandenen Kreises ermittelt. Diese radiale Abweichung ist nun eine von 10, die in den Mittelwert des jeweiligen Ansatzes für das jeweilige Abschlagmaß des Datensatzes, miteinfließt.

Ergebnisse Gleichungssystem		$x_m$	6.45
A	-167686	$y_m$	-2
B	12.90805	$r_m$	6.76
C	-4	$r$	409.55

Tabelle 19: Ergebnisse Gleichungslöser (Maße in mm)

## 7. Anhang

---

$$x_m = B/2, y_m = C/2, \text{ und } r^2 = x_m^2 + y_m^2 - A$$

---

*Abbildung 57: Auswertung Koeffizienten Solver [14]*

---

## Kabeltausch

In diesem Kapitel wird der Kabeltausch der notwendig war, um mit den vorhandenen Komponenten den Rotationstest durchzuführen dokumentiert. Insgesamt mussten 2 Kabel ausgetauscht werden – das Stromversorgungskabel für den Servomotor und das Encodersignalkabel. Die Tabellen 20-23 zeigen die Pinbelegung der einzelnen Stecker, die umgebaut werden mussten.

Encodersignalkabel motorseitig	Kabel 3m alt	Kabel 10m neu
1 = Ground	Schirmung	Schirmung
2	Rot	Rot
3	Schwarz	Schwarz
4	Gelb	Gelb
5	Grau	Grau
6	Orange	Violett
7	Schwarz-Gelb	Weiß-Gelb
8	Schwarz-Grau	Pink-Grau
9	Schwarz-Orange	Pink
10	Türkis	Blau
11	Weiß	Weiß
12	Braun	Braun
13	Schwarz-Türkis	Blau-Rot
14	Schwarz-Weiß	Grün-Weiß
15	Schwarz-Braun	Grün-Braun

*Tabelle 20: Encodersignalkabel Pin-Belegung motorseitig*

Stromversorgungskabel motorseitig	Kabel 3m alt	Kabel 10m neu
1 = Ground	Grün-Gelb	Grün-Gelb
2	Braun	Braun
3	Blau	Grau
4	Schwarz	Schwarz

*Tabelle 21: Stromversorgungskabel Pin-Belegung motorseitig*

## 7. Anhang

<b>Encodersignalkabel reglerseitig</b>	<b>Kabel 3m alt</b>	<b>Kabel 10m neu</b>
1	Schwarz	Schwarz
2	Gelb	Gelb
3	Schwarz-Gelb	Weiß-Gelb
4	Grau	Grau
5	Schwarz-Grau	Pink-Grau
6	Rot	Rot
7	Schwarz-Braun	Grün-Braun
8	Schwarz-Weiß	Grün-Weiß
9	Schwarz-Türkis	Blau-Rot
10	Orange	Violett
11	-	-
12	Braun	Braun
13	Weiß	Weiß
14	Türkis	Blau
15	Schwarz-Orange	Pink
Ground	Schirmung	Schirmung

*Tabelle 22: Encodersignalkabel Pin-Belegung reglerseitig*

<b>Stromversorgungskabel reglerseitig</b>	<b>Kabel 3m alt</b>	<b>Kabel 10m neu</b>
U	Braun	Braun
V	Blau	Grau
W	Schwarz	Schwarz
Ground	Grün-Gelb	Grün-Gelb

*Tabelle 23: Stromversorgungskabel Pin-Belegung reglerseitig*

Quellennr. in DA	Jahr	Autoren	Paper Titel	Relevanz	Paper-Typ
			grün = relevant und in Arbeit gelb = relevant, jedoch aufgrund von großer Überlappung mit anderem Paper nicht in Arbeit orange = Out of scope	Schulnoten-system	
20	2020	Aina'u Shehu Muhammed; Derya Ucuz	Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives	1	Überblick/ Vergleich
21	2015	Bhumi Nakuva; Tushar Champaneria	Study of Various Internet of Things Platforms	3	Überblick/ Vergleich
22	2019	Rizik M. H. Al-Sayyed; Wadi' A. Hijawi; Anwar M. Bashiti; Ibrahim AlJarah; Nadim Obeid; Omar Y. Adwan	An Investigation of Microsoft Azure and Amazon Web Services from Users' Perspectives	3	Überblick/ Vergleich
23	2019	Parvanesh Asghari; Amir Masoud Rahmani; Hamid Haj Seyyed Javadi	Internet of Things applications: A systematic review	3	Systematische Literaturanalyse
24	2021	Wajdi H. Halabi; Daniel N. Smith; John C. Hill; Jason W. Anderson; Ken E. Kennedy; Brandon M. Posey; Linh B. Ngo; Amy W. Apon	Viability of Azure IoT Hub for Processing High Velocity Large Scale IoT Data	4	Untersuchung
25	2017	Stefan Forsström; Ulf Jennehag	A Performance and Cost Evaluation of Combining OPC-UA and Microsoft Azure IoT Hub into an Industrial Internet-of-Things System	3	Untersuchung
26	2021	Marek Babiuch; Petr Foltýnek	Creating a Mobile Application with the ESP32 Azure IoT Development Board Using a Cloud Platform	1	Erstellung einer IoT-Anwendung

Kurz-Zusammenfassung und Ausschlussgrund	MS Azure	AWS	Google Cloud	Weitere IoT-Anbieter	MCU
Vergleich von Microsoft Azure, AWS und Google Cloud um Usern die Entscheidungsfindung, welcher dieser Anbieter benutzt werden soll zu erleichtern. Der Fokus liegt auf Hubs, Analytik und Sicherheit.	Ja	Ja	Ja	-	MT3620
Vergleich einer Großzahl an IoT-Plattformen (n=11, u.a. AWS, Google Cloud und MS Azure) mit abschließender tabellarischer Gegenüberstellung.	Ja	Ja	Ja	IBM Bluemix, Thingworx, Thingspeak, Digital Service Cloud, Zetta, Nimbits, Yaler, Axeda Oracle Java Embedded	-
Vergleich von AWS und MS Azure mit den Vergleichsfaktoren Pricing, Availability, Confidentiality, Secrecy, Tier Account und Service Level Agreement. Diese Vergleichsfaktoren wurden jeweils in Unterfaktoren aufgeteilt und jedem dieser Unterfaktoren ein bevorzugter IoT-Anbieter zugeteilt. Das Ergebnis zeigt, dass Azure in 2 Vergleichsfaktoren zu bevorzugen ist, AWS in einem zu bevorzugen ist und in 3 Faktoren ein Gleichstand herauskam.	Ja	Ja	-	-	-
Es wurde eine systematische Literaturanalyse von 185 papers (2010-2018) durchgeführt. 72 von den 185 wurden anhand der Einschlusskriterien genauer untersucht. Diese 72 papers wurden in die 6 Kategorien Health Care, Environmental, Smart Cirty, Commercial, Industrial und General Aspects aufgeteilt. Für jede einzelne Kategorie wurde dann zu jedem Paper tabellarisch Hauptkontext, Vorteile, Schwächen und Neuheiten festgehalten.	-	-	-	-	-
Dieses Paper untersucht, wie große Datenmengen die Performance des Azure IoT-Hubs beeinflussen. Mithilfe des Clemson Supercomputers wurden sehr große Datensätze, die eine Produktionsstätte simulieren generiert. Es zeigte sich, dass zu hohe Sendefrequenzen einen negativen Effekt hatte. Das Hinzufügen von Partition und die Begrenzung der Datenpaketgröße eine einige KBs hatten einen positiven Effekt.	-	-	-	-	-
In diesem Paper wurde eine Kosten- und Performanceuntersuchung eines IoT-Systems, das aus 1500 Sensor besteht durchgeführt. Die Performanceuntersuchung zeigte, dass eine kabelgebundene Internetverbindung eine Verringerung der Reaktionszeit um ca. 300ms gegenüber einer kabellosen Internetverbindung zur Folge hatte. Die Kostenuntersuchung zeigte, dass die monatlichen Kosten mit dem teuersten Tarif etwa 5000\$ ausmachen.	Ja	-	-	-	-
Das Paper dokumentiert die Erstellung einer IoT-Anwendung mithilfe welcher die Sensordaten eines Gyroskops und eines Beschleunigungssensors mithilfe eines IoT-Hubs über eine Cloud Plattform gestreamt werden können. Verwendet wurden eine MCU mit ESP32 Chip und die Cloud Plattform Microsoft Azure IoT-Hub.	Ja	-	-	-	-

Quellennr. in DA	Jahr	Autoren	Paper Titel	Relevanz	Paper-Typ
27	2019	Johnny Meder; Santeri Österlund	Proof of Concept for a Data Streaming Application in Azure IoT Hub	1	Erstellung einer IoT-Anwendung
28	2021	Maradani Bhuvana Chandra; Korada Puneeth; Gaurav Dubey	Moisture Level Sensor Using Node-Red	2	Erstellung einer IoT-Anwendung
29	2017	A Maier; A Sharp; Y Vagapov	Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things	2	Vergleich/Erstellung einer IoT-Anwendung
-	2019	Jiong Shit; Liping Jin; Jun Li	The Integration of Azure Sphere and Azure Cloud Services for Internet of Things	5	Erstellung einer IoT-Anwendung
-	2019	Yu Liu; Kahin Akram Hassan; Magnus Karlsson; Zhibo Pang; Shaofang Gong	A Data-Centric Internet of Things Framework Based on Azure Cloud	5	Ansatz + PoC
-	2016	P.P. Ray	A survey on Internet of Things architectures	5	Literaturanalyse
-	2015	Simone Cirani; Gianluigi Ferrari; Nicola Iotti; Marco Picone	The IoT hub: a fog node for seamless management of heterogeneous connected smart objects	5	Ansatz
-	2014	Michael Blackstock; Rodger Lea	IoT Interoperability: A Hub-based Approach	5	Ansatz

Kurz-Zusammenfassung und Ausschlussgrund	MS Azure	AWS	Google Cloud	Weitere IoT-Anbieter	MCU
Das Paper dokumentiert die Erstellung einer IoT-Anwendung mithilfe welcher die Sensordaten eines RuuviTag Sensors (Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck) mithilfe eines IoT-Hubs über eine Cloud Plattform gestreamt werden können. Verwendet wurden eine RaspberryPi 4 MCU und die Cloud Plattform Microsoft Azure IoT-Hub.	Ja	-	-	-	-
Das Paper dokumentiert die Erstellung einer IoT-Anwendung mithilfe welcher die Sensordaten eines FC28 Bodenfeuchtigkeitssensors mithilfe eines IoT-Hubs über eine Cloud Plattform gestreamt werden können. Verwendet wurden eine RaspberryPi 3B MCU und die Cloud Plattform AWS EC2.	-	Ja	-	-	-
Das Paper vergleicht den für IoT-Anwendungen designeten ESP32 Mikrocontroller mit anderen Marktwettbewerbern und enthält die Dokumentation der Erstellung einer PoC-IoT-Anwendung. Es zeigte sich, dass MCUs mit ESP32 Chip wesentlich besser abschneiden als MCUs mit ESP8266 Chips.	-	-	-	Apache	ESP32 Azure IoT development board, Azure IoT DevKit MXChip development board
Im Rahmen des Papers wurde eine Cloud Anwendung mit Hauptfokus auf den Sicherheitsaspekt erstellt. Dazu wurde der Service Azure Sphere verwendet. Paper zu spezifisch in Richtung <u>Security, deswegen ausgeschlossen.</u>	Ja	-	-	-	Raspberry Pi 4
Im Paper wurde ein Ansatz erarbeitet, der mit den WiFi, Thread und LoRaWAN-Protokollen arbeitet, und versucht diese miteinander kompatibel zu machen. Es wurde ebenfalls ein Referenzsystem erstellt, welches die Funktion bestätigt. Paper zu spezifisch in Richtung Kommunikationsprotokolle, deswegen <u>ausgeschlossen.</u>	-	-	-	-	Raspberry Pi 3B
Das Paper befasst sich mit IoT-Architekturen und zerlegt diese in deren Bestandteile und gibt somit einen Überblick, welche Komponenten für ein IoT-System notwendig sind. Paper zu spezifisch in Richtung IoT Architekturen, deswegen ausgeschlossen	-	-	-	-	ESP32-Wroom-32, ESP8266-12E, CC3220M ODSF, XB2B-WFPS-001)
Im Paper wird ein Ansatz zur Kompatibilisierung von diversen IoT-Geräten untersucht. Das Paper ist zu spezifisch in Richtung IoT-Architektur und wurde deshalb ausgeschlossen.	-	-	-	-	-
Das Paper befasst sich mit der Inkompatibilität von IoT-Anwendungen und ist Teil eines Stufenansatzes zur Zusammenführung von IoT-Anwendungen mithilfe verschiedener Webprotokolle. Beschäftigt sich mit der Einführung von IoT-Hubs, also Edge-Anwendungen. Ausgeschlossen weil zu spezifisch in Richtung Web-Protokolle.	-	-	-	-	-

Quellennr. in DA	Jahr	Autoren	Paper Titel	Relevanz	Paper-Typ
-	2019	Ahmed Ahmed; Mathias Kleiner; Lionel Roucoules	Model-Based Interoperability IoT Hub for the supervision of Smart Gas Distribution Networks	5	Ansatz
-	2017	A Vogt; H Landrock; H Dransfeld	Industrie 4.0 / IoT Vendor Benchmark 2017	1	Überblick/ Vergleich
-	2016	MJ Perry	Evaluating and Choosing an IoT Platform	1	Überblick/ Vergleich
-	2016	KL Lueth	Guide to IoT Solution Development	1	Überblick/ Vergleich
-	2015	M.U. Farooq; Muhammad Waseem; Sadia Mazhar; Anjum Khairi; Talha Kamal	A Review on Internet of Things (IoT)	5	Überblick
-	2018	P Gokhale; O Bhat; S Bhat	Introduction to IOT	5	Überblick
-	2014	Zhi-Kai Zhang; Michael Cheng Yi Cho; Chia-Wei Wang; Chia-Wei Hsu; Chong-Kuan Chen; Shiuhpyng Shieh	IoT Security: Ongoing Challenges and Research Opportunities	5	Überblick
-	2019	Marek Babiuch; Petr Foltýnek; Pavel Smutný	Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing	3	Erstellung einer IoT-Anwendung

Kurz-Zusammenfassung und Ausschlussgrund	MS Azure	AWS	Google Cloud	Weitere IoT-Anbieter	MCU
Das Paper beschreibt einen Ansatz zur Erstellung einer IoT-Architektur um nicht kompatible heterogene IoT-Systeme zu integrieren. Diese soll modular, erweiterbar und vielseitig anwendbar sein. Ausgeschlossen wegen zu hohem Fokus auf IoT-Architekturen.	-	-	-	-	-
In dem Artikel werden Industrie 4.0 und IoT-Plattformen verglichen. Im Sektor IoT-Plattformen werden die Hersteller IBM, Microsoft, PTC, Bosch SI, ATOS und Deutsche Telekom als Marktführer identifiziert. Diese schnitten sowohl bei der Portfolioattraktivität, sowie bei der Wettbewerbsfähigkeit gut ab. Als "Rising Star" wurde die IoT-Plattform Cumulocity identifiziert. Sehr ähnlich zu "Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives" und aktueller, deswegen nicht in Arbeit behandelt.	Ja	Ja	-	PTC, Deutsche Telekom, IBM, Bosch SI, Atos, SAP, Cumulocity, Device Insight, GE, HPE, Relayr, Eurotech, Axiros	-
Der Artikel soll bei der Auswahl eines geeigneten IoT-Anbieters für eine bestimmte Anwendung helfen. Die Konklusion ist, dass speziell für Nieschenanwendungen oft kleine Anbieter gegenüber den großen zu bevorzugen sind. Artikel wurde nicht aufgenommen, da dieser von ThingWorx gesponsert ist und "Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives" sehr ähnlich ist.	-	-	-	ThingWorx	-
Die wichtigsten Punkte des Papers sind 5 Phasen zur Strukturierung der IoT-Integration, Erkenntnisse aus aktuellen IoT-Projekten, ein Vergleich von 8 IoT-Anbietern, ein genauerer Blick auf die Aspekte Sicherheit, Managebarkeit, und Interoperabilität. Große Überlappung mit "Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives", jedoch relevant.	Ja	Ja	Ja	IBM, PTC, Intel, GE, SAP	-
Das Paper schafft einen sehr groben Überblick über das IoT. Paper aufgrund von zu großen Scope ausgeschlossen.	-	-	-	-	-
Das Paper ist ebenfalls zu unspezifisch und wurde deshalb als nicht relevant gekennzeichnet.	-	-	-	-	-
Das Paper befasst sich mit den Hürden im Bezug auf Security die das IoT noch meistern muss. Weiters werden potenzielle Anwendungen identifiziert, die noch nicht oder wenig bearbeitet wurden. Paper passt mit den Hauptaspekten Sicherheit und Future Opporunities nicht in die Arbeit und wurde deshalb ausgeschlossen.	-	-	-	-	-
Das Paper befasst dokumentiert Erfahrungen von der Erstellung von IoT-Anwendungen mit ESP32 MCUs. Es werden möglich Anwendungsgebiete behandelt und es wird eine PoC-Anwendung eingerichtet. Aufgrund großer Überlappung nicht in Arbeit.	-	-	-	-	ESP32 Wrover developm ent kit

Quellennr. in DA	Jahr	Autoren	Paper Titel	Relevanz	Paper-Typ
-	2019	Carlo Guarnieri Calò Carducci; Antonello Monti; Markus Hans Schraven; Markus Schumacher; Dirk Mueller	Enabling ESP32-based IoT Applications in Building Automation Systems	5	Untersuchung
-	2019	F. Margret Sharmila; P. Suryaganesh; M. Abishek; Ullas Benny	IoT Based Smart Window using Sensor Dht11	5	Erstellung einer IoT-Anwendung
-	2016	Ahmed Banafa	IoT Standardization and Implementation Challenges	5	Ansatz
-	2019	Paola Pierleoni; Roberto Concetti; Alberto Belli; Lorenzo Palma	Amazon, Google and Microsoft Solutions for IoT: Architectures and a Performance Comparison	4	Überblick/ Vergleich
-	2021	Muhammad Azfal; Hafiz Ali Hamza Gondal; Muhammad Najeeb Ullah; Saad Akbar	IoT Based Smart Environmental Monitoring System Using ESP32/We-Mos D1 Mini & ThingSpeak	5	Erstellung einer IoT-Anwendung
-	2020	Mahdi Fahmideh; Didar Zowghi	An exploration of IoT platform development	5	Überblick/ Vergleich
-	2014	Konstantinos Vandikas; Vlasios Tsiatsis	Performance Evaluation of an IoT Platform	4	Untersuchung
-	2018	Harika Devi Kotha; V Mnssvkr Gupta	IoT Application, A Survey	3	Literaturanalyse

Kurz-Zusammenfassung und Ausschlussgrund	MS Azure	AWS	Google Cloud	Weitere IoT-Anbieter	MCU
Im Paper werden die Anforderungen an ein kabelloses Interface für Automatisierungssysteme untersucht. Es soll gezeigt werden, welche Maßnahmen notwendig sind um ein bestehendes System auf ein kabelloses umzubauen. Es zeigte sich, dass der ESP32 MCUs dafür hervorragend geeignet sind, weil diese kostengünstig und performancestark sind. Paper zu spezifisch und deswegen ausgeschlossen.	-	-	-	-	ESP32
Im Rahmen des Papers wurde ein Smart Window entwickelt, dass sich je nach Innenraumtemperatur automatisch öffnet und schließt, bzw. sich über eine Cloud Anwendung öffnen/schließen lässt. Dafür wurde eine Arduino MCU, ein Schrittmotor sowie ein DHT11 Sensor verwendet. Paper oos, deswegen ausgeschlossen,	-	-	-	-	Arduino
Im Paper werden die Probleme behandelt, die auf mangelhafte Standardisierung von IoT-Anwendungen zurückzuführen sind. Weiters wird ein Mustermodell erstellt um die Implementation von IoT-Anwendungen zu standardisieren. Paper aufgrund zu hohem Fokus auf IoT-Architektur ausgeschlossen.	-	-	-	-	-
Im Paper werden die drei IoT-Plattformen AWS, Google Cloud und MS Azure im Hinblick auf IoT-Architektur und Performance gegenübergestellt. Das Ergebnis zeigt, dass je nach Anwendungstyp jede der drei Plattformen seine Vor- und Nachteile haben kann und die Entscheidungsfindung welche zu bevorzugen ist ein hochkomplexer Prozess ist. Paper aufgrund großflächiger Überlappung ausgeschlossen.	Ja	Ja	Ja	-	-
Im Paper wird mithilfe eines ESP32 MCUs, diversen Sensoren und der Cloud Plattform Thingspeak ein IoT-Anwendung zum Monitoring von Umweltdaten eingerichtet. Ausgeschlossen wegen Verwendung von Thingspeak.	-	-	-	Thingspeak	ESP32
Das Paper ist eine Literaturanalyse von 63 Ansätzen, die die Entwicklung und die Charakteristiken von kleineren IoT-Plattformen beschreiben. Sehr viele wichtige Aspekte, die IoT-Plattformen betreffen sind sehr übersichtlich in Tabellen dargestellt. Es kommen jedoch weder AWS, Google Cloud und MS Azure vor, deswegen wird das Paper ausgeschlossen.	-	-	-	Diverse	-
Beschreibt ein IoT-Framework, das aus open source Komponenten erstellt wurde und die Performance einer IoT-Plattform testen soll. Es zeigte sich, dass bei Datenmengen bei der Simulation von >1000 Sensoren die Performance stark nachlässt. Aufgrund von Überlappung ausgeschlossen.	-	-	-	-	-
Im Paper werden Entwicklungstrends, Schlüsseltechnologien, Hauptanwendungen und Schlüsselaufgaben des IoTs zusammengefasst. Ausgeschlossen wegen großer Überlappung mit anderen Papers.	-	-	-	-	-

Quellennr. in DA	Jahr	Autoren	Paper Titel	Relevanz	Paper-Typ
-	2019	Derek Johnson; Mohammed Ketel	IoT: Application Protocols and Security	5	Literaturanalyse
-	2019	Naser Hossein Motlagh; Mahsa Mohammadrezaei; Julian Hunt; Behnam Zakeri	Internet of Things (IoT) and the Energy Sector	5	

Kurz-Zusammenfassung und Ausschlussgrund	MS Azure	AWS	Google Cloud	Weitere IoT-Anbieter	MCU
Das Paper befasst sich mit der Problematik, dass die Verbesserung der Sicherheitsmaßnahmen von IoT-Anwendungen nicht mit der Nachfrage an IoT-Neuheiten mithalten kann. Es zeigt, dass skalierbare Sicherheitsmaßnahmen notwendig sind. Diese benötigen jedoch auch eine höhere Homogenität der IoT-Architekturen. Paper zu spezifisch in Richtung Security, deswegen ausgeschlossen.	-	-	-	-	-
Das Paper befasst sich mit den Vorteilen, die das IoT in den Energiesektor bringt. Dabei wird der Energiesektor in die Energielieferkette, die Energiegenerierung und den Energieendverbrauch aufgeteilt. Das Paper ist sehr informativ, jedoch weist es ein zu großes Scope auf und wird somit ausgeschlossen.	-	-	-	-	-

**Drive Connection Positioning Manual**  
for the  
RD01 Parabolic Trough Collector

by Stefan Kimeswenger

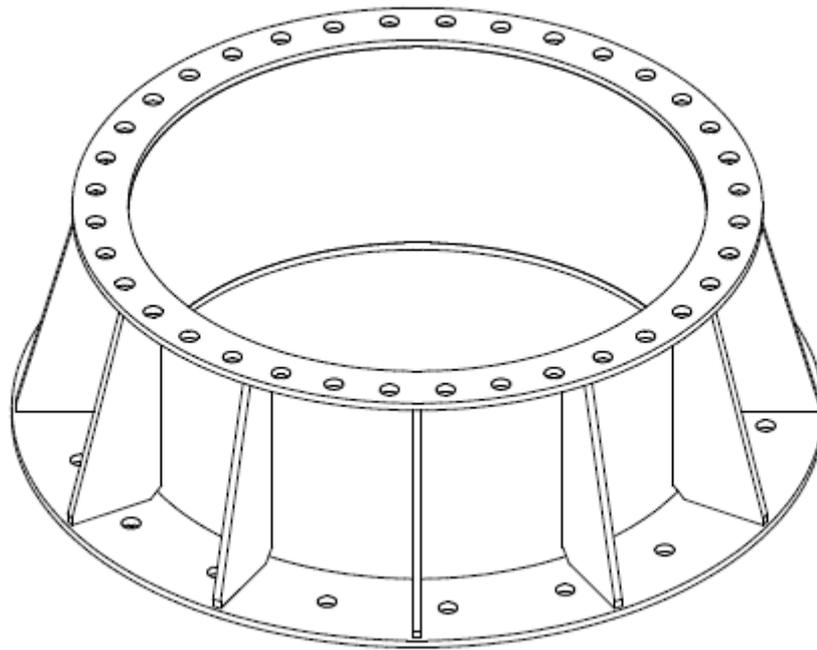
Inzersdorfer Straße 28/ 23, 1100 Vienna, Austria  
UID/VAT: ATU71199614 / FN 454515 f / Commercial Court of Vienna  
Erste Bank und Sparkasse  
IBAN: AT572011182315134800  
BIC: GIBAATWWXXX

## Table of contents

1. Introduction.....	3
2. Diameter Measurement.....	4
3. Calculating the distances to the screw hole circle .....	6
4. Marking the calculated distances.....	7
5. Demo Positioning .....	9
5.1 Step-by-Step transfer of the outer rail calculations to the foundation .....	12
5.2 Step-by-Step transfer of the inner rail calculations to the foundation.....	22
6. Excel Template for Calculations .....	28

## 1. Introduction

Since the coaxiality of the RD01 Parabolic Trough Collector and its foundation have top priority for the function of the system, this manual will ensure, that the Drive Connection is going to be mounted in the center of the rails which have already been mounted. The Drive Connection defines the axis of rotation for the RD01 and is going to be mounted on the flange shown in Figure 1.



*Figure 1: Drive Connection Foundation Flange*

This manual consists of several steps which should lead to an almost perfect centered axis of rotation. The last chapter is going to be a demo positioning operation, which will help to better understand the purpose of every step of this manual.

## 2. Diameter Measurement

The first step of the manual is going to be the measurement of various diameters, which will be used to determine the position of the screw hole circle on which the drive connection foundation flange is going to be mounted.

Since this step will use the foundation sockets on which the rails are mounted as a reference, it will be necessary to form pairs of opposite arranged sockets and somehow label them, so that its clear to which pair of sockets the measured diameter corresponds. This step is explained via Figure 2.

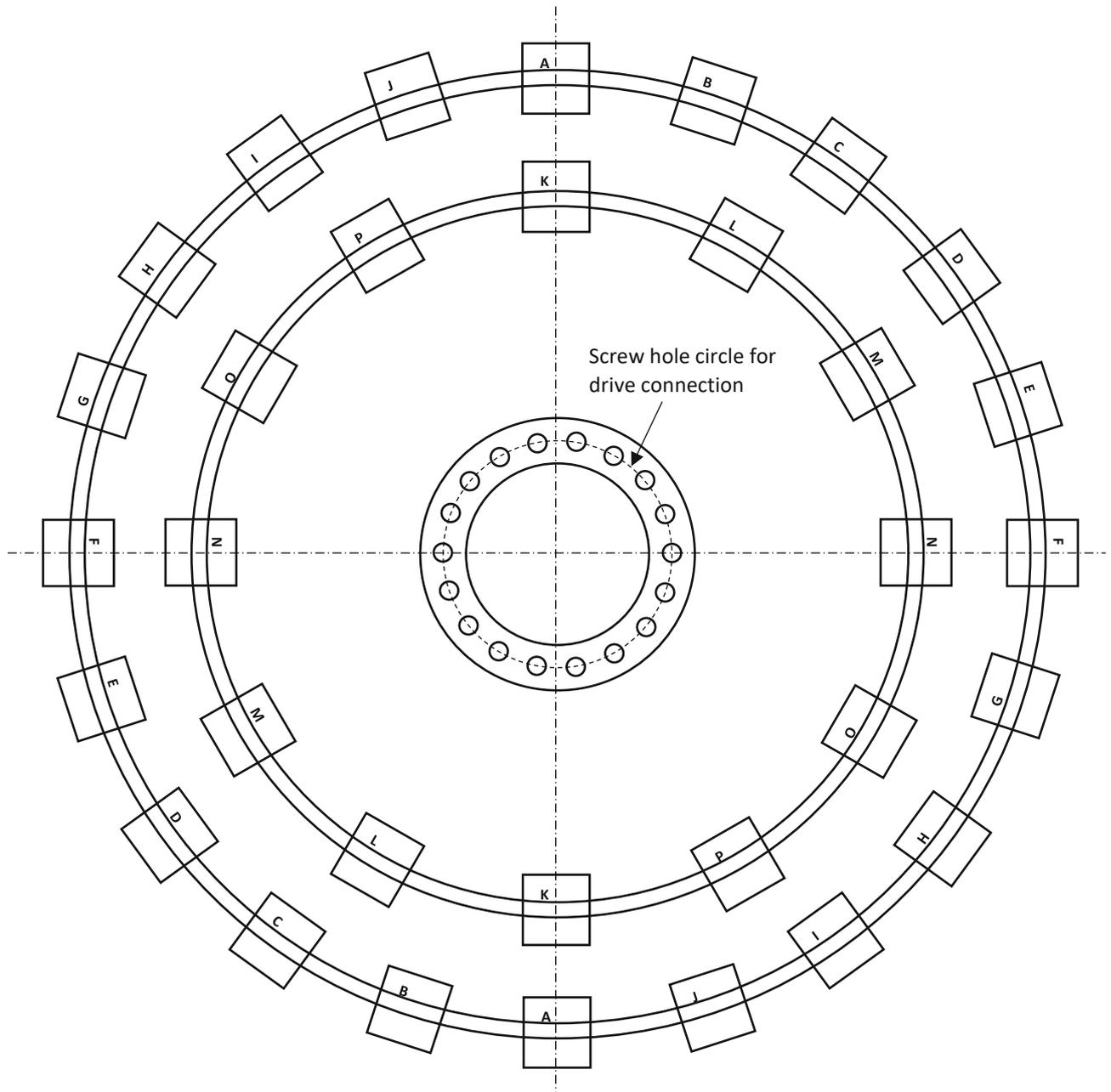


Figure 2: Labeling of foundation sockets  
(not proportional to actual dimensions)

After the labeling has been completed, the measurements can be taken according to Figure 3. The dimensions A and B for the outer rails and K and L for the inner rails have been inserted as examples, of course all the measurements from A to P need to be taken.

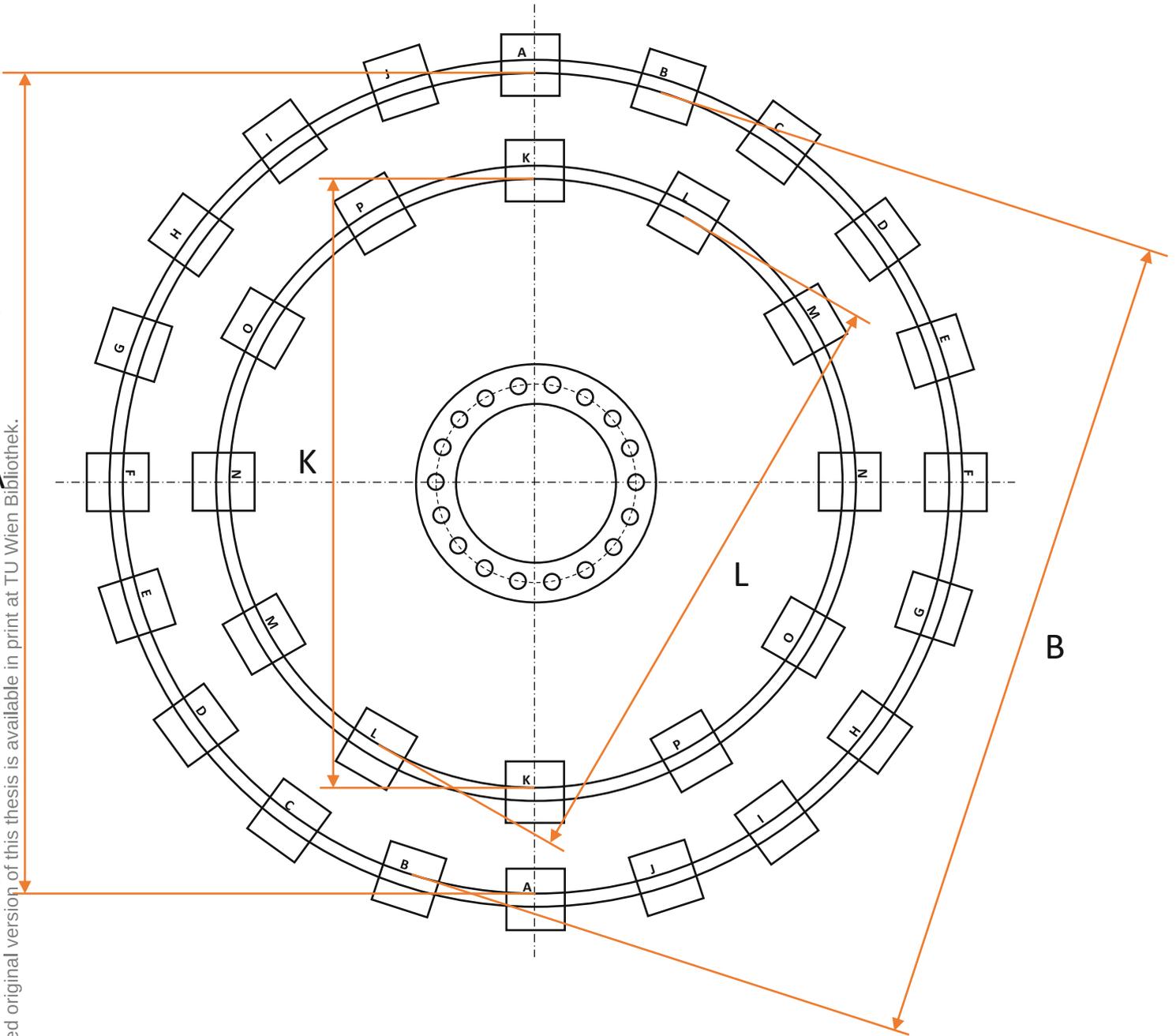


Figure 3: Rail real diameter measurements  
(not proportional to actual dimensions)

### 3. Calculating the distances to the screw hole circle

The next step will be the calculation of the distance from the measuring points to the screw hole circle. These distances (a, b, ..., k, l, ...) in Figure 4 get can be calculated via the following formulas:

$$a = \frac{(A - LK)}{2}$$

$$b = \frac{(B - LK)}{2}$$

...

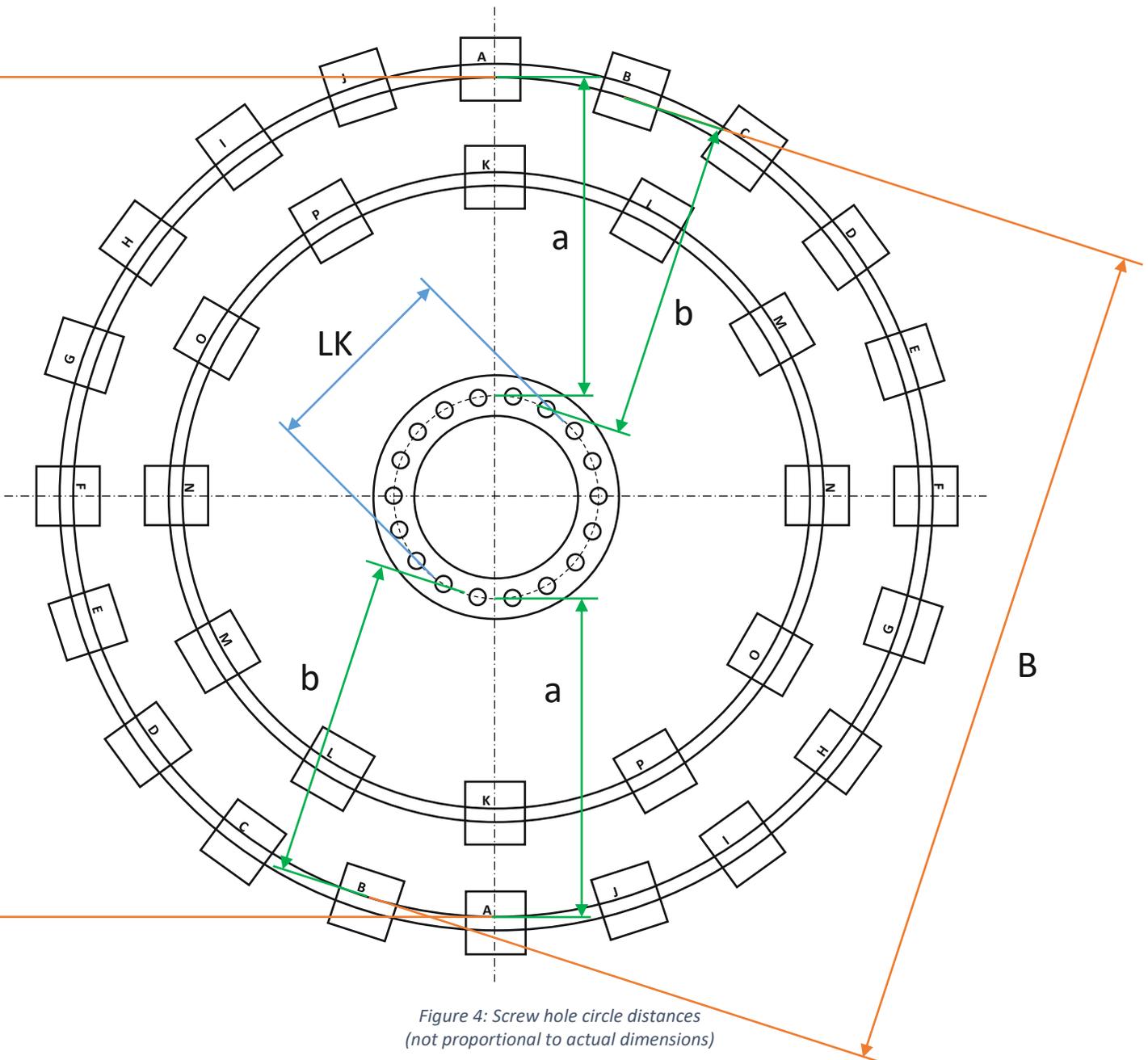


Figure 4: Screw hole circle distances  
(not proportional to actual dimensions)

## 4. Marking the calculated distances

As soon as all the measurements and calculations have been completed it is time to transfer these distances to the foundation. For this step an additional tool which is similar to a construction compass is going to be needed. Alternatively, this step can also be done with a simple pen and a cord, however this method would have bigger room for inaccuracies. With the help of this tool the distances can be transferred to the foundation according to Figure 5. Of course, not only the calculated dimensions a-e need to be transferred as shown in Figure 5, the remaining calculated dimensions f-p also need to be transferred to the foundation in the same way.

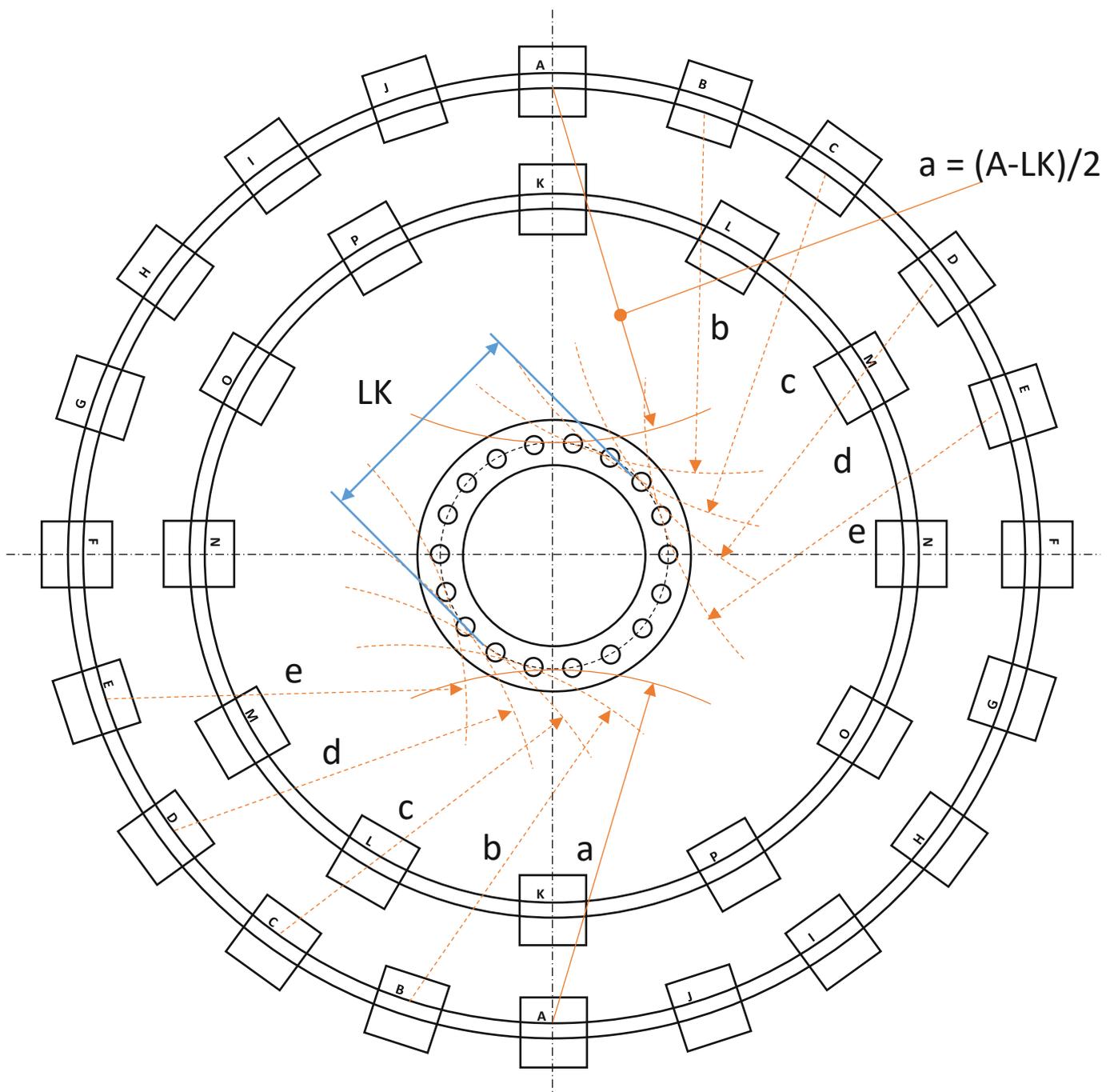


Figure 5: Schematic transfer of the calculated distances to the foundation  
(not proportional to actual dimensions)

Once the transfer of all the distances to the foundation has been completed, the screw hole circle is approximated by the tangents of all the circles segments. Since the rails are not perfectly round there might be some discrepancies.

The chapters 5.1 and 5.2 show, how the transferred calculations a-p would approximate the screw hole circle under perfect conditions. These conditions are under the assumption, that the rails can not be "egg-shaped", meaning that the radius a on the one side cannot vary from radius a on the opposite side. In reality though, these radii are going to vary. If these corresponding radii vary the transferred calculations on the foundation could look like Figure 6. Note that the representation in Figure 6 is far exaggerated and is only for viewing purposes. Due to the big number of transferred calculations to the foundation, these variations should even out, and the median diameter should approximate the screw hole circle good enough for our purposes.

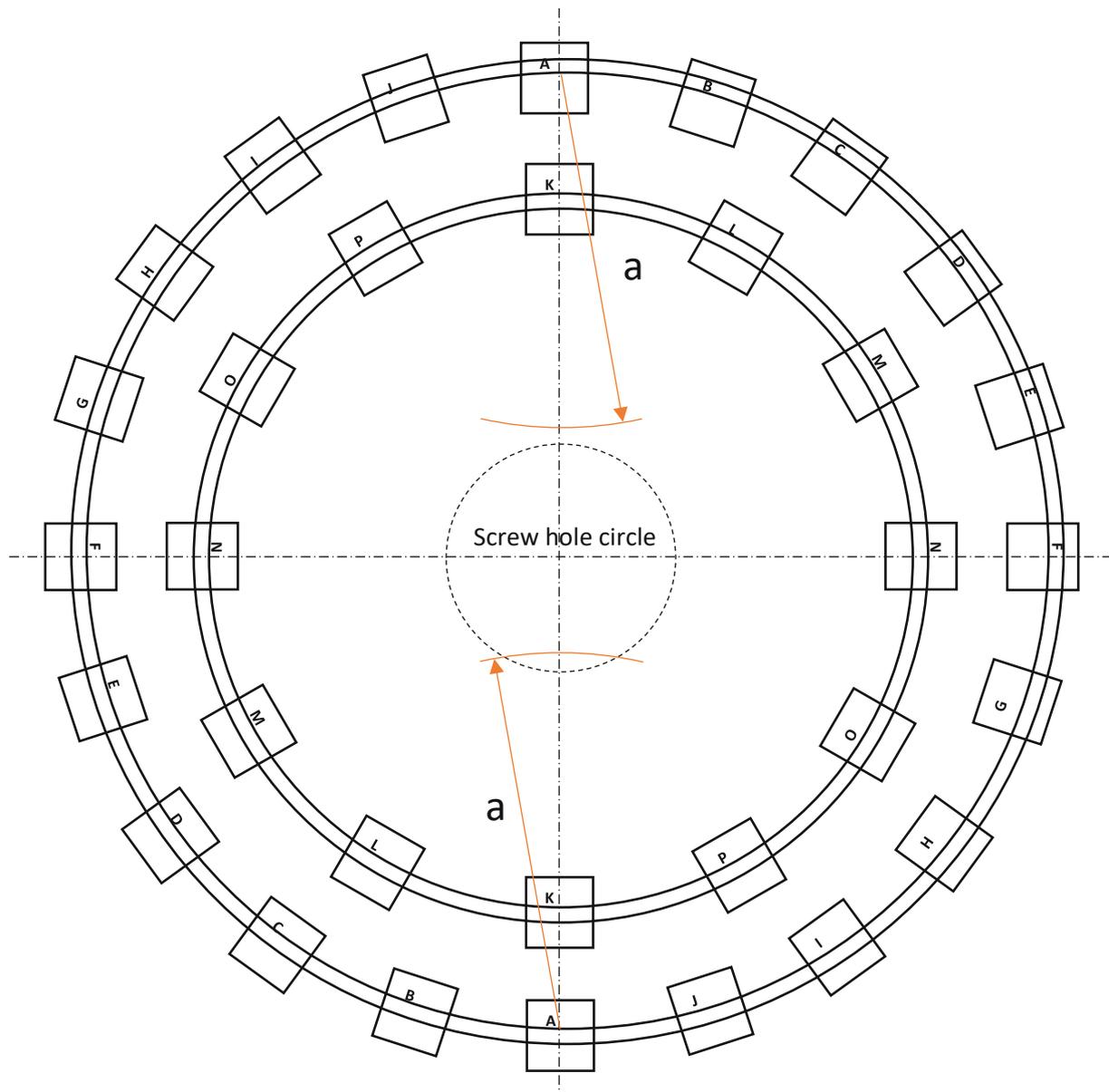


Figure 6: Variation of corresponding radii, "egg-shape"  
(not proportional to actual dimensions, exaggerated representation)

## 5. Demo Positioning

This chapter is going to show a virtual demonstration of the positioning process. A set of fictional diameters A-P has been generated with a random number generator. These fictional diameters are randomly spread within a chosen interval. After generating these diameters, the previous explained calculations have been done with an easy Excel-script. The visualization has been done within a sketch of Autodesk Inventor. The tables show the diameters and the corresponding calculated distances which will be used to mark the screw hole circle.

Outer Rails			D0 = 12729mm
A	12694	a	5942
B	12677	b	5933,5
C	12723	c	5956,5
D	12700	d	5945
E	12727	e	5958,5
F	12689	f	5939,5
G	12814	g	6002
H	12804	h	5997
I	12660	i	5925
J	12651	j	5920,5
Measurements [mm]		Calculations [mm]	

Table 1: Fictional diameters and calculations for the outer rail

Inner Rails			D0 = 7349mm
K	7297	k	3243,5
L	7386	l	3288
M	7369	m	3279,5
N	7385	n	3287,5
O	7346	o	3268
P	7351	p	3270,5
Measurements [mm]		Calculations [mm]	

Table 2: Fictional diameters and calculations for the inner rail

The figures 7 and 8 show, how the markings after the full process should look like. Of course, in reality they might look slightly different due to the rails being not perfectly round.

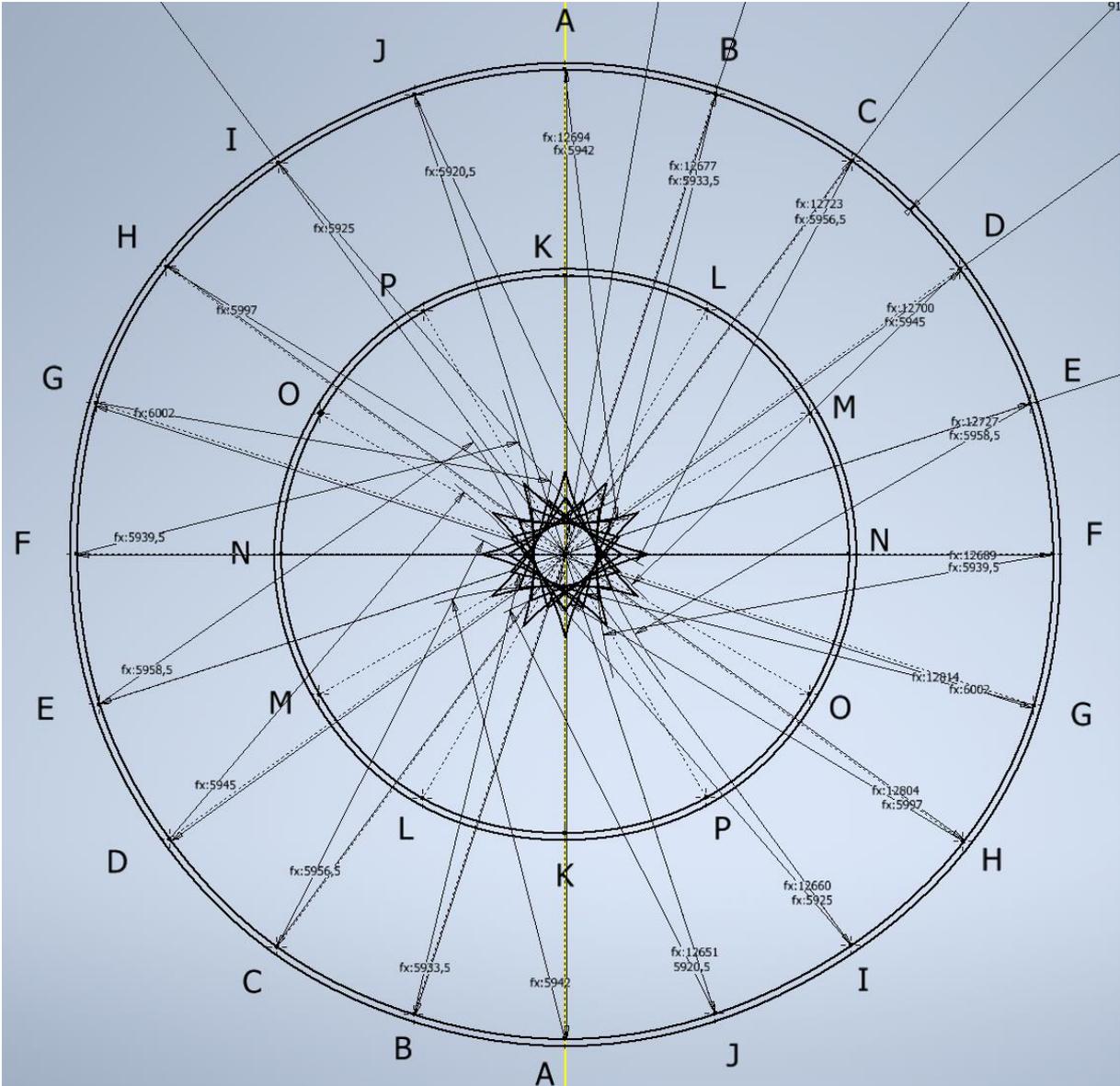


Figure 7: Fully completed transfer of dimensions with dimensioning

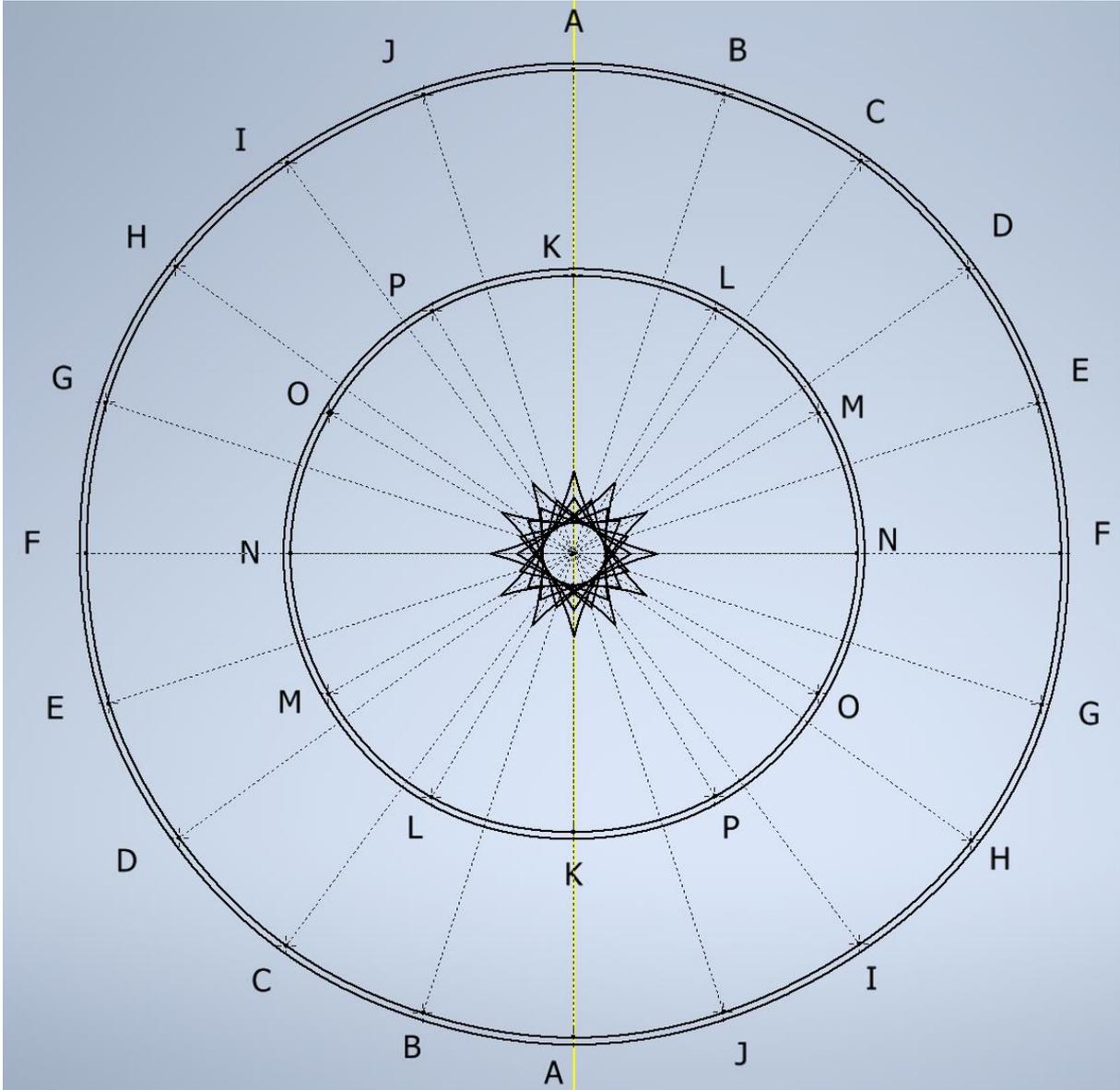


Figure 8: Fully completed transfer of dimensions without dimensioning

## 5.1 Step-by-Step transfer of the outer rail calculations to the foundation

In this section a Step-by-Step visualization of the stepwise improvement of approximation of the screw hole circle due to the markings on the foundation is shown. This section contains only the markings of the outer circle.

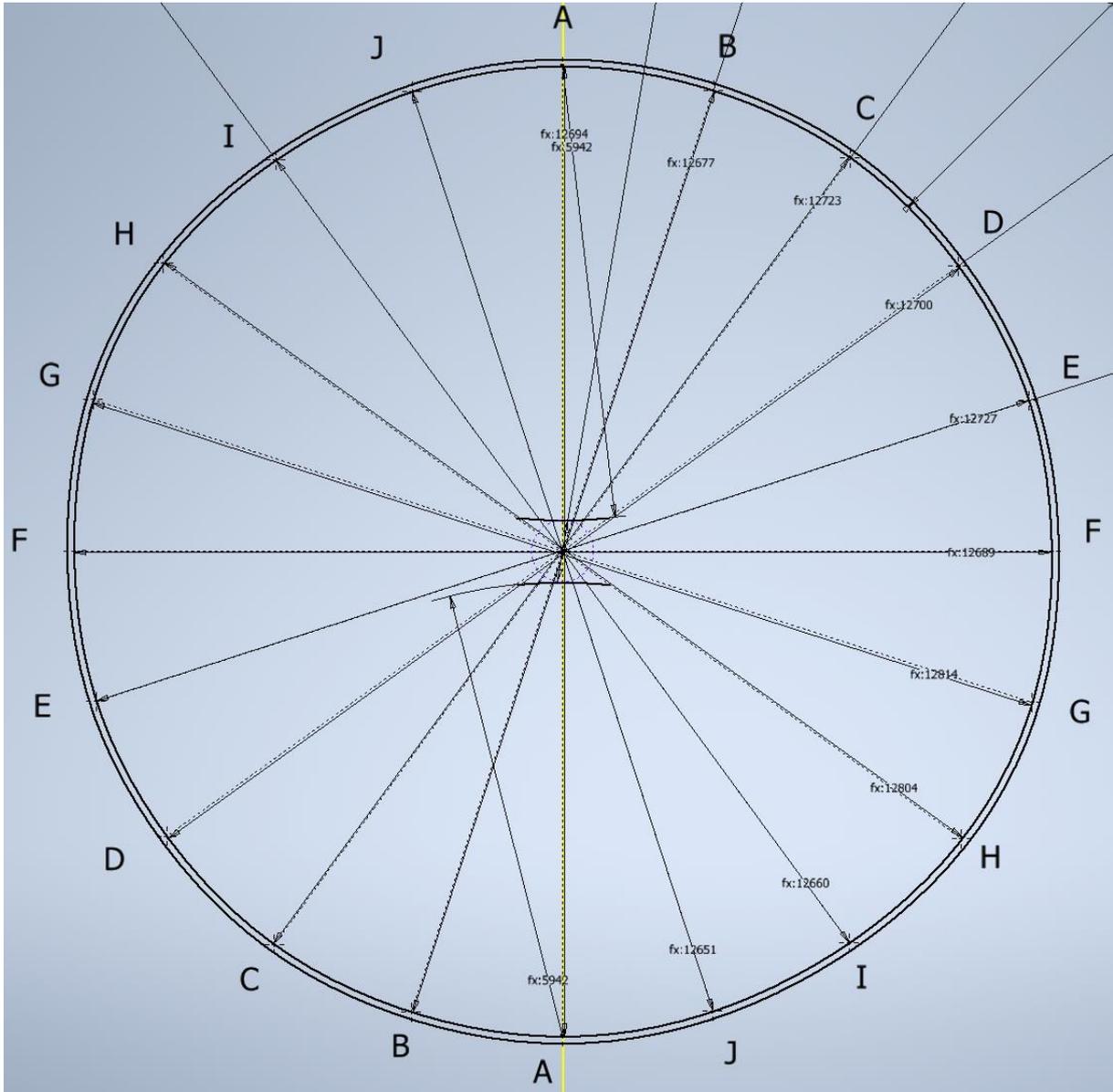


Figure 9: Transfer dimension a

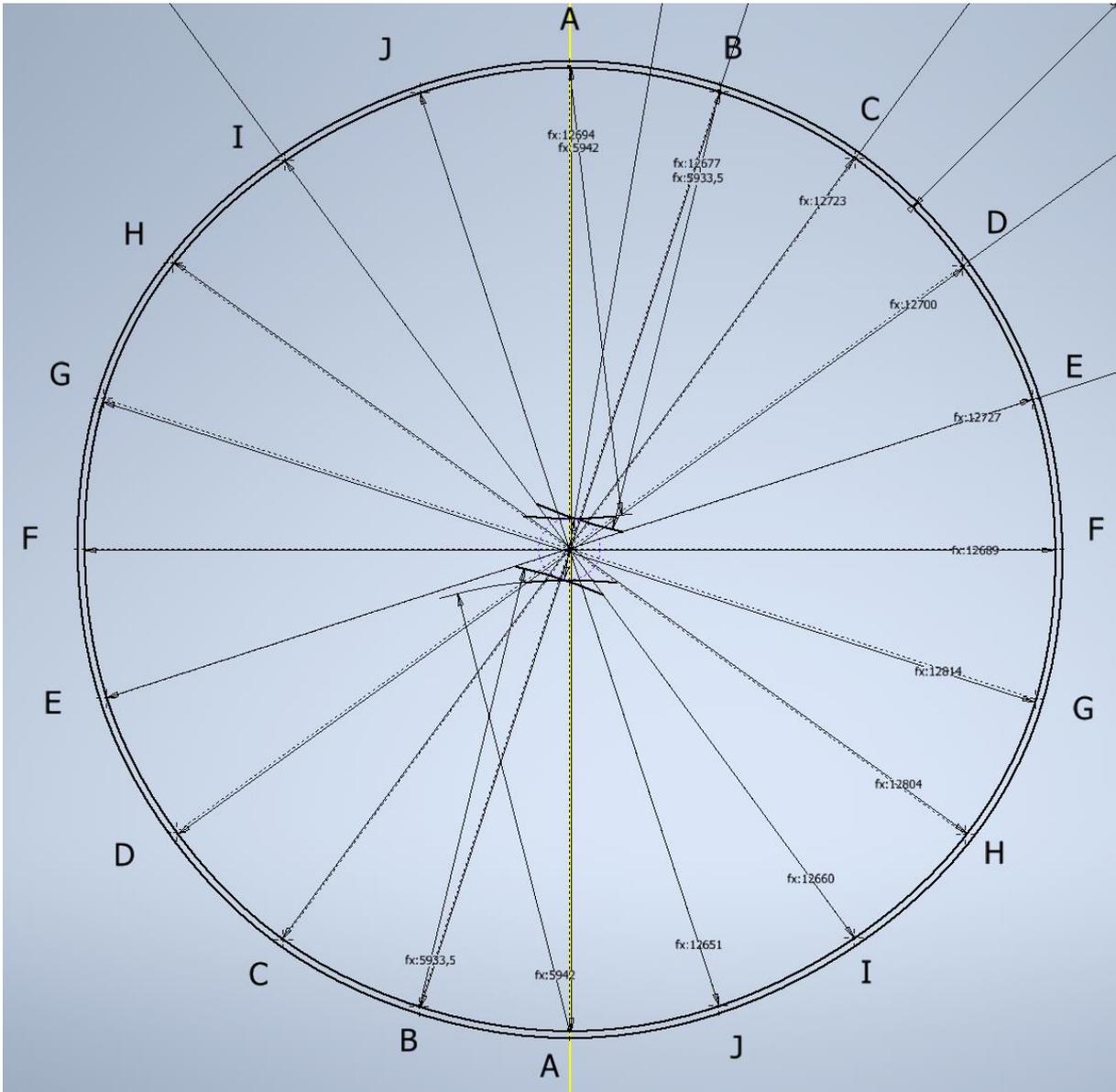


Figure 10: Transfer dimension b

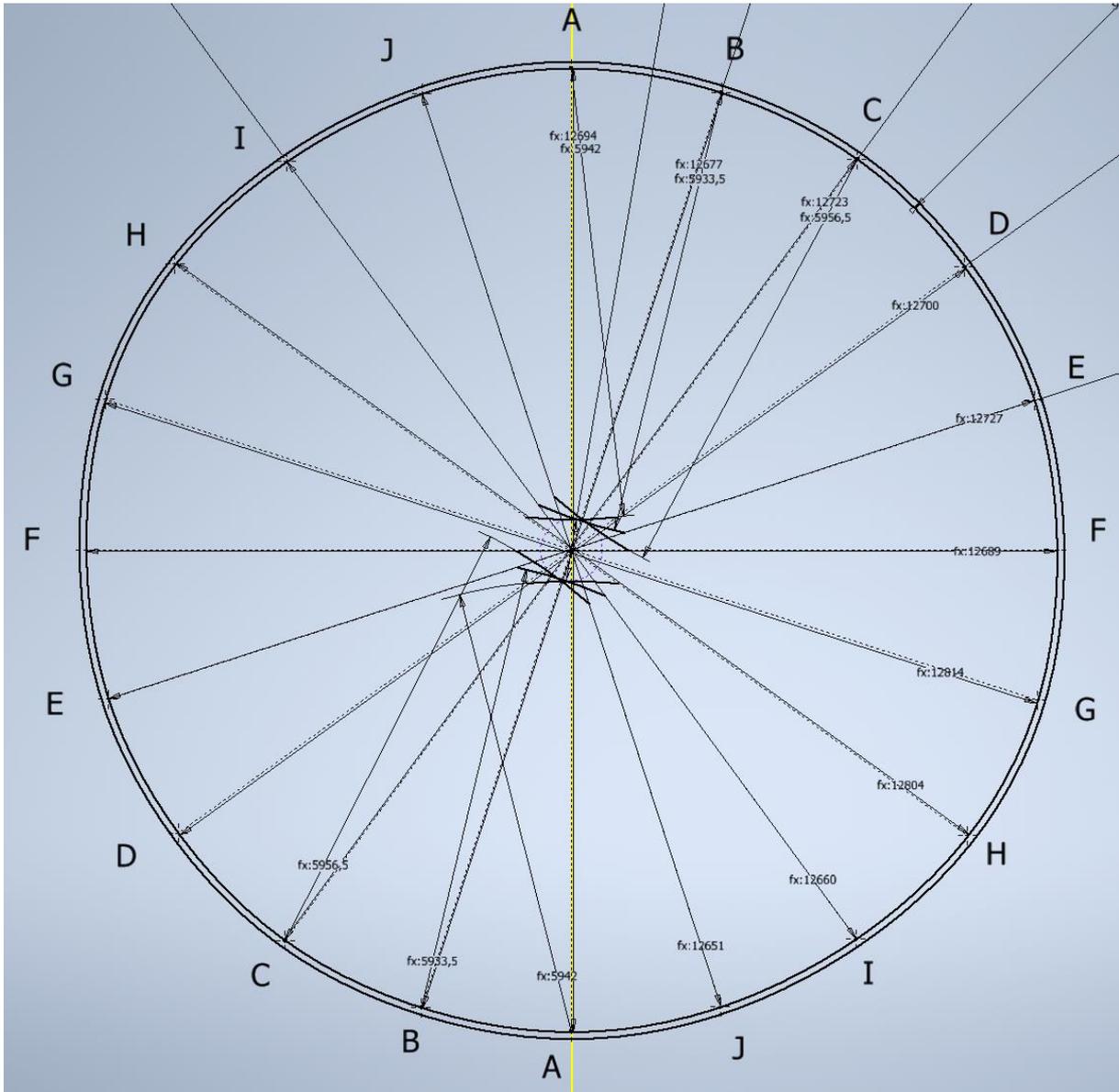


Figure 11: Transfer dimension c

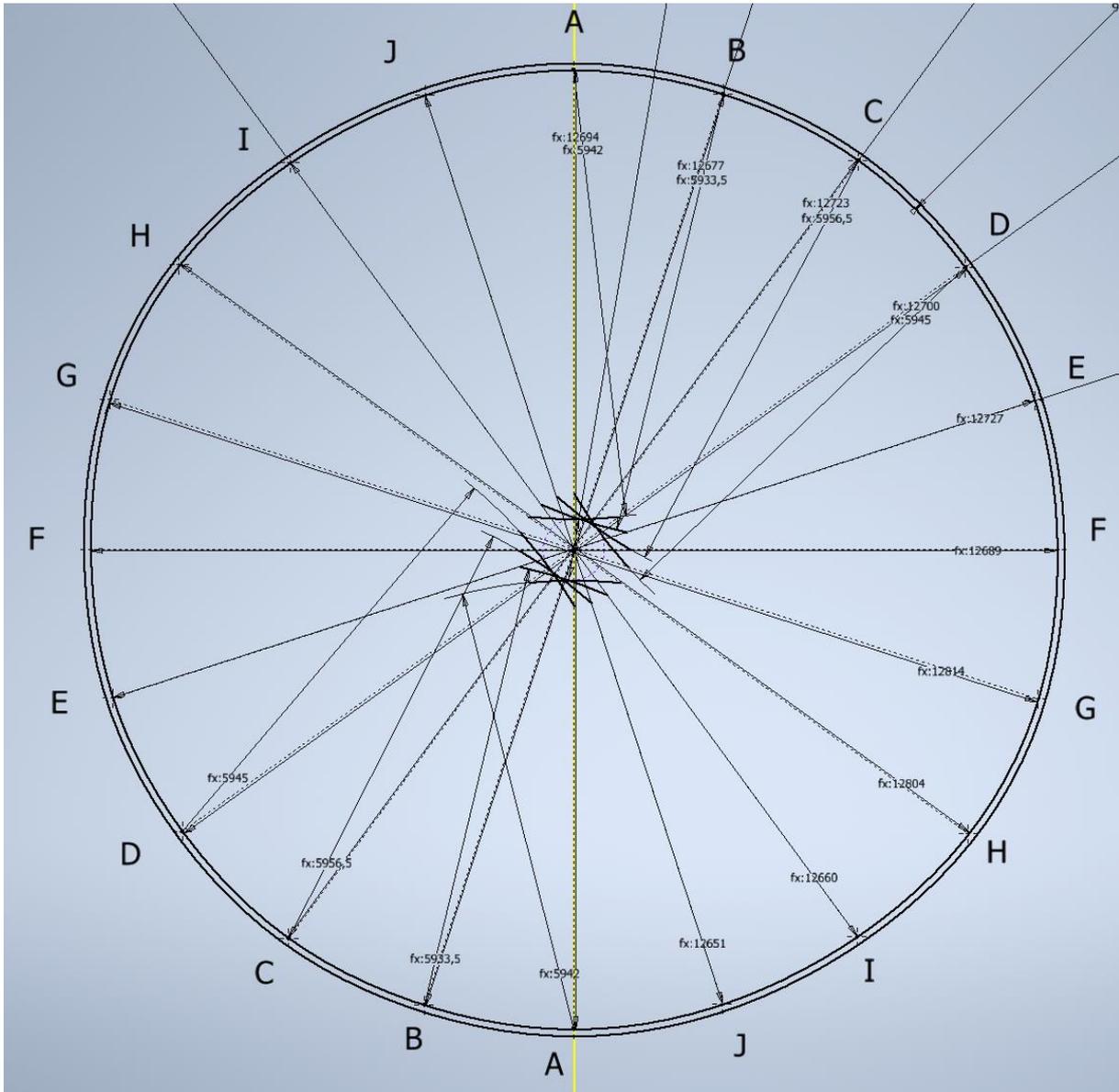


Figure 12: Transfer dimension  $d$

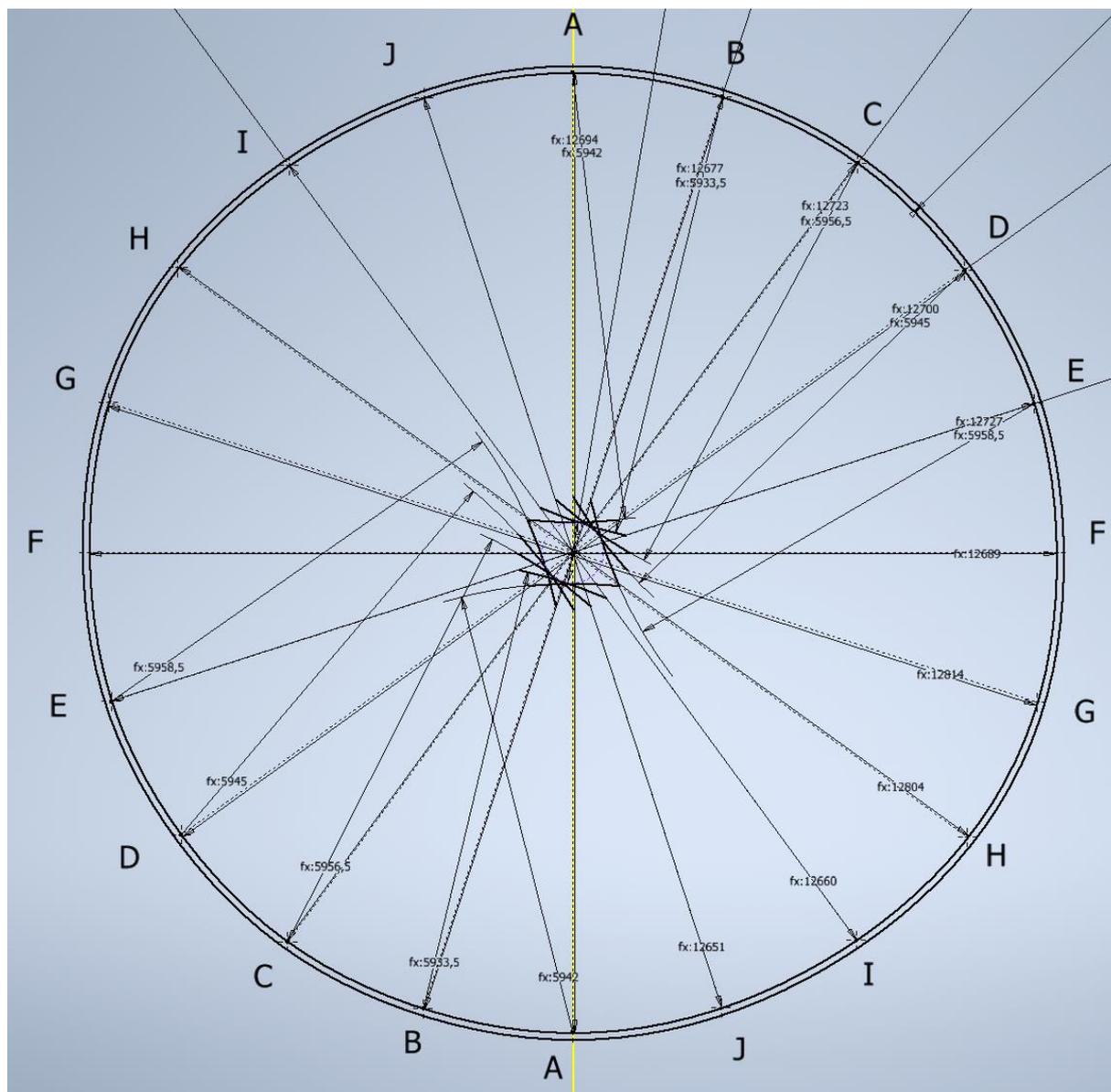


Figure 13: Transfer dimension e

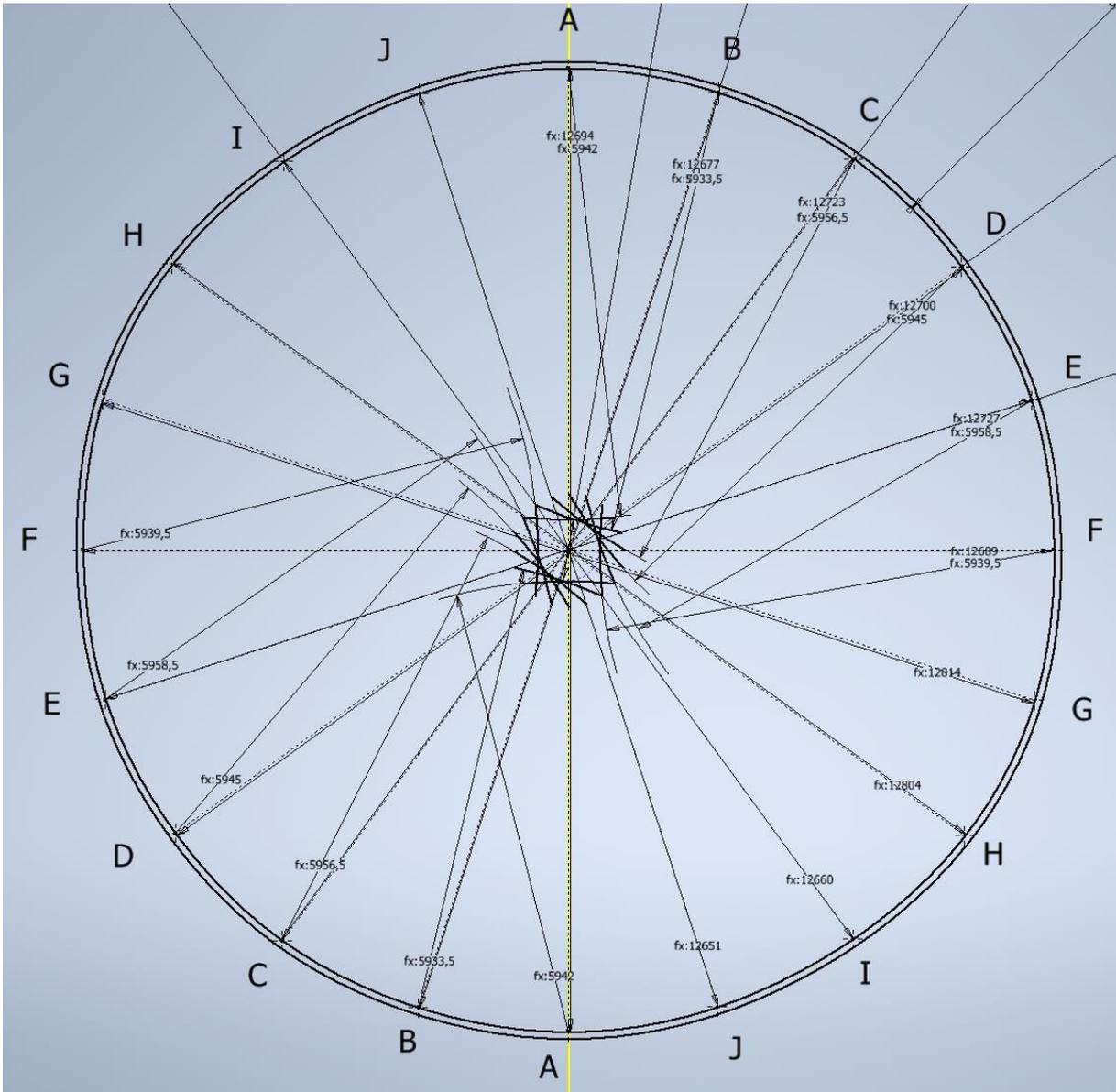


Figure 14: Transfer dimension  $f$

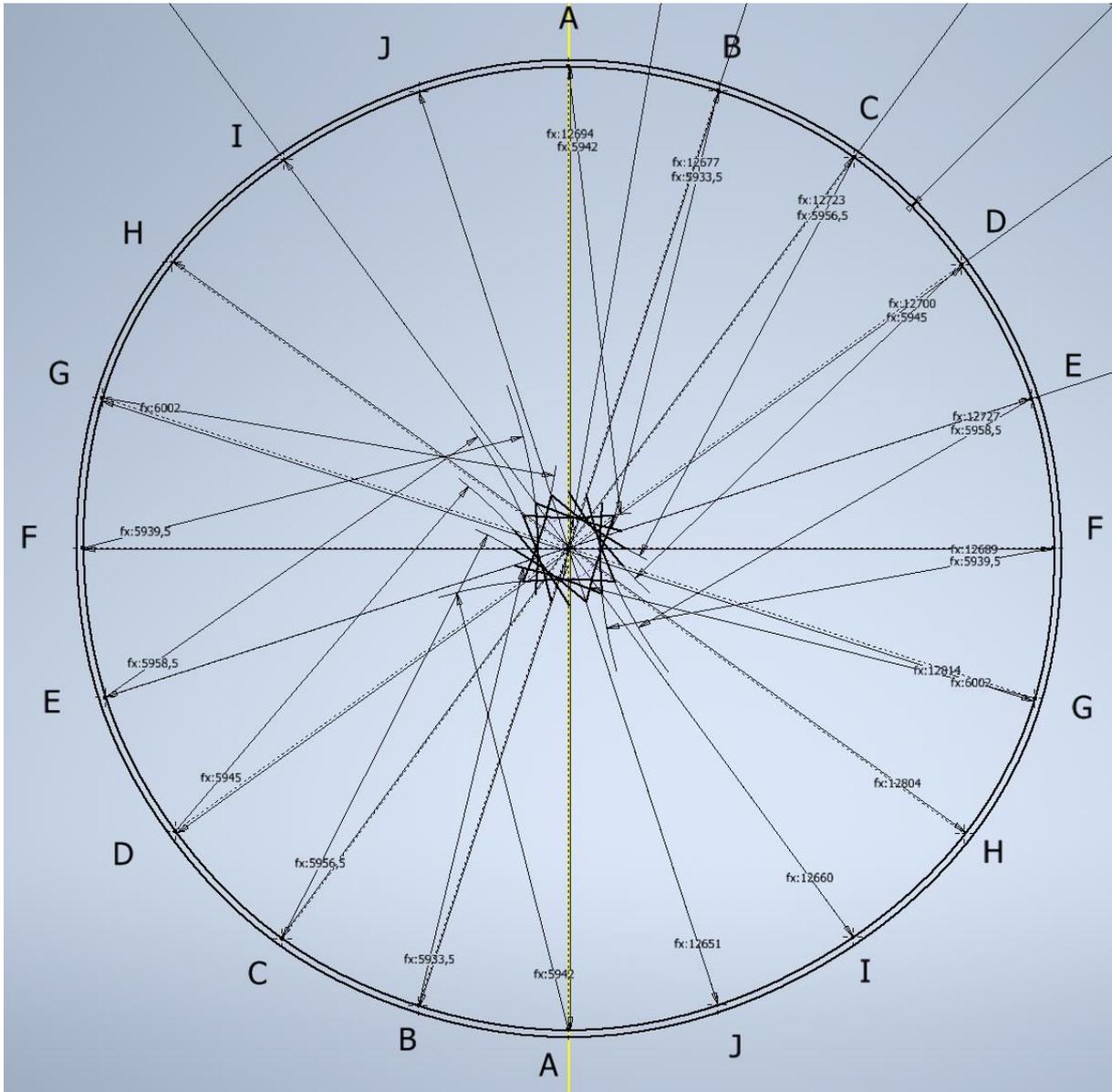


Figure 15: Transfer dimension  $g$

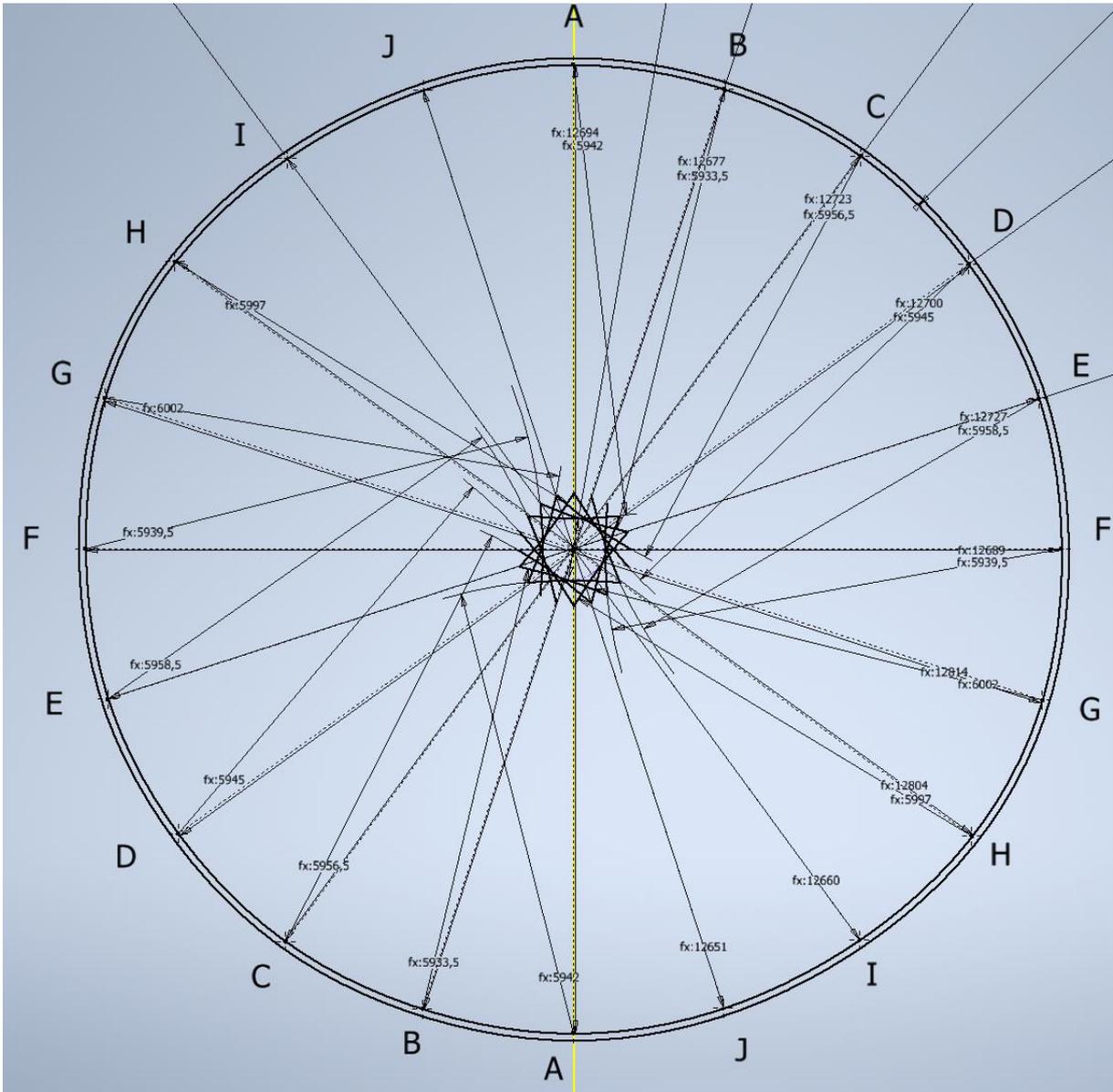


Figure 16: Transfer dimension  $h$

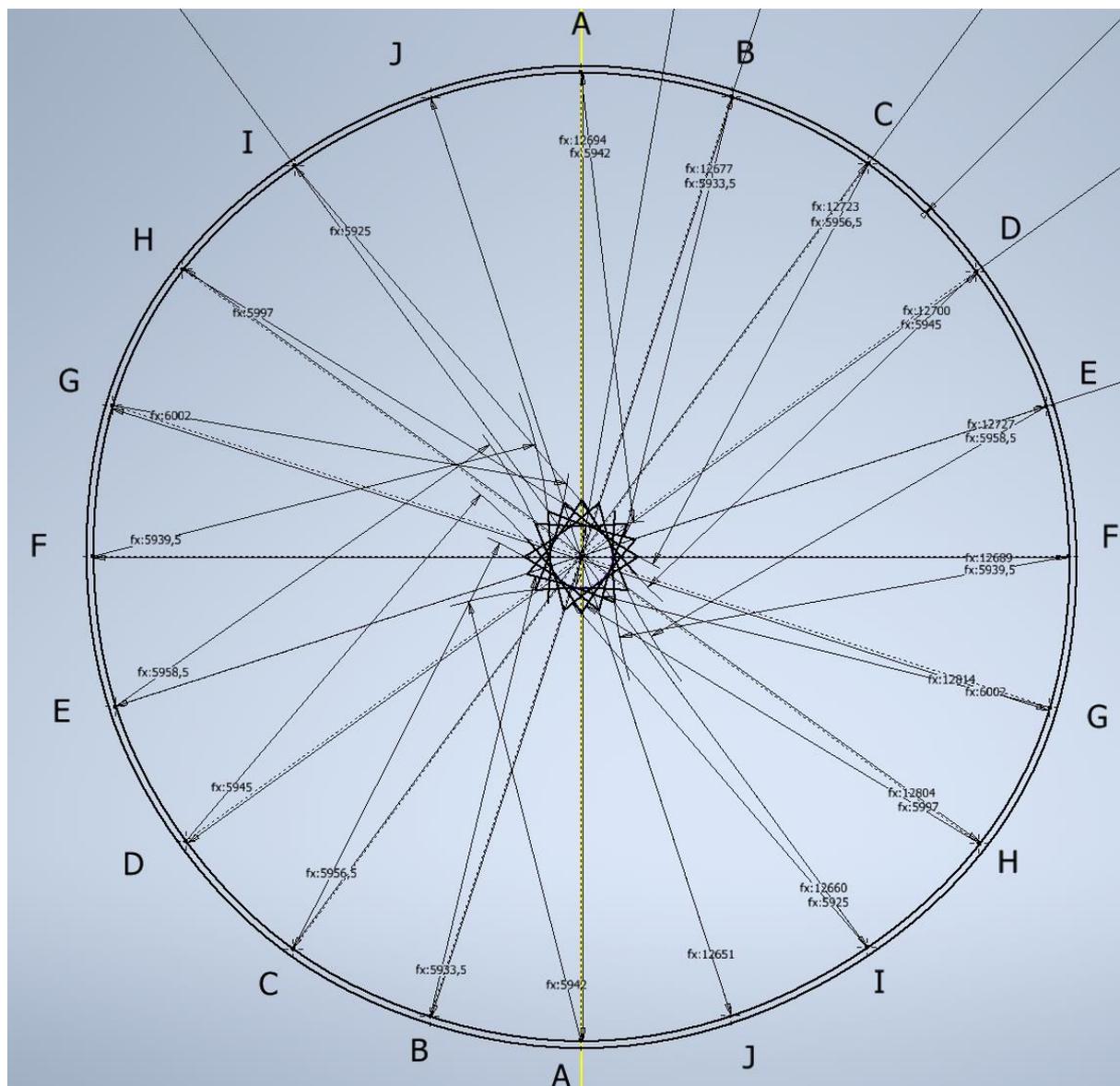


Figure 17: Transfer dimension i

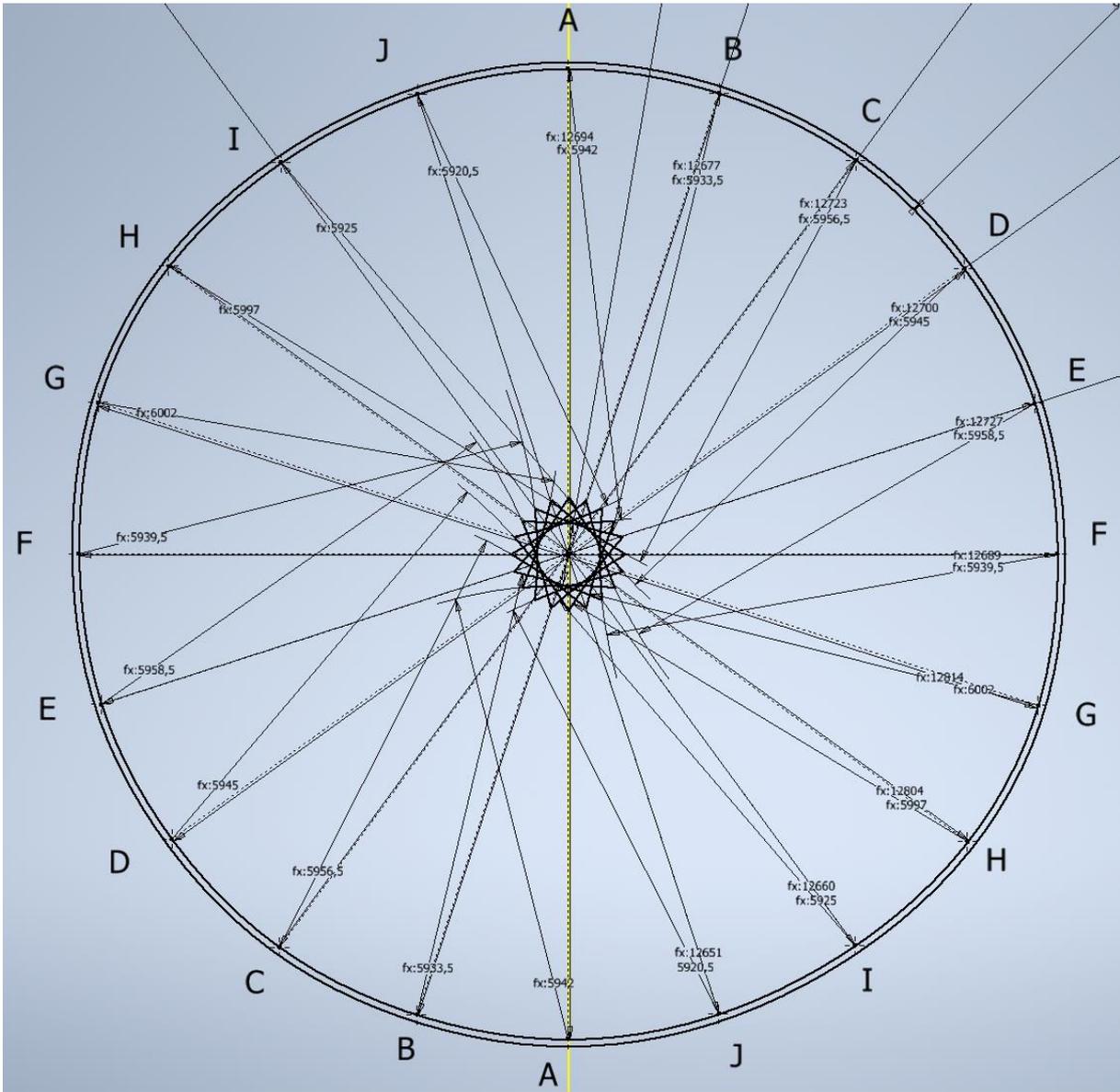


Figure 18: Transfer dimension  $j$

## 5.2 Step-by-Step transfer of the inner rail calculations to the foundation

In this section a Step-by-Step visualization of the better and better approximation of the screw hole circle due to the markings on the foundation is shown. This section contains only the markings of the inner circle.

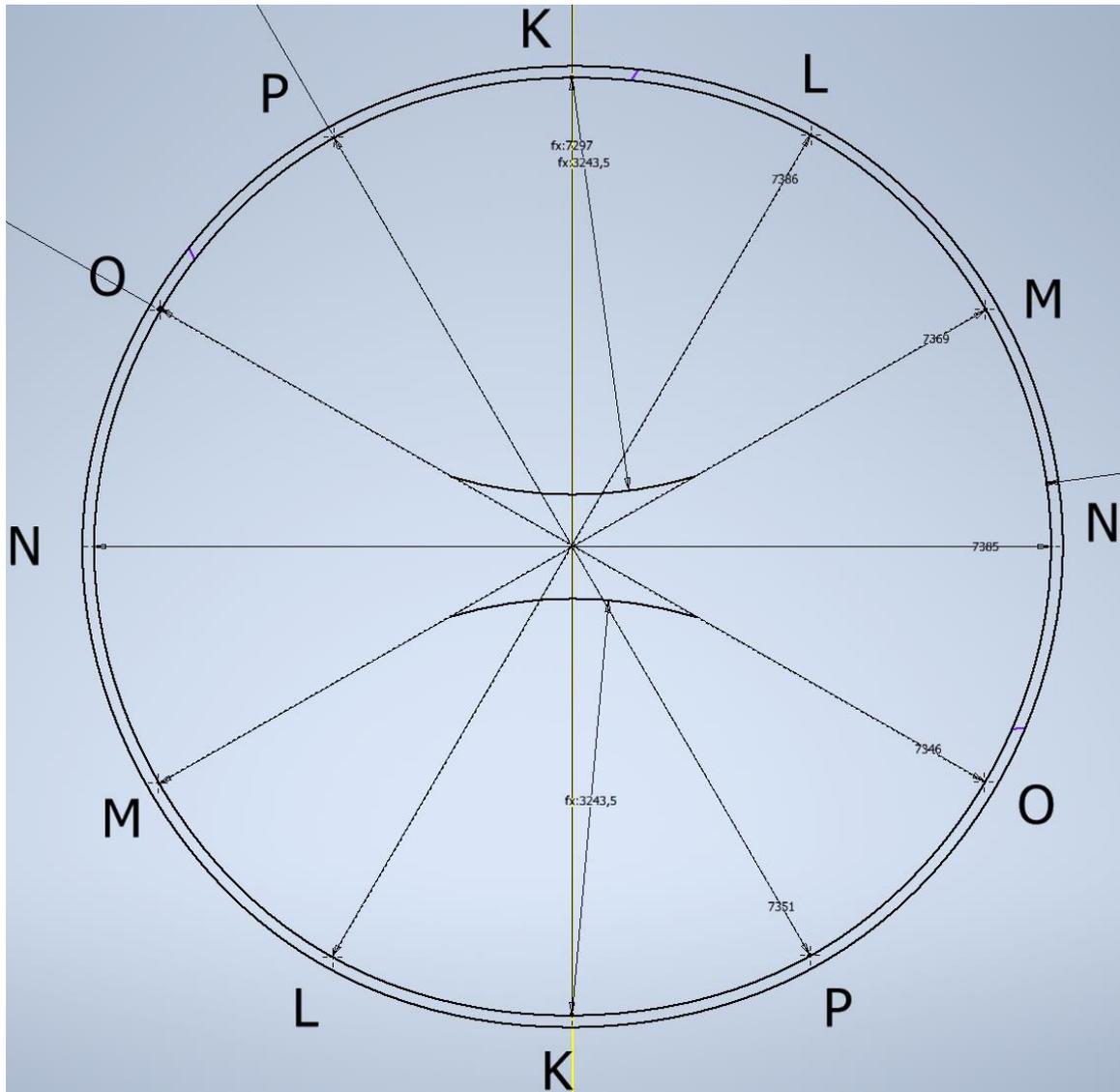


Figure 19: Transfer dimension  $k$

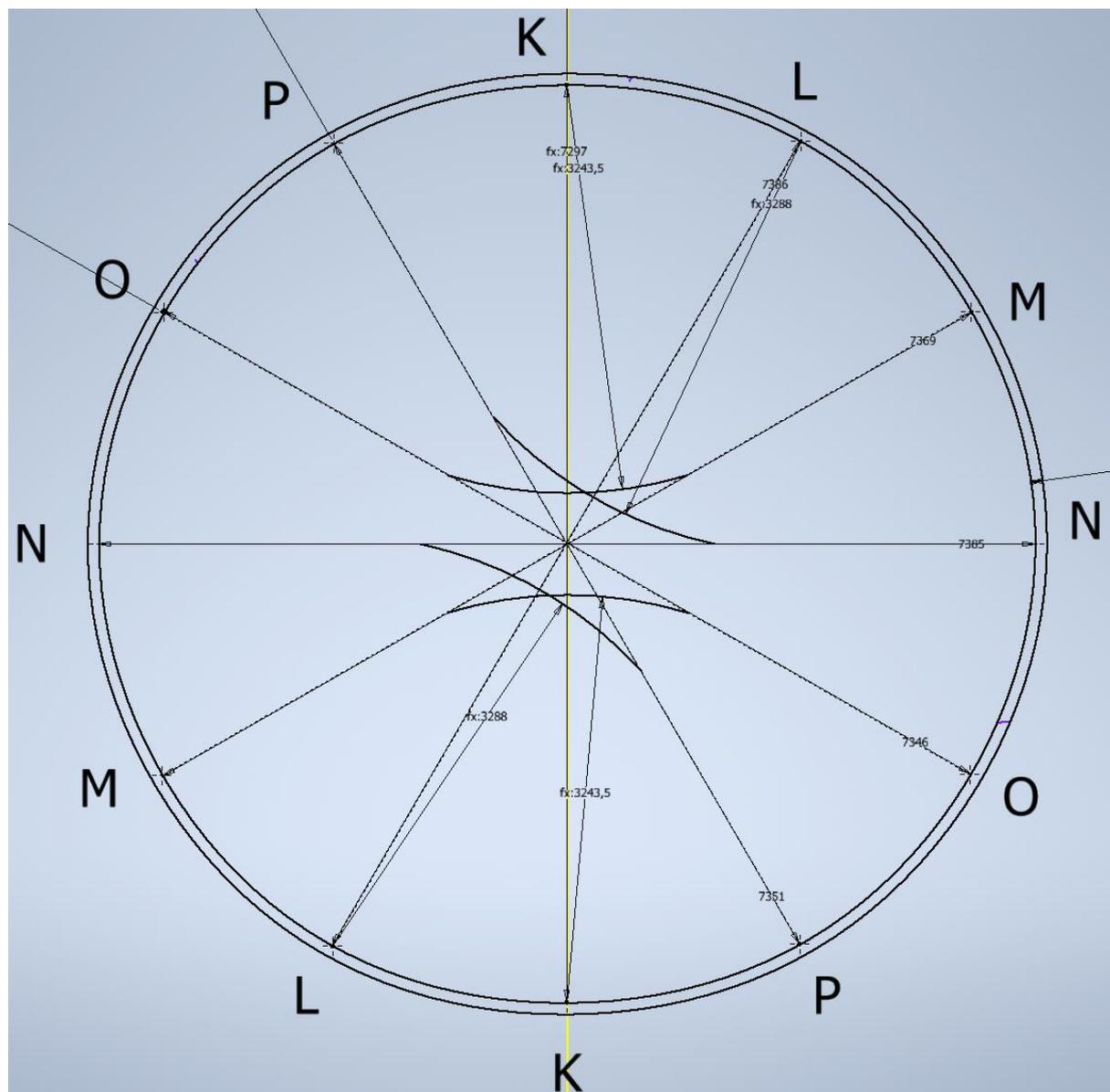


Figure 20: Transfer dimension I

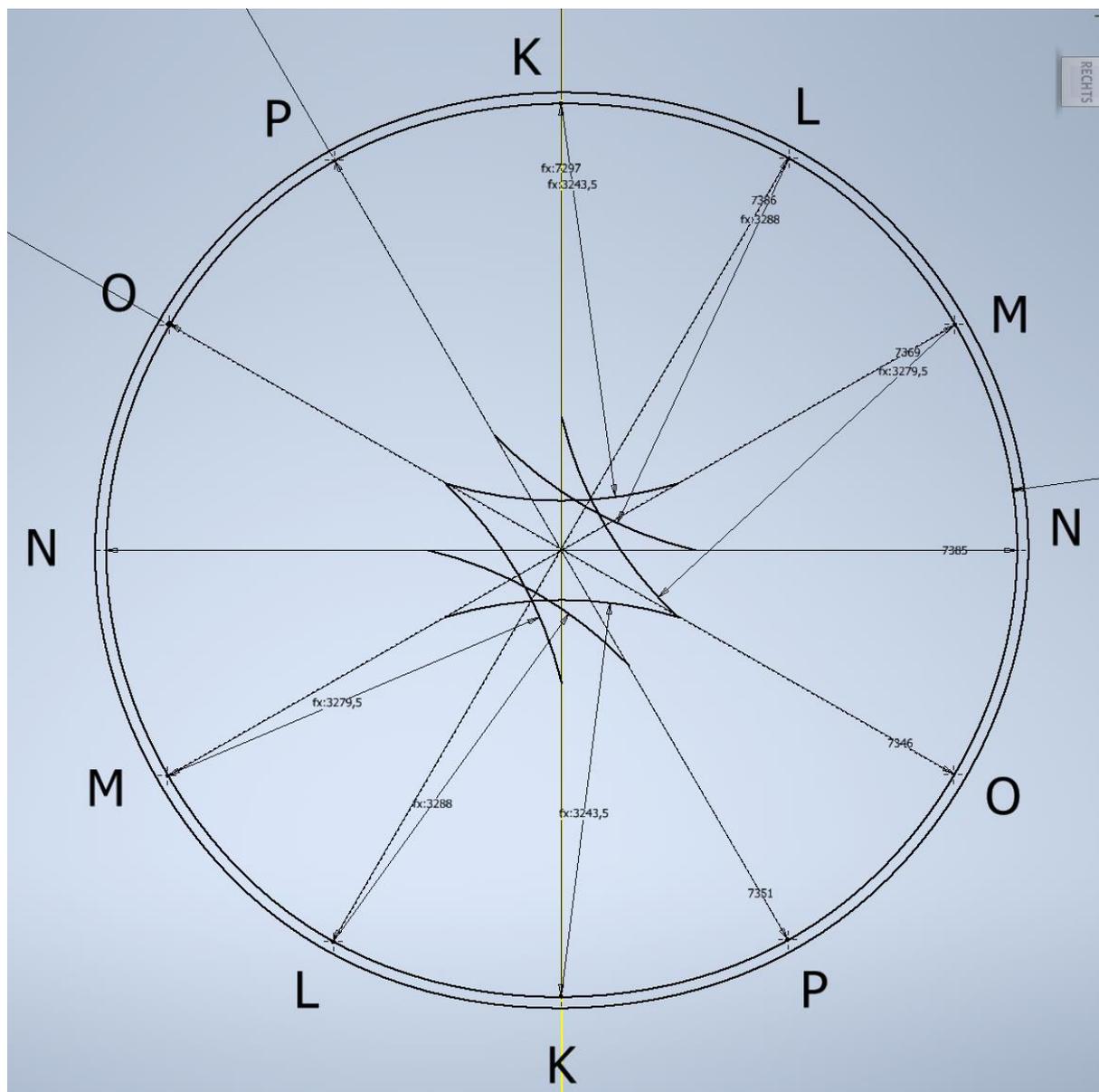


Figure 21: Transfer dimension  $m$

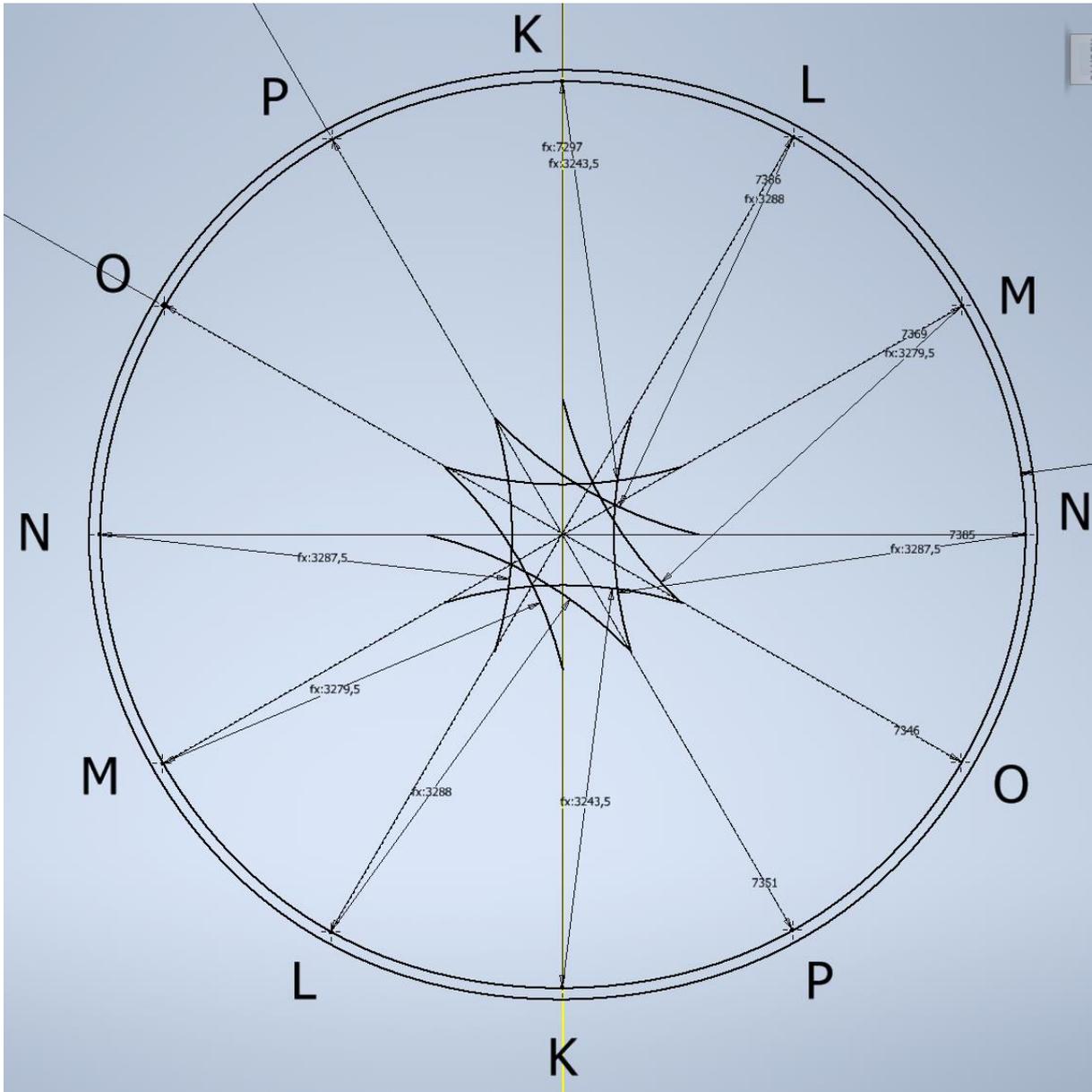


Figure 22: Transfer dimension  $n$

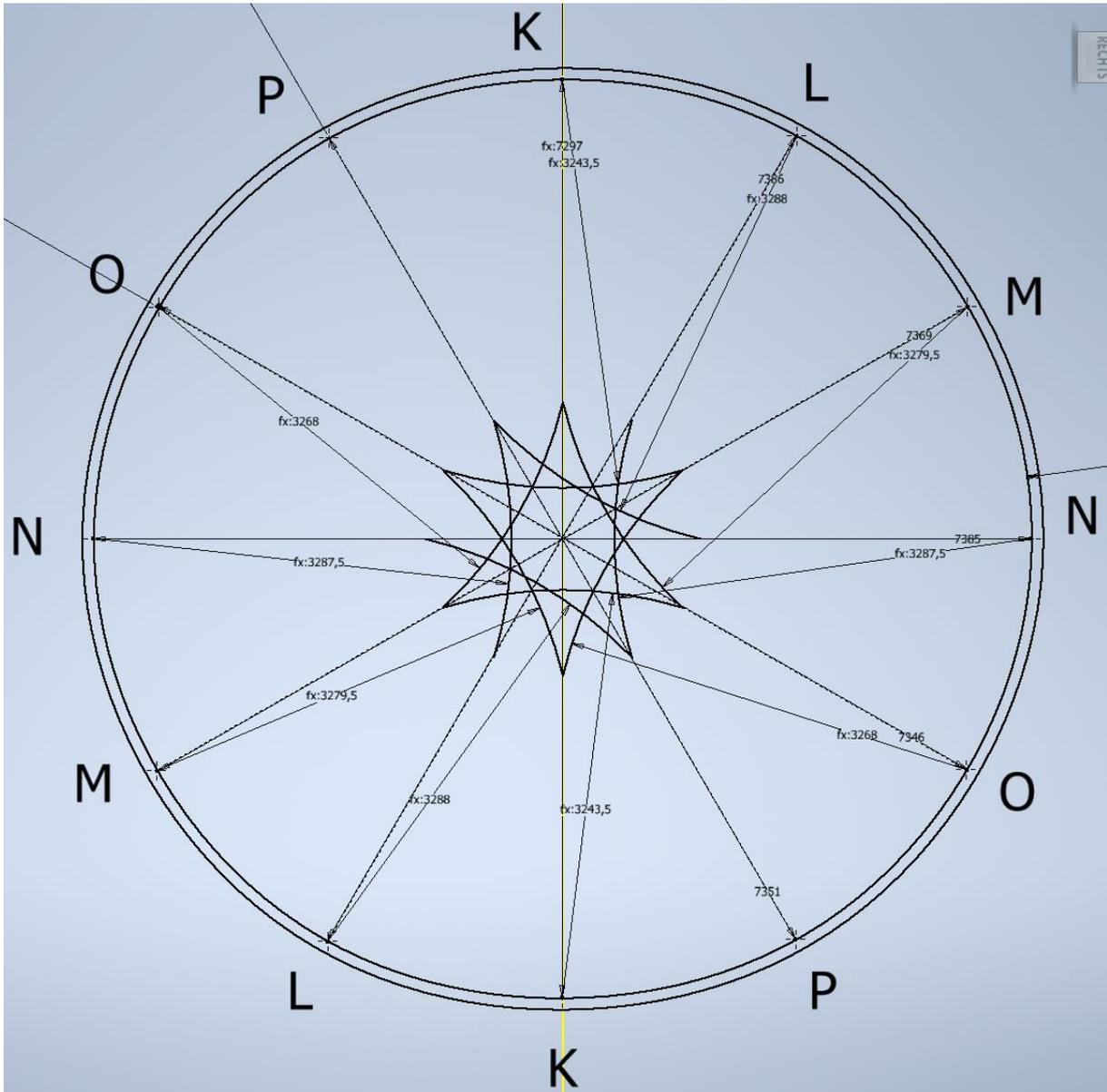


Figure 23: Transfer dimension o

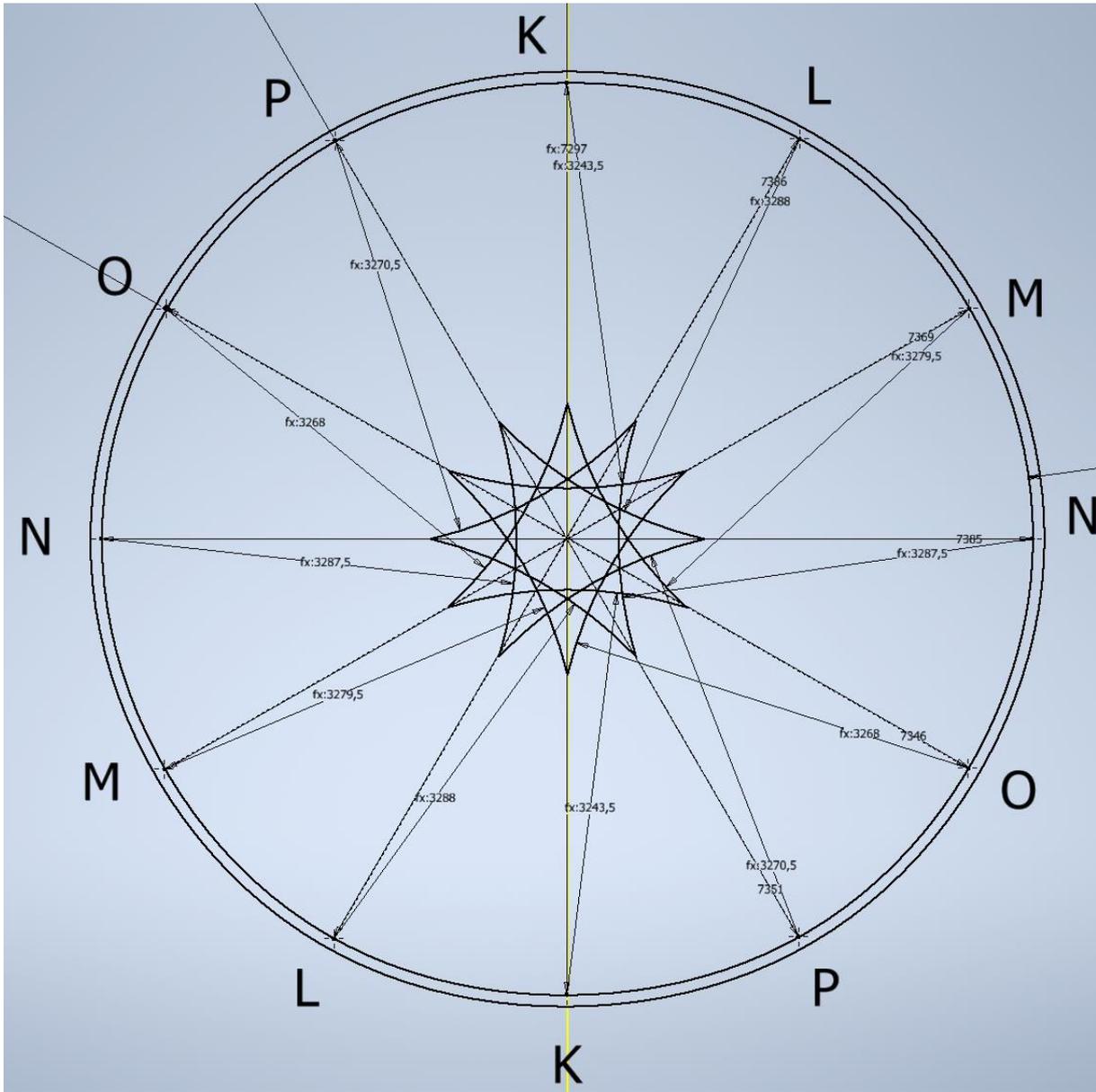


Figure 24: Transfer dimension  $p$

## 6. Excel Template for Calculations

To save time on site there is going to be a Template to automatically do the calculations that are needed to complete the drive positioning (Figure 25).

Diameter <i>Enter the measured diameters in mm here</i>	Do not manipulate these cells!					
	Calculations <i>Use this value if a construction compass is used</i>			Calculations <i>Use this value if pen and cord are used</i>		
A		mm	a		mm	a
B		mm	b		mm	b
C		mm	c		mm	c
D		mm	d		mm	d
E		mm	e		mm	e
F		mm	f		mm	f
G		mm	g		mm	g
H		mm	h		mm	h
I		mm	i		mm	i
J		mm	j		mm	j
K		mm	k		mm	k
L		mm	l		mm	l
M		mm	m		mm	m
N		mm	n		mm	n
O		mm	o		mm	o
P		mm	p		mm	p

Figure 25: Calculation template

If you wonder, why there are two different columns for calculations Figure 26 explains, why the calculations must be corrected in case of using a construction compass alike tool.

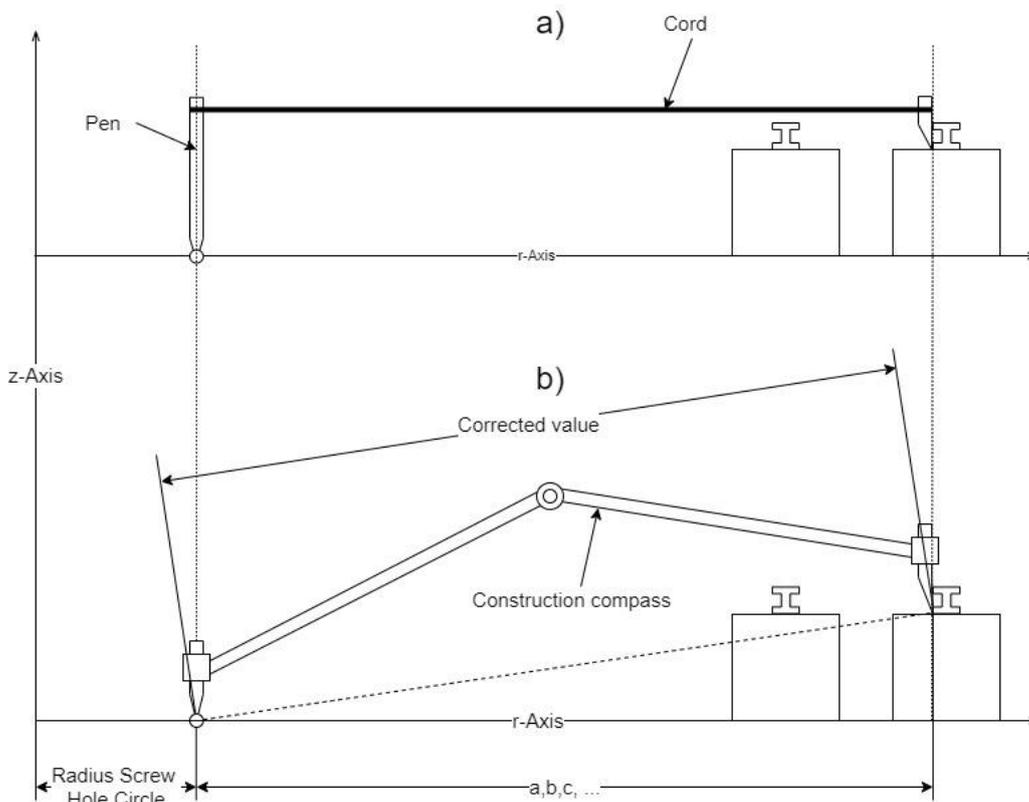


Figure 26: Cord and pen vs. Construction compass

## List of figures

Figure 1: Drive Connection Foundation Flange .....	3
Figure 2: Labeling of foundation sockets (not proportional to actual dimensions).....	4
Figure 3: Rail real diameter measurements (not proportional to actual dimensions) .....	5
Figure 4: Screw hole circle distances (not proportional to actual dimensions).....	6
Figure 5: Schematic transfer of the calculated distances to the foundation (not proportional to actual dimensions) .....	7
Figure 6: Variation of corresponding radii, "egg-shape" (not proportional to actual dimensions, exaggerated representation).....	8
Figure 7: Fully completed transfer of dimensions with dimensioning.....	10
Figure 8: Fully completed transfer of dimensions without dimensioning .....	11
Figure 9: Transfer dimension a.....	12
Figure 10: Transfer dimension b.....	13
Figure 11: Transfer dimension c.....	14
Figure 12: Transfer dimension d.....	15
Figure 13: Transfer dimension e.....	16
Figure 14: Transfer dimension f .....	17
Figure 15: Transfer dimension g.....	18
Figure 16: Transfer dimension h.....	19
Figure 17: Transfer dimension i.....	20
Figure 18: Transfer dimension j.....	21
Figure 19: Transfer dimension k.....	22
Figure 20: Transfer dimension l.....	23
Figure 21: Transfer dimension m .....	24
Figure 22: Transfer dimension n.....	25
Figure 23: Transfer dimension o.....	26
Figure 24: Transfer dimension p.....	27
Figure 25: Calculation template .....	28
Figure 26: Cord and pen vs. Construction compass .....	28

## Rotation Test Manual

for the

RD01 parabolic trough collector

by Stefan Kimeswenger

Inzersdorfer Straße 28/ 23, 1100 Vienna, Austria  
UID/VAT: ATU71199614 / FN 454515 f / Commercial Court of Vienna  
Erste Bank und Sparkasse  
IBAN: AT572011182315134800  
BIC: GIBAATWWXXX

## Table of contents

1	Assembly Motor and Servo Driver .....	3
1.1	Required components .....	3
1.1.1	Servo Motor: MIGE 110ST-M05030 .....	3
1.1.2	Servo driver: MG-K1AS15CA.....	4
1.1.3	Encoder signal cable .....	5
1.1.4	Servo motor power supply cable.....	6
1.1.5	Servo driver power supply cable .....	7
1.2	Assembly instructions: .....	8
2	Dry-Run.....	11
2.1	Required components .....	11
2.1.1	Pre-assembled components from 1 .....	11
2.2	Motor run instructions:.....	12
2.2.1	Changing the direction of rotation to counterclockwise.....	12
2.2.2	Changing the direction of rotation to clockwise .....	14
3.	Assembly of Motor and Reducer .....	15
3.1	Required components .....	15
3.2	Assembly Instructions .....	15
4.	Mounted Run.....	16
4.1	Required Components.....	16
4.2	Safety measures .....	16
4.3	Mounted Run Instructions .....	17
5.	Appendix.....	18

# 1 Assembly Motor and Servo Driver

## 1.1 Required components

### 1.1.1 Servo Motor: MIGE 110ST-M05030



Figure 1: MIGE 110ST-M05030 Servo Motor

### 1.1.2 Servo driver: MG-K1AS15CA

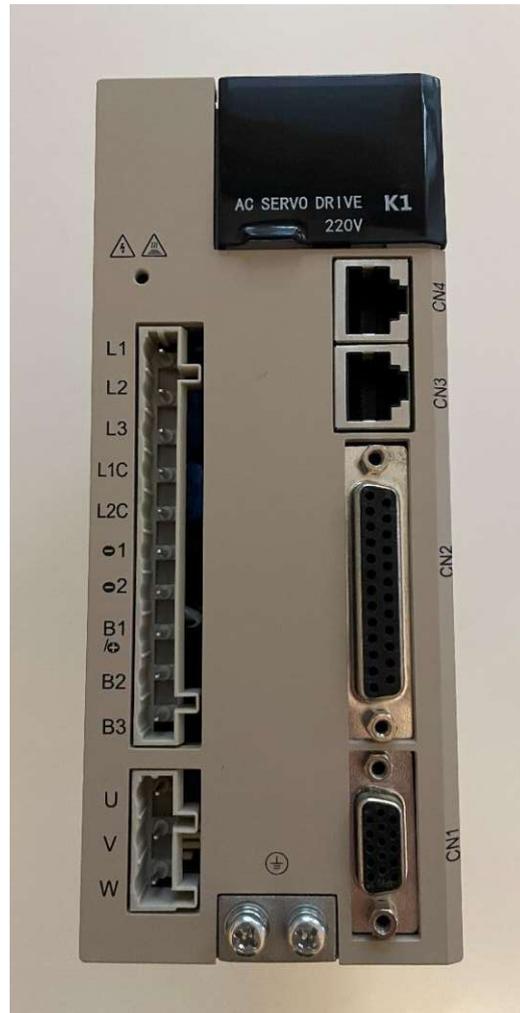


Figure 2: MG-K1AS15CA Servo Driver

### 1.1.3 Encoder signal cable



Figure 3: Encoder signal cable, 15x0.14mm<sup>2</sup>

#### 1.1.4 Servo motor power supply cable



Figure 4: Servo motor power supply cable, 4x4mm<sup>2</sup>

### 1.1.5 Servo driver power supply cable



Figure 5: Servo driver power supply cable,  $3 \times 0.75 \text{mm}^2$

## 1.2 Assembly instructions:

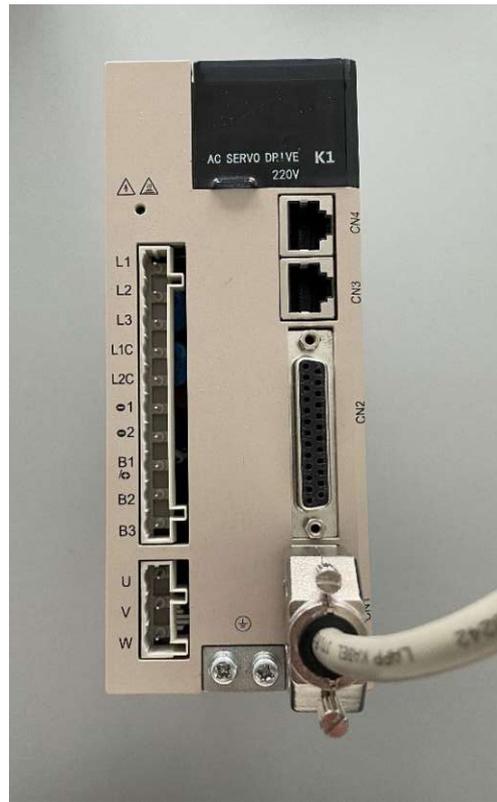
- 1.) Plug in the encoder signal cable into the motor.



- 2.) Plug in the power supply cable of the motor into the motor.



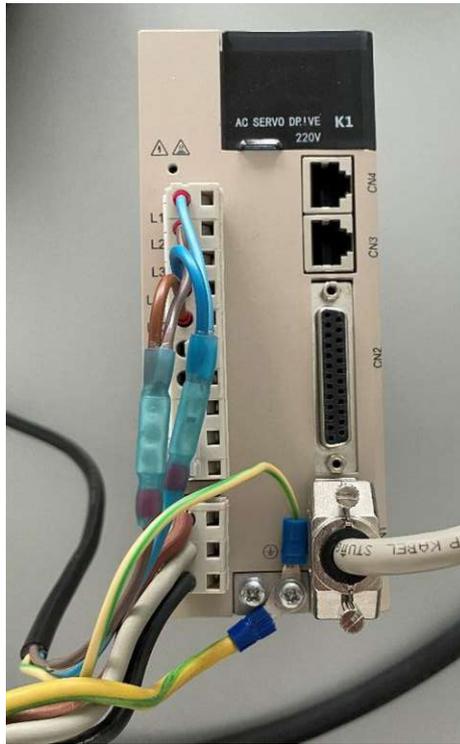
- 3.) Plug in the encoder signal cable into the servo driver.



- 4.) Plug in the power supply cable of the motor into the servo driver.  
a. Make sure to also connect the ground terminal in the middle of the bottom side.



- 5.) Plug in the power supply cable of the servo driver into the servo driver.  
a. Make sure to also connect the ground terminal in the middle of the bottom side.



- 6.) Do NOT plug in the power supply cable of the servo driver into the socket, since the servo motor will start running as soon as the drive is connected to a power source.



## 2 Dry-Run

### 2.1 Required components

#### 2.1.1 Pre-assembled components from 1



## 2.2 Motor run instructions:

The purpose of this chapter is to confirm, if the assembly of the Motor and the servo driver has been successful. Since in the actual rotation test the direction of rotation must be changed, the process of changing of the rotation direction is also going to be practiced in this section.

### 2.2.1 Changing the direction of rotation to counterclockwise

1. Make sure that the motor is on a flat surface with no obstacles, since the motor will start running immediately, as soon as the servo driver is connected to a power source.
2. Connect the motor to a power source. The motor should start running in clockwise direction now.

Check if the rotation direction of the motor is clockwise (CW):

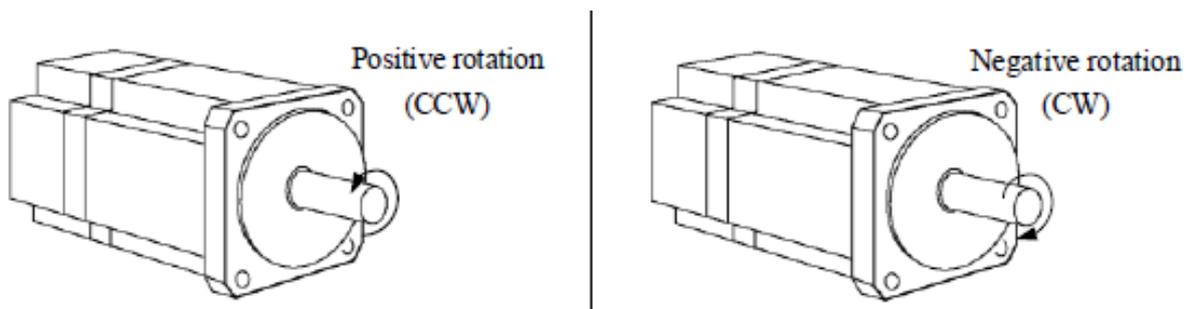


Figure 6: Motor rotation directions  
Source: Servo Driver Manual V1.0, P.62

3. To change the direction of rotation, follow these instructions:

Operation step	Instruction	Display after operation
1	Plug in the power cable	A.on
2	Press the M-Button once	PA000.
3	Press the ▲-Button 9 times to change the last digit from 0 to 9	PA009.
4	Press the ◀-Button twice to navigate the cursor (the small blinking dot) to the third digit	PA0.09
5	Press the ▲-Button 5 times to change the third digit from 0 to 5	PA5.09
6	Press the ↵-Button to confirm	H9999.
7	Press the ◀-Button once to navigate the cursor to the fourth digit	H999.9
8	Press the ▼-Button 9 times to change the fourth digit from 9 to 0	H990.9
9	Press the ↵-Button to confirm	PA5.09

4. To **confirm** the **changes**, **disconnect** the servo driver from the power source, wait some seconds and **reconnect** to the **power source**. Now the motor should rotate counterclockwise (see CCW in Figure 6: Motor rotation directions).

To change the direction of rotation back to clockwise look up 2.2.2.

### 2.2.2 Changing the direction of rotation to clockwise

1. Make sure that the motor is on a flat surface with no obstacles, since the motor will start running almost immediately, as soon as the servo driver is connected to a power source.
2. Connect the motor to a power source. The motor should start running in counterclockwise direction now (Figure 6: Motor rotation directions).
3. To change the direction of rotation, follow these instructions:

Operation step	Instruction	Display after operation
1	Plug in the power cable	A.on
2	Press the M-Button once	PA000.
3	Press the ▲-Button 9 times to change the last digit from 0 to 9	PA009.
4	Press the ◀-Button twice to navigate the cursor (the small blinking dot) to the third digit	PA0.09
5	Press the ▲-Button 5 times to change the third digit from 0 to 5	PA5.09
6	Press the ↵-Button to confirm	H9909.
7	Press the ◀-Button once to navigate the cursor to the fourth digit	H990.9
8	Press the ▲-Button 9 times to change the fourth digit from 0 to 9	H999.9
9	Press the ↵-Button to confirm	PA5.09

4. To **confirm** the **changes**, **disconnect** the servo driver from the power source, wait some seconds and **reconnect** to the **power source**. Now the motor should rotate clockwise again (see CW in Figure 6: Motor rotation directions).

## 3. Assembly of Motor and Reducer

### 3.1 Required components

- Servo driver K1-AS15CA
- Servo motor MIGE 110ST-M05030
- Encoder cable
- Servo motor power Supply Cable
- Servo driver power supply cable
- 4 M8x25 screws strength class 8.8 or higher
- 4 M8 washers ISO7089
- 1 feather key (already included in the motor shaft)
- Anti-corrosion grease for the shaft hub connection

### 3.2 Assembly Instructions

- 1.) Apply the anti-corrosion grease onto the motor shaft generously.
- 2.) Slide the shaft into the hub of the reducer.
- 3.) Attach the motor to the reducer via the M8 screws. Do not forget to use washers. If strength class 8.8 screws are used the tightening torque should be 24,93 Nm.
- 4.) After attaching the motor to the reducer, roll out the cables before plugging them into the drive and the motor to minimize the force onto the plugs.
- 5.) Connect all the electric components according to 1.2.

## 4. Mounted Run

This is going to be the final step of the rotation test. Plugging in the power supply cable of the servo driver is going to start the test. Before doing so, make sure that none of the safety measures listed further down on this page are violated.

The mounted run consists of two 360° rotations of the collector and if there are no incidents this should take about 4 hours of time, since one rotation takes 2 hours. A summary of the calculations can be viewed in the attached documents (5).

The most important thing to watch is going to be the guiding wheels, since there is a possibility, that one of these wheels could derail, which could damage the whole construction.

### 4.1 Required Components

- Pre-assembled components from 3.

### 4.2 Safety measures

- Before starting the run, make sure there is at least 1 person on each side of the collector, who observes (Figure 7). The most important thing is watching the guiding wheels during the whole process. As soon as one of these observers notices, that one of these wheels might derail, the observer can give a command, that tells the person, who is operating the servo driver to unplug it from the power source to stop the rotation.
- Before starting the run make sure, that the cables from the servo motor to the servo driver do not cross the rails, on which the guiding wheels are rolling on.
- Before starting the run, make sure, that all the steps of the “Roundness and coaxiality quality control manual” have been completed.
- Before starting the run, make sure, that the swivel joints have not been mounted yet, since they would break in the process of a whole rotation.
- The person who is operating the servo driver has to be on the outside of the collector.



## 5. Appendix (only in the electronic version)

- Servo Driver Manual V1.0
- Kurzberechnung Motordrehzahl