

# Diplomarbeit

## Konzept zur Herstellung eines NDT-Wirbelstrom Referenzblocks

Andreas Ersek

Dipl. Flugzeugtechniker HF

Z-TMF-16

Oktober 2019

TEKO Zürich  
Abteilung Flugzeugtechnik  
Europa- Strasse 18  
8152 Glattbrugg

Verfasser: Andreas Ersek  
Halta 40  
3186 Düdingen  
andreas.ersek@yahoo.com  
079 844 63 73

Abgabedatum: 28. Oktober 2019

Diplom-Dozent: Klaus Christiansen, B.Sc.

Prüfungsexperte: Dipl. Ing. Nicolas Stankowski

In Zusammenarbeit mit

**Together  
ahead. RUAG**

RUAG Schweiz AG  
RUAG Aviation; Abteilung RAFJSN  
NDT Services & Engineering

## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Andreas Ersek, dass ich meine Diplomarbeit mit dem Thema

**„Konzept zur Herstellung eines NDT Wirbelstrom Referenzblockes“**

selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebene Fachliteratur und Quellen benutzt habe. Die Stellen, die anderen Werken, dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall durch Angaben der Quelle oder Verweise kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Düdingen, 22. Oktober 2019



---

Andreas Ersek

## **Vorwort**

Die vorliegende Diplomarbeit entstand als Abschlussarbeit meines Studiums an der Technikerschule TEKO Zürich.

Die Motivation zur Wahl des Themas lag dabei, dass ich nach dem Studium meine Fertigkeiten und Wissen in den Sektoren Qualitätssicherung (QS) und Qualitätsprüfung (QP) festigen und mich vom Messtechniker zum Inspektor der zerstörungsfreien Materialprüfung (NDT-Inspektor) weiterentwickeln möchte.

Ich arbeite bereits seit mehreren Jahren in Anstellungsverhältnissen, in denen ich immer wieder Schnittstellen mit QS und QP hatte. Jedoch waren diese Kreuzungen immer nur oberflächlich, z.B.: zur Abklärung von Stichproben, Besprechung von Terminplänen oder zum Ausmessen von Fertigungsteilen aus dem Produktionsbetrieb.

Meine jetzige Anstellung als Messtechniker ermöglicht mir erstmals das bereits erlangte Wissen anzuwenden, zu vertiefen und in den Prozess des Qualitätsmanagements (QM) einzugreifen. Heute trage ich aktiv bei, die Qualität unserer Produkte nach Richtlinien der Kunden zu kontrollieren, optimiere die notwendigen Parameter bei Abweichungen, schreibe Arbeits- u. Prüfungsanweisungen und erstelle, wenn verlangt, Prüf- und Messprotokolle.

Andreas Ersek

Diese Diplomarbeit ist meiner Grossmutter, Dr. med. Helga Kotratschek gewidmet.

## Danke für Alles

Auch wenn ich es Dir nie gesagt habe, Du warst ein sehr grosses Vorbild für mich.

Du fehlst mir sehr !!

Anoli

## Inhaltsverzeichnis

1.	Management Summary.....	3
2.	Lebenslauf .....	4
3.	Projektinitialisierung .....	5
3.1.	Projektauftrag .....	5
3.2.	Pflichtenheft .....	7
3.3.	Projektstrukturplan .....	11
3.4.	Terminplan Soll/ Ist .....	12
4.	Einleitung .....	13
4.1.	Was ist NDT?.....	14
4.2.	Die Wirbelstromprüfung im Allgemeinen.....	15
4.2.1.	Geschichte.....	15
4.2.2.	Prinzip.....	15
4.3.	Die Wirbelstromprüfung in der Aviatik.....	16
4.3.1.	Die Nietloch-Wirbelstromprüfung .....	17
4.3.2.	Anwendung.....	19
4.3.3.	Equipment.....	20
5.	Vorstudie.....	23
5.1.	Ermüdungsrisse und mechanische Beschädigung in Nietlöchern .....	24
5.2.	Unterteilung der Schadensmechanismen .....	25
5.2.1.	Schäden durch Materialermüdung .....	25
5.2.2.	Mechanische Schäden.....	26
5.2.3.	Korrosionsschäden & Andere .....	27
6.	Planung.....	28
6.1.	Brainstorming.....	28
6.2.	Mind-Map.....	29
6.3.	Morphologischer Kasten .....	30
6.4.	Risikoanalyse.....	31
6.4.1.	Risikotabelle .....	31
6.4.2.	Risikomatrix .....	32
6.4.3.	Risikoreduktion .....	32
7.	Projektrealisierung .....	33
7.1.	Der Referenzblock .....	33
7.1.1.	Detaillierter Aufbau des Referenzblocks .....	34
7.2.	Die Coins .....	36
7.3.	Vorschlag der zu verwendenden Schadensmechanismen .....	37
7.3.1.	Coin-Satz Variante 1 .....	37
7.3.2.	Coin-Satz Variante 2.....	38
7.3.3.	Auswahl der Variante für den ersten Coin-Satz .....	38
7.3.4.	Begründung der Auswahl.....	38
7.4.	Herstellung Real-Crack-Probe .....	39
7.4.1.	Fatigue Life Terminology .....	39
7.4.2.	Festlegung der Geometrie .....	40
7.4.3.	Das Rechenprogramm.....	41
7.4.4.	Berechnung der Spannung an der Bohrung .....	42
7.4.5.	Der Fatigue-Test.....	44
7.4.6.	Grafische Darstellung Fatigue Test .....	46
7.5.	Vorlagendesign Prüfprotokoll und Gesamtauswertung .....	47
7.5.1.	Vorlage Prüfprotokoll .....	48
7.5.2.	Vorlage Gesamtauswertung .....	49
8.	Protokolle.....	50

8.1.	Sitzungsprotokolle .....	50
9.	Zeichnungen .....	57
9.1.	Zeichnungsverzeichnis .....	57
9.2.	Fertigungszeichnungen.....	58
9.3.	3D- Zeichnungen .....	67
10.	Verzeichnisse .....	71
10.1.	Quellenverzeichnis .....	71
10.1.1.	International publizierte Berichte:.....	71
10.1.2.	Internetrecherche.....	71
10.2.	Literaturverzeichnis.....	71
10.3.	Abbildungsverzeichnis .....	72
10.4.	Tabellenverzeichnis .....	72
10.5.	Diagrammverzeichnis .....	72
10.6.	Abkürzungsverzeichnis .....	73
10.7.	Symbol-Liste .....	73
11.	Reflexion und „Lessons learnt“ .....	74
12.	Verdankungen .....	75

## **1. Management Summary**

Die Diplomarbeit befasst sich mit dem Thema der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, im Englischen Nondestructive Testing (NDT) genannt. Das Ziel der Arbeit ist die Erstellung und Planung eines Konzepts zur Herstellung eines NDT-Wirbelstrom Referenzblocks. Da es diese Art von Schulungsgerät nicht am Markt zu kaufen gibt, wurde vom Leiter des NDT-Teams der Firma RUAG/ Standort Emmen, die Erstellung dieses Konzepts als Thema für die Diplomarbeit, in Auftrag gegeben.

Als Schulungs-, Aus- und Weiterbildungsgegenstand wird die Konstruktion dazu dienen, die NDT-Inspektoren auf eine der am Häufigsten angewandten Inspektionsmethoden, der Wirbelstromprüfung mit Rotiersonden, zu schulen. Mit Hilfe dieses Schulungsgerätes kann man reale Situationen simulieren und die Messwerte dieser Sensibilitätsstudien auswerten und vergleichen. Hierzu wurden zusätzlich eine Prüfprotokollvorlage und eine Vorlage für die Gesamtauswertung der Studien erstellt.

Der Referenzblock besteht aus drei ca. A4-Blatt grossen Aluminiumplatten und dem ersten Satz Coins. Die Front- und Bodenplatte haben insgesamt 18 Messpositionen. Diese bestehen aus 9 Stk mit ½"- und 9 Stk mit ¼"-Bohrungen. In die mittleren Platte sind Aussparungen gefräst, um die Coins darin platzieren zu können. Bei diesen sogenannten Coins handelt es sich um viereckige Plättchen, ebenfalls mit ½" und ¼" Bohrungen, welche paarweise, ein Coin mit kleiner und ein Coin grosser Bohrung, den gleichen oder ähnlichen Schadensmechanismus aufweisen. Diese Coins werden aus Zugversuchsproben oder Scrap-Parts gewonnen.

Zur Ideenfindung für das Design hat man mittels Brainstorming, Stichworte gesucht, aufgeschrieben und in einer Mind-Map strukturiert. Mit einem Morphologischen Kasten wurden diese Ideen zu zwei Designvarianten weiterverarbeiten. Um die Auswahl der Schadensmechanismen treffen zu können, mussten aus den fünf, von der RUAG zur Verfügung gestellten, international publizierten Berichten, die am häufigsten auftretenden Schadensmechanismen in Nietlochbohrungen extrahiert und in drei Hauptgruppen unterteilt werden. Diese drei Hauptgruppen sind die Schädigung durch Materialermüdung, mechanische Schäden und Schäden durch Korrosion und Andere. Schlussendlich wurden auch hier wieder zwei Varianten generiert.

Das Ergebnis ist ein modular aufgebauter und transportabler Referenzblock, welcher mit 18 Coins bestückt werden kann. Der erste Satz Coins besteht aus 18 Stk mit einer wirtschaftlich günstigen Auswahl von gemischten Schadensmechanismen.

### **Key- Words**

Nondestructive Testing, Schadensmechanismus, Referenzblock, Coin

## 2. Lebenslauf

### Persönliche Daten:

Name	Ersek
Vorname	Andreas
Geburtsdatum	09. Juni
Nationalität	Österreich
Aufenthaltstitel CH	Permit C
Zivilstand	Verheiratet
Adresse	Halta 40, 3186 Düdingen
Mobiltelefon	079 844 63 73
E-Mail	andreas.ersek@yahoo.com



### Berufserfahrung:

<b>Seit 11/2018</b>	<b>Extramet AG Plaffeien</b> <i>Messtechniker mit Projektleitungsfunktion</i>
<b>04/2017 – 10/2018</b>	<b>berufliche Neuorientierung</b> <i>(20% Studium dipl. Techniker HF Flugzeugtechnik)</i>
<b>08/2014 – 04/2017</b>	<b>Düdal Leichtmetall- Giesserei AG Düdingen</b>
01/2016 – 04/2017	<i>Vorarbeiter; Abteilung Kokillenguss</i>
03/2015 – 12/2015	<i>Schichtführer; Abteilung Bearbeitung</i>
08/2014 – 03/2015	<i>Gussbearbeiter; Abteilung Bearbeitung</i>
<b>07/2013 – 07/2014</b>	<b>Loomis Schweiz SA &amp; Loomis Österreich GmbH</b> <i>Geld-u. Werttransportfahrer; Abteilung Bankomaten-Betreuung</i>
<b>08/2012 – 07/2013</b>	<b>Fa. Safety Concepts</b> <i>Sicherheitsfachmann Sektor Personenschutz</i>
<b>10/2010 - 08/2012</b>	<b>verschiedene Arbeitgeber (Saisonanstellung)</b> <i>Lkw- Chauffeur und Ladekranführer</i>
<b>04/2003 - 07/2010</b>	<b>Österreichisches Bundesheer</b> <i>Berufssoldat mit Sondervertrag</i>

### Aus- u. Weiterbildung:

10/2018 – laufend	Studium Dipl. Techniker HF Flugzeugtechnik <i>TEKO Schweizerische Fachschule Zürich</i>
10/2016 – 09/2018	Studium Dipl. Techniker HF Maschinenbau <i>TEKO Schweizerische Fachschule Bern</i>

### Grundbildung:

1999 – 2003	HTBluVa. Mödling Abteilung Maschinenbau (Abbruch 2003)
1995 - 1999	Hauptschule, IBHS Perchtoldsdorf
1991 – 1995	Volksschule

### 3. Projektinitialisierung

#### 3.1. Projektauftrag

##### Projektauftrag:

###### 1 Titel/ Autor:

„Konzept zur Herstellung eines NDT Wirbelstrom Referenzblockes“ – Andreas Ersek

###### 2 Ausgangslage:

Für die Abteilung Ruag Aviation Flight Jet Service NDT (RAFJSN) der RUAG in Emmen, soll ein Konzept für einen Referenzblock erstellt werden. Die Definition soll anhand mehrerer international publizierter Reports gemacht werden. Dabei ist aus den möglichen Schadensmechanismen eine Auswahl zu treffen, welche basierend auf mehreren Kriterien besteht. (z.B.: Klassierung ET Signal, Herstellbarkeit, Herstellkosten, Antreffenswahrscheinlichkeit).

###### 3 Ziel:

###### • Milestone 1 (MS1):

Das Konzept für diesen Referenzblock soll zwei Varianten mit den folgenden Ausprägungen aufzeigen:

- wirtschaftlichste Variante (Kosten-Nutzen)
- technisch maximal mögliche Variante mit realitätsnahen Fehler
- Herstellung Realcrack Probe ( inkl. Materialermüdungsberechnung)

###### • Milestone 2 (MS2):

Nach der Fertigung eines Referenzblocks durch die RUAG (**nicht Bestandteil der Diplomarbeit**) werden mehrere NDT Inspektoren den Referenzblock inspizieren und den Befund jeder Bohrung protokollieren.

Für die anschliessende Sensitivitätsstudie ist eine Vorlage zu erstellen, welche die Protokollierung, Auswertung und Zusammenstellung der Resultate vereinfacht und visualisiert.

###### 4 Restriktionen:

- Vorgaben aus den „Richtlinien Diplomarbeit“ sind unbedingt einzuhalten.
- Mindeststunden Diplomarbeit: 230 Stunden (6 Wochen)

###### 5 Abgrenzung:

- Erstellung von zwei Varianten (Var. A und Var B)
- Vorstellung von Variante A und B
- Auswahl einer Variante und Begründung
- Dokumentation der Schadensmechanismen und Aufbau der einzelnen Bohrungen
- Erstellen von Skizzen/ Zeichnungen zum Aufbau des Referenzblockes
- Erstellen einer Protokollvorlage (MS Excel)
- Erstellen einer Auswertevorlage (MS Excel) mit Resultatvisualisierung

###### 6 Organisation:

- Auftraggeber: Stefan Frei (SF), M.Sc. Maschinenbau  
RUAG Schweiz AG; Abt. RAFJSN  
Seetalstrasse 175; 6032 Emmen
- Diplomdozent: Klaus Christiansen (KC), B.Sc. Maschinebau
- Projektleiter: Andreas Ersek (AE)

## 7 Termine/ Meilensteine:

- 29. Apr. 2019 Themeneingabe Diplomarbeit
- 10. Mai 2019 Projektbeginn
- 04. Jun. 2019 Kick-off Meeting in Emmen
- 02. Jul. 2019 Sitzung 1 mit Diplomdozent
- 10. Jul. 2019 Treffen mit Christoph Kunz, Struktur Ingenieur RUAG
- 16. Jul. 2019 MS 1
- 21. Aug. 2019 Sitzung 2 mit Diplomdozent; Treffen mit Kunde für Update
- 04. Sep. 2019 MS 2
- 01. Okt. 2019 Abschlusssitzung Diplomprojekt
- 18. Okt. 2019 Fertigstellung der Diplomarbeit
- 28. Okt. 2019 Späteste Abgabe der Diplomarbeit

## 8 Budget

CHF 10'000,- plus CHF 5000,- Reserve

## 9 Information und Berichtswesen:

- Monatlich an Auftraggeber
- Bei jeder Sitzung wird ein Sitzungsprotokoll erstellt
- 2 Sitzungen mit Diplomalhrer zur Beurteilung

## 10 Risikomanagement

Untersucher Bereich	Erkannte Risiken	Detailbeschreibung der erkannten Risiken	Risiko bewältigen Lösungsvorschlag	Eintrittswahr-scheinlichkeit	Auswirkung auf das Projekt
Zeitplanung	geplante Zeitreserven reichen nicht aus	Verlust von Informationen durch verlegten Dokumente wurden nicht abgespeichert oder wurden überschrieben	Sicherungskopien an mehreren Orten erstellen (Daten-Stick, Cloud, wichtige Sachen ausdrucken, Informationsquelle notieren), einheitliche Benennung der Dateien	eher unwahrscheinlich	schwer
	Termin wird gecancelt	Termin findet aus Zeitmangel des Kunden nicht statt	rechtzeitig um Ausweichtermin kümmern, Terminalsätze stets bereithalten	wahrscheinlich	gering
Rechercharbeit	gesammelte Informationen werden Fehlinterpretiert	Falscheinschätzung oder Identifikation der falschen Parameter	Immer alles Nachprüfen und Double-checken	wahrscheinlich	schwer
	fehlende Informationen	die zur Verfügung gestellte Literatur ist unzureichend	Nachfragen bzw. um fehlende Informationen bitten	wahrscheinlich	schwer
Design	falsche Informationen	Informationsquelle ist nicht zuverlässig, Informationen sind nicht korrekt	nur auf seriöse Informationsplattformen Recherchieren	wahrscheinlich	schwer
	Kunde ist nicht einverstanden mit dem Designvorschlag	Ausführung von Bauteilen sind nicht zufriedenstellend bzw. erfüllen die Erwartung nicht	gemeinsame Lösungsfindung und Änderung auf diese	wahrscheinlich	schwer
Budget	nicht umsetzbar/ realisierbar	zu aufwändiger Fertigungsprozess	Keep it simple	eher unwahrscheinlich	schwer
	Scrap-Parts nicht brauchbar	Die Verarbeitung von Scrap-Parts zu Coins wäre zu aufwändig und erfüllt nicht den gewünschten Effekt	Gezielte Auswahl der Scrap-Parts nach Schadensmechanismen und Einbautorten im Flugzeug	wahrscheinlich	gering
Budget	Produktionskosten übersteigen das Budget	Umsetzung und Ausführung sind zu teuer	Gezielte Auswahl der Schadensmechanismen unter Bedacht auf die Wirtschaftlichkeit des Referenzblocks	eher unwahrscheinlich	mässig
Dokumentation	Roter Faden nicht ersichtlich	Gliederung ist nicht schlüssig und daher der Lesefluss beeinträchtigt	Klare Gliederung in Einleitung, Hauptteil, Schluss	wahrscheinlich	gering
Präsentation	dauert zu lange vom Thema abschweifen	Vorgabezeit wird überschritten	Karteikarten machen Trennkennung der Präsentation	wahrscheinlich	gering
	zu sehr ins Detail gehen	Abschweifen zu zusätzlicher Information welche jedoch nicht relevant ist	Keep it short and simple, knackige Folien mit kurzen jedoch prägnanten Informationen	wahrscheinlich	gering
Präsentation		ein Thema wurde zu sehr vertieft obwohl es nicht zum Focus der Diplomarbeit gehört	Einteilung der Dokumentation in verschiedene Prioritätsstufen um den Focus zu definieren	wahrscheinlich	gering

Düdingen, 23.06.2019



Andreas Ersek

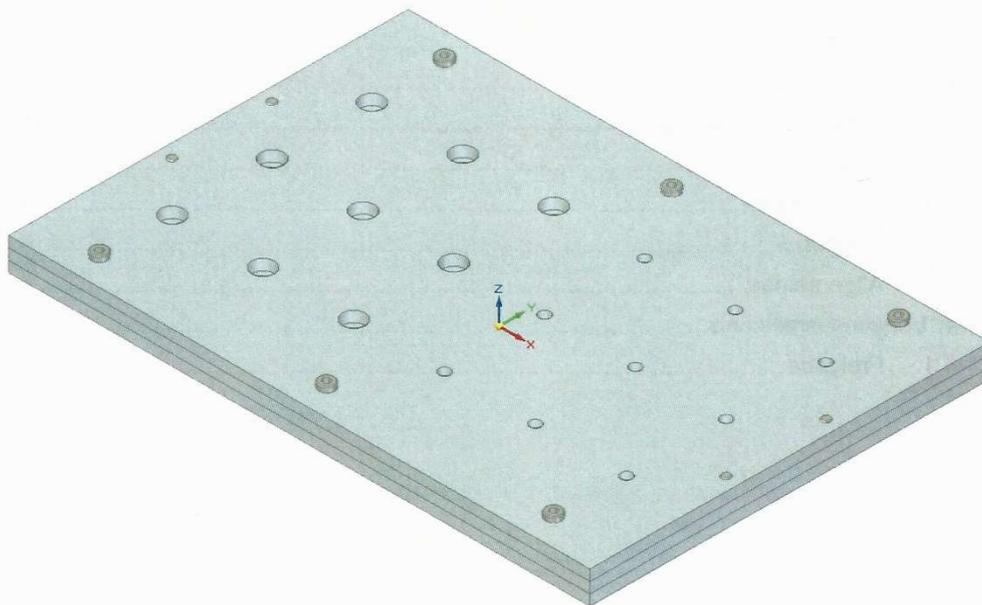


Stefan Frei

### 3.2. Pflichtenheft

## Pflichtenheft

Konzept zur Herstellung eines NDT Wirbelstrom Referenzblockes



Kurzbeschreibung	Dieses Pflichtenheft enthält eine Bestandsaufnahme zur Ausgangslage vor dem Projekt, es definiert die Ziele und Anforderungen an den Referenzblock, zeigt die Schnittstellen mit anderen Arbeitsgruppen auf und bildet eine Orientierungshilfe für den Projektablauf.
Autor	AE
Erstelldatum	24.06.2019
Versionsnummer	3.00
Zuletzt geändert	25.09.2019

Pflichtenheft Diplomarbeit Andreas Ersek Z-TMF-16

Seite | 1

## Inhaltsverzeichnis

1. Bestandsaufnahme.....	3
1.1. Einleitung .....	3
1.2. Ist-Zustand .....	3
2. Aufgabendefinition.....	3
2.1. Ziel .....	3
2.1.1. Milestone 1.....	3
2.1.2. Milestone 2.....	3
2.2. Anforderungen .....	3
2.3. Informationen .....	3
2.4. Schnittstellen.....	4
2.4.1. Fatigue Engineering.....	4
3. Projektablauf .....	4
3.1. Terminplan .....	4
3.2. Budget.....	4
3.3. Allgemeines.....	4
4. Versionsverzeichnis.....	4
4.1. Freigabe.....	4

## **1. Bestandsaufnahme**

### **1.1. Einleitung**

Infolge der Alterung von Flugzeugstrukturen wird zur Sicherstellung der Flugsicherheit eines Flugzeuges im Unterhalt regelmässig mittels NDT-Inspektionen die Strukturintegrität sichergestellt. Eines der meist angewendeten Prüfverfahren in der Flugzeuginstandhaltung ist das Wirbelstromverfahren (ET) mit Rotiersonden. Im Zusammenhang mit diesem NDT-Verfahren sind verschiedenste Einflussfaktoren/Schadensmechanismen bekannt, jedoch ergeben sich Indikationen, welche nicht eindeutig zuzuordnen sind.

### **1.2. Ist-Zustand**

Für die Abteilung Ruag Aviation Flight Jet Service NDT (RAFJSN) der RUAG in Emmen, soll ein Konzept für einen Referenzblock erstellt werden. Die Definition soll anhand mehrerer international publizierter Reports gemacht werden. Dabei ist aus den möglichen Schadensmechanismen eine Auswahl zu treffen, welche basierend auf mehreren Kriterien besteht. (z.B.: Klassierung ET Signal, Herstellbarkeit, Herstellkosten, Antreffenswahrscheinlichkeit).

## **2. Aufgabendefinition**

### **2.1. Ziel**

#### **2.1.1. Milestone 1**

Das Konzept soll zwei Varianten mit den folgenden Ausprägungen aufzeigen:

- wirtschaftlichste Variante (Kosten-Nutzen)
- technisch maximal mögliche Variante mit realitätsnahen Fehler
- Herstellung Realcrack Probe ( inkl. Materialermüdungsberechnung)

#### **2.1.2. Milestone 2**

Für die anschliessende Sensitivitätsstudie ist eine Vorlage zu erstellen, welche die Protokollierung, Auswertung und Zusammenstellung der Resultate vereinfacht und visualisiert

- Erstellen einer Protokollvorlage (MS Excel)
- Erstellen einer Auswertevorlage (MS Excel) mit Resultatvisualisierung

### **2.2. Anforderungen**

Der Referenzblock soll die technisch maximal mögliche Variante mit realitätsnahen Fehlern aufweisen. Da es sich um eine Schulungs- und Weiterbildungsgegenstand handelt, soll die Möglichkeit bestehen, den Bestand der Schadensmechanismen mit geringem Aufwand erweitert zu können.

### **2.3. Informationen**

Ruag stellt folgende Reports zur Verfügung:

- Reference Panel Specification Booklet – Panel 1 – NDTSL/ECT/663
- Discrimination between Fatigue Cracking and Mechanical Damage in Aircraft Fastener Holes by EddyCurrent Phase Rotation
- NDT-Technician – Rotary Bolt Hole Eddy Curren Inspection
- Improvement of the Reliability of fatigue Crack Detection on Holes of Typical Aircraft Structures by using Multy-Frequency EC-Technique

## 2.4. Schnittstellen

### 2.4.1. Fatigue Engineering

- Christoph Kunz
- Beat Schmidt

## 3. Projekttablauf

### 3.1. Terminplan

29. Apr. 2019	Themeneingabe Diplomarbeit
10. Mai 2019	Projektbeginn
04. Jun. 2019	Kick-off Meeting in Emmen
02. Jul. 2019	Sitzung 1 mit Diplomdozent
10. Jul. 2019	Treffen mit Christoph Kunz, Struktur Ingenieur RUAG
16. Jul. 2019	MS 1
21. Aug. 2019	Sitzung 2 mit Diplomdozent; Treffen mit Kunde für Update
04. Sep. 2019	MS 2
01. Okt. 2019	Abschlusssitzung Diplomprojekt
18. Okt. 2019	Fertigstellung der Diplomarbeit
28. Okt. 2019	Späteste Abgabe der Diplomarbeit

### 3.2. Budget

CHF 10'000,- plus CHF 5000,- Reserve

### 3.3. Allgemeines

Sitzungen finden monatlich statt

Sitzungsprotokolle werden jeweils bei der nächsten Sitzung genehmigt

## 4. Versionsverzeichnis

Version	Datum	Visum	Status / Änderungen
1.0	24.06.2019	AE	Wartet auf Freigabe
2.0	10.07.2019	AE	Titelbild aktualisiert
3.0	25.09.2019	AE	Terminplan

### 4.1. Freigabe

Ort: Emmen

Datum: 25.09.19

Name: Frei Stefan

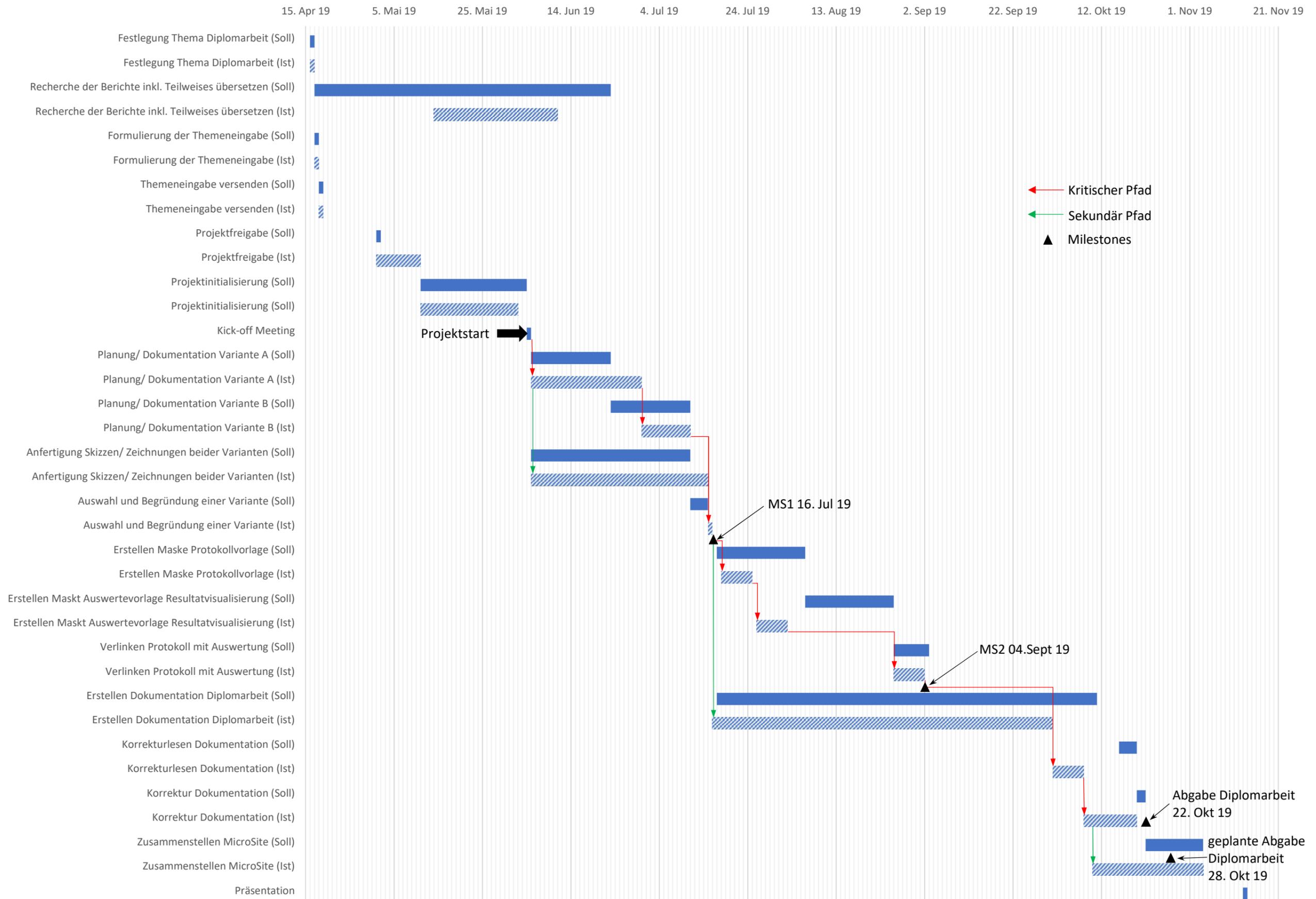
Funktion: TL NDT

Unterschrift: 

### 3.3. Projektstrukturplan

Diplomarbeit				
1 Planung	2 Organisation	3 Umsetzung	4 Abschluss	5 Nachbearbeitung
1.1 Projektteam	2.1 Projektauftrag	3.1 Recherche	4.1 Abschlussbesprechung	5.1 Endkorrekturen
1.1.1 Andreas Ersek (PL)		3.1.1 Reports	4.1.1 Resumet	
	2.2 Pflichtenheft	3.1.1.1 lesen	4.1.2 Bewertung	5.2 Finale Version Doku
1.2 Kunde		3.1.1.2 übersetzen		5.2.1 Doku binden als Buch
1.2.1 Ruag Schweiz AG	2.3 Risikoanalyse	3.1.2 Internet	4.2 Korrekturlesen Dokumentation	
	2.3.1 Risikotabelle	3.1.2.1 Fachbegriffe erläutern und erklären	4.2.1 Korrigieren	
1.3 Titel	2.3.2 Risikomatrix			
1.3.1 Konzept zur Herstellung eines NDT-Referenzblocks	2.4 Sitzungsprotokolle	3.2 Besuchen Kunde	4.3 Ausdrucken Diplomarbeit	
	2.4.1 Sitzungsprotokoll 1-6	3.2.1 mehrfacher Besuch beim Kunden zum Gedankenaustausch	4.3.1 Pdf erstellen	
1.4 Grobziele	2.5 Projektstrukturplan		4.4 Abgabe der Diplomarbeit	
1.4.1 Konzept	2.5.1 Tabellarisches Format		4.4.1 Digital	
1.4.1.1 Variante 1		3.3 Auswertung	4.4.1 gebunden	
1.4.1.2 Variante 2	2.6 Aufgabenaufteilung	3.3.1 Daten aus Reports		
1.4.2 Muster-Vorlagen	2.6.1 Andreas Ersek ist Alleinverantwortlicher	3.3.2 Daten aus Internet	4.5 Erstellen der Präsentation	
1.4.2.1 Prüfprotokoll		3.3.3 Daten aus Gesprächen	4.5.1 Powerpoint	
1.4.2.2 Auswerteprotokoll			4.5.2 Karteikarten	
	2.7 Terminplan & Milestones	3.4 Gewichtung		
	2.7.1 MS1	3.4.1 Schadensmechanismen	4.6 Präsentation & Diskussion	
	2.7.2 MS2			
		3.5 Ausarbeitung		
		3.5.1 Variante 1		
		3.5.2 Variante 2		
		3.6 Berechnungen		
		3.6.1 Festigkeit		
		3.6.2 Spannungskonzentrationsfaktor $K_{\sigma}$		
		3.6.3 Max. Spannung		
		3.6.4 Min. Spannung		

### 3.4 Terminplan Soll/ Ist



#### **4. Einleitung**

Die Entwicklung des Konzeptes zur Herstellung eines NDT-Wirbelstrom Referenzblocks erweitert mein Wissen im Bereich Nondestructive Testing (NDT) und bringt mich meinem Ziel in der NDT-Branche Fuss zu fassen, um einen Schritt näher.

Die Entscheidung zu dem Thema entwickelte sich durch das Angebot eines Projekts in Zusammenarbeit mit der Abteilung RAFJSN der Firma RUAG am Standort Emmen.

Wie auch die Semesterarbeit im letzten Semester habe ich die Diplomarbeit allein durchgeführt, um meine Kompetenzen für Planung und Leitung eines Projektes zu festigen und verbessern. Ich konnte vermehrt Wissen über NDT und dessen Prüfungsverfahren sammeln und zugleich anwenden. Zusätzlich wurde meine Selbstständigkeit und Entscheidungsfähigkeit auf ein noch höheres Level gebracht.

In den folgenden Punkten dieses Kapitels möchte ich Ihnen einen Einblick in die Welt der zerstörungsfreien Materialprüfung geben und etwas genauer auf die Methode der Wirbelstromprüfung eingehen. Der Referenzblock, welcher als Aus- und Weiterbildungsinstrument verwendet werden soll, wurde von mir gezielt für diese Art der Inspektion entworfen.

#### 4.1. Was ist Nondestructive Testing NDT?

Die Bezeichnung Nondestructive Testing kommt aus dem Englischen und bedeutet zerstörungsfreie Prüfung. Diese Art von Prüfung ist eine Analysetechnik, die zur Bewertung von Material-, System- oder Komponenteneigenschaften verwendet wird, ohne dem zu prüfenden Gegenstand Schaden zuzufügen.

Dieses Prüfverfahren verändert den zu prüfenden Gegenstand nicht dauerhaft und ist daher eine sehr effektive Technik welche bei der Bewertung eines Produkts, bei Fehlerbehebungen oder Recherchearbeiten sowohl Zeit als auch Geld spart.

Die sechs Prüfungs-Methoden, welche am Häufigsten verwendet werden, sind Wirbelstromprüfung, Magnetpartikelprüfung, Flüssigkeits- oder Farbeindringprüfung, Röntgenprüfung, Ultraschallprüfung und die Sichtprüfung. Die, für diese Arbeit, wichtigste Methode ist die Wirbelstromprüfung (genaueres siehe Pkt. 6.2. auf Seite 14). Die zerstörungsfreie Materialprüfung wird häufig in den Bereichen Bauingenieurwesen, Erdöltechnik, Elektrotechnik, Forensik, Luft- u. Raumfahrttechnik, Maschinen- u Fahrzeugbau, Medizin und Kunst eingesetzt.

Um die Industrie zu fördern, Standardmethoden u. -schulungen zu entwickeln und Kenntnisse über NDT zu erwerben, gibt es viele verschiedene nationale und internationale Verbände. Zu jenen gehören zum Beispiel die schweizerische Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (SGZP), die deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP e.V.) oder The American Society of Nondestructive Testing© (ASNT).



Abbildung 1: Ultraschallgerät zur Rohrprüfung  
Quelle: [www.api-uk.com](http://www.api-uk.com)

Die NDT-Verfahren basieren auf der Verwendung von Schall, radioaktiver oder elektromagnetischer Strahlung und anderen Signalumwandlungen, um viele verschiedene Gegenstände (metallische und nichtmetallische Produktionsteile, Kunstgegenstände, Postsendungen, Körper und Körperteile) auf Zusammensetzung, Unversehrtheit oder Zustand zu prüfen.

Da die zerstörungsfreie Prüfung in vielen verschiedenen Bereichen der Industrie eingesetzt wird und dadurch ein breites Spektrum abdeckt, werden ständig neue Methoden und Anwendungen entwickelt. NDT-Prüfmethoden werden routinemässig in Branchen genutzt, in denen Versagen oder Ausfall von Bauteilen und Komponenten (z.B.: Rohrleitungen, Flugzeugkomponenten, Druckbehältern, Hebezeugen) erhebliche Gefahren oder wirtschaftliche Verluste verursachen würde.

## 4.2. Die Wirbelstromprüfung im Allgemeinen

### 4.2.1. Geschichte

Die Wirbelstromprüfung (engl. Eddy current method) als Prüftechnik, hat ihren Ursprung im Elektromagnetismus. Der französische Mathematiker, Physiker und Astronom François Arago hat im Jahr 1824 als Erster Wirbelströme beobachtet. Das Eddy current testing (ECT) begann jedoch weitgehend erst nach der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion im Jahre 1831 durch Michael Faraday. Faraday entdeckte, wenn ein geschlossener Stromkreis, durch den Strom fließt, und ein zeitlich variables Magnetfeld vorhanden ist, welches durch einen Leiter erzeugt wird, dann fließt Strom. Die Entdeckung jedoch, wurde 1855 dem französischen Physiker Léon Foucault zugeschrieben. 1879 demonstrierte der Engländer David E. Hughes, wie sich die Eigenschaften einer Magnetspule änderte, wenn sie Metalle unterschiedlicher Leitfähigkeit und Permeabilität berührt. Damit wurden später metallurgische Sortiertests durchgeführt.

Der Grossteil der Entwicklungen für Wirbelstromprüfung für industrielle Anwendungen wurde im zweiten Weltkrieg in Deutschland durchgeführt. Die Prüfungsmethode ist heute eine weit verbreitete und allgemein bekannte Prüftechnik zur Fehlererkennung und zur Messung von Dicke und Leitfähigkeit.

### 4.2.2. Prinzip

Eine Spule aus leitendem Draht wird mit Strom (Wechselstrom) betrieben und erzeugt dadurch ein wechselndes Magnetfeld, dieses induziert im zu prüfenden Material Wirbelströme. Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit und der magnetischen Permeabilität des zu prüfenden Gegenstands, sowie das Vorhandensein von Defekten, verursacht eine Änderung des Wirbelstroms und eine entsprechende Änderung der Phase und Amplitude.

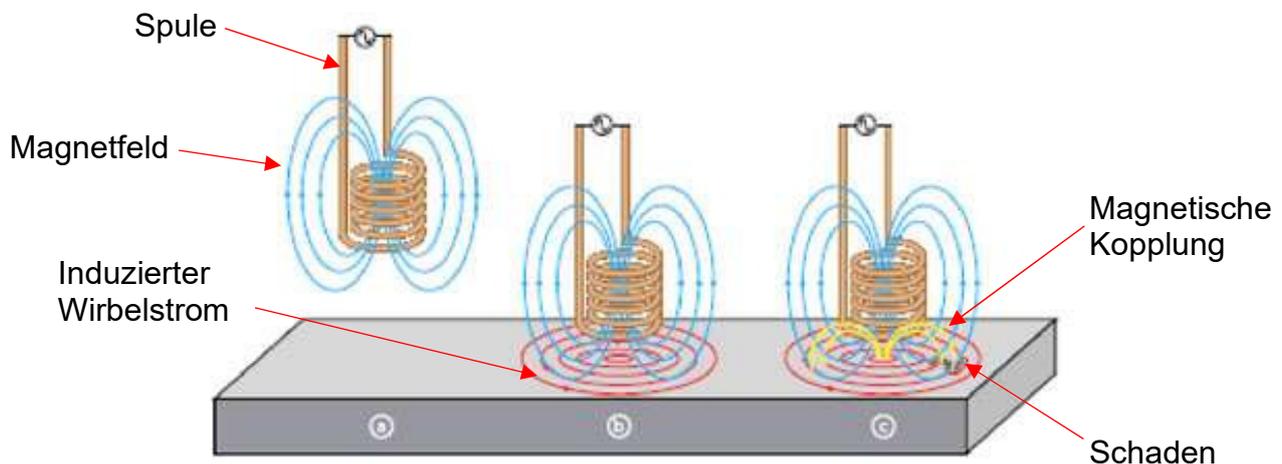


Abbildung 2: grafische Darstellung Prinzip Wirbelstromprüfung  
Quelle: [www.olympus-ims.com](http://www.olympus-ims.com)

- Der durch die Spule fließende Wechselstrom erzeugt ein Magnetfeld
- Nähert sich die Spule einem leitenden Material, wird Wirbelstrom induziert
- Wenn ein Defekt im leitenden Material die Wirbelstromzirkulation gestört hat, wird die magnetische Kopplung mit der Sonde geändert und ein Fehlersignal kann durch Messen der Veränderung der Spulenimpedanz angezeigt werden

### 4.3. Die Wirbelstromprüfung in der Aviatik

Das rechtzeitige Erkennen von Ermüdungsrissen (eng. Fatigue crack), in metallischen Flugzeugstrukturen, ist ein sehr wichtiger Punkt für den sicheren Einsatz eines Flugzeugs. Flugzeuge sind hohen wecheldynamischen Belastungen ausgesetzt, was häufig zu Ermüdungsrissen in Bereichen mit Spannungskonzentration führt.

Unerkannt würden diese Risse ein enormes Risiko für die Flugsicherheit darstellen. Diese Spannungskonzentrationen treten auch an den abertausenden Bohrungen auf, welche in die Flügelbeplankung und die Flugzeugstruktur gebohrt werden, um die Bauteile mit Bolzen, Schrauben und Splinten aller Art zu verbinden. An diesen Bohrungen können sich dann Ermüdungsrisse bilden und zu den nebenan liegenden Löchern wachsen. Hierbei sprechen Struktur-Ingenieure von dem Ausdruck "Inter Fastener Shear Out", welches die Rissbildung zwischen zwei benachbarten Bohrungen in der Aussenhautbeplankung beschreibt. Im schlimmsten Fall kann ein Ermüdungsriss die gesamte Planke oder die darunterliegenden Strukturelemente wie Holme und Rippen durchqueren.

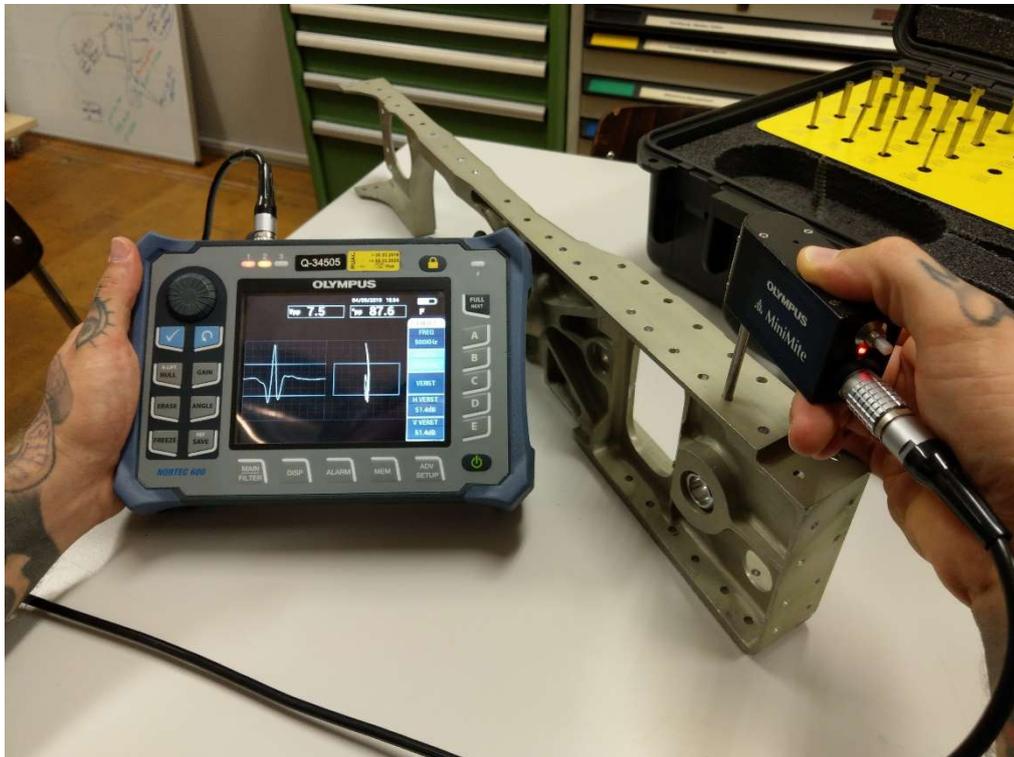


Abbildung 3: Inspektion eines Bauteils durch den Autor

Um bei Flugzeugen, welche nach der "safety-by-inspection" Lufttüchtigkeits-Philosophie<sup>1</sup> verwaltet werden, Risse frühzeitig erkennen und diese charakterisieren zu können, bedarf es einer sehr strengen und gezielten NDT-Inspektion. Nur dadurch kann die Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit des Flugzeuges gewährleistet werden. Um diese Inspektionen überhaupt durchführen zu können, müssen in dem Bereich wo inspiziert werden soll, sämtliche Befestigungselemente entfernt werden und die Bohrlöcher gereinigt werden. Wenn kleine Risse in den Bohrungen festgestellt werden, ist es teilweise möglich, diese durch Überdimensionierung der Bohrung zu beseitigen. Die vorhandenen Befestigungselemente werden dann durch Grössere ersetzt.

<sup>1</sup> Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit durch Einhaltung vorgegebener Überprüfungsintervalle und Durchführung der notwendigen Inspektionen

#### 4.3.1. Die Nietloch-Wirbelstromprüfung

Bolthole eddy current (BHEC) testing ist eine sehr zuverlässige NDT-Methode, um Oberflächenrisse in Nietlöchern und anderen Befestigungslöchern zu erkennen. Wie vorgängig erwähnt wird diese Methode mehrere Jahrzehnte intensiv in der Luft und Raumfahrtindustrie eingesetzt und kontinuierlich verbessert. Auch bei der täglichen Arbeit der RUAG in Emmen findet diese Methode Anwendung.

Die kleinste verlässlich nachweisbare Rissgröße für BHEC bei Aluminium Legierungen liegt bei ca. 0.8mm Tiefe für Abschnittsrisse an den Lochecken und 1,0mm Länge und 0.5mm Tiefe für Risse in den Bohrlöchern.

Der Zustand der zu inspizierenden Bohrungen ist aufgrund von Kratzern, Riefen oder durch die bei der Demontage von Bolzen oder Nieten entstandenen mechanischen Schäden, oft nicht optimal. Diese zusätzlichen Schäden am Bohrloch können entweder zu einem übermässigen Grad an "Rauschen" im Signal oder zu einer falschen positiven Fehleranzeige führen, welche dann ebenfalls wie eine Bohrung mit Riss behandelt werden. Bohrungen mit Schäden dürfen je nach Lage und nach Zustand der benachbarten Löcher, maximal 2-3 Mal überdimensioniert werden, bevor dies nicht mehr zulässig ist. Eine unnötige Überdimensionierung einer Nietlochbohrung wird daher nicht angestrebt.[4]

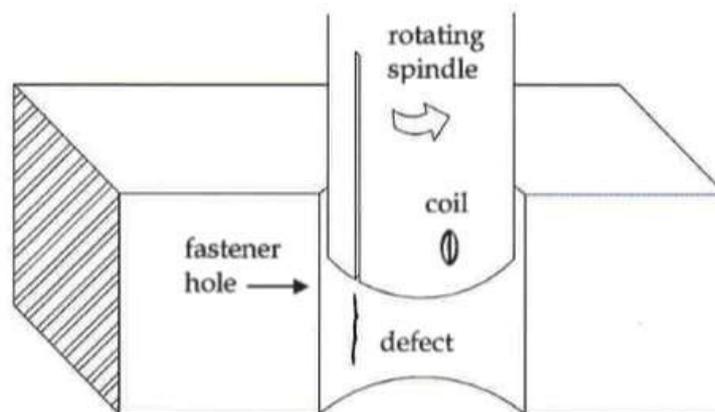


Abbildung 4: Schnittbild einer BHEC-Inspektion  
Quelle: Seite 12 Report [4]

Im Kopf der Rotiersonde (rotating spindle), der oben liegenden grafischen Darstellung, befindet sich eine Spule (Coil) mit einem Durchmesser von 1-2 mm, welche in Kunstharz eingegossen ist. Während der Inspektion wird die Sonde mit einer konstanten Geschwindigkeit von bis zu 3.000 U/min gedreht und langsam durch die gesamte Länge der Bohrung (fastener hole) bewegt. Der Eintauch-Vorgang kann händisch, oder mit Hilfe eines Roboters erfolgen, ist jedoch auch abhängig wieviel Platz der Prüfer hat, um die Inspektion durchzuführen.

Die Spule wird mit Wechselstrom bei einer ausgewählten Frequenz, im Bereich von 100 kHz bis 2 MHz, betrieben. Wenn die Spule einen Riss detektiert, werden die um die Stelle herum induzierten Wirbelströme im Material unterbrochen und die resultierende Änderung der Spulenimpedanz (Größe und Phase) wird unter Verwendung der zugehörigen Instrumentierung des Inspektionstestsets erfasst.

Die in Anzeige (a) erscheinenden ausgeprägten Amplituden und die in der Scheinwiderstands Darstellung (b) erscheinenden Schleifen zeigen das Vorhandensein eines Defekts an.

Die meisten modernen BHEC-Geräte verfügen über einen geteilten Bildschirm (Y-t (Spannung / Zeit) und (X-Y (Phasenebene)), damit der Bediener die Fehleranzeigen leichter interpretieren kann.

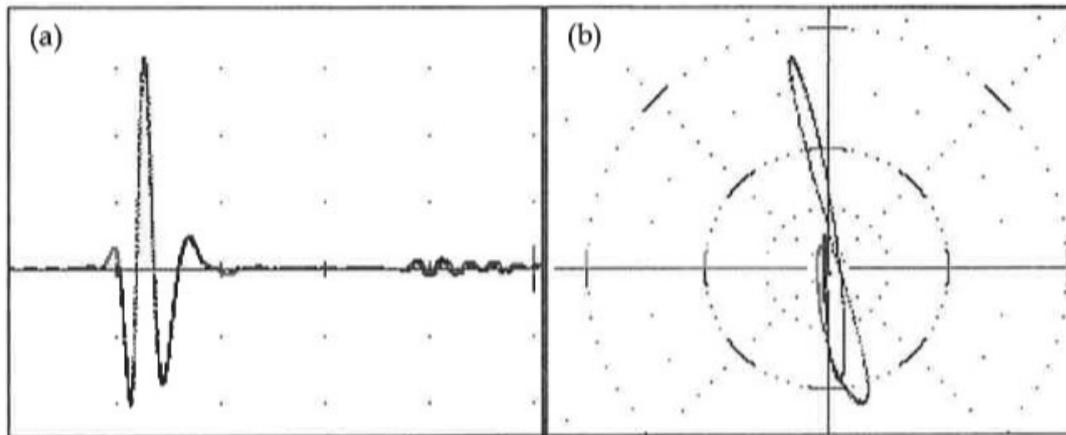


Abbildung 5: typische Anzeige von Amplitude und Phasenverschiebung  
Quelle: Seite 13 Report [4]

Um jedoch zwischen Ermüdungsrissen, Unrundheit der Bohrungen oder mechanischen Beschädigungen, welche bei der Montage, während Unterhaltsarbeiten oder bei der Demontage für die Inspektion entstanden sind, unterscheiden zu können, gibt es in spezieller Fachliteratur eine Reihe von Empfehlungen, um das voran erwähnte Rauschen zu minimieren. Hierfür wird zum Beispiel in den Berichten von LaCivita [5] und Brausch [3] empfohlen, dass eine sorgfältige Auswahl von Bandbreitenfiltern<sup>2</sup> verwendet werden kann. Die Verwendung dieser Filter nutzt den Unterschied zwischen den Signalen von Rissen und den sich langsam ändernden Signalen von mechanischen Beschädigungen oder Unrundheit aus, um ein Rauschsignal zu minimieren.

Des Weiteren wurde von LaCivita [5] beobachtet, dass es eine Phasenverschiebung<sup>3</sup> zwischen diesen auftretenden Schadensmechanismen gibt und vorgeschlagen, diesen Unterschied zu verwenden, um die beiden voneinander zu unterscheiden. Die genauere Vorgehensweise wird dazu im Bericht *"Discrimination between Fatigue Cracking and Mechanical Damage in Aircraft Fastener Holes by EDDY-Current Phase Rotation"* beschrieben.

<sup>2</sup> Ein Filter der nur Signale eines Frequenzbands passieren lässt. Die Frequenzbereiche unterhalb und oberhalb des Durchlassbereiches werden dabei gesperrt oder deutlich abgeschwächt

<sup>3</sup> Tritt auf, wenn zwei Sinusschwingungen voneinander in ihren Phasenwinkeln verschoben sind, ihre Periodendauern übereinstimmt, jedoch die Zeitpunkte der Nulldurchgänge nicht ident ist

### 4.3.2. Anwendung

Die Wirbelströme fließen unter der Oberfläche des Materials. Die Eindringtiefe der Wirbelströme ist abhängig von der Leitfähigkeit und Permeabilität des Materials und der Frequenz des induzierten Wechselfeldes. Bei hohen Frequenzen konzentrieren sich die Wirbelströme an der Oberfläche, während bei niedrigeren Frequenzen tiefere Bereiche innerhalb des Materials durchdrungen werden. Bei einem Aluminiumblech können dadurch sowohl Risse auf dem Blech als auch auf der anderen Seite festgestellt werden. ECT wird auch angewandt, um Korrosion unter der Oberfläche zu erfassen und die Dicke von leitenden Schichten zu bestimmen. Dieser Effekt wird hauptsächlich für nicht magnetisches Material verwendet. Aufgrund der hohen Permeabilität von magnetischem Material ist die Standard-Wirbelstrommethode hier auf den oberflächennahen Bereich beschränkt. Diese Art von Inspektion kann sowohl an magnetischen als auch an nicht magnetischen Materialien verwendet werden.

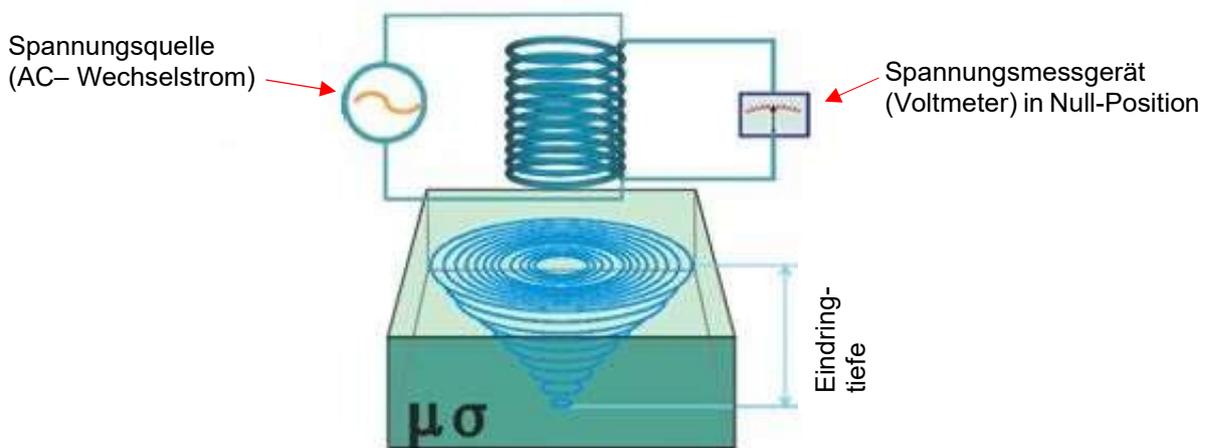


Abbildung 6: Prüfstück ohne Schaden  
Quelle: [www.kontrolltechnik.com](http://www.kontrolltechnik.com)

Bei der Probe auf Abb. 6 wird zur Oberflächenmessung die Messsonde an das Probestück herangeführt, aufgesetzt und über den Inspektionsbereich geführt. Befindet sich in diesem Bereich keine Schädigung des Materials, dann ist wie in der Abbildung zu sehen, auch kein Ausschlag am Spannungsmessgerät ersichtlich.

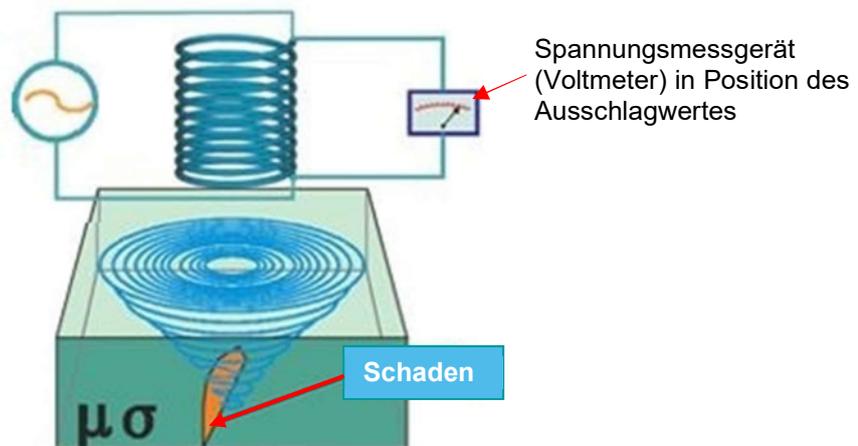


Abbildung 7: Prüfstück mit Schaden  
Quelle: [www.kontrolltechnik.com](http://www.kontrolltechnik.com)

Befindet sich jedoch im zu prüfenden Gegenstand, wie auf Abb. 7 sichtbar, eine Schädigung des Gefüges durch einen Riss, dann wird dieser im Gegensatz zu Abb. 6 durch einen Ausschlag am Spannungsmessgerät sichtbar.

### 4.3.3. Equipment

Um eine Wirbelstrominspektion durchführen zu können, stehen dem NDT-Inspektor eine Reihe von hochpräzisen Messmittel zur Verfügung. Um deren Genauigkeit zu gewährleisten, werden diese in einem regelmässigen Intervall überprüft und gewartet. Da es sich um hochempfindliche Messgeräte handelt, werden diese in Peli™ Cases aufbewahrt. Diese Koffer sind bekannt für ihre aussergewöhnliche Widerstandsfähigkeit gegen Eindringen von Wasser und Staub und die Fähigkeit ihren Inhalt, auch bei Stürzen aus mehreren Metern Höhe, vor Beschädigung zu bewahren



Abbildung 8: Grundausrüstung eines NDT-Inspektors

#### (1) Olympus NORTEC 600

Das Nortec 600 Prüfgerät von Olympus ist das Herzstück der ganzen Ausrüstung. Es ist speziell für Wirbelstromprüfung entwickelt worden und entspricht sowohl den Anforderungen für IP66<sup>4</sup>, als auch jenen der EN-15548<sup>5</sup>. Hierbei handelt sich um ein tragbares, Akku betriebenes (kann auch im Netzbetrieb verwendet werden) und wetterfestes Prüfgerät mit einem 5,7 Zoll VGA-Bildschirm.



Abbildung 9: Olympus NORTEC 600 bei der Anwendung

Mit dem Nortec 600 ist es möglich einen Frequenzbereich von 10 Hz bis 12MHz bei einer Betriebstemperatur von -10°C bis 50°C abzudecken.

<sup>4</sup> Die IP66 aus dem IP-Schutzbewertungssystem bezeichnet ein Produkt welches gegen starkes Strahlwasser geschützt, und vollständig staubdicht und ist

<sup>5</sup> DIN EN ISO 15548-1:2014-03 Zerstörungsfreie Prüfung- Technische Ausrüstung für die Wirbelstromprüfung

## (2) **Olympus NORTEC MiniMite**

Der NORTEC MiniMite ist der Wirbelstrom-Rotier-Scanner, welcher zum NORTEC 600 gehört. Der Rotierscanner verfügt über verschiedene Anschlussstypen und ist mit zahlreichen Sondenmodellen, wie zum Beispiel Edelstahlsonden oder Kunststoffsonden kompatibel.

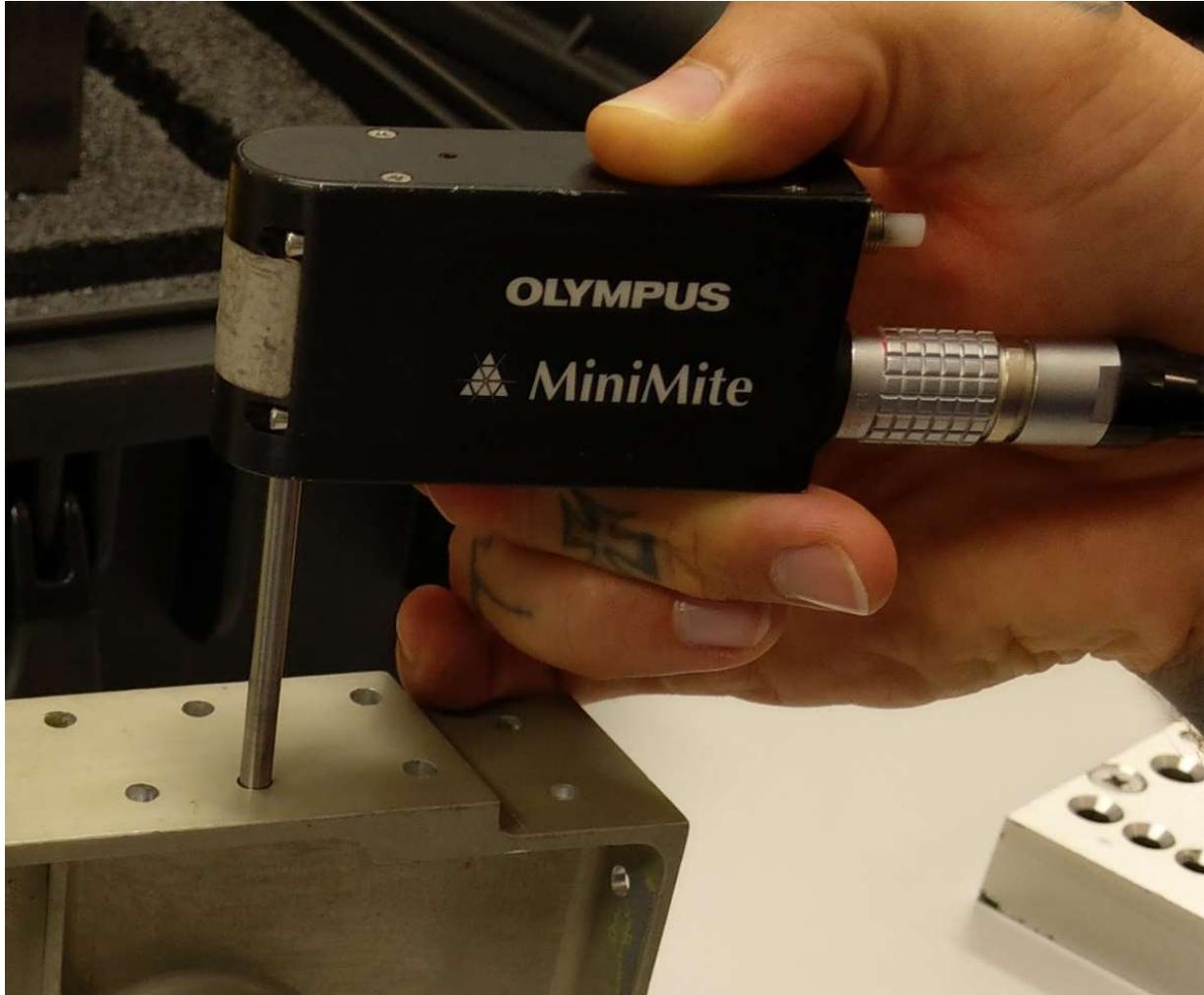


Abbildung 10: Olympus NORTEC MiniMite bei der Anwendung

Wegen seinen zahlreichen technischen Merkmalen, wie beispielsweise einer Drehgeschwindigkeit der Sonden variabel von 600 – 3000 U/min und einem Frequenzband von 200 kHz – 6MHz, ist er für Einsatzbereiche wie das Prüfen von Nietlöchern in Flugzeugstrukturen und für die Prüfung mit niedriger Frequenz durch mehrlagigen Aufbau einer Flugzeughaut hindurch, sehr gut geeignet<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Angaben laut Hersteller (Quelle: [www.olympus-ims.com](http://www.olympus-ims.com))

### (3) Wirbelstromsonden

Die rotierenden Edelstahl- und Kunststoffsonden für Wirbelstrominspektion, von Olympus sind in verschiedenen Durchmessern erhältlich und für die Verwendung mit dem Olympus-Rotationsscannern ausgelegt. Diese Sonden sind ideal zum Erkennen von Fehlern in Niet-, Befestigungs- und Verbindungslochern wie sie üblicherweise im Flugzeugstrukturen zu finden sind.



Abbildung 11: Wirbelstromsonden aus Edelstahl

Rotierende Prüfsonden haben eine Reflexionsdifferentialspule<sup>7</sup> eingebaut, diese arbeitet im einem Frequenzbereich von 200 kHz bis 3 MHz. Sie eignen sich sowohl für Aluminiumstrukturen als auch für Materialien mit geringer Leitfähigkeit.



Abbildung 12: Wirbelstromsonden aus Kunststoff

Diese Edelstahlsonden sind robust konstruiert und mit Edelstahlspitzen ausgestattet. Sie sind somit widerstandsfähiger gegen Beschädigung und Abnutzung. Die Sondenspitzen aus Kunststoff sind sehr flexibel und können individuell an den Bohrlochdurchmesser angepasst werden.

<sup>7</sup> Ein Sensortyp, der Magnetfelder anhand der Wirbelströme erfasst, die bei der Annäherung zu Metallen auftreten

## 5. Vorstudie

Während der Vorstudie wurde bei der Recherche gezielt auf die BHEC- Methode geachtet. Die im Literaturverzeichnis angeführten Berichte, welche sich mit diesem Thema befassen, wurde von der RUAG zur Verfügung gestellt. Da die Berichte in englischer Sprache verfasst sind mussten vereinzelt Kapitelabschnitte ins Deutsche übersetzt werden . In diesen Berichten haben verschiedene Institutionen Studien über Wirbelstromprüfung in Befestigungslöchern durchgeführt und dokumentiert. Weiter war in einem Bericht für mich ersichtlich, dass bei der BHEC-Inspektion in drei Hauptgruppen unterschieden wird. Dies wäre die Unterscheidung zwischen Ermüdungsrissen, mechanischen Beschädigungen und Korrosion & Andere. Die Kombination dieser Schadensmechanismen in einem Loch führt meistens zur Erzeugung von Fehlsignalen und kann zu einer falschen Schadensinterpretation führen.

Um aus diesen Berichten eine Zusammenfassung machen zu können, welche Schadensmechanismen am Häufigsten auftreten, wurden sämtliche Daten über die Schäden aus den Berichten extrahiert und eine Auflistung erstellt. Im folgenden Diagramm wird zwischen Ermüdungsschäden, mechanischen Schäden und Korrosion & Andere unterschieden.

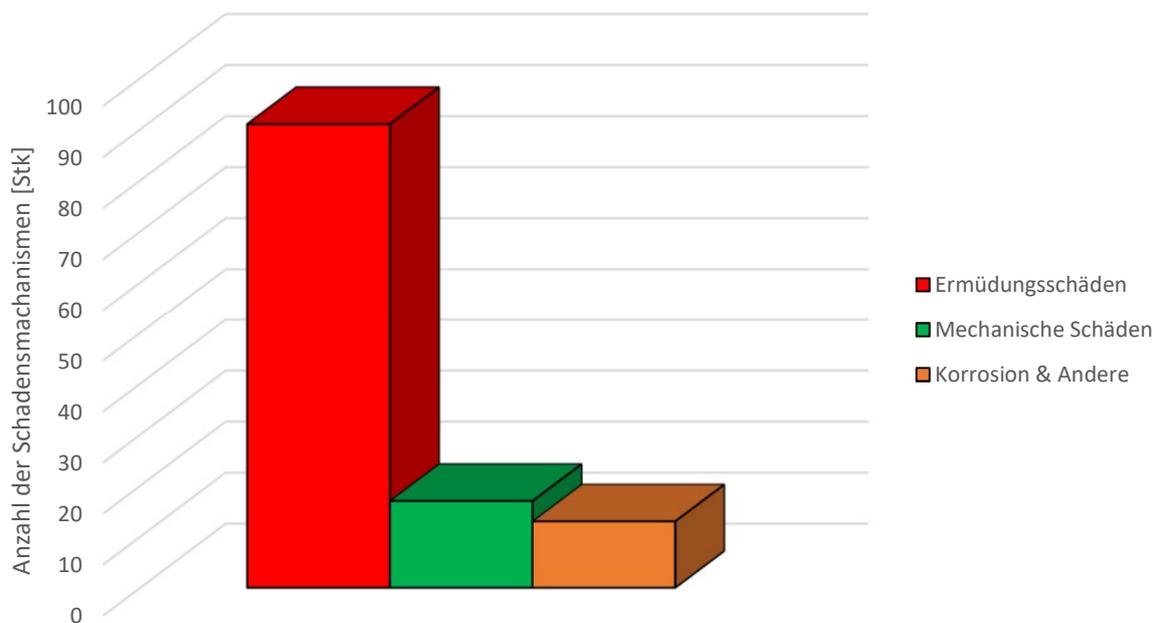


Diagramm 1: grafische Gewichtung der Schadensmechanismen

Bei Auftreten einer Kombination von Schadensmechanismen in einer Bohrung, wurde jeder Schaden für sich aufgezeichnet, als würde nur ein Schaden existieren. Das heisst Folgendes, hat eine Detektion ergeben, dass neben einem axial durchgehenden Ermüdungsriss in der Bohrung auch Korrosion stattgefunden hat, wird der Riss einzeln zu Fatigue Damage gezählt und die Korrosion einzeln zu Korrosion & Andere gezählt. Insgesamt wurden 121 Schadensmechanismen aus drei Berichten ausgelesen. Diese setzen sich aus 91 Schäden durch Materialermüdung, 17 mechanischen Schäden und 13 Schäden welche der Kategorie Korrosion & Andere zugeordnet werden, zusammen.

## 5.1. Ermüdungsrisse und mechanische Beschädigung in Nietlöchern

Ermüdungsrisse können an mehreren Stellen innerhalb der Nietlöcher auftreten, wie grafisch einer einfachen einschichtigen Flugzeugstruktur in Abb. 13 gezeigt wird. Die Grafik zeigt auch, dass die Befestigungselemente entfernt wurden. Die Abbildung liefert auch eine vereinfachte Darstellung von Ermüdungsrissen im Bereich der Bohrung, die innerhalb einer Struktur möglich sind. Um die Rissarten grafisch zu erfassen, wurden mehrere verschiedene Antreffensvarianten in einem Loch zusammengefasst. Hierbei handelt es sich um Risse welche sich am Eingangsbereich der Bohrung, so genannte Eck- oder Kantenrisse, gebildet haben, Risse welche axial durch die kompletten Bohrung und somit auch durch den kompletten Querschnitt der Beplankung gehen, oder Risse welche sich im Inneren der Bohrung gebildet haben.

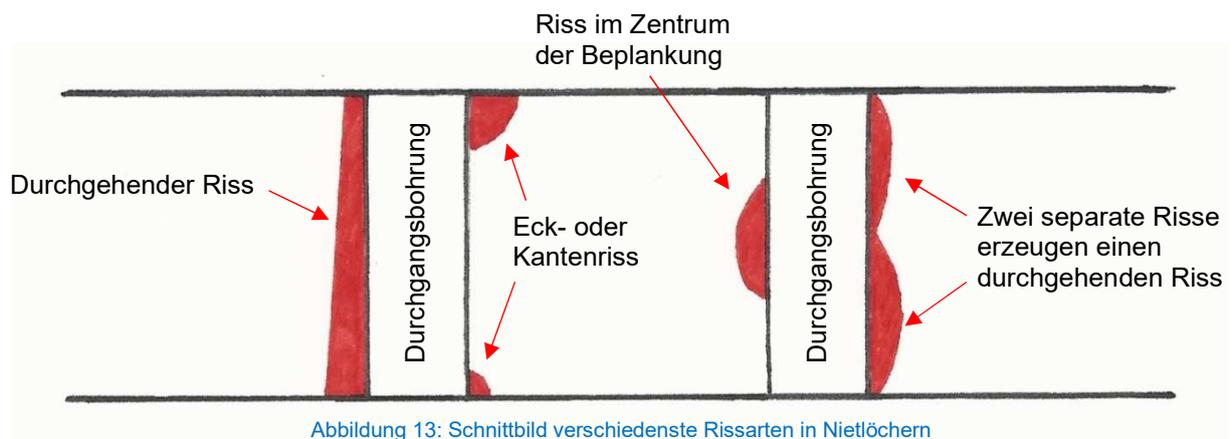


Abbildung 13: Schnittbild verschiedenste Rissarten in Nietlöchern

Quelle: Seite 10 Report [4]

Mechanische Beschädigungen können wie vorab angesprochen bei verschiedensten Arbeiten am Flugzeug entstehen und reichen von falsch gebohrten Pilotlöchern, über beschädigte Bohrlochkanten bis hin zu Riefenbildung im Bohrloch selbst. Eine genauere Aufzählung der verschiedenen mechanischen Beschädigungsarten folgen im Kapitel 5.2.2 auf Seite 27.

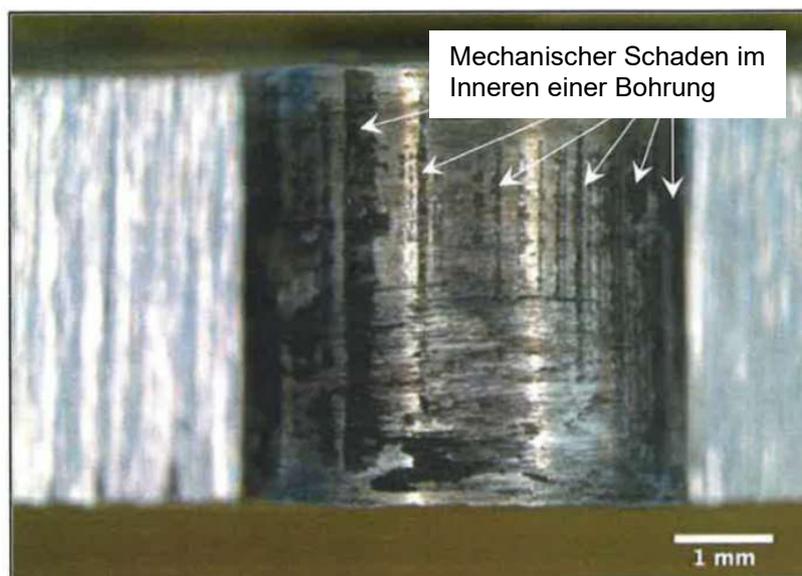


Abbildung 14: Schnittbild Durchgangsbohrung

Quelle: Seite 11 Report [4]

## 5.2. Unterteilung der Schadensmechanismen

Anhand der Färbung der Zahlen in der Spalte "Häufigkeit" ist zu erkennen aus welchem der drei folgenden angeführten Berichte die Schadensmechanismen extrahiert wurden.

- Reference Panel Specification booklet [1]
- Improvement of the Reliability of Fatigue Crack Detection [2]
- Discrimination between mech. Damage and Fatigue Damage [4]

### 5.2.1. Schäden durch Materialermüdung

Tabelle 1: Aufzählung der Schäden durch Materialermüdung

Ursache		Häufigkeit	Gesamt
<u>Fatigue Damage</u> <sup>8</sup>	<u>Ermüdungsschäden</u>		
axial scoring	achsiale Kratzer	1	1
Axial Crack	achsialer Riss	3	3
multiple cracks (corner)	mehrere Risse (an Ecken)	2	2
multiple cracks (Bore)	mehrere Risse (Bohrungsoberfläche)	9	9
multiple cracks (trough)	mehrere Risse (durchgehend)	3	3
crack (corner)	einfacher Riss (an Ecken)	7	7
cracks (trough)	einfacher Riss (durchgehend)	3 47	50
crack (Bore)	einfacher Riss (Bohrungsoberfläche)	1 1 8	10
Crack closed	Riss geschlossen	1	1
out of round, Oval forms	Unrundheit der Bohrung	1 1	2
Grooves, Notches	Furche, Kerbe	1 1	2

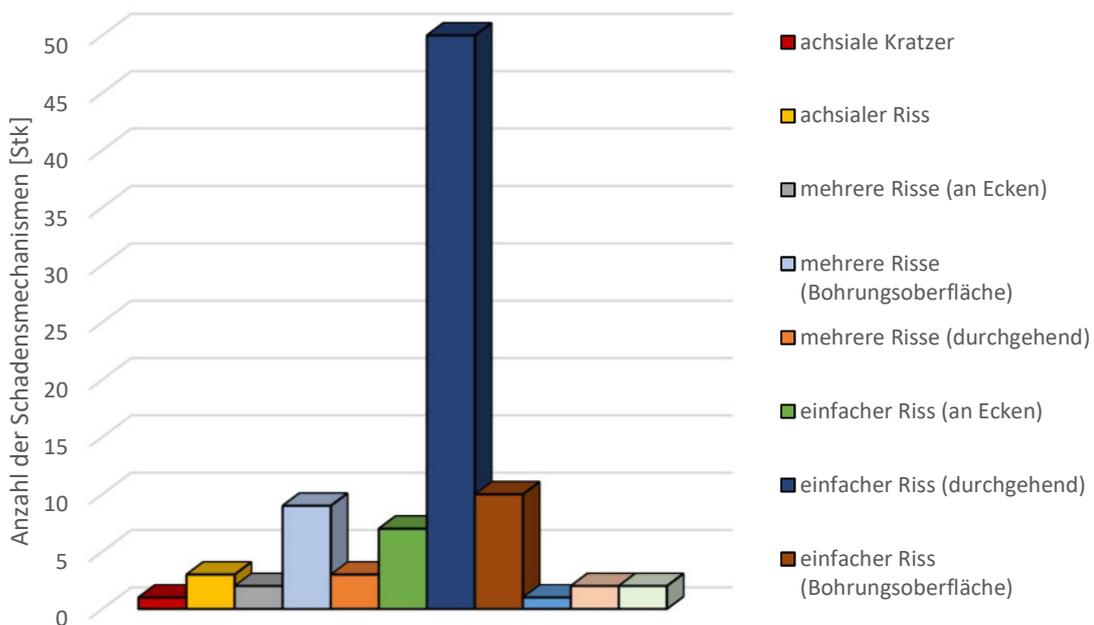


Diagramm 2: grafische Unterteilung der Schäden durch Materialermüdung

<sup>8</sup> Fatigue Damage ist einen langsam voranschreitenden Schädigungsprozess in einem Werkstoff unter Umgebungseinflüssen wie wechselnder mechanischer Belastung

## 5.2.2. Mechanische Schäden

Tabelle 2: Aufzählung der mechanischen Schäden

Mechanical Damage	Ursache mechanische Schäden	Häufigkeit	Gesamt
Scratches	Kratzer	1	1
Diameter of inspection	Inspektionsdurchmesser	1	1
Burr formation	Gratbildung	1 2	3
Chips	Späne	1	1
Foreign particles (span,..)	Fremdkörper (Späne,..)	1 1	2
Panel Butt joints		1	1
chatter marks	Kratzspuren	1	1
Clean Drilled whole	sauberes Bohrloch	1	1
at edge of hole (arrow head)	Hacker am Rand der Bohrung (Pfeilförmig)	1	1
missdrilled pilot hole	misslungene Pilotbohrung	1 1	2
reamed by hand without lubricant	von Hand gerieben ohne Schmiermittel	1	1
nick of edge	Kantenbeschädigung	1	1
sealant groove	ausgetretenes Dichtmittel	1	1

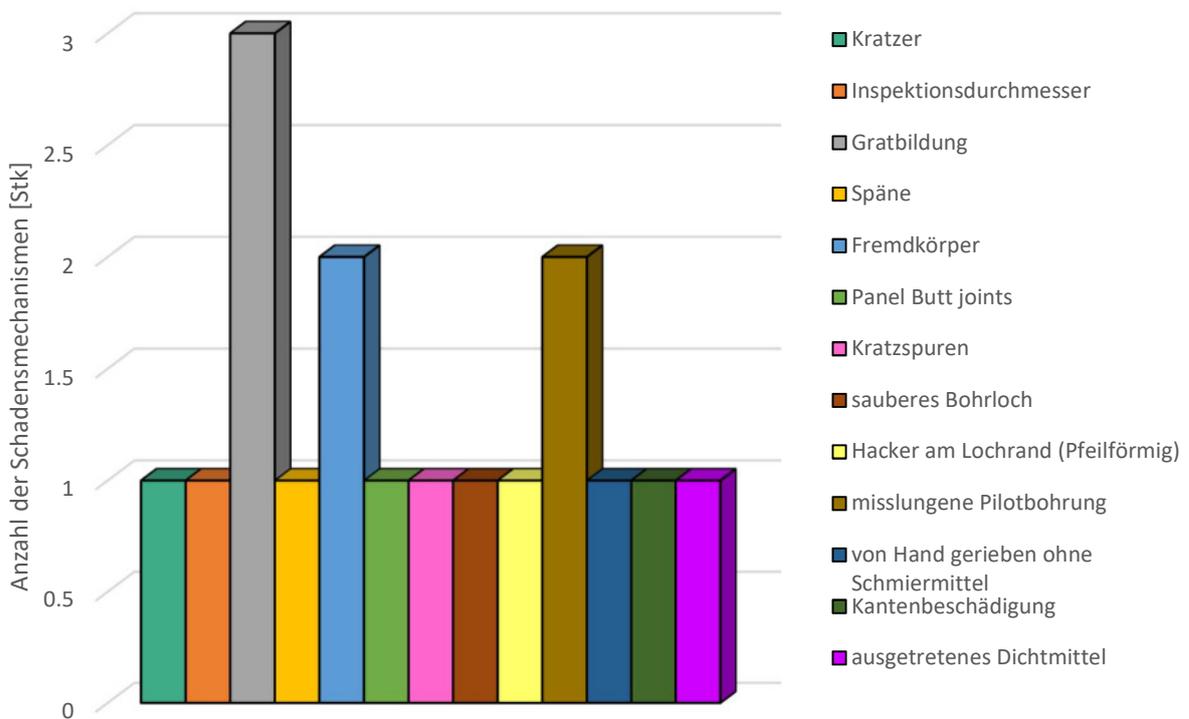


Diagramm 3: grafische Unterteilung der mechanischen Schäden

### 5.2.3. Korrosionsschäden & Andere

Tabelle 3: Aufzählung Korrosionsschäden & Andere

Ursache		Häufigkeit	Gesamt
<u>Corrosion &amp; Others</u>	<u>Korrosionsschäden &amp; Andere</u>		
stress corrosion crack	Spannungsrisss Korrosion	1	1
pitting corrosion	Lochfrass	2	2
light general corrosion	leichte Allgemeine Korrosion	2	2
EDM- notch	Erodieren	6	6
Steel insert	Buchse	1	1
Shim layers	Laminiertes Aluminiumblech	1	1

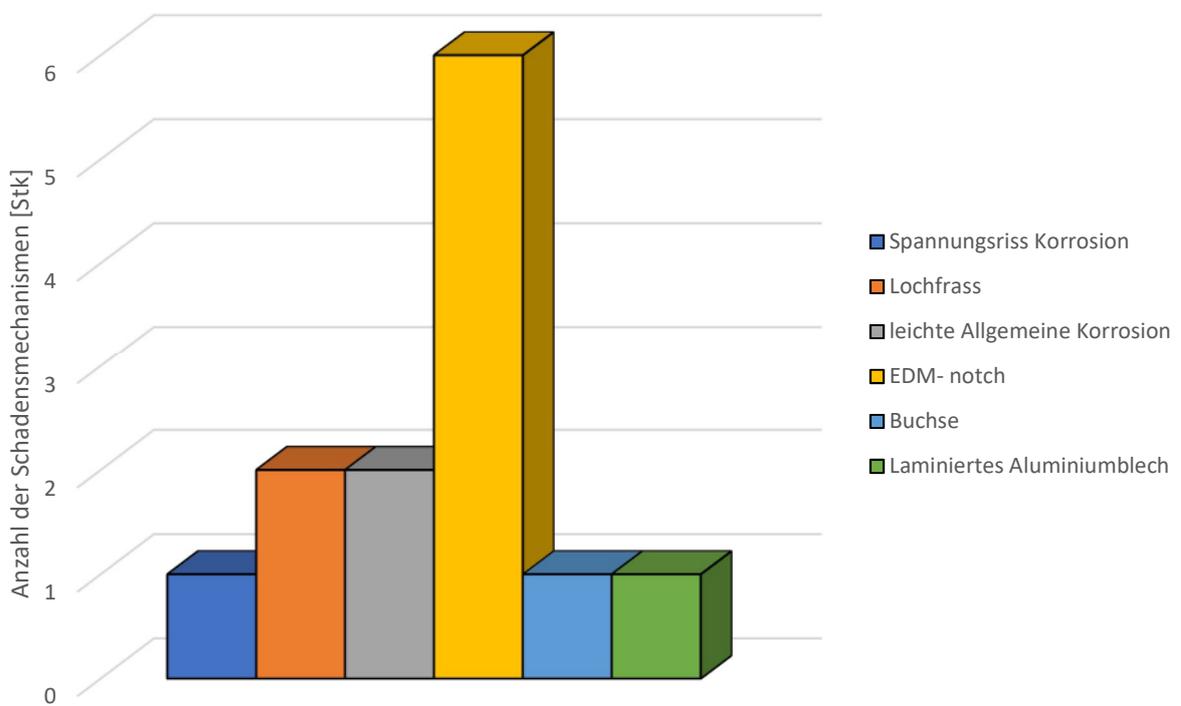


Diagramm 4: grafische Unterteilung Korrosionsschäden & Andere

## 6. Planung

### 6.1. Brainstorming

Die Kriterien zum Erfolg dieses Projekts wurden neutral im Projektauftrag formuliert, nun ist es an der Zeit, eine konkrete Lösung für den Aufbau des Referenzblocks zu finden. Dafür gibt es zur Ideenfindung verschiedene Methoden, welche jedoch nicht in diesem Umfang verwendet werden konnten, da sie zum Grossteil zur Ideenfindung in Teams generiert wurden. Für eine Einzelarbeit ist es daher umso schwerer Ideen mit solchen Methoden zu finden.



Abbildung 15: Übersicht Brainstorming

Um die Gedanken sammeln und visualisieren zu können wurden diese im ersten Schritt wahllos aufgeschrieben. Da zu dem Zeitpunkt schon sicher war, dass aus dieser Niederschrift an Gedankengut eine Mind-Map generiert wird, wurden so viele Gedanken wie möglich notiert. Dies ermöglichte eine übergeordnete Sichtweise und erleichterte die Strukturierung der nachfolgenden Gedankenlandkarte sehr.



### 6.3. Morphologischer Kasten

Die transportable Designvariante des Referenzblocks hat sich als die geeignetere Variante erwiesen. Daher scheidet die stationäre Designvariante aus und wird bei der Planung des Referenzblocks nicht weiter berücksichtigt.

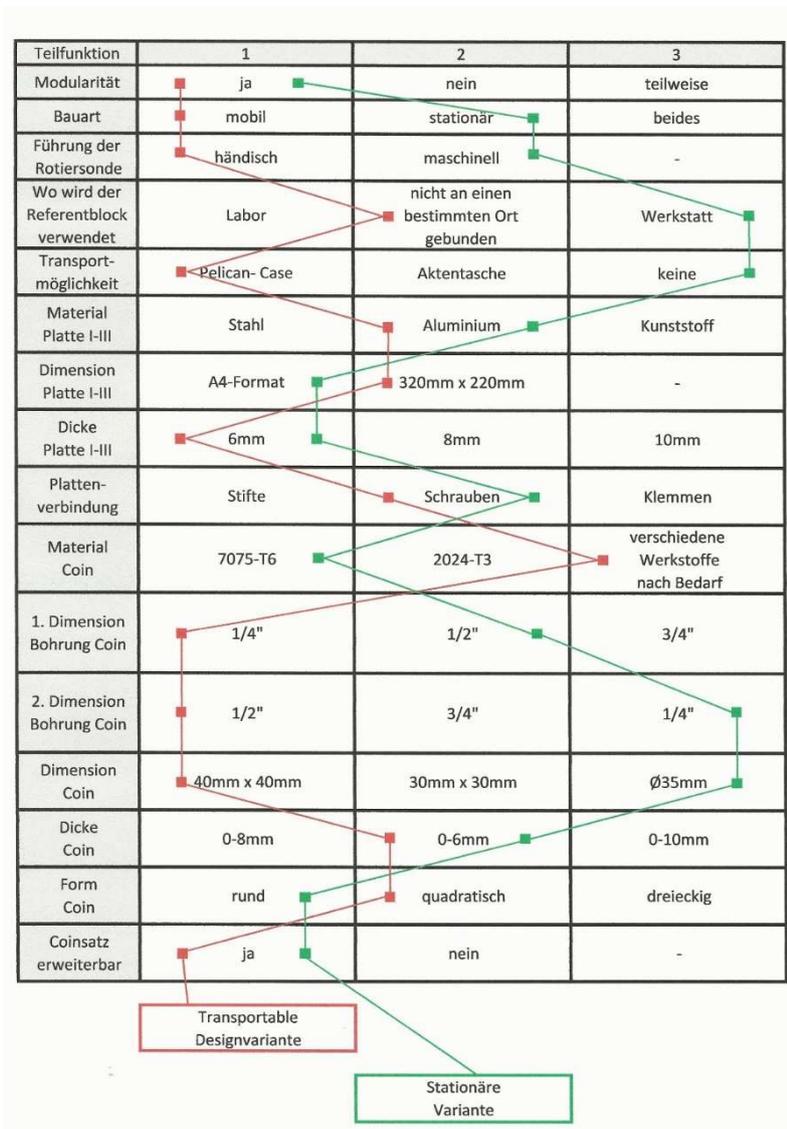


Abbildung 17: Morphologischer Kasten

Als Begründung dessen wird angegeben, dass der Kunde ein ortsunabhängiges Instrument haben möchte, welches ohne grosse Manipulation von einem zum anderen Ort transportiert werden kann, in kurzer Zeit bestückt und kurz darauf zum Einsatz kommen kann.

## 6.4. Risikoanalyse

### 6.4.1. Risikotabelle

In der folgenden Risikotabelle sind jene Risiken angeführt, welche vom Beginn des Projekts über die Planung bis hin zur Präsentation auftreten können bzw. ein Eintrittswahrscheinlichkeit nicht ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 4: Risikotabelle

Untersuchter Bereich	#	Erkannte Risiken	Detailbeschreibung der erkannten Risiken	Eintrittswahrscheinlichkeit	Auswirkung auf das Projekt
Zeitplanung	1	geplante Zeitreserven reichen nicht aus	Verlust von Informationen durch verlegen, Dokumente wurden nicht abgespeichert oder wurden überschrieben	eher unwahrscheinlich	schwer
	2	Termin wird gecancelt	Termin findet aus Zeitmangel des Kunden nicht statt	wahrscheinlich	gering
Recherche	3	gesammelte Informationen werden Fehlinterpretiert	Falscheinschätzung oder Identifikation der falschen Parameter	wahrscheinlich	schwer
	4	fehlende Informationen	die zur Verfügung gestellte Literatur ist unzureichend	wahrscheinlich	schwer
	5	falsche Informationen	Informationsquelle ist nicht zuverlässig, Informationen sind nicht korrekt	wahrscheinlich	schwer
Design	6	Kunde ist nicht einverstanden mit dem Designvorschlag	Ausführung von Bauteilen sind nicht zufriedenstellend bzw. erfüllen die Erwartung nicht	wahrscheinlich	schwer
	7	nicht umsetzbar/ realisierbar	zu aufwändiger Fertigungsprozess	eher unwahrscheinlich	schwer
	8	Scrap-Parts nicht brauchbar	Die Verarbeitung von Scrap-Parts zu Coins wäre zu aufwändig und erfüllt nicht den gewünschten Effekt	wahrscheinlich	gering
Budget	9	Produktionskosten übersteigen das Budget	Umsetzung und Ausführung sind zu teuer	eher unwahrscheinlich	mässig
Doku	10	Roter Faden nicht ersichtlich	Gliederung ist nicht schlüssig und daher der Lesefluss beeinträchtigt	wahrscheinlich	gering
Präsentation	11	dauert zu lange	Vorgabezeit wird überschritten	wahrscheinlich	gering
	12	vom Thema abschweifen	Abschweifen zu zusätzlicher Information welche jedoch nicht relevant ist	wahrscheinlich	gering
	13	zu sehr ins Detail gehen	ein Thema wurde zu sehr vertieft obwohl es nicht zum Focus der Diplomarbeit gehört	wahrscheinlich	gering

Die Eintrittswahrscheinlichkeit wurde in die Kategorien 'unwahrscheinlich', 'eher unwahrscheinlich', 'wahrscheinlich' und 'ziemlich sicher' unterteilt. Bei der Auswirkungen auf das Projekt wurden in 'keine', 'geringe', 'mässige' und 'schwere' Auswirkung unterteilt.

### 6.4.2. Risikomatrix

Aus den mit Hilfe der Risikotabelle (Tabelle 4, Seite 32) analysierten Risiken lässt sich folgende Risikomatrix erstellen. Anhand dieser Matrix ist ersichtlich, dass das Eintreten der Risiken 2/8/10/11/12/13 wahrscheinlich ist, jedoch nur eine geringe Auswirkung auf das Projekt hätte. Das Eintreten von Risiko 9 ist zwar eher unwahrscheinlich, hätte jedoch im Vergleich zum ebenfalls eher unwahrscheinlichen Auftreten der Risiken 1/7 mit schweren Auswirkungen, nur mässigen Einfluss auf das Projekt. Da die Risiken 3/4/5/6 wahrscheinlich auftreten können und schwere Auswirkungen auf den Erfolg des Projektes haben, wird ihnen die grösste Aufmerksamkeit gewidmet.

Tabelle 5: Risikomatrix

Eintretswahrscheinlichkeit	ziemlich sicher				
	wahrscheinlich		2/8/10/11 12/13		3/4/5/6
	eher unwahrscheinlich			9	1/7
	unwahrscheinlich				
		keine	gering	mässig	schwer
		Auswirkung auf das Projekt			

### 6.4.3. Risikoreduktion

Zur Risikoreduktion wird zu jedem Punkt ein Lösungsvorschlag angeführt um das erkannte bzw. vermutete Risiko zu bewältigen. Durch die präventive Aufstellung von Gegenmassnahmen kann gezielt beim Erkennen des kleinsten Anzeichens eingegriffen werden und jegliche Auswirkungen auf das Projekt abzuweisen.

Tabelle 6: Risikoreduktion

Untersucher Bereich	#	Risikoreduktion Lösungsvorschlag
Zeitplanung	1	Sicherungskopien an mehreren Orten erstellen (Daten- Stick, Cloud, wichtige Sachen ausdrucken, Informationsquelle notieren), einheitliche Benennung der Dateien
	2	rechtzeitig um Ausweichtermin kümmern, Terminvorschläge stets bereithalten
Recherche	3	Immer alles Nachprüfen und Double-checken
	4	Nachfragen bzw. um fehlende Informationen bitten
	5	nur auf seriöse Informationsplattformen Recherchieren
Design	6	gemeinsame Lösungsfindung und Änderung
	7	Keep it simple as possible
Budget	8	Gezielte Auswahl der Scrap-Parts nach Schadensmechanismen und Einbauorten im Flugzeug
	9	Gezielte Auswahl der Schadensmechanismen unter Bedacht auf die Wirtschaftlichkeit des Referenzblocks
Doku	10	Klare Gliederung in Einleitung, Hauptteil, Schluss
Präsentation	11	Karteikarten machen, Trockenübung der Präsentation
	12	Keep it short and simple, knackige Folien mit kurzen jedoch prägnanten Informationen
	13	Einteilung der Dokumentation in verschiedene Prioritätsstufen um den Focus zu definieren

Das Eintreten der Risiken kann vermieden werden, wenn man sich auch schon im Vorfeld an die in Tabelle 6 erarbeiteten Lösungsvorschläge hält.

## 7. Projektrealisierung

### 7.1. Der Referenzblock

Bei dem Referenzblock handelt es sich um eine modular aufgebaute dreilagige Konstruktion bestehend aus einer Frontplatte (1) und einer Bodenplatte (3) mit Durchgangsbohrungen und einer mittleren Platte in die quadratische Ausnehmungen gefräst wurde. Diese Platten werden aus der Aluminiumlegierung Al28 erzeugt. Dieses Material ist widerstandsfähig, gut zerspanbar und wird häufig im Formenbau und zum Bau von Aufspannlehren verwendet. In die mittlere Platte (2) können Plättchen mit Schadensmechanismen eingesetzt werden. Diese Plättchen wurden vom Autor "Coin" genannt. Die Namensgebung wird im Kapitel 7.2 erläutert.

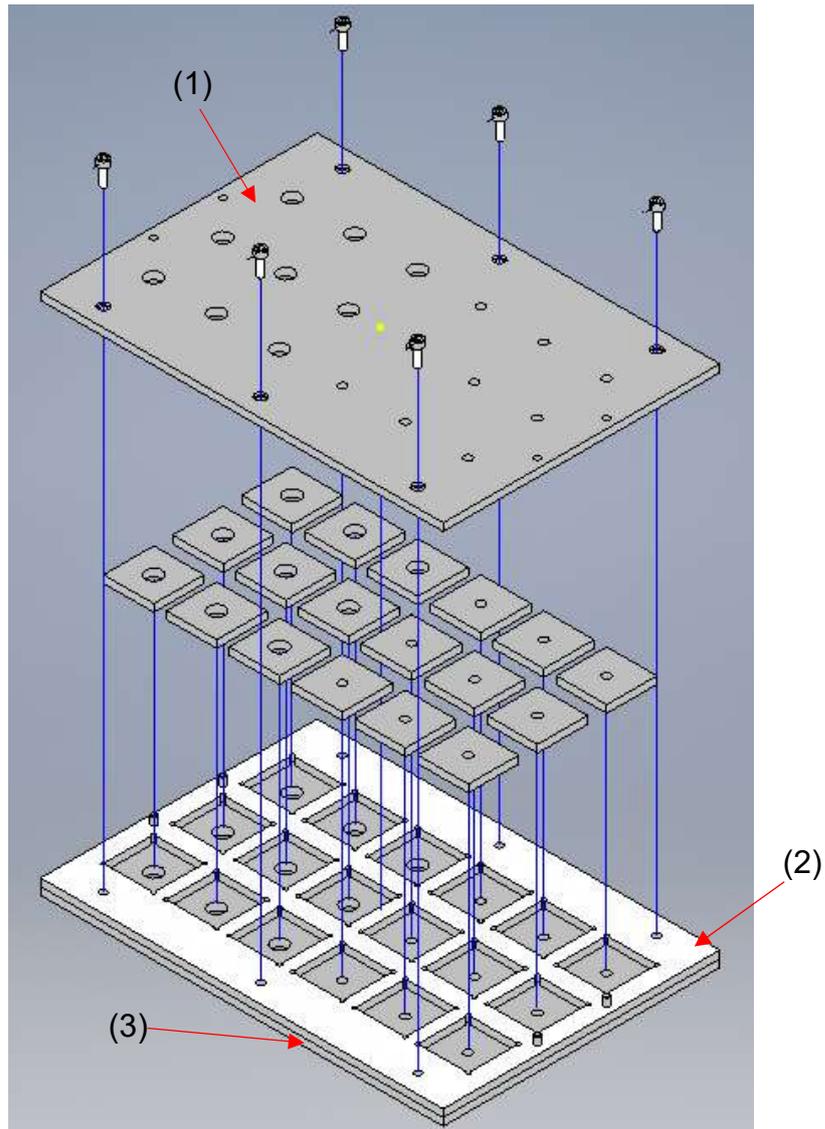


Abbildung 18: Explosionszeichnung Referenzblock

Um den Referenzblock zu bestücken, wird die Frontplatte abgenommen, die verschiedenen Coins in die Aussparungen der mittleren Platte gelegt, die Frontplatte wieder aufgesetzt und verschraubt. Alle drei Platten übereinander ergeben dann ein durchgehendes Loch. Der Messbereich des implizierten Schadens konzentriert sich auf die mittlere Platte, welche mit den eingelegten Coin bestückt ist. Die in die Front- und Bodenplatte eingebrachten Bohrungen weisen, ebenso wie die Coins, Bohrungen mit  $\text{\O}1/4''$  und  $\text{\O}1/2''$  auf. Diese Bohrungen definieren sogleich die Messpositionen auf der Frontplatte.

### 7.1.1. Detaillierter Aufbau des Referenzblocks

Damit ein möglichst breites Spektrum an verschiedenen Schadensmechanismen verwendet werden kann, wurde eine modulare Bauweise gewählt. Diese ermöglicht die Schadensauswahl für eine Inspektion variabel zu machen und eine reale Situation für den Prüfer zu simulieren.

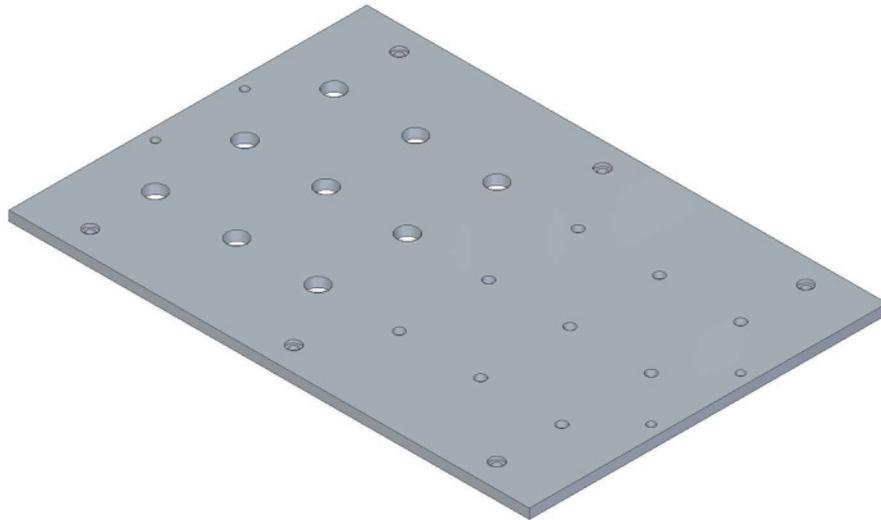


Abbildung 19: Die Frontplatte

Die Dimension der Taschen der mittleren Platte entstand aus der Idee, möglichst viele Schadensmechanismen auf geringstem Raum unterzubringen. Da die Zugversuchsproben des Fatigue Tests eine Breite von 40mm haben, war schon einmal ein Mass, welches zur Dimensionsfestlegung notwendig war, gegeben. Aus fertigungstechnischen Gründen wurde entschieden, dass die Coins in einer quadratischen Form gefertigt werden.

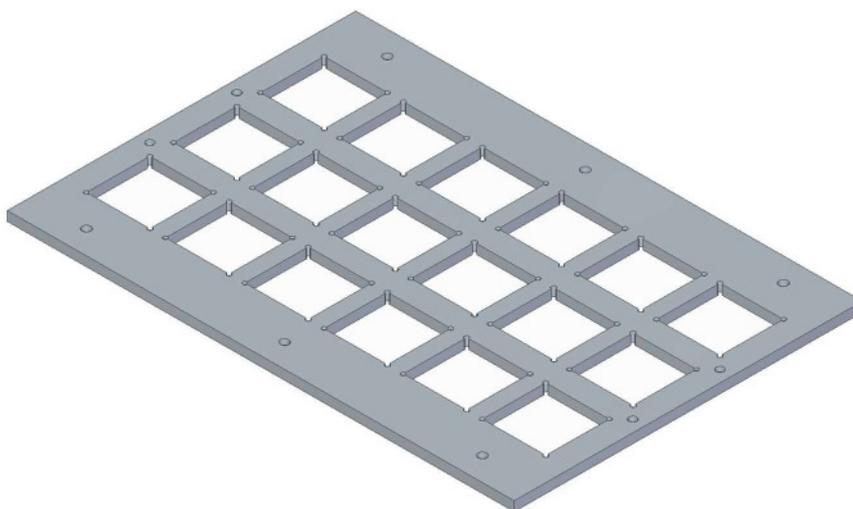


Abbildung 20: Die mittlere Platte

Daraus ergab sich die zweite Seite zugleich mit einer Länge von 40mm, weitere Informationen werden unter Pkt. 7.2. behandelt. Gemeinsam mit dem Kunden wurde entschieden, dass alle Platten dieselbe Dicke aufweisen müssen. Es wurde eine Dicke von 6mm gewählt, da diese auch den realen Dicken, der zu inspizierenden Bauteile am Flugzeug widerspiegelt. Um die Coins in den Aussparungen bündig platzieren zu können, wurden die Ecken durch so genannte Ecktaschen ausgespart. Jene Aussparung ermöglicht eine einfachere Fertigung der Coins, da deren Ecken nicht zusätzlich abgerundet werden müssen, sondern nur mit einem minimalen Kantenbruch versehen werden müssen.

Die Platten werden mit sechs M5-Innensechskant- Schrauben zusammenschraubt, die Position der Schrauben wurde so gewählt, dass die Platten satt verschraubt werden, sich aber trotzdem keine Beulen oder Verformung der Platten ergeben kann.

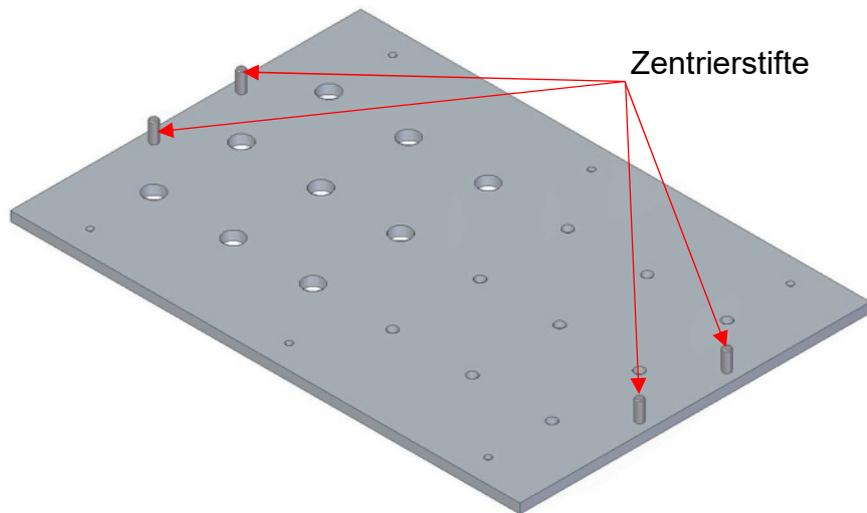


Abbildung 21: Die Bodenplatte

Damit gewährleistet ist, dass alle drei Platten immer an derselben Position liegen und die zu detektierenden Bohrungen stets bündig übereinanderliegen, wurden auf der Bodenplatte (Abb. XY) vier Zentrierstifte montiert. Diese werden jeweils mit einer M3-Innensechskant-Schraube von der Unterseite verschraubt. Es ist essenziell, dass die Bohrungen aller drei Platten stets bündig übereinander positioniert werden.

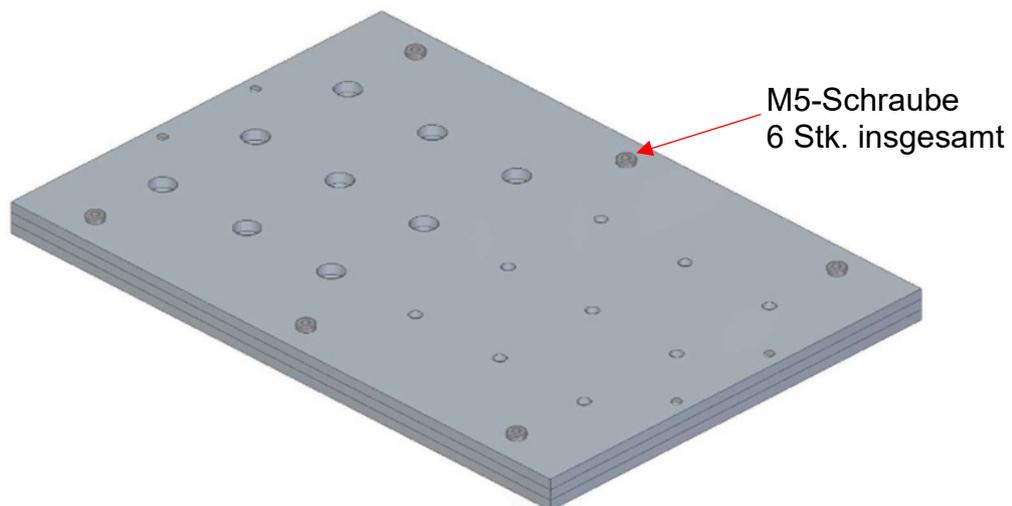


Abbildung 22: Der Referenzblock

Wäre das nicht der Fall, würde es zu Fehlsignalen kommen, die Messergebnisse wären verfälscht und es könnte zu einer Fehlinterpretation der Signale kommen. Die Messpositionen werden mit den Nummer 1-18 versehen. Diese Positionsbenennung dient dazu, dass die Person, welche den Referenzblock bestückt, für die Auswertung weiss, hinter welcher Position sich welcher Schadensmechanismus befindet und die Messresultate der richtigen Position zugeordnet werden können. Des Weiteren gilt die Frontplatte als Sichtschutz, damit der prüfende Inspektor nicht direkt auf die Coins blicken kann und schon im Vorhinein Material, Dicke oder die Schadensmechanismen der Coins erkennen kann.

## 7.2. Die Coins

Die Namensgebung 'Coin' für die Plättchen, welche fast wie Wendeschneidplatten aussehen, kommt daher, dass die Prüfkörper mit den Schadensmechanismen in der ersten Designversion rund gewesen sind und wie Münzen ausgesehen haben. Die Benennung hat dem Projektteam gut gefallen, deswegen wurde es auch nicht geändert, als man sich entschied das runde Design in eine quadratisches abzuändern. Für die Erstproduktion wurde entschieden ein Set aus 18 Coins zusammenzustellen. Dieses Set setzt sich aus 9 Coins mit  $\frac{1}{4}$ "- Bohrungen und 9 Coins mit  $\frac{1}{2}$ "- Bohrungen zusammen. Ein Coin-Paar besteht immer aus einem Coin mit einer grossen Bohrung und einem Coin mit einer kleinen Bohrung. Die Bohrungen des Coin-Paars weisen den selben oder ähnlichen Schadensmechanismus auf. Eine 100%ige Übereinstimmung zu finden, oder zu generieren ist sehr unwahrscheinlich, da sich das Material trotz identischer Legierung und gleicher Belastung nicht immer gleich verhält und verformt.

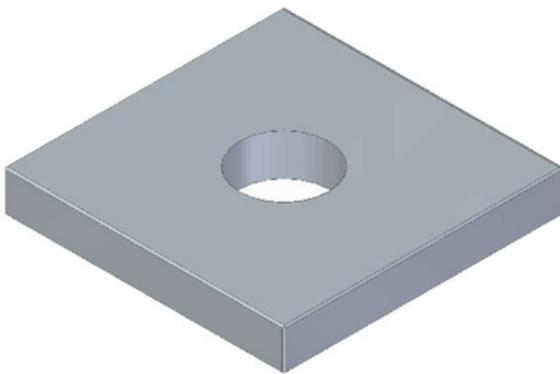


Abbildung 23: Coin mit  $\frac{1}{2}$ " Bohrung

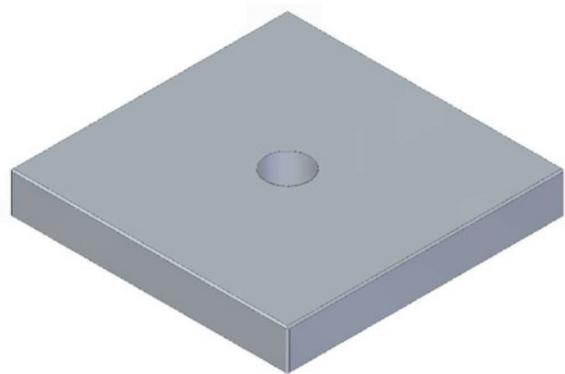


Abbildung 24: Coin mit  $\frac{1}{4}$ " Bohrung

Als Material der Coins ist die Aluminiumlegierung 7057-T6 vorgesehen, da diese sehr häufig in Flugzeugstrukturen verwendet wird. In den Abkürzungen der chemischen Zusammensetzung würde der Werkstoff als AlZnMgCu1.5 geschrieben werden.

Al 7075-T6 ist ein mittel- bis hochfester Werkstoff und weist sehr gute Zerspanbarkeit auf. Neben Zink (Zn) und Magnesium (Mg), welche es möglich machen den Werkstoff mit einer Wärmebehandlung "härter" zu machen, jedoch das Risiko auf Spannungskorrosion erhöhen, wird zusätzlich Kupfer (Cu) der Legierung beigefügt. Kupfer verbessert die Aushärtbarkeit der Legierung, macht diese jedoch anfälliger für Korrosion und wirkt sich negativ auf die Schweissbarkeit aus<sup>9</sup>.

Die Coins und Messpositionen werden nach der Produktion gekennzeichnet. Diese Kennzeichnung dient dazu, dass man bei der Auswertung nachvollziehen kann, welcher Coin auf welcher Messposition gelegen hat. Für jeden einzelnen Coin werden die Daten aufgenommen und in einem Datenblatt zusammengefasst. Damit ersichtlich ist, welcher Schadensmechanismus im jeweiligen Coin aufzufinden ist. Das erleichtert auf der einen Seite die Auswertung der Prüfergebnisse und auf der anderen Seite, muss die mit der Auswertung beauftragte Person nicht jedes Loch selbst noch einmal inspizieren, um ein Vergleichsergebnis zu haben.

Dieses System ist jeder Zeit durch neue Coins erweiterbar und die Coins können individuell an verschiedenen Positionen im Referenzblock eingesetzt werden.

Sie werden in verschiedenen Dicken produziert, damit man noch zusätzliche Materialübergänge simulieren kann. Für den ersten Satz Coins sind die Dicken 6mm und 3mm vorgesehen.

<sup>9</sup> Skript "Werkstoffe der Aviatik"- Nicolas Stankowski

### 7.3. Vorschlag der zu verwendenden Schadensmechanismen

Die Produktionszeiten für beide Varianten beinhalten das Schreiben des notwendigen CNC-Programmes, einrichten u. vorbereiten der CNC-Maschine und die Produktionszeit inklusive 25% Zeitreserve.

Die Materialkosten für die Platten und die Coins (siehe Anhang F und G) sind aus dem Online-Konfigurator der Firma Haba entnommen.

Die Herstellungskosten pro Stunde und auch die Kosten für die Herstellung einer Zugversuchsprobe wurden von Stefan Frei mitgeteilt. Er hat diese aus einer Kostentabelle der RUAG übernommen.

#### 7.3.1. Coin-Satz Variante 1

In der wirtschaftlichen und somit auch kostengünstigeren Variante werden die Coins aus Scrap-Parts<sup>10</sup>, New-Parts und bestehenden Proben aus Fatigue Tests gewonnen.

Tabelle 7: Auswahl Schadensmechanismen Variante 1

#	Lochdurchmesser	Coindicke	Lochzustand	Scrap-Part	New-Part	bestehende Probe
1	1/2" (6.35mm)	6mm	Pitting Corrosion (Lochkorrosion)	x		
2	1/2" (6.35mm)	6mm	Riss von der Unterseite Richtung Mitte Coin	x		
3	1/2" (6.35mm)	6mm	Corner Crack	x		
4	1/2" (6.35mm)	1mm 5mm	Laminated Shim Kratzer an den Lochwänden		x	
5	1/2" (6.35mm)	6mm	oberflächlicher Riss ausserhalb des Loches			x
6	1/2" (6.35mm)	6mm	EDM-Slot + Spuren von falsch geschlagener Niete	x		
7	1/2" (6.35mm)	3mm 3mm	Liquid Shim angereichert mit Späne		x	
8	1/2" (6.35mm)	6mm	Sauber gebohrtes Loch		x	
9	1/2" (6.35mm)	6mm	Falsch gebohrtes Pilotloch		x	
1	1/4" (12.7mm)	6mm	Pitting Corrosion (Lochkorrosion)	x		
2	1/4" (12.7mm)	6mm	Riss von der Unterseite Richtung Mitte Probe	x		
3	1/4" (12.7mm)	6mm	Corner Crack	x		
4	1/4" (12.7mm)	1mm 5mm	Laminated Shim Kratzer an den Lochwänden		x	
5	1/4" (12.7mm)	6mm	oberflächlicher Riss ausserhalb des Loches			x
6	1/4" (12.7mm)	6mm	EDM-Slot + Spuren von falsch geschlagener Niete	x		
7	1/4" (12.7mm)	3mm 3mm	Liquid Shim angereichert mit Späne		x	
8	1/4" (12.7mm)	6mm	Sauber gebohrtes Loch		x	
9	1/4" (12.7mm)	6mm	Falsch gebohrtes Pilotloch		x	

Tabelle 8: Kostenaufstellung Variante 1

Anzahl [Stk]	Posten	Dauer Herstellung [h]	Kosten Herstellung [Chf/h]	Stk-Preis [Chf]	Total [Chf]
3	Material Al 28 für Aluminium-Platte [320x220x6 (lxbxh)]	-	-	32.6	97.80
8	Material Al 7075 für Coins	-	-	7.4	59.20
1	Liquid Shim	-	-	50	20.00
2	Laminated Shim [40x40x1 (lxbxh)]	-	-	30	60.00
2	Herstellung der Platten mit Bohrungen	4.5	200	-	900.00
1	Herstellung der Mittleren Platte	3	200	-	600.00
4	Herstellung Zylinderstifte	1.5	200	-	300.00
9	Herstellung Coin 1/2" (inkl. Einrichten)	1.5	200	-	300.00
9	Herstellung Coin 1/4" (inkl. Einrichten)	1.5	200	-	300.00
				CHF	2637.00,-
				+20% Komplexitätzuschlag	527.40,-
				<b>Total CHF</b>	<b>3164.40,-</b>

<sup>10</sup> Teile eines Flugzeugs welche nicht mehr repariert werden können, deren Life Limit schon erreicht wurden oder jene die zur Weiterverwendung unbrauchbar sind

### 7.3.2. Coin-Satz Variante 2

Bei dieser Variante werden die Coins aus New-Parts, bestehenden Proben aus Fatigue Tests und aus New-Proben gewonnen. Diese Variante ist die kostenintensivere Variante.

Tabelle 9: Auswahl Schadensmechanismen Variante 2

#	Lochdurchmesser	Coindicke	Lochzustand	New-Part	bestehende Probe	New-Probe
1	1/2" (6.35mm)	6mm	Risse axial durchgehend durch Coin		x	
2	1/2" (6.35mm)	6mm	tiefe axiale Kratzer		x	
3	1/2" (6.35mm)	6mm	verschlagene Kante ( 2 Uhr; 7 Uhr)		x	
4	1/2" (6.35mm)	3mm 3mm	eingeschlossener Span zwischen den Coins grat auf der unterseite des unteren Coins	x		
5	1/2" (6.35mm)	6mm	Lochkorrosion mit Loch 2x2mm		x	
6	1/2" (6.35mm)	6mm	EDM-Slot + Spuren von falsch geschlagener Niete		x	
7	1/2" (6.35mm)	3mm 3mm	ausgetretene Dichtmasse	x		
8	1/2" (6.35mm)	6mm	Sauber gebohrtes Loch	x		
9	1/2" (6.35mm)	6mm	EMD-Slot + axiale Risse	x		x
1	1/4" (12.7mm)	6mm	Risse axial durchgehend durch Coin		x	
2	1/4" (12.7mm)	6mm	tiefe axiale Kratzer		x	
3	1/4" (12.7mm)	6mm	verschlagene Kante ( 2 Uhr; 7 Uhr)		x	
4	1/4" (12.7mm)	1mm 5mm	eingeschlossener Span zwischen den Coins grat auf der unterseite des unteren Coins	x		
5	1/4" (12.7mm)	6mm	Lochkorrosion mit Loch 2x2mm		x	
6	1/4" (12.7mm)	6mm	EDM-Slot + Spuren von falsch geschlagener Niete		x	
7	1/4" (12.7mm)	3mm 3mm	ausgetretene Dichtmasse	x		
8	1/4" (12.7mm)	6mm	Sauber gebohrtes Loch	x		
9	1/4" (12.7mm)	6mm	EMD-Slot + axiale Risse	x		x

Tabelle 10: Kostenaufstellung Variante 2

Anzahl [Stk]	Posten	Dauer Herstellung [h]	Kosten Herstellung [Chf/h]	Stk-Preis [Chf]	Total [Chf]
3	Material Al 28 für Aluminium-Platte [320x220x6 [lxbxh]]	-	-	32.6	97.80
8	Material Al 7075 für Coins	-	-	7.4	59.20
2	Herstellung der Platten mit Bohrungen (inkl. Einrichten)	4.5	200	-	900.00
1	Herstellung der Mittleren Platte (Programm + Einrichten)	3	200	-	600.00
4	Herstellung Zylinderstifte	2	200	-	400.00
9	Herstellung Coin 1/2" (inkl. Einrichten)	1	200	-	200.00
9	Herstellung Coin 1/4" (inkl. Einrichten)	1	200	-	200.00
2	New Probe (Axiale Risse)	-	5000	-	10000.00
				CHF	12457.00,-
				+20% Komplexitätzuschlag	2491.40,-
				<b>Total</b>	<b>CHF 14948.40,-</b>

### 7.3.3. Auswahl der Variante für den ersten Coin-Satz

Anhand der vorliegenden Aufstellungen der Schadensmechanismen und Aufstellung der Kosten wurde **Variante 1** vorgeschlagen.

### 7.3.4. Begründung der Auswahl

Bei dieser Variante handelt es sich nicht nur um die kostengünstigere, wirtschaftlich orientierte Version des Referenzblocks, sondern auch um eine ökonomisch orientierte Version. Bereits als Scrap definierte Teile bekommen dadurch eine neue Verwendung und müssen keinem teuren Recycling Prozess zugeführt werden. Die Auswahl der Schadensmechanismen erfolgte durch Interpretation der Auswertung, welche aus den zur Verfügung gestellten Reports generiert wurde. Ein weiterer Einflussfaktor auf diese Auswahl waren die geführten Gespräche mit dem Auftraggeber, in denen sich immer

mehr herauskristallisierte, welche Schadensmechanismen bei Inspektionen relativ oft angetroffen werden.

#### 7.4. Herstellung Real-Crack-Probe

Bevor wir uns mit der Materie Fatigue-Testing befassen, werden noch ein paar wesentliche Punkte erklärt bzw. veranschaulicht. Zusätzlich müssen, bevor der Ermüdungstest auf der Maschine gestartet werden kann (Abb. 30; Seite 45), die notwendigen Parameter errechnet und aus unterschiedlichen Tabellen mit Materialangaben, Werte abgelesen werden.

Die Annahmen und Berechnungen dienen rein zu Versuchszwecken und zur Veranschaulichung der wecheldynamischen Spannungen, welche während eines Fatigue-Tests auf die Prüfprobe wirken. Die Vorgehensweise für eine solche Prüfsimulation wird in den folgenden Punkten erläutert.

##### 7.4.1. Fatigue Life Terminology

Hierbei spricht der Fatigue-Ingenieur von der Fatigue Life Terminology (deutsch => Lebensdauer von Werkstoffen durch Ermüdung). Diese befasst sich mit der Initiierung und dem Wachstum von Rissen durch Materialermüdung. Die zwei zu unterscheidenden Sequenzen sind die Rissinitiierung (CI) und das Risswachstum (CG). Die Rissinitiierung CI (engl. Crack initiation life) beschreibt die Bildung eines Risses von seiner Entstehung bis zu einer Länge von 0.01 Inches (0.25mm). Das Risswachstum CG (engl. Crack growth life) beschreibt das Voranschreiten eines Risses von der Länge 0.01 in bis zum Versagen der Probe und im Realfall das Versagen eines Bauteils. Den ganzen Bereich, von Beginn der Belastung bis zum Versagen durch Bruch, nennt man Total Life.

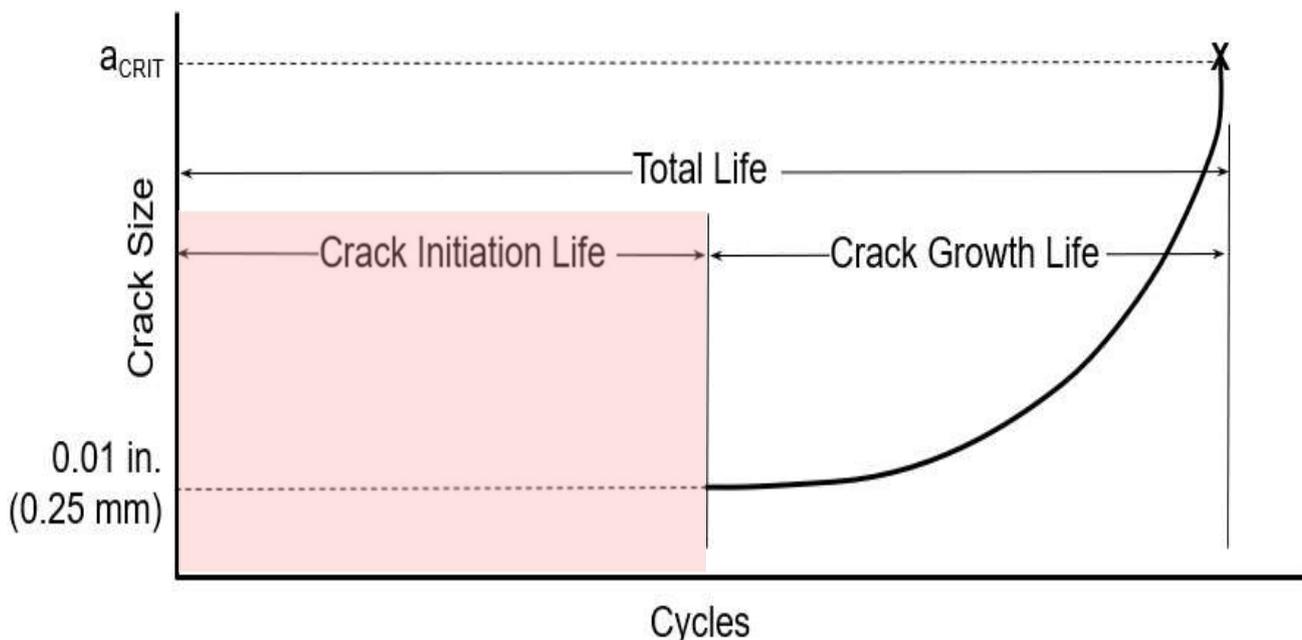


Diagramm 5: Crack Size/ Life Cycle Diagramm

Die unter Punkt 7.4.4 angestellten Berechnungen beziehen sich auf den Bereich CI (farbige Markierung Diagramm 5). Da die Proben später zu Coins weiterverarbeitet werden, wird die Probe nicht bis zum Versagen belastet, da diese dann für die Weiterverarbeitung unbrauchbar wäre.

### 7.4.2. Festlegung der Geometrie

Im ersten Schritt werden die Dimensionen, der Werkstoff und die Geometrie der Zugversuchsprobe definiert.

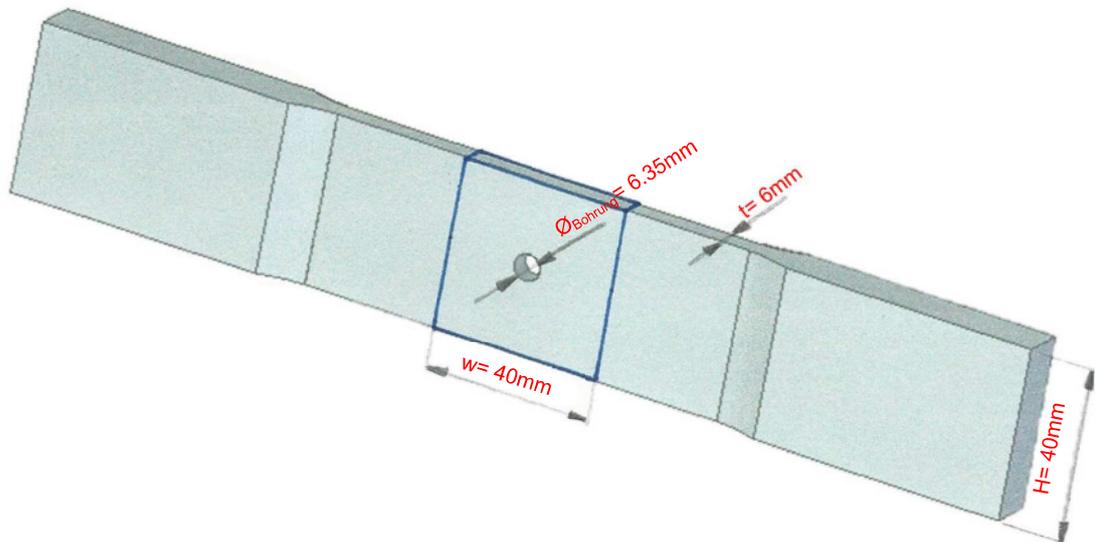


Abbildung 25: Zugversuchsprobe mit Bemassungen

Mit dem in Tab. 11, Zeile 4 errechneten Verhältnis von Bohrungsdurchmesser ( $d_{\text{Bohrung}}$ ) zur Breite ( $H$ ), lässt sich der Wert des Spannungskonzentrationsfaktors  $K_{tg}$  ablesen.

Tabelle 11: Berechnungen für die Fatigue Simulation

	[mm]	Referenz
H	40.00	Abb. 27 Zugversuchsprobe mit Bemassungen
t	6.00	Abb. 27 Zugversuchsprobe mit Bemassungen
$d_{\text{Bohrung}}$	6.35	Abb. 27 Zugversuchsprobe mit Bemassungen
$\frac{d_{\text{Bohrung}}}{H}$	0.16	Auf X-Achse in Chart 4.1 p. 256 [7] Anhang C auftragen um $K_{tg}$ zu erhalten
$K_{tg}$	3.09	$K_{tg} = 0.284 + \frac{2}{1 - \frac{d_{\text{Bohrung}}}{H}} - 0.6 \times \left(1 - \frac{d_{\text{Bohrung}}}{H}\right) + 1.32 \times \left(1 - \frac{d_{\text{Bohrung}}}{H}\right)^2$

	[N]	Referenz
F	30000.00	Annahme

	[N/mm <sup>2</sup> , Mpa]	Referenz
$\sigma$	125.00	$\sigma = \frac{F}{H * t}$
$\sigma_{\text{max}}$	386.35	$\sigma_{\text{max}} = \sigma * K_{tg}$

Dieser Wert kann auch mit der Formel aus Tab. 11; Zeile 5 berechnet werden. Der Wert  $\sigma_{\text{max}}$  kann anschliessend mit dem Ergebnis der Finite Elemente Methode (FEM)-Analyse verglichen werden.

### 7.4.3. Das Rechenprogramm

Das für die Berechnungen der Real-Crack-Probe verwendete Rechenprogramm heisst *Lifeworks v4.9.182 (RUAG)*. Diese Software ist von Boeing speziell für Rissbildungs- und Risswachstumsanalysen entwickelt worden. Mit diesem Programm können Berechnungen zur automatisierten Ermüdung und zur Strukturanalyse eines Strukturelements durchgeführt werden. Das Verfahren, konsolidiert und verwaltet die Ermüdungs- und Strukturanalysewerkzeuge und reagieren auf Benutzeranfragen nach Ermüdung und Strukturanalyse von Elementen. Diese Informationen kann der Benutzer in der jeweiligen dafür vorgesehenen Masken (Interface) eingeben.

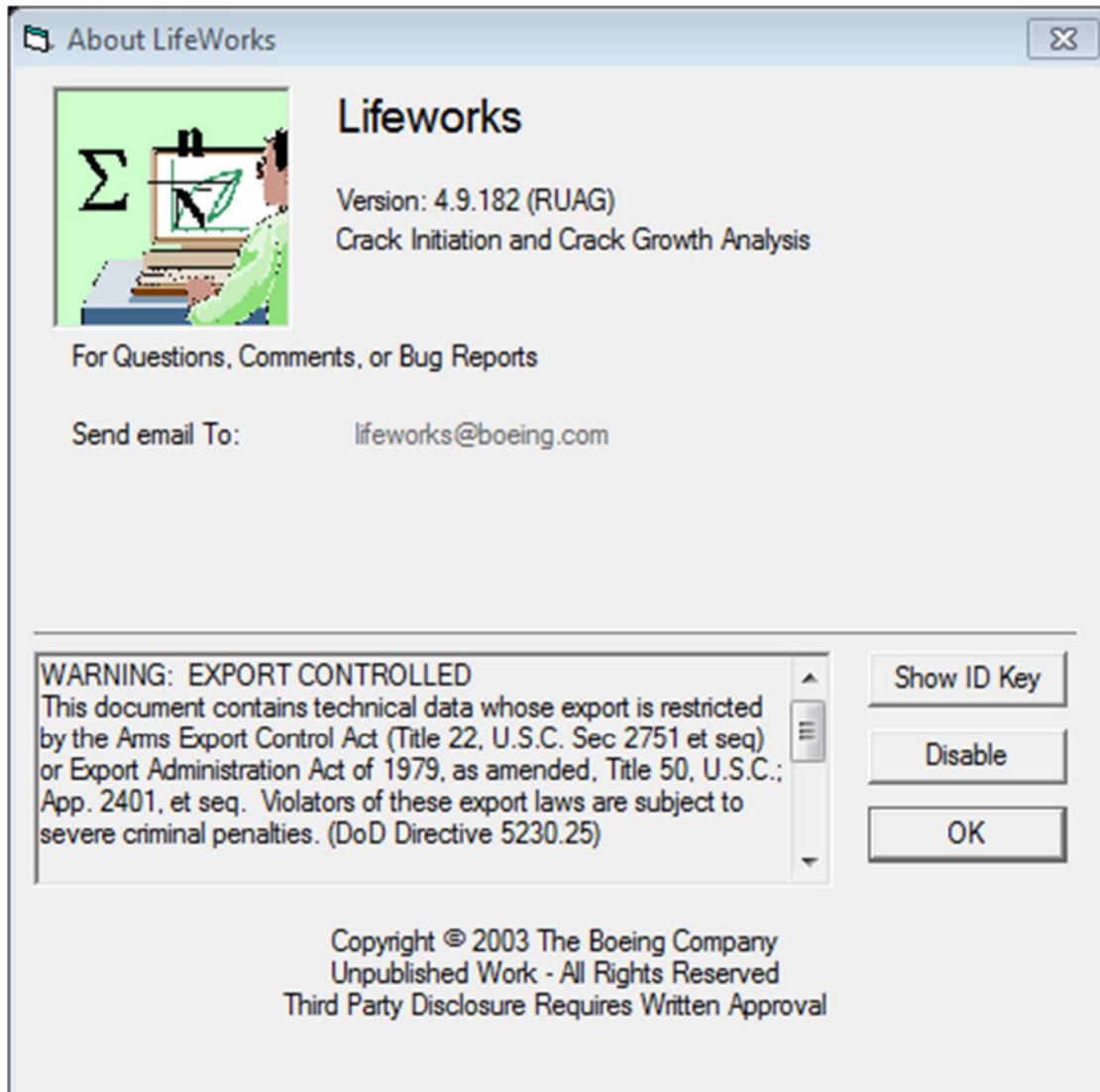


Abbildung 26: Startmaske Lifeworks

Dabei werden die geeigneten Ermüdungs- und Strukturanalysewerkzeuge automatisch ausgewählt und ausgeführt. Um dem Benutzer sofort nützliche Ermüdungs- und Strukturanalyseergebnisse zu liefern, wird der Output der Tools automatisch ausgewertet. Dies geschieht, ohne weitere manuelle Eingaben tätigen zu müssen. Somit können auch Personen ohne spezielle Ausbildung schnell Ermüdungs- und Strukturanalyseergebnisse für ein Strukturelement erhalten.

#### 7.4.4. Berechnung der Spannung an der Bohrung

In der Maske zur Erfassung der Spannung werden nun für die Lifecycles, die Spannungsspitzen an der Bohrung von 50 MPa bis 500 MPa berechnet. Die Spannung wird in 10er-Schritten ins Feld  $K_{ts}$  (roter Pfeil) eingetragen.

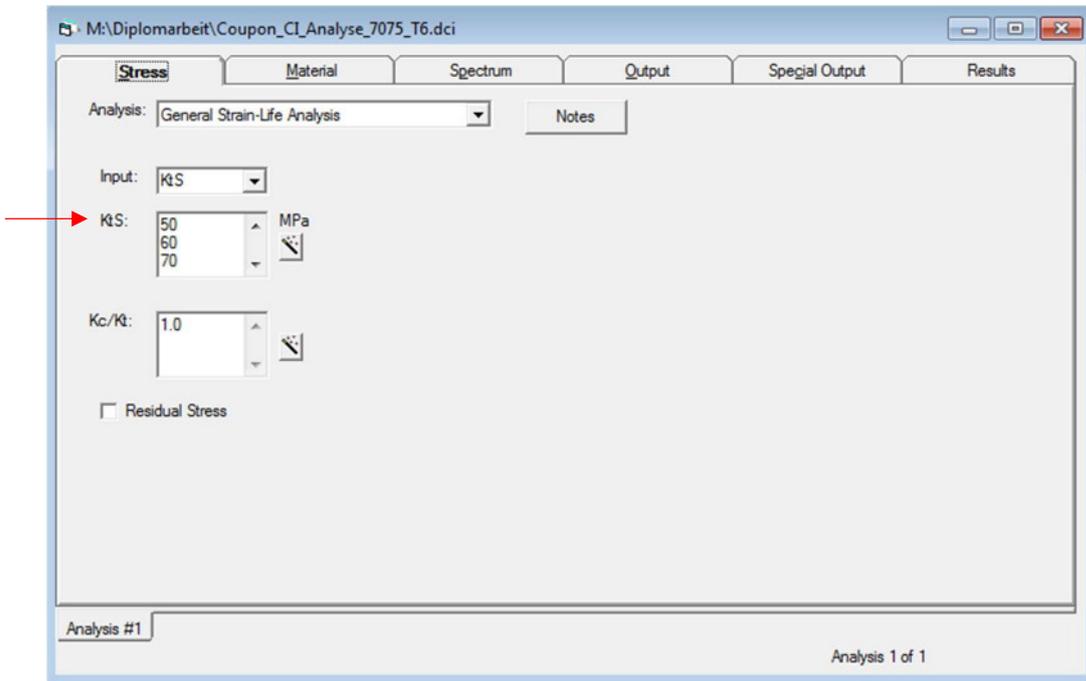


Abbildung 27: Maske Lifeworks - Stress

Über eine vorhandene Datenbank können die notwendigen Werkstoffdaten dem jeweiligen Versuch zugeordnet werden. Der hierfür verwendete Werkstoff ist die Legierung Al 7075-T6 (Datenblatt siehe MMPDS-05 Table 3.7.8.0(b<sub>1</sub>) Anhang D).

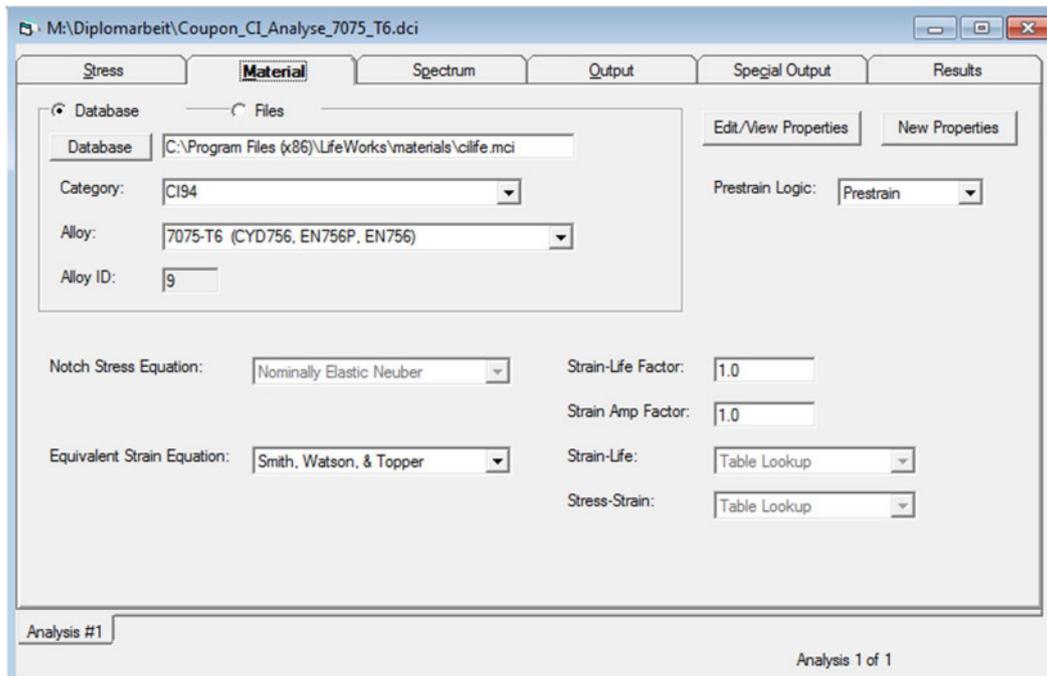


Abbildung 28: Maske Lifeworks - Material

Das ausgewählte Spektrum für die Simulation ist eine Sinusanregung mit  $R=0.1$ . Diese berücksichtigt Mittelspannungen von Spannungsspitze 1 bis Spannungstal 0.1. Für eine Zugversuchsprobe ist das die effizienteste und günstigste Variante einen Riss in der gewünschten Probe zu erzeugen.

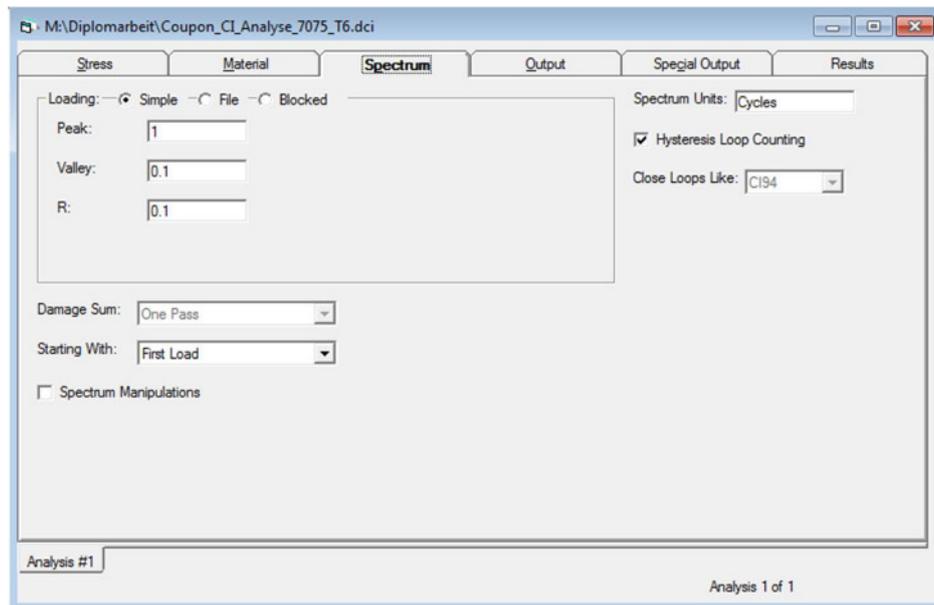


Abbildung 29: Maske Lifeworks - Spectrum

Das Ergebnis der Berechnungen ist eine Kurve (rote Linie Abb. 29), welche den Bezug zwischen der Spannung und den Zyklen bis zur Rissinitiation zeigt. In der Tabelle im Anhang E kann man dann auslesen, unter welcher Spannung wie viele Zyklen absolviert werden können, bis es zu einer Rissinitiation kommt

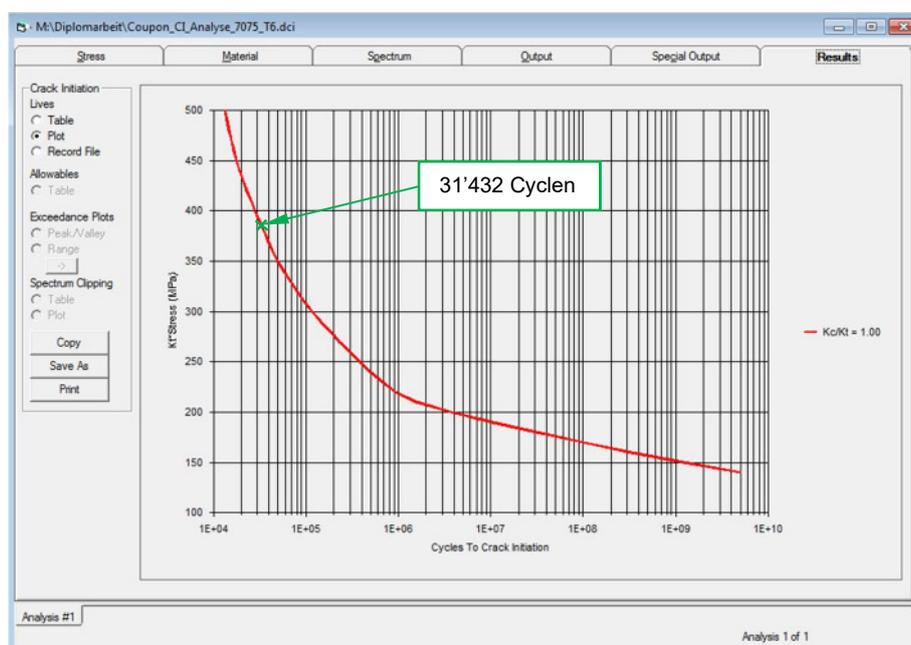


Abbildung 30: Maske Lifeworks - Results

Mit diesen Resultaten kann das Programm für den eigentlichen Fatigue-Test erstellt werden und die Simulation im Labor an der Maschine gestartet werden. Aus Erfahrung würde der NDT-Inspektor bei 21'000 Zyklen die erste Inspektion durchführen und dann in regelmäßigen Schritten (1'000 Zyklen) die Inspektion wiederholen.

### 7.4.5. Der Fatigue-Test

Der Fatigue-Test wurde am Ruag-Standort Emmen auf einer Prüfmaschine des Typs 810 von MTS Systems Corporation durchgeführt. Sie ist eine einachsige servo-hydraulisch gesteuerte Belastungsmaschine, welche einer Belastbarkeit von bis zu 250 kN ermöglicht. Die 810 MTS eignet sich perfekt für Ermüdungs-, Bruch- und Monotontests. Die Probe wird im Probenhalter (3) befestigt. Der Probenhalter ist über die Kraftmessdose (2) mit der verstellbaren Traverse (1) verbunden. Durch die bewegliche untere Spannvorrichtung wird die Wechseldynamische Belastung auf die Probe übertragen.

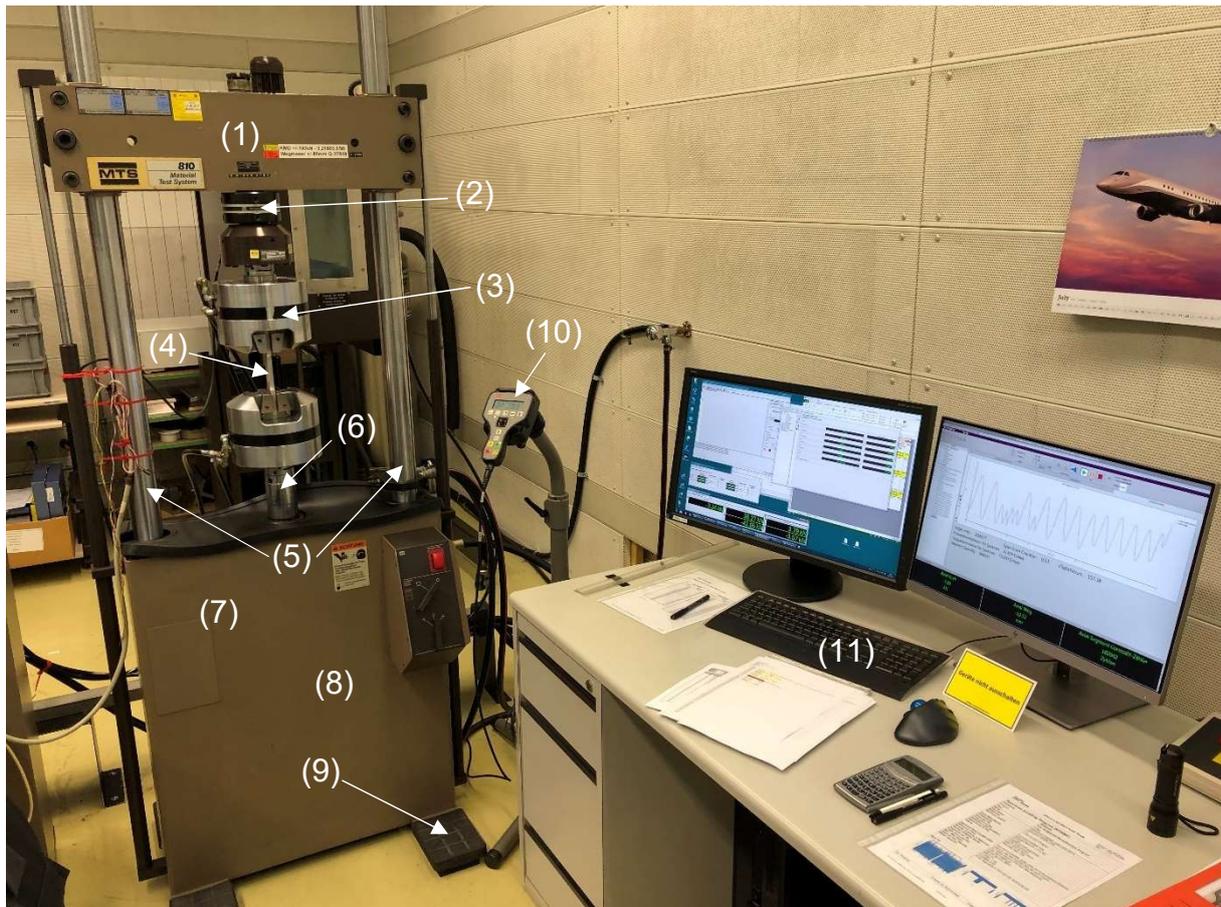


Abbildung 31: Workstation MTS810

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| 1 Verstellbare Traverse | 7 Fahrtraverse (hinten der Verkleidung)      |
| 2 Kraftmessdose         | 8 Hydraulikzylinder (hinten der Verkleidung) |
| 3 Probenhalter          | 9 Sockel                                     |
| 4 Zugprobe              | 10 Bedieneinheit                             |
| 5 Tragsäulen            | 11 Arbeitsplatz                              |
| 6 Kolben                |  |

Der Verlauf der Testphase kann auf den Bildschirmen der Workstation (11) mitverfolgt werden. Hier ist während der Simulation ersichtlich in welchem Segment sich die Simulation befindet, welche Kräfte gerade wirken und/ oder welcher Weg vom Hydraulikzylinder gerade zurückgelegt wird.

Um den Belastungsverlauf des Ermüdungsversuchs bildlich zu veranschaulichen, ist auf der nächsten Abbildung aufgezeigt was unterdessen auf den Bildschirmen der Workstation zu sehen ist.

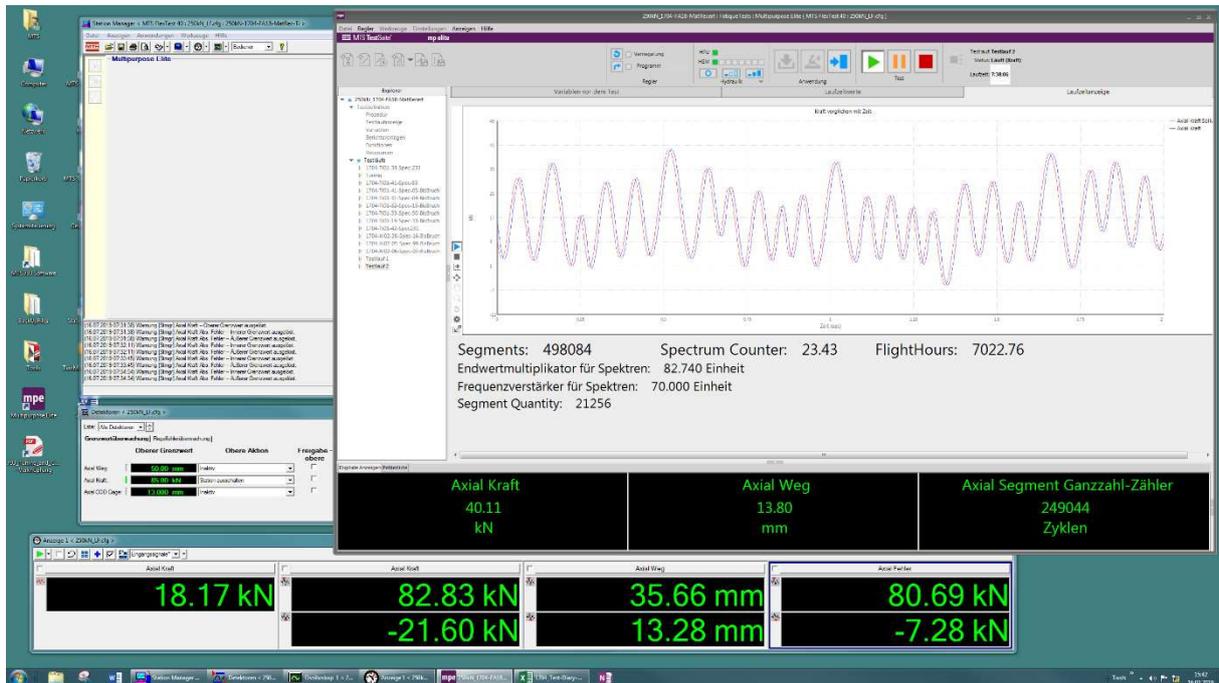


Abbildung 32: Beispielbild während einer Simulation (MTS StationManager)

Die Bildschirmaufnahme ist von einem anderen Ermüdungsversuch, das Spektrum jedoch, ist ident. Aus diesem Grund decken sich die zu sehenden Daten nicht. Die rote Sinuskurve ist der axiale Soll-Wert und die blaue Sinuskurve ist der aktuell aktive Ist-Wert.

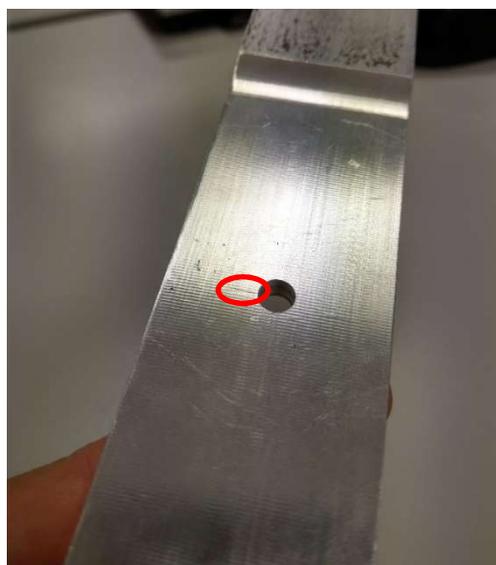


Abbildung 33: Zugversuchprobe nach dem Ermüdungstest

Das Ergebnis des Fatigue-Tests ist auf den ersten Blick vielleicht nicht sofort zu erkennen, nur ein geschultes Auge erkennt, dass es sich, bei dem im roten Kreis befindenden oberflächlichen "Kratzer", tatsächlich um einen Riss handelt. Um diesen Riss auf einem Foto einzufangen musste die Probe ein paar Mal hin und her geneigt werden, bis man ihn komplett sehen konnte.

#### 7.4.6. Grafische Darstellung Fatigue Test

Mit der Finite-Elemente-Methode kann man wirkende Kräfte an einem Bauteil simulieren und den Spannungsverlauf grafisch darstellen. Mit verschiedenen Farben wird dann die Spannungsintensität angezeigt. Die folgende Grafik zeigt eine zu analysierende Zugprobe aus dem Material Al7075-T6. Die Probe wird am Punkt (1) 'Fest' verankert und am Punkt (2) mit einer Zugkraft  $F = 30\text{kN}$  belastet.

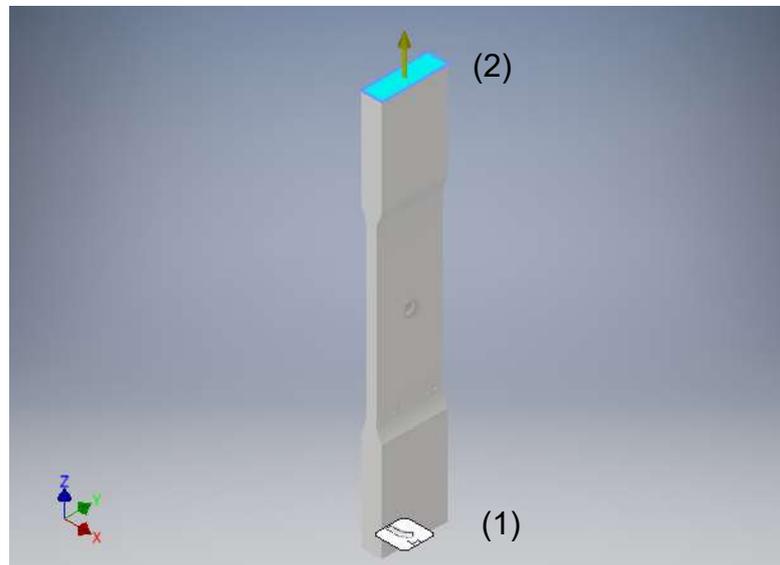


Abbildung 34: Zugversuchsprobe unbelastet

Die Zugversuchsprobe wurde vom Simulationsprogramm um  $180^\circ$  um die Y-Achse und um  $90^\circ$  um die Z-Achse gedreht, daher stimmt die Grafik nicht mit dem Foto auf Abb. XY des Fatigue-Tests überein.

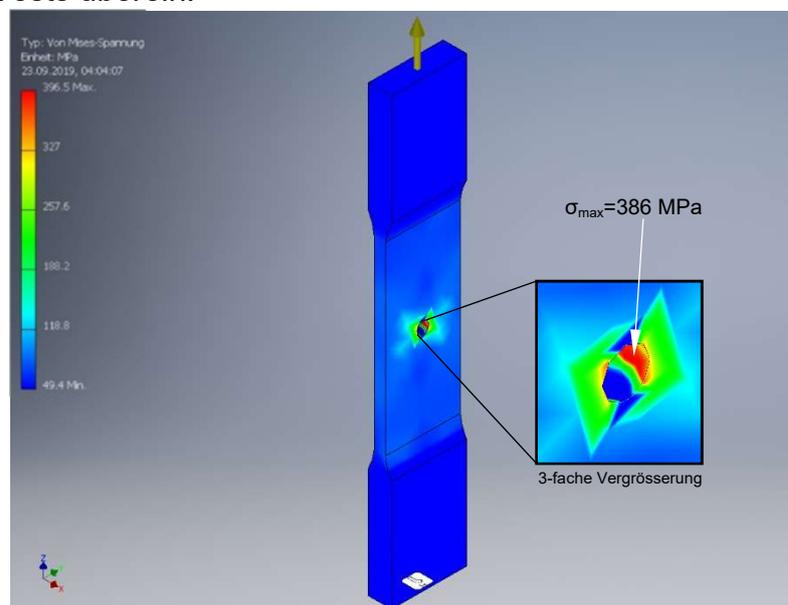


Abbildung 35: Zugversuchsprobe unbelastet

Aus der Belastungsanalyse ist ersichtlich, dass die Spannung am Höchsten im Inneren der Bohrung ist. Der Bereich in dem  $\sigma_{\max}$  wirkt, ist rot gefärbt. Mit diesem Wert kann jetzt in der Tabelle der CI-Berechnungen (Anhang E) die Anzahl der Life Cycles abgelesen werden. Daraus ist ersichtlich, dass unter einer Belastung von  $30\text{kN}$  innerhalb von  $31'432$  Zyklen ein Riss entstehen kann, dieser jedoch nicht grösser als  $0.01 \text{ Inch}$  sein darf.

## 7.5. Vorlagendesign Prüfprotokoll und Gesamtauswertung

Um das Ergebnis aller am Referenzblock durchgeführten Inspektionen digitalisieren zu können, wurden auf Wunsch des Auftraggebers mit MS Excel eine Auswertepattform generiert. Diese Auswertungsplattform umfasst 10 Prüfprotokoll-Sheets und 18 Gesamtauswerte-Sheets. Zur Inspektion werden den Prüfern die Prüfprotokolle in Hard-Copy ausgehändigt. Auf dem Prüfprotokoll kann der Prüfer für alle 18 Bohrungen des Referenzblocks seine gemessenen Daten eintragen. Neben Amplitude, Phasenverschiebung, Uhr-Position und zwei Z-Positionen, kann der Prüfer seine eigene Beurteilung eintragen. Nach der Inspektion gibt der Prüfer das ausgefüllte Protokoll ab und die Daten werden vom Prüfungsverantwortlichen digitalisiert. Die Prüfer selbst bleiben bei dieser Auswertung anonym.

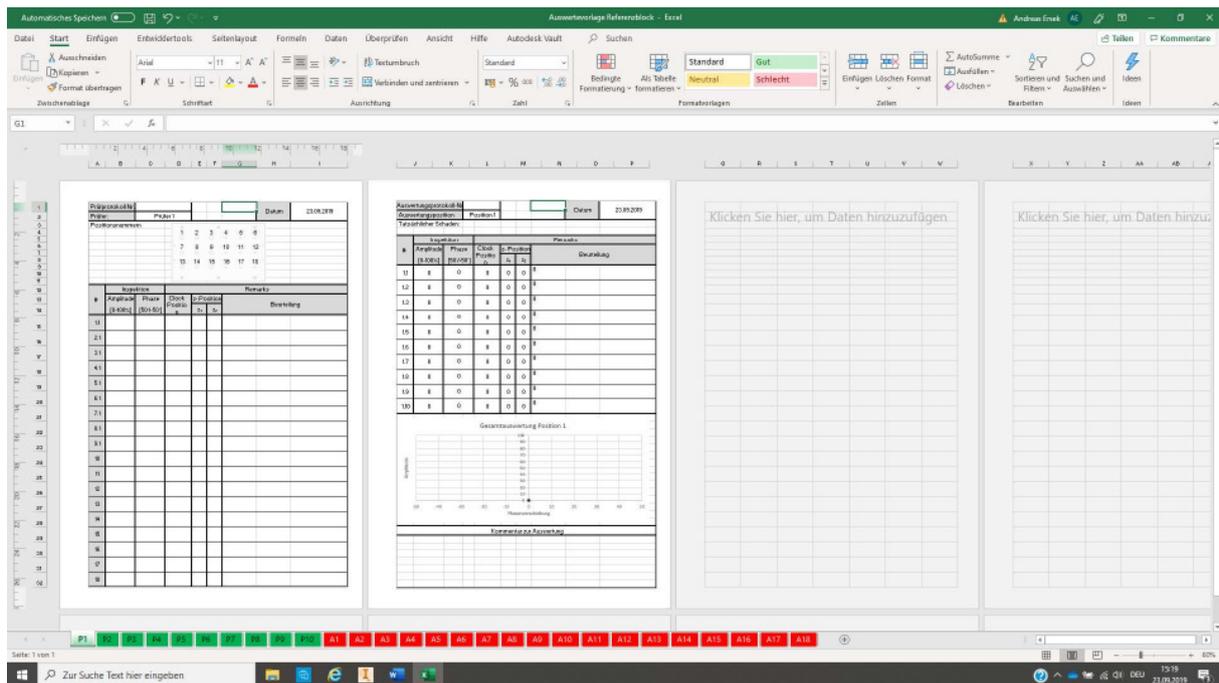


Abbildung 35: Screenshot MS Excel beider Auswertevorlagen

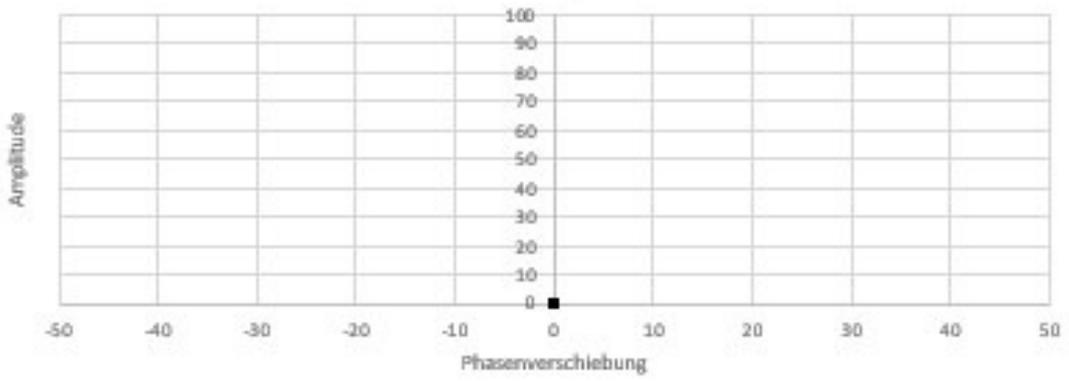
Da die Felder der Prüfprotokolle mit den Feldern der Gesamtauswertung verlinkt sind, werden beim Digitalisieren der Prüfprotokolle die Daten automatisch der zugehörigen Gesamtauswertung zugeordnet. Insgesamt sind in dieser Excel-Datei 2160 Felder interaktiv miteinander verlinkt. Um die Messergebnisse zusätzlich grafisch wiederzugeben, befindet sich auf jeder Gesamtauswertung ein Diagramm, welches einen Punkt aus der Phasenverschiebung (x-Achse) und die Amplitude (Y-Achse) erzeugt.

Die von der RUAG an diese Arbeit angeknüpfte Sensibilitätsstudie wird helfen Interpretationsergebnisse besser zu interpretieren und zu klassifizieren.

### 7.5.1. Vorlage Prüfprotokoll

Prüfprotokoll Nr.				Datum																					
Prüfer:																									
Positionsnummern		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> </table>						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	2	3	4	5	6																				
7	8	9	10	11	12																				
13	14	15	16	17	18																				
#	Inspektion		Remarks																						
	Amplitude [0-100%]	Phase [50°-50°]	Clock Positio n	z- Position		Beurteilung																			
				z <sub>1</sub>	z <sub>2</sub>																				
1.1																									
2.1																									
3.1																									
4.1																									
5.1																									
6.1																									
7.1																									
8.1																									
9.1																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									

### 7.5.2. Vorlage Gesamtauswertung

Auswertungsprotokoll-Nr.			Datum			
Auswertungsposition	Position 1					
Tatsächlicher Schaden:						
#	Inspektion		Remarks			
	Amplitude [0-100%]	Phase [50°-50°]	Clock Positio n	z- Position		Beurteilung
				z <sub>1</sub>	z <sub>2</sub>	
1.1	0	0	0	0	0	0
1.2	0	0	0	0	0	0
1.3	0	0	0	0	0	0
1.4	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0
1.6	0	0	0	0	0	0
1.7	0	0	0	0	0	0
1.8	0	0	0	0	0	0
1.9	0	0	0	0	0	0
1.10	0	0	0	0	0	0
Gesamtauswertung Position 1						
						
Kommentar zur Auswertung						

## 8. Protokolle

### 8.1. Sitzungsprotokolle

## Sitzungsprotokoll Nr.1:

Betreff:	Kick-off Meeting		
Datum:	04.06.19		
Ort:	Ruag Schweiz AG; Seetalstrasse 175, 6032 Emmen		
Beginn:	15:00 Uhr		
Ende:	16:35 Uhr		
Teilnehmer:	Andreas Ersek (AE), Stefan Frei (SF)		
Traktanden:	1. Terminplanung 2. Beantwortung vorbereiteter Fragen 3. Zu erledigende Aufgaben für MS1 4. Nächste Sitzung		
Folgetermin:	24.06.19 19:30 Uhr		
Verfasser:	AE	Datum Protokoll:	05.06.19

#### 1. Terminplanung

Vereinbarung der Folgetermine und provisorischer Reservation für noch nicht bestätigte Termine. Termine werden bestätigt sobald Diplomdozent feststeht.

#### 2. Beantwortung vorbereiteter Fragen

Fragenkatalog von AE durchgegangen und beantwortet

#### 3. Zu erledigende Aufgaben für MS1

Nr.	Inhalt	A= Auftrags   E= erledigt   O= offen	Erledigt bis	zuständig
1	Abklärung der Termine mit Nikolas Stankowski (NS)	A	19.06.19	AE
2	Erstellung Terminplan (inkl. MS1 u. MS2)	A	24.06.19	AE
3	Erstellung Projektauftrag	A	24.06.19	AE
3	Einscannen weiterer NDT-Berichte	A	24.06.19	SF
4	Gewichtung Schadensmechanismen und Bewertung der Antreffenswahrscheinlichkeit	A	16.07.19	AE
5	Ausarbeitung Variante 1	A	16.07.19	AE
6	Ausarbeitung Variante 2	A	16.07.19	AE

#### 4. Nächste Sitzung

Die nächste Sitzung findet (sobald NS bestätigt) am **24.06.2019 um 19:30 Uhr** bei der **TEKO Luzern; Pilatusstrasse 38; 6003 Luzern** statt

Das Protokoll wurde am 05.06.2019 erstellt

Der Kunde



Stefan Frei

Für das Protokoll



Andreas Ersek

## Sitzungsprotokoll Nr.1.(überarbeitet):

Betreff:	Kick-off Meeting		
Datum:	04.06.19		
Ort:	<b>Ruag Schweiz AG; Seetalstrasse 175, 6032 Emmen</b>		
Beginn:	15:00 Uhr		
Ende:	16:35 Uhr		
Teilnehmer:	Andreas Ersek (AE), Stefan Frei (SF)		
Traktanden:	1. Terminplanung 2. Beantwortung vorbereiteter Fragen 3. Zu erledigende Aufgaben für MS1 4. Nächste Sitzung		
Folgetermin:	10.07.2019 14:00 Uhr		
Verfasser:	AE	Datum Protokoll:	05.06.19

### 1. Terminplanung

Vereinbarung der Folgetermine und provisorischer Reservation für noch nicht bestätigte Termine. Termine werden bestätigt sobald Diplomdozent feststeht.

### 2. Beantwortung vorbereiteter Fragen

Fragenkatalog von AE durchgegangen und beantwortet

### 3. Zu erledigende Aufgaben für MS1

Nr.	Inhalt		Erledigt bis	zuständig
1	Erstellung Timetable (inkl. MS1 u. MS2)	E	24.06.19	AE
2	Erstellung Projektauftrag	E	24.06.19	AE
3	Einscannen weiterer NDT-Berichte	E	24.06.19	SF
4	Gewichtung Schadensmechanismen und Bewertung der Antreffenswahrscheinlichkeit	O	16.07.19	AE
5	Ausarbeitung Variante 1	O	16.07.19	AE
6	Ausarbeitung Variante 2	O	16.07.19	AE

A= Aufgabe | E= erledigt | O= offen

### 4. Nächste Sitzung

Die nächste Sitzung findet am **10.07.2019 um 14:00 Uhr** bei **RUAG MRO Schweiz; Seetalstrasse 175; 6032 Emmen** statt.

Das Protokoll wurde am 01.07.2019 aktualisiert.

Der Kunde



Stefan Frei

Für das Protokoll



Andreas Ersek

## Sitzungsprotokoll Nr.2:

Betreff:	Sitzung mit Christoph Kunz für Festigkeitsberechnungen		
Datum:	10.07.2019		
Ort:	<b>Ruag Schweiz AG</b> ; Seetalstrasse 175, 6032 Emmen		
Beginn:	14:00 Uhr		
Ende:	16:15 Uhr		
Teilnehmer:	Andreas Ersek (AE), Christoph Kunz (CK), Stefan Frei (SF)		
Traktanden:	1. Genehmigung des letzten Protokolls 2. Besprechung Details Berechnung Real Crack 3. Letzte Abklärungen für MS1 4. Nächste Sitzung		
Folgetermin:	16.07.2019 15:00 Uhr		
Verfasser:	AE	Datum Protokoll:	13.07.2019

### 1. Genehmigung des letzten Protokolls

Änderungen des Protokolls zur Kenntnis genommen  
 Protokoll ohne Gegenstimmen angenommen

### 2. Besprechung Details Berechnung Real-Crack

CK erklärt anhand einer PPT-Präsentation die Grundlagen dieser Berechnungen. Es werden Abgrenzungen gemacht wie weit die Berechnungen vertieft werden. Ruag Schweiz AG stellt dafür sämtliche Datenblätter zur Verfügung. Alle notwendigen Parameter und Geometrien für eine Simulation wurden festgelegt.

CK verlässt die Sitzung um 15:10 Uhr

### 3. Letzte Abklärungen zu MS1

Nr.	Inhalt	A= Aufgabe   E= erledigt   O= offen		
			Erledigt bis	zuständig
1	Gewichtung Schadensmechanismen und Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit	E	16.07.19	AE
2	Ausarbeitung Variante 1	E	16.07.19	AE
3	Ausarbeitung Variante 2	O	16.07.19	AE
4	Kostenaufstellung beider Varianten	A	16.07.19	AE
5	Festlegung auf eine Variante + Begründung	A	16.07.19	AE

### 4. Nächste Sitzung

Die nächste Sitzung findet am **16.07.2019 um 15:00 Uhr**  
 bei **RUAG MRO Schweiz; Seetalstrasse 175; 6032 Emmen** statt.

Der Kunde



Stefan Frei

Für das Protokoll



Andreas Ersek

## Sitzungsprotokoll Nr.3:

Betreff:	Milestone 1		
Datum:	16.07.2019		
Ort:	<b>Ruag Schweiz AG</b> ; Seetalstrasse 175, 6032 Emmen		
Ende:	15:00 Uhr		
Uhrzeit:	17:25 Uhr		
Teilnehmer:	Andreas Ersek (AE), Stefan Frei (SF);		
Traktanden:	1. Genehmigung des letzten Protokolls 2. Abschluss Planungsphase durch MS1 3. Aufgaben für MS2 4. Nächste Sitzung		
Folgetermin:	20.08.2019 14:00 Uhr		
Verfasser:	AE	Datum Protokoll:	17.07.2019

1. Genehmigung des letzten Protokolls  
Protokoll ohne Gegenstimmen angenommen

2. Abschluss der Planungsphase mit MS1

Nr. Inhalt		A= Aufgabe   E= erledigt   O= offen		
		Erledigt bis	zuständig	
1	Gewichtung Schadensmechanismen und Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit	E	16.07.19	AE
2	Ausarbeitung Variante 1	E	16.07.19	AE
3	Ausarbeitung Variante 2	E	16.07.19	AE
4	Kostenaufstellung beider Varianten	E	16.07.19	AE
5	Festlegung auf eine Variante + Begründung	E	16.07.19	AE

3. Aufgaben zu MS2

Nr. Inhalt		A= Aufgabe   E= erledigt   O= offen		
		Erledigt bis	zuständig	
1	Erstellen Protokollvorlage	A	04.10.19	AE
2	Erstellen Auswertevorlage	A	04.10.19	AE

4. Nächste Sitzung

Die nächste Sitzung findet am **20.08.2019 um 14:00 Uhr**  
bei **TEKO Zürich; Europa-Strasse 18; 8152 Glattbrugg** statt.

Der Kunde



Stefan Frei

Für das Protokoll



Andreas Ersek

## Sitzungsprotokoll Nr.4:

Betreff:	Update Sitzung		
Datum:	20.08.2019		
Ort:	TEKO Zürich; Europa-Strasse 18; 8152 Glattbrugg		
Beginn:	14:00 Uhr		
Ende:	15:50 Uhr		
Teilnehmer:	Andreas Ersek (AE), Stefan Frei (SF); Klaus Christiansen (KC)		
Traktanden:	1. Genehmigung des letzten Protokolls 2. Lageupdate für KC 3. Präsentation der Auswertevorlagen für MS2 4. Aufgaben für MS2 5. Nächste Sitzung		
Folgetermin:	04.09.2019 14:00 Uhr		
Verfasser:	AE	Datum Protokoll:	21.08.2019

1. Genehmigung des letzten Protokolls  
 Protokoll ohne Gegenstimmen angenommen

2. Lageupdate für KC  
 AE erklärt KC wie der bisherige Verlauf der Diplomarbeit gewesen ist, wie er anhand der Berichte die Auswahl der Schadensmechanismen durchgeführt hat und, dass MS1 erfolgreich abgeschlossen wurde.  
 Weiters wird erklärt was der Sinn des Referenzblocks ist und wie SF gedenkt diesen als Fort- u. Weiterbildungsgegenstand einzusetzen.

3. Präsentation der Auswertevorlagen für MS2  
 AE präsentiert die Erstentwürfe (Protokoll- und Auswertevorlage) und bespricht etwaige Änderungen

4. Aufgaben zu MS2

Nr.	Inhalt		Erledigt bis	zuständig
1	Erstellen Protokollvorlage	O	04.09.19	AE
2	Erstellen Auswertevorlage	O	04.09.19	AE
3	Änderungen Protokollvorlage machen	A	04.09.19	AE
4	Änderungen Auswertevorlage machen	A	04.09.19	AE

*A= Aufgabe | E= erledigt | O= offen*

5. Nächste Sitzung  
 Die nächste Sitzung findet am **04.09.19 um 15:00 Uhr**  
 bei **RUAG MRO Schweiz; Seetalstrasse 175; 6032 Emmen** statt.

Der Kunde



Stefan Frei

Für das Protokoll



Andreas Ersek

Sitzung 1 mit Begleitdozent



Klaus Christiansen

## Sitzungsprotokoll Nr.5:

Betreff:	Milestone 2		
Datum:	04.09.2019		
Ort:	<b>Ruag Schweiz AG</b> ; Seetalstrasse 175, 6032 Emmen		
Beginn:	14:00 Uhr		
Ende:	16:30 Uhr		
Teilnehmer:	Andreas Ersek (AE), Stefan Frei (SF);		
Traktanden:	1. Genehmigung des letzten Protokolls 2. Abschluss von MS2 3. Gedankenaustausch bezüglich Dokumentation 4. Abschlusssitzung		
Folgetermin:	01.10.2019 14:00 Uhr		
Verfasser:	AE	Datum Protokoll:	07.09.2019

1. Genehmigung des letzten Protokolls  
Protokoll ohne Gegenstimmen angenommen

2. Abschluss MS2

Nr.	Inhalt	A= Aufgabe   E= erledigt   O= offen		
		Erledigt bis	zuständig	
1	Erstellen Protokollvorlage	E	04.09.19	AE
2	Erstellen Auswertevorlage	E	04.09.19	AE

3. Gedankenaustausch bezüglich Dokumentation Diplomarbeit  
AE präsentiert den ersten Teil der Dokumentation, beschafft sich ausstehende Informationen, macht Fotos von Wirbelstrom-Equipment für die Doku und führt eine Wirbelstromdetektion an einem Flugzeugstrukturteil durch.

4. Abschlusssitzung  
Die Projektabschlusssitzung findet am **01.10.2019 um 14:00 Uhr** bei **TEKO Zürich; Europa-Strasse 18; 8152 Glattbrugg** statt.

Der Kunde



Stefan Frei

Für das Protokoll



Andreas Ersek

## Sitzungsprotokoll Nr.6:

Betreff:	Abschlussitzung Diplomprojekt		
Datum:	01.10.2019		
Ort:	TEKO Zürich; Europa-Strasse 18; 8152 Glattbrugg		
Beginn:	14:00 Uhr		
Ende:	15:30 Uhr		
Teilnehmer:	Andreas Ersek (AE), Stefan Frei (SF); Klaus Christiansen (KC)		
Traktanden:	1. Genehmigung des letzten Protokolls 2. Abschluss Diplomprojekt 3. Lageupdate Dokumentation Diplomarbeit für KC 4. Rechtliches 5. Folgetermin		
Folgetermin:	13.11.2019; 13:30		
Verfasser:	AE	Datum Protokoll:	15.10.2019

1. Genehmigung des letzten Protokolls  
Protokoll ohne Gegenstimmen angenommen
2. Abschluss Diplomprojekt  
AE resümiert den kompletten Verlauf des Diplomprojekts, erläutert seinen Standpunkt, bittet SF um eine Reflektion von seiner Seite und erklärt das Projekt für abgeschlossen.
3. Lageupdate für KC  
AE kommuniziert den Stand der Dokumentation an KC und teilt sein weiteres Vorgehen mit.
4. Rechtliches  
Beide Parteien verzichten einen rechtlichen Anspruch auf die Diplomarbeit und auf das Ergebnis dieser zu erheben. Beide Parteien verzichten auf rechtliche Schritte, sollte das Ergebnis von einer der beiden Parteien dupliziert werden.
5. Folgetermin  
Die Präsentation der Diplomarbeit findet am **13.11.2019 um 14:00 Uhr** im

Zimmer 08, TEKO Zürich  
Europa-Strasse 18  
8152 Glattbrugg

statt.

Der Kunde



Stefan Frei

Für das Protokoll



Andreas Ersek

Sitzung 2 mit Begleitdozent



Klaus Christiansen

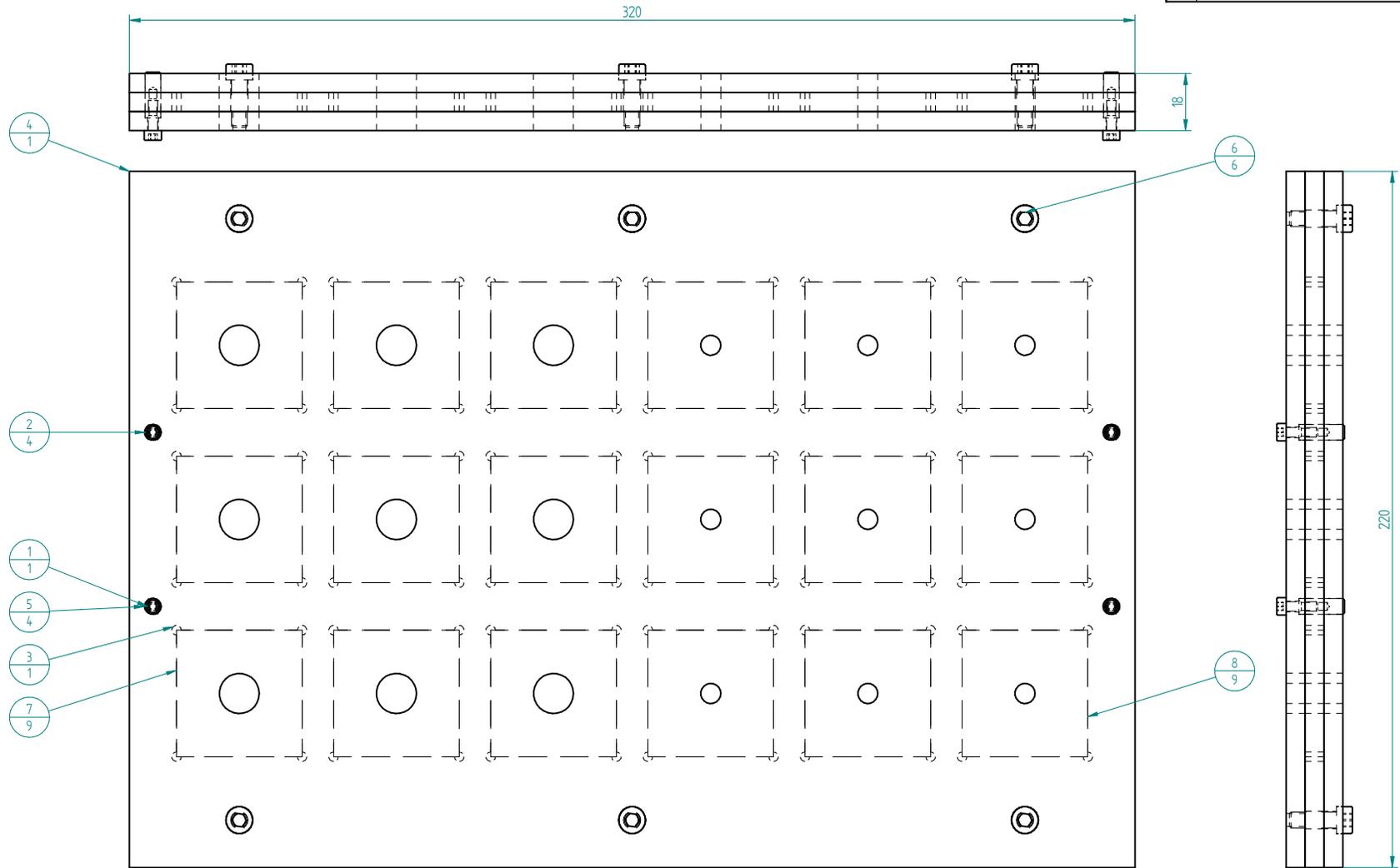
## 9. Zeichnungen

Die Zeichnungen sind ursprünglich für Druck auf A2-Format vorgesehen, daher stimmt der Masstab auf den auf A4-Format gedruckten Plänen, für die Dokumentation der Diplomarbeit nicht überein.

### 9.1. Zeichnungsverzeichnis

DA-FZ-01 Referenzblock.....	59
DA-FZ-02 Frontplatte mit Bohrungen.....	60
DA-FZ-03 Mittlere Platte mit Ausschnitten.....	61
DA-FZ-04 Bodenplatte mit Bohrungen.....	62
DA-FZ-05 Zentrierstift.....	63
DA-FZ-06 Coin mit 1/2"-Bohrung.....	64
DA-FZ-07 Coin mit 1/2"-Bohrung 3mm Dicke.....	65
DA-FZ-08 Coin mit 1/4"-Bohrung.....	66
DA-FZ-09 Coin mit 1/4"-Bohrung 3mm Dicke.....	67
DA-3D-01 Referenzblock.....	68
DA-3D-02 Frontplatte mit Bohrungen.....	69
DA-3D-03 Mittlere Platte mit Ausschnitten.....	70
DA-3D-04 Bodenplatte mit Bohrungen.....	71

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Referenzblock	16/07/19	Ja



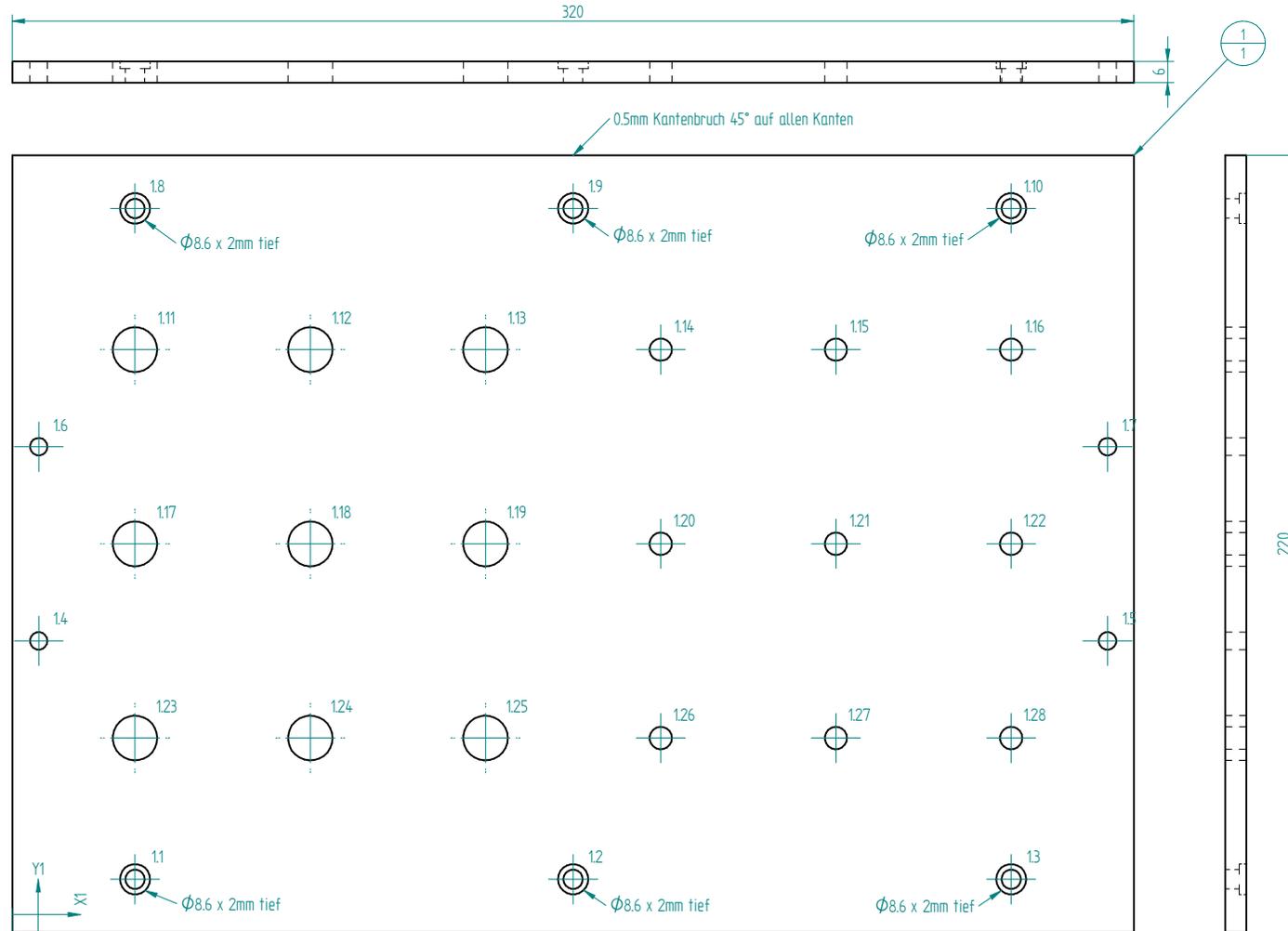
Pos.	Anzahl	Titel	Autor
1	1	Bodenplatte m. Bohrungen	AE
2	4	Zentrierstift	AE
3	1	Mittlere Platte m. Aussch.	AE
4	1	Frontplatte m. Bohrungen	AE
5	4	M3- Schraube DIN EN ISO 4762	
6	6	M5- Schraube DIN EN ISO 4762	
7	9	Coin mit 1/2" Bohrung	AE
8	9	Coin mit 1/4" Bohrung	AE

Name	Datum			
gezeichnet AE	07/07/19	<b>AE</b>		
geprüft SF	16/07/19			
freigegeben SF	16/07/19			
		Titel Referenzblock		
Alle Masse in Millimeter (mm) Winkel in Grad (°)		Format A2	Zeichnungs-Nr DA-FZ-01	Rev. 00
		Dateiname: 1 Referenzblock.dft		
		Massstab 1:1	Blatt 1 von 13	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Bohrung	X	Y	Größe
11	35 mm	15 mm	5.5 mm
12	160 mm	15 mm	5.5 mm
13	285 mm	15 mm	5.5 mm
14	7.5 mm	82.5 mm	5 mm
15	312.5 mm	82.5 mm	5 mm
16	7.5 mm	137.5 mm	5 mm
17	312.5 mm	137.5 mm	5 mm
18	35 mm	205 mm	5.5 mm
19	160 mm	205 mm	5.5 mm
110	285 mm	205 mm	5.5 mm
111	35 mm	165 mm	12.7 mm
112	85 mm	165 mm	12.7 mm
113	135 mm	165 mm	12.7 mm
114	185 mm	165 mm	6.35 mm
115	235 mm	165 mm	6.35 mm
116	285 mm	165 mm	6.35 mm
117	35 mm	110 mm	12.7 mm
118	85 mm	110 mm	12.7 mm
119	135 mm	110 mm	12.7 mm
120	185 mm	110 mm	6.35 mm
121	235 mm	110 mm	6.35 mm
122	285 mm	110 mm	6.35 mm
123	35 mm	55 mm	12.7 mm
124	85 mm	55 mm	12.7 mm
125	135 mm	55 mm	12.7 mm
126	185 mm	55 mm	6.35 mm
127	235 mm	55 mm	6.35 mm
128	285 mm	55 mm	6.35 mm

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Frontplatte mit Bohrungen	16/07/19	Ja



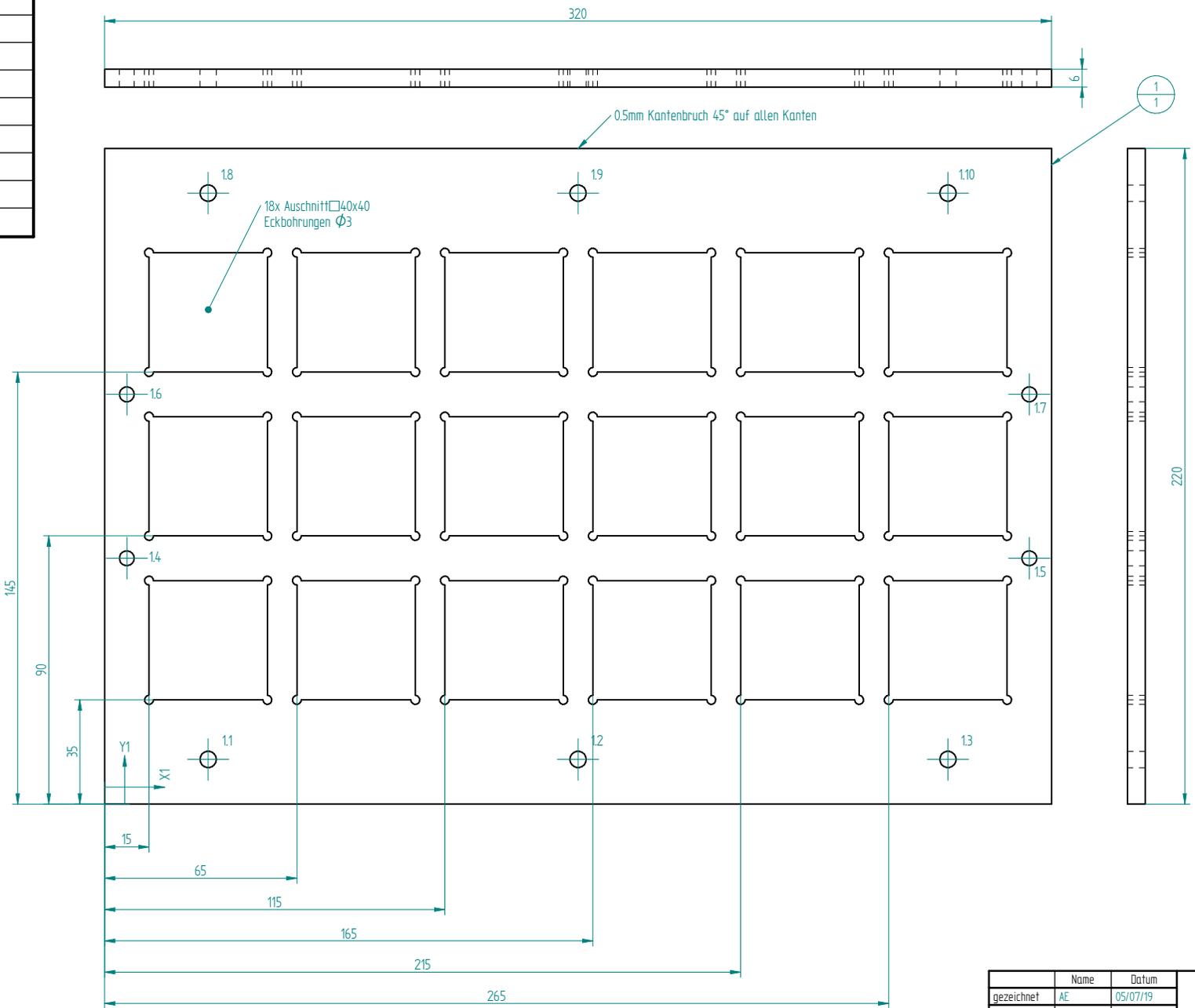
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Frontplatte mit Bohrungen	AE

Name	Datum		
gezeichnet AE	06/07/19		
geprüft SF	16/07/19		
freigegeben SF	16/07/19		
Titel		Frontplatte mit Bohrungen	
Format A2		Zeichnungs-Nr DA-FZ-02	Rev. 00
Alle Masse in Millimeter (mm)		Dateiname: 2 Frontplatte.dft	
Winkel in Grad (°)		Blatt 2 von 13	
Massstab 1:0.75			

Bohrung	X	Y	Größe
1.1	35 mm	15 mm	5.5 mm
1.2	160 mm	15 mm	5.5 mm
1.3	285 mm	15 mm	5.5 mm
1.4	7.5 mm	82.5 mm	5 mm
1.5	312.5 mm	82.5 mm	5 mm
1.6	7.5 mm	137.5 mm	5 mm
1.7	312.5 mm	137.5 mm	5 mm
1.8	35 mm	205 mm	5.5 mm
1.9	160 mm	205 mm	5.5 mm
1.10	285 mm	205 mm	5.5 mm

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Mittlere Platte mit Ausschnitten	16/07/19	Ja



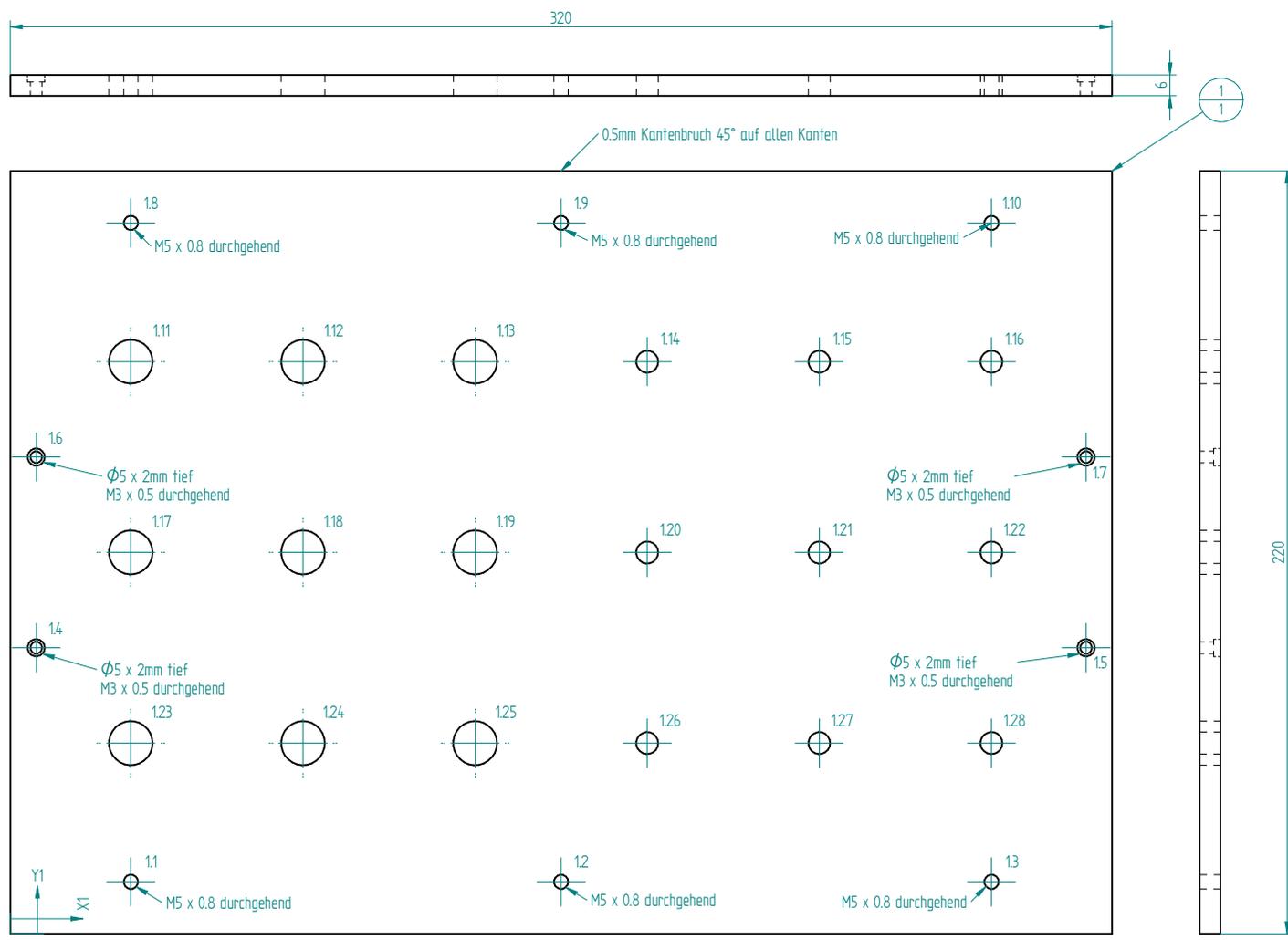
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Mittlere Platte mit Ausschnitten	AE

Name	Datum		
gezeichnet AE	05/07/19		
geprüft SF	16/07/19		
freigegeben SF	16/07/19		
Titel		Mittlere Platte mit Ausschnitten	
Format		Zeichnungs-Nr	Rev.
A2		DA-FZ-03	00
Dateiname		3 Mittlere Platte.dft	
Massstab		1:1	Blatt 3 von 13

Bohrung	X	Y	Größe
1.1	35 mm	15 mm	4.13 mm
1.2	160 mm	15 mm	4.13 mm
1.3	285 mm	15 mm	4.13 mm
1.4	7.5 mm	82.5 mm	3.4 mm
1.5	312.5 mm	82.5 mm	3.4 mm
1.6	7.5 mm	137.5 mm	3.4 mm
1.7	312.5 mm	137.5 mm	3.4 mm
1.8	35 mm	205 mm	4.13 mm
1.9	160 mm	205 mm	4.13 mm
1.10	285 mm	205 mm	4.13 mm
1.11	35 mm	165 mm	12.7 mm
1.12	85 mm	165 mm	12.7 mm
1.13	135 mm	165 mm	12.7 mm
1.14	185 mm	165 mm	6.35 mm
1.15	235 mm	165 mm	6.35 mm
1.16	285 mm	165 mm	6.35 mm
1.17	35 mm	110 mm	12.7 mm
1.18	85 mm	110 mm	12.7 mm
1.19	135 mm	110 mm	12.7 mm
1.20	185 mm	110 mm	6.35 mm
1.21	235 mm	110 mm	6.35 mm
1.22	285 mm	110 mm	6.35 mm
1.23	35 mm	55 mm	12.7 mm
1.24	85 mm	55 mm	12.7 mm
1.25	135 mm	55 mm	12.7 mm
1.26	185 mm	55 mm	6.35 mm
1.27	235 mm	55 mm	6.35 mm
1.28	285 mm	55 mm	6.35 mm

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Bodenplatte mit Bohrungen	16/07/19	Ja

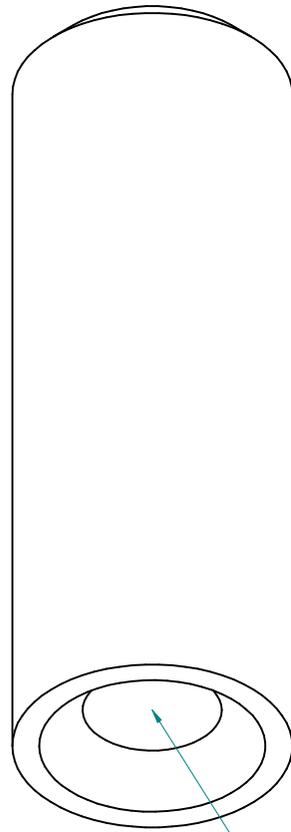


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

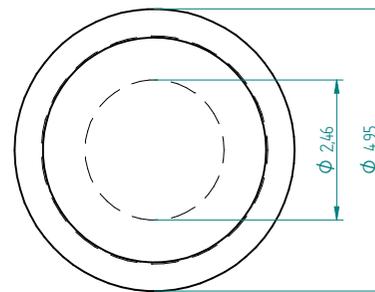
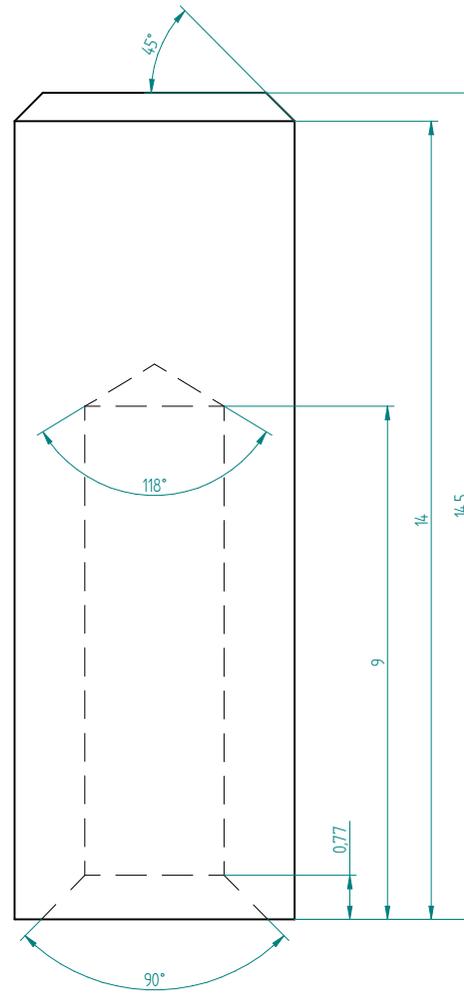
Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Bodenplatte mit Bohrungen	AE

Name	Datum		
gezeichnet AE	06/07/19		
geprüft SF	16/07/19		
freigegeben SF	16/07/19		
Titel		Bodenplatte mit Bohrungen	
Format A2		Zeichnungs-Nr DA-FZ-04	Rev. 00
Alle Masse in Millimeter [mm] Winkel in Grad [°]		Dateiname: 4_Bodenplatte.dft	
Massstab 1:1		Blatt 4 von 13	

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Zentrierstift	16/07/19	Ja



M3 x 0.5 7mm tief

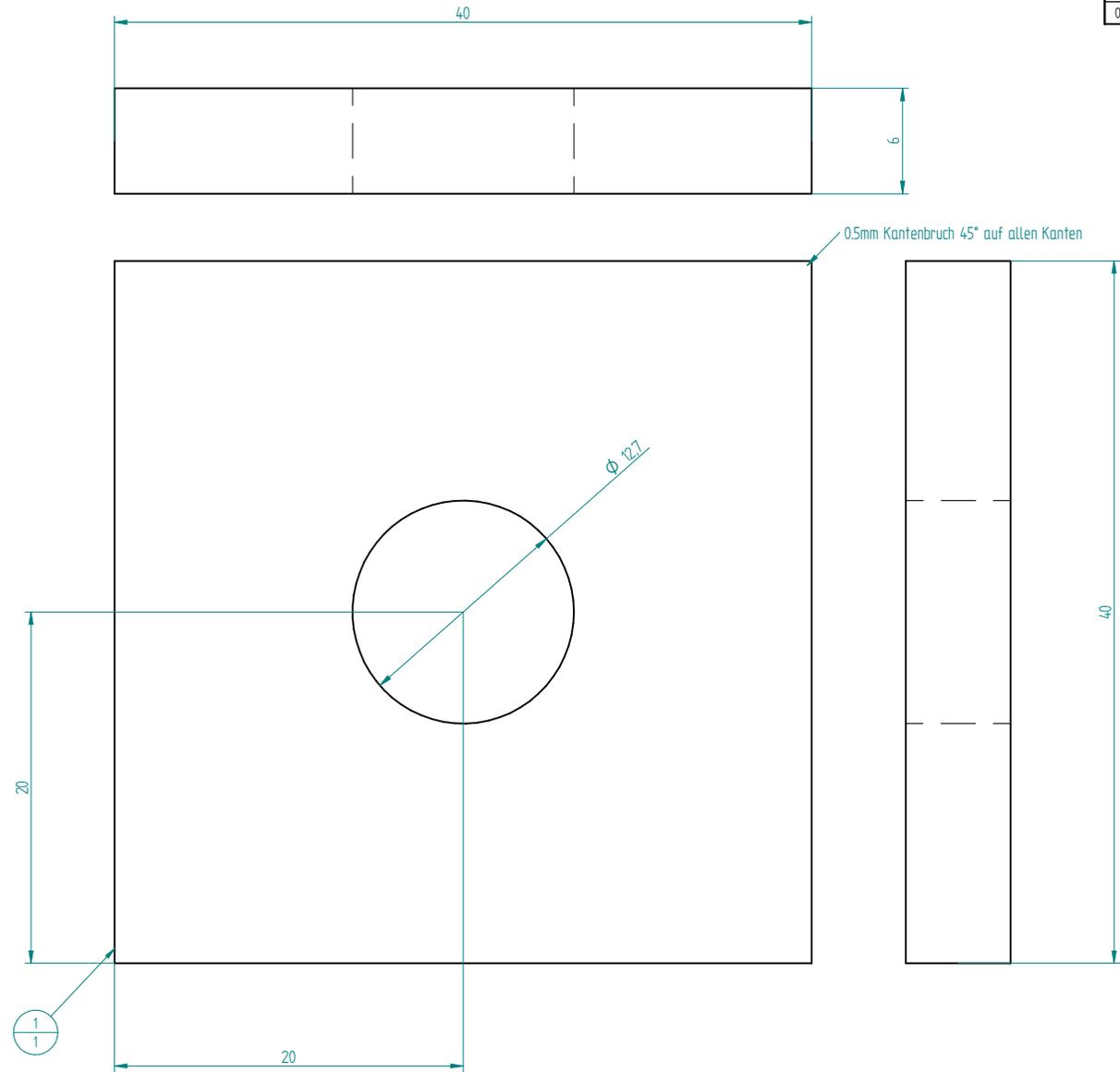


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Zentrierstift	AE

gezeichnet	Name	Datum			
AE		07/07/19			
SF		16/07/19			
geprüft	SF	16/07/19	Titel		
freigegeben	SF	16/07/19	Zentrierstift		
Alle Masse in Millimeter [mm] Winkel in Grad [°]			Format	Zeichnungs-Nr	Rev.
			A4	DA-FZ-05	00
			Dateiname: 5 Zentrierstift.dft		
			Massstab 10:1		Blatt 5 von 13

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Coin mit 1/2" Bohrung	16/07/19	Ja



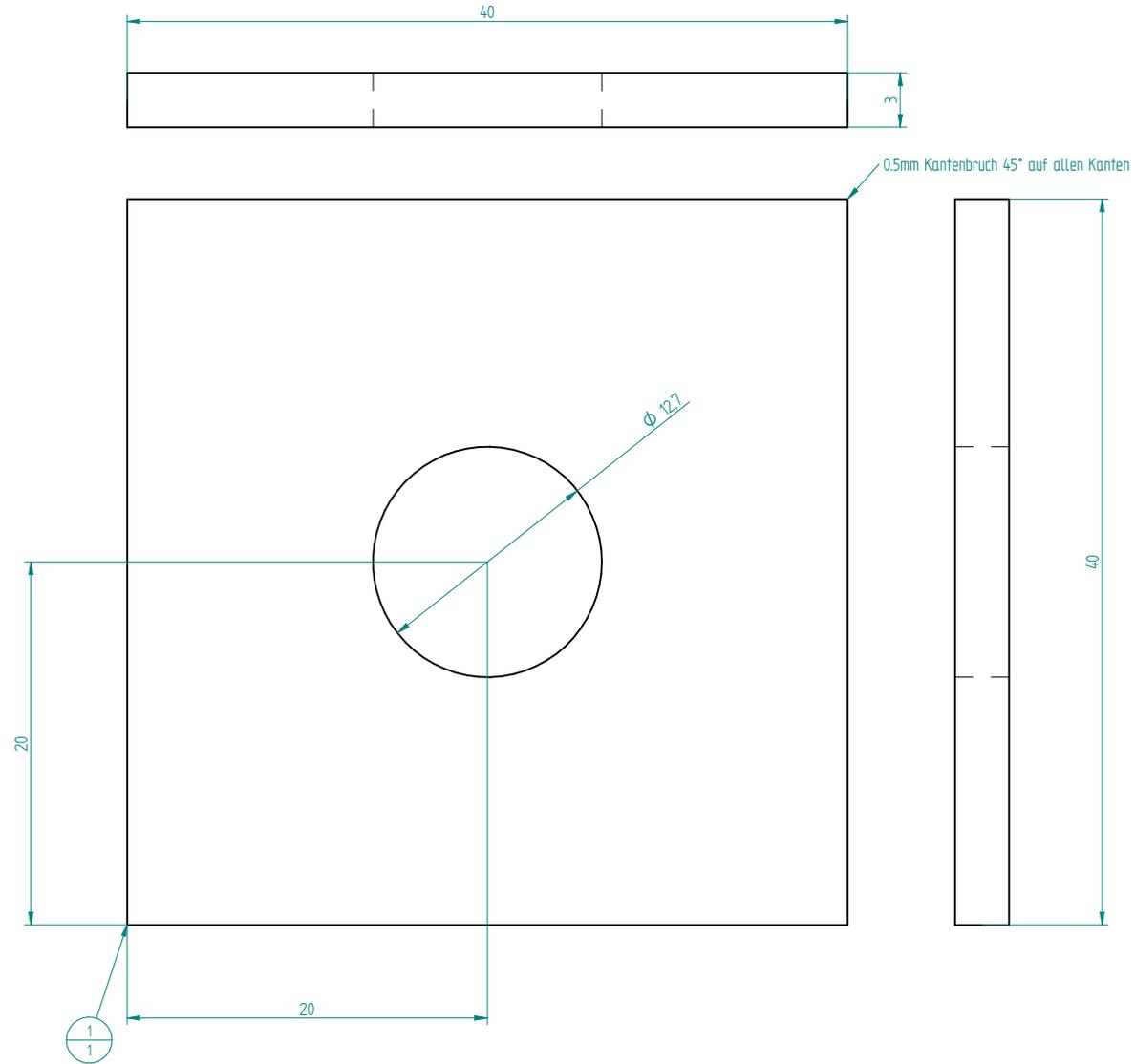
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Coin mit 1/2" Bohrung	AE

Name	Datum		
gezeichnet AE	07/07/19		
geprüft SF	16/07/19		
freigegeben SF	16/07/19		
Titel		Coin mit 1/2" Bohrung	
Format	Zeichnungs-Nr	Rev.	
A4	DA-FZ-06	00	
Dateiname: 6 Coin 1-2.dft			
Massstab 2.5:1	Blatt 6 von 13		

Alle Masse in Millimeter [mm]  
Winkel in Grad [°]

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Coin mit 1/2" Bohrung 3mm	16/07/19	Ja

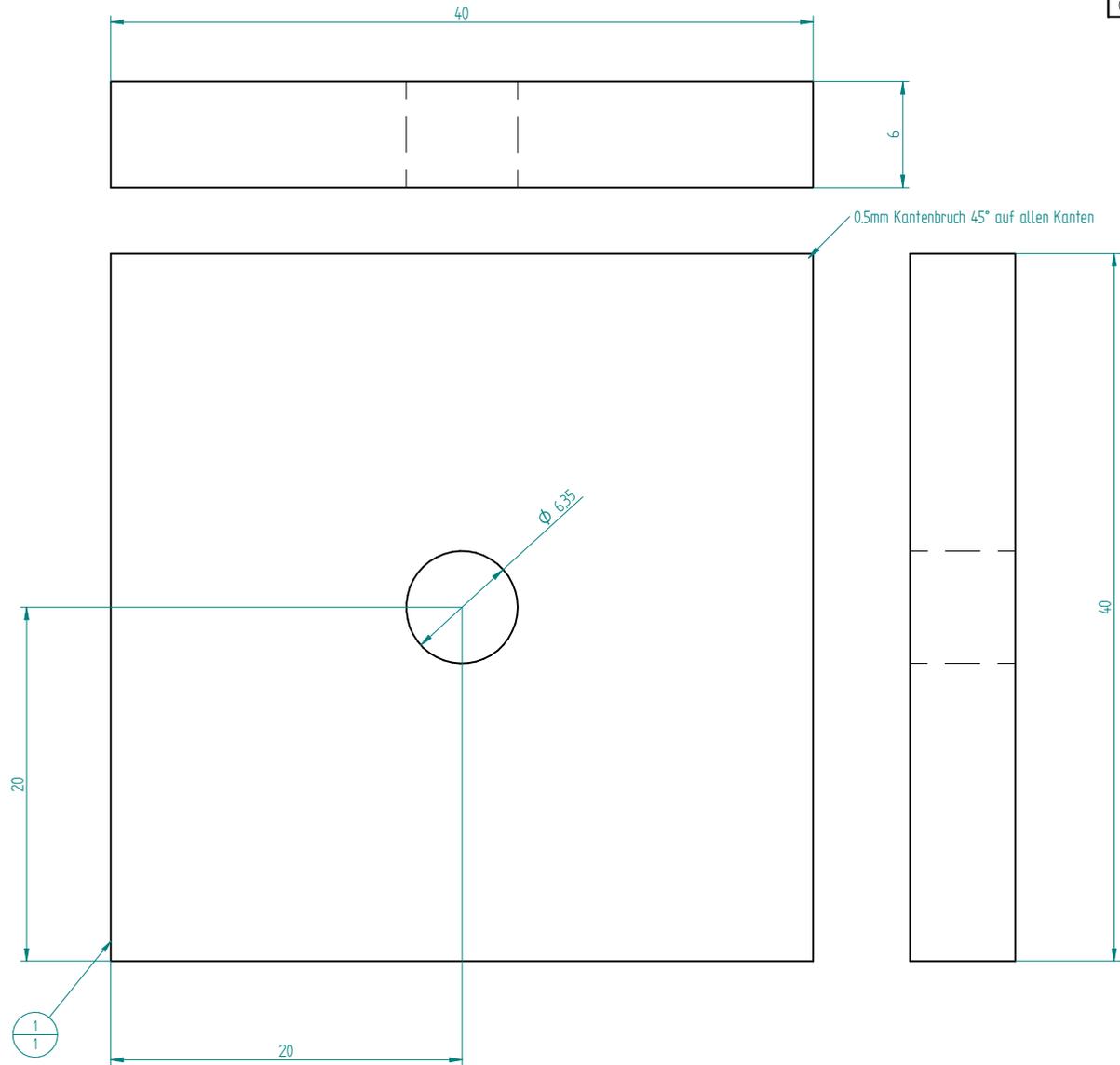


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Coin mit 1/2" Bohrung 3mm	AE

Name	Datum		
gezeichnet AE	09/07/19		
geprüft SF	16/07/19		
freigegeben SF	16/07/19		
Titel		Coin mit 1/2" Bohrung 3mm Dicke	
Format A4		Zeichnungs-Nr DA-FZ-07	Rev. 00
Alle Masse in Millimeter [mm] Winkel in Grad [°]		Dateiname: 7 Coin 1-2 3mm.dft	
Massstab 2.5:1		Blatt 7 von 13	

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Coin mit 1/4" Bohrung	16/07/19	Ja

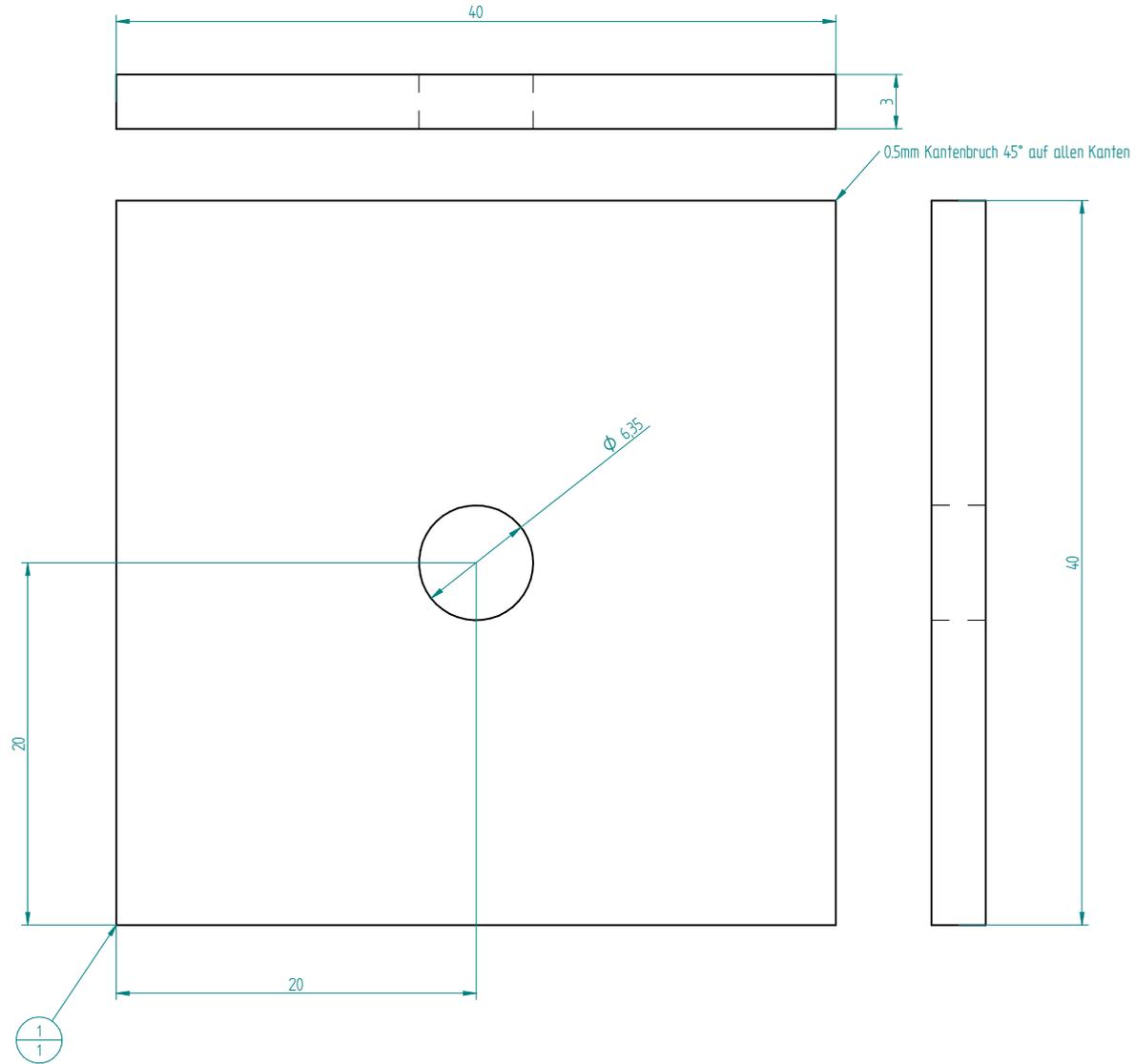


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Coin mit 1/4" Bohrung	AE

Name	Datum		
gezeichnet AE	07/07/19		
geprüft SF	16/07/19		
freigegeben SF	16/07/19		
Titel		Coin mit 1/4" Bohrung	
Alle Masse in Millimeter [mm] Winkel in Grad [°]		Format A4	Zeichnungs-Nr DA-FZ-08
		Dateiname: 8 Coin 1-4.dft	Rev. 00
Massstab 2.5:1		Blatt 8 von 13	

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Coin mit 1/4" Bohrung 3mm	16/07/19	Ja

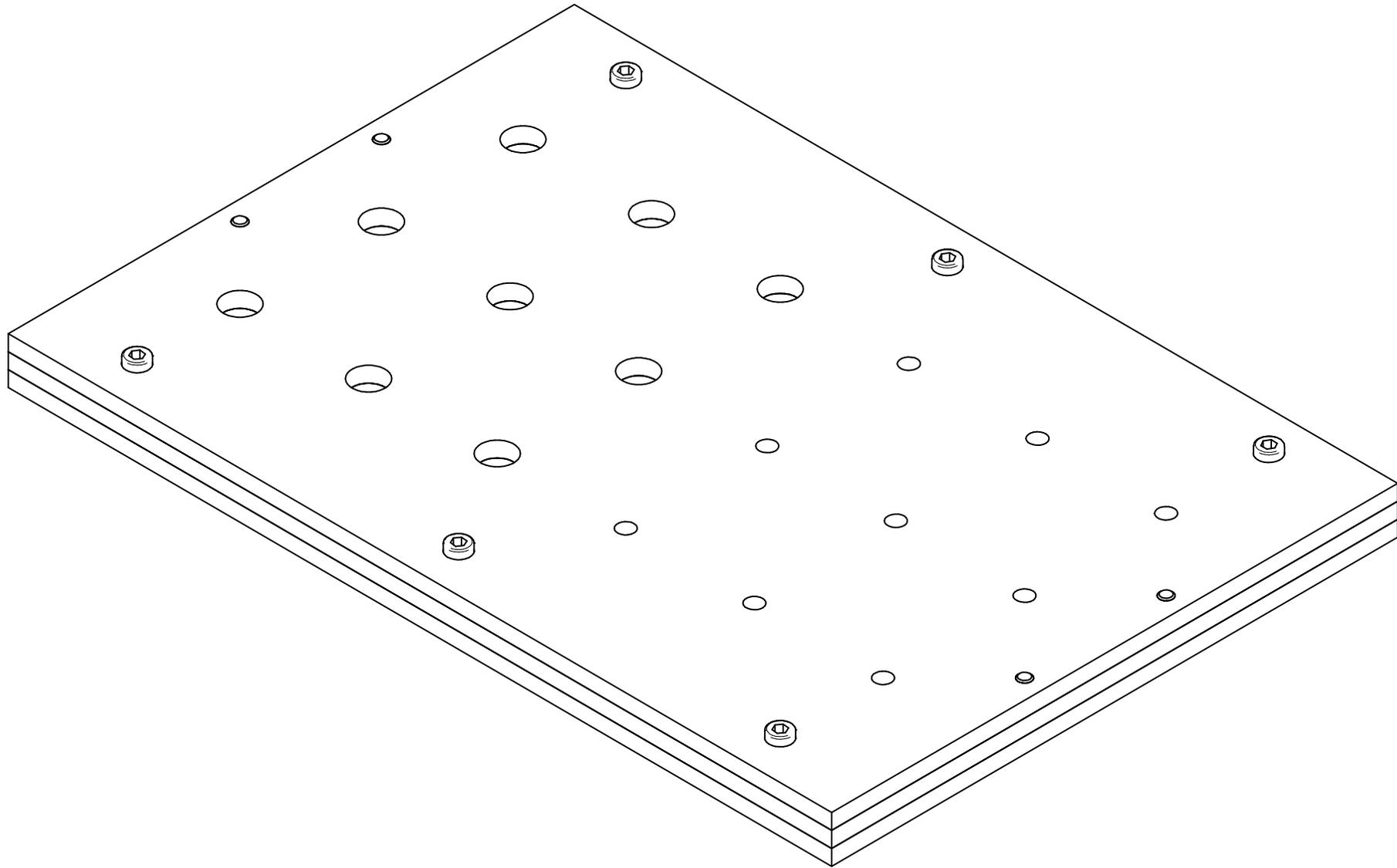


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Coin mit 1/4" Bohrung 3mm	AE

Name	Datum		
gezeichnet AE	09/07/19		
geprüft SF	16/07/19		
freigegeben SF	16/07/19		
Titel		Coin mit 1/4" Bohrung 3mm Dicke	
Format		Zeichnungs-Nr	Rev.
A4		DA-FZ-09	00
Alle Masse in Millimeter [mm] Winkel in Grad [°]		Dateiname: 9 Coin 1-4 3mm.dft	
Massstab 2.5:1		Blatt 9 von 13	

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Referenzblock	16/07/19	Ja



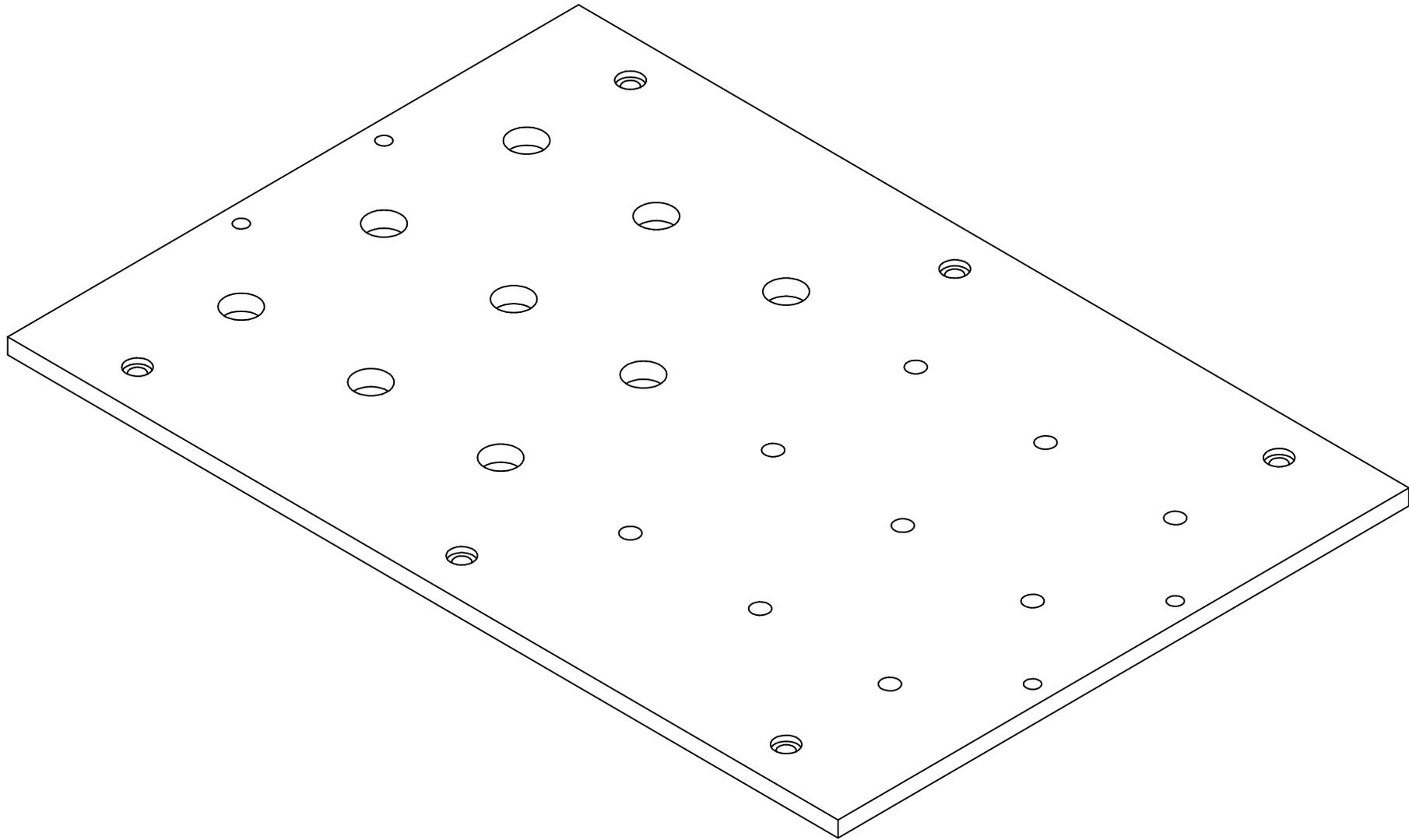
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Referenzblock	AE

	Name	Datum	<b>AE</b>
gezeichnet	AE	07/07/19	
geprüft	SF	16/07/19	
freigegeben	SF	16/07/19	
Titel			Referenzblock
Format		Zeichnungs-Nr	Rev.
A3		DA-30-01	00
Dateiname: 1 Referenzblock-3d.dft			
Mastab 1:1			Blatt 10 von 13

Alle Masse in Millimeter [mm]	
Winkel in Grad [°]	

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Frontplatte mit Bohrungen	16/07/19	Ja



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

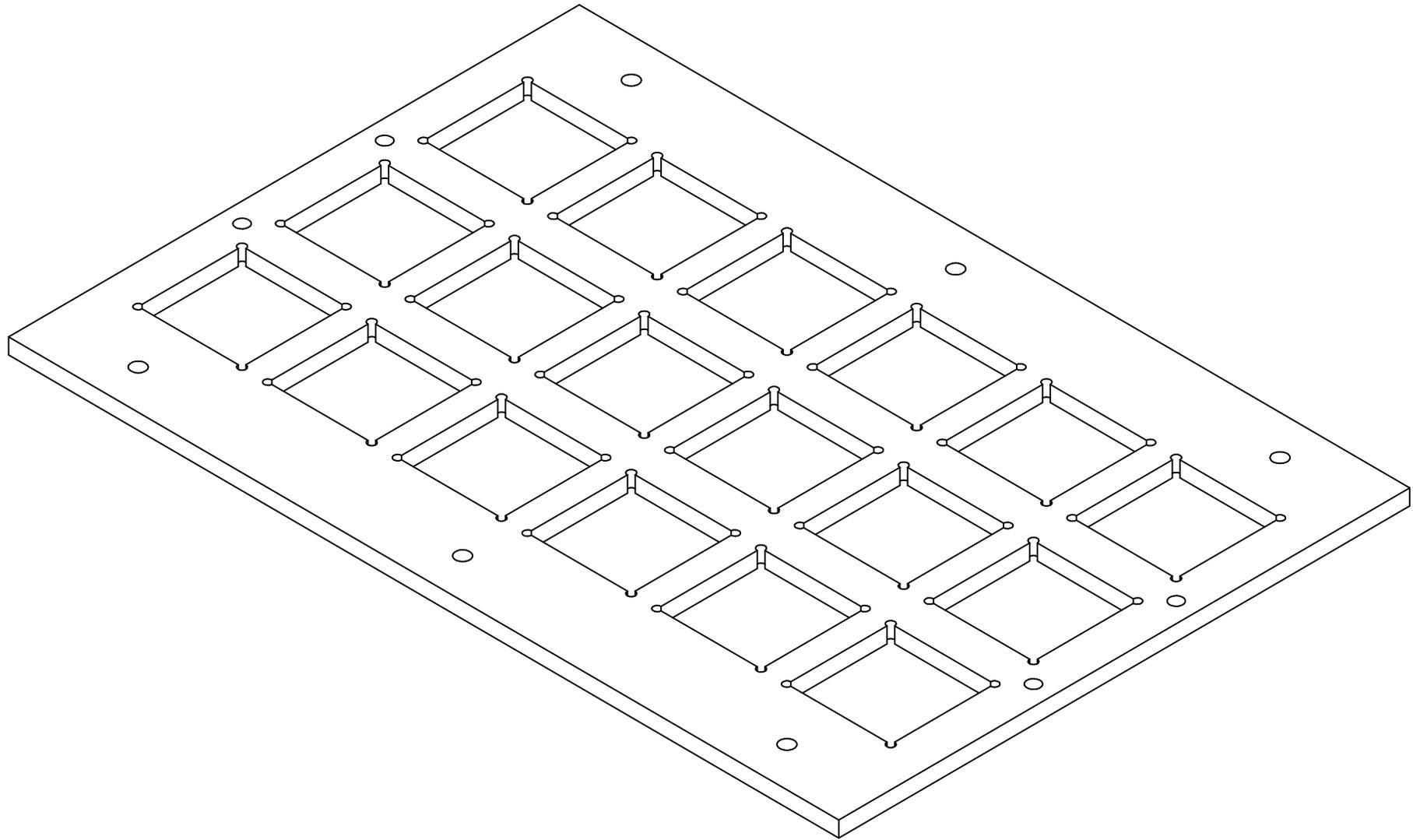
Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Frontplatte mit Bohrungen	AE

gezeichnet	AE	06/07/19	
geprüft	SF	16/07/19	
freigegeben	SF	16/07/19	
Titel			Frontplatte mit Bohrungen
Format			A3
Zeichnungs-Nr.			DA-30-02
Dateiname:			2 Frontplatte-3d.dft
Massstab			1:1
Blatt			11 von 13

Alle Masse in Millimeter [mm]  
Winkel in Grad [°]

Rev. 00

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Mittlere Platte mit Ausschnitten	16/07/19	Ja



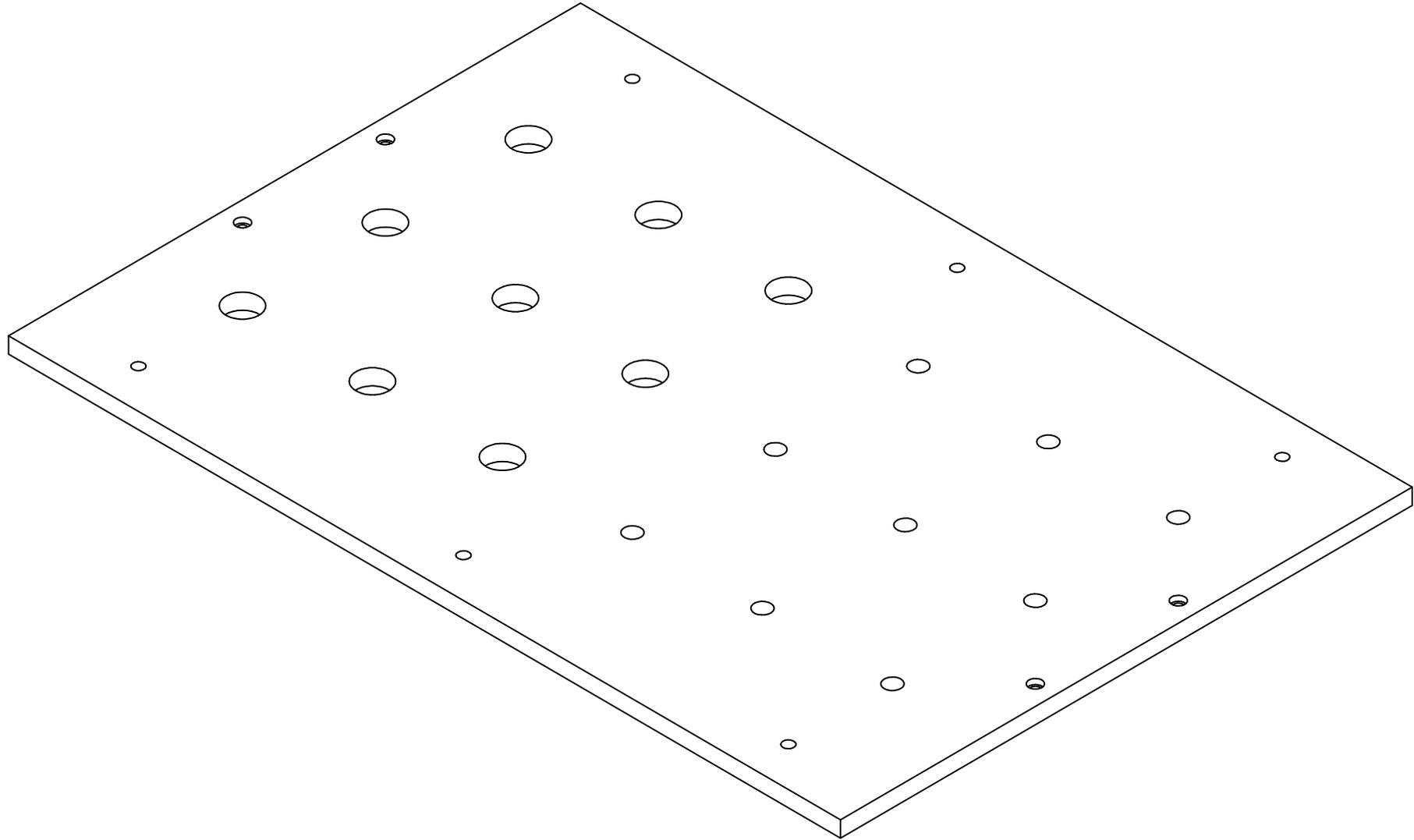
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Mittlere Platte	AE

Name	Datum		
gezeichnet AE	06/07/19		
geprüft SF	16/07/19		
freigegeben SF	16/07/19		
Titel		Mittlere Platte mit Ausschnitten	
Format A3	Zeichnungs-Nr DA-30-03	Rev.	00
Dateiname: 3 Mittlere Platte-3d.dft			
Maßstab 1:1			Blatt 12 von 13

Alle Masse in Millimeter [mm]  
Winkel in Grad [°]

Revisions Verzeichnis			
Rev.	Beschreibung	Datum	genehmigt
00	Bodenplatte mit Bohrungen	16/07/19	Ja



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Pos.	Revisionsnummer	Titel	Autor
1	00	Bodenplatte mit Bohrungen	AE

gezeichnet	AE	06/07/19	
geprüft	SF	16/07/19	
freigegeben	SF	16/07/19	
Titel			Bodenplatte mit Bohrungen
Format		A3	Zeichnungs-Nr DA-30-04
Dateiname		4 Bodenplatte-3d.dft	
Massstab		1:1	Blatt 13 von 13
Rev. 00 Alle Masse in Millimeter [mm] Winkel in Grad [°]			

## 10. Verzeichnisse

### 10.1. Quellenverzeichnis

#### 10.1.1. International publizierte Berichte:

**[1] "Reference Panel Specification Booklet – Panel 1 – NDTSL/ECT/663"**

Autor: Unbekannt  
NDTSL/ECT/662

**[2] "Improvement of the Reliability of fatigue Crack Det. on Holes of typical Aircraft"**

Autor: NDT.net  
Artikel Vol. 4 No. 1 Ausgabe Jänner 1999  
[https://www.ndt.net/article/v04n01/ata\\_dasa/ata\\_dasa.htm](https://www.ndt.net/article/v04n01/ata_dasa/ata_dasa.htm)

**[3] "Recommended practices and best practices for nondestructive inspection (NDI) of safety-of-flight structures"**

Autor: Brausch, J. C., Butkus, L., Campbell, D., Mullis, T., and Paulik, M.  
United States Air Force, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio USA (2008).  
AFRL-RX-WP-TR-2008-4373

**[4] "Discrimination between Fatigue Cracking and Mechanical Damage in Aircraft Fastener Holes by EDDY-Current Phase Rotation"**

Autor: M E Ibrahim, G D Surtees, G R Hugo, H J Morton und S K Burke  
© Commonwealth of Australia 2016  
AR-016-677

**[5] "Improved Bolt Hole Eddy Current Rotational Filtering Procedures..."**

Autor: Kenneth J. LaCivita, John C. Brausch und Daniel Lauferweiler  
Air Force Research Laboratory, Wright-Patterson AFB, Ohio USA

**[6] "Rotary Bolt Hole Eddy Current Inspection"**

Autor: Hollis Humphries, TNT Editor  
<https://www.asnt.org>  
Artikel Vol. 9 No. 1 Ausgabe Jänner 2010

#### 10.1.2. Internetrecherche

<https://www.kontrolltechnik.com/methods/eddy-current-principle>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Wirbelstrompr%C3%BCfung>

## 10.2. Literaturverzeichnis

**[7] "Peterson's Stress Concentration Factors", 2nd Edition**

Autor: Walter D. Pilkey  
John Wiley & Sons, INC

### **10.3. Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Ultraschallgerät zur Rohrprüfung .....	15
Abbildung 2: grafische Darstellung Prinzip Wirbelstromprüfung .....	16
Abbildung 3: Inspektion eines Bauteils durch den Autor .....	17
Abbildung 4: Schnittbild einer BHEC-Inspektion .....	18
Abbildung 5: typische Anzeige von Amplitude und Phasenverschiebung .....	19
Abbildung 6: Prüfstück ohne Schaden .....	20
Abbildung 7: Prüfstück mit Schaden .....	20
Abbildung 8: Grundausrüstung eines NDT-Inspektors .....	21
Abbildung 9: Olympus NORTEC 600 bei der Anwendung .....	21
Abbildung 10: Olympus NORTEC 600 MiniMite bei der Anwendung .....	22
Abbildung 11: Wirbelstromsonden aus Edelstahl .....	23
Abbildung 12: Wirbelstromsonden aus Kunststoff .....	23
Abbildung 13: Schnittbild verschiedenste Rissarten in Nietlöchern .....	25
Abbildung 14: Schnittbild Durchgangsbohrung .....	25
Abbildung 15: Übersicht Brainstorming .....	29
Abbildung 16: Übersicht Mind-Map .....	30
Abbildung 17: Morphologischer Kasten .....	31
Abbildung 18: Explosionszeichnung Referenzblock .....	34
Abbildung 19: Die Frontplatte .....	35
Abbildung 20: Die mittlere Platte .....	35
Abbildung 21: Die Bodenplatte .....	36
Abbildung 22: Der Referenzblock .....	36
Abbildung 23: Coin mit Ø½" Bohrung .....	37
Abbildung 24: Coin mit Ø¼" Bohrung .....	37
Abbildung 25: Zugversuchsprobe mit Bemessungen .....	41
Abbildung 26: Startmaske Lifeworks .....	42
Abbildung 27: Maske Lifeworks – Stress .....	43
Abbildung 28: Maske Lifeworks – Material .....	43
Abbildung 29: Maske Lifeworks – Spectrum .....	44
Abbildung 30: Maske Lifeworks – Results .....	44
Abbildung 31: Workstation MTS810 .....	45
Abbildung 32: Beispielbild während einer Simulation (MTS Station Manager) .....	46
Abbildung 33: Zugversuchsprobe nach dem Ermüdungstest .....	46
Abbildung 34: Zugversuchsprobe unbelastet .....	47
Abbildung 35: Zugversuchsprobe belastet .....	47
Abbildung 36: Screenshot MS Excel beider Auswertevorlagen.....	48

### **10.4. Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Aufzählung der Schäden durch Materialermüdung .....	26
Tabelle 2: Aufzählung der mechanischen Schäden .....	27
Tabelle 3: Aufzählung Korrosionsschäden & Andere .....	28
Tabelle 4: Risikotabelle .....	32
Tabelle 5: Risikomatrix .....	33
Tabelle 6: Risikoreduktion .....	33
Tabelle 7: Auswahl Schadensmechanismen Variante 1 .....	38
Tabelle 8: Kostenaufstellung Variante 1 .....	38
Tabelle 9: Auswahl Schadensmechanismen Variante 2 .....	39
Tabelle 10: Kostenaufstellung Variante 2 .....	39
Tabelle 11: Berechnungen für die Fatigue- Simulation .....	41

### **10.5. Diagrammverzeichnis**

Diagramm 1: grafische Gewichtung der Schadensmechanismen .....	24
Diagramm 2: grafische Unterteilung der Schäden durch Materialermüdung .....	26
Diagramm 3: grafische Unterteilung der mechanischen Schäden .....	27
Diagramm 4: grafische Unterteilung Korrosionsschäden & Andere .....	28
Diagramm 5: Crack Size/ Life Cycle Diagramm .....	40

## 10.6. Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
ASNT	American Society of Nondestructive Testing©
BHEC	Bolthole eddy current
CG	Crack growth life
CI	Crack initiation life
CNC	Computer numeric control
DGZfP e.V.	Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung eingetragener Verein
ECT	Eddy current testing
FEM	Finite Elemente Methode
NDT	Nondestructive Testing
RAFJSN	Ruag Aviation Flight Jet Service NDT
SDZP	Schweizerische Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung

## 10.7. Symbol-Liste

<b>Symbol</b>	<b>Einheit</b>	<b>Beschreibung</b>
H	mm	Breite
t	mm	Dicke (thickness)
d <sub>Bohrung</sub>	mm	Bohrungsdurchmesser
K <sub>tg</sub>	-	Spannungskonzentrationsfaktor
F	N; kN	Zugkraft
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup> ; MPa	Zugspannung
$\sigma_{\max}$	N/mm <sup>2</sup> ; MPa	maximale Zugspannung

## **11. Reflexion und „Lessons learnt“**

Mit dem Schreiben dieser Diplomarbeit habe ich mich mit einem mir bis dato unbekanntem Fachbereich der Qualitätssicherung befasst. Es war eine weitere Challenge die ich gemeistert habe und somit zu meinen Erfahrungen zählen kann. Insgesamt war das Projekt sehr interessant und lehrreich für mich. Die enge Zusammenarbeit mit den Spezialisten des NDT-Teams und den Struktur-Ingenieuren der Ruag, welche ihr Handwerk auf einem sehr hohen Level beherrschen, erfüllte mich einerseits mit Stolz und auf der anderen Seite motivierte es mich meine Aufgabe mit bestem Wissen und Gewissen zu erfüllen. Die Unterstützung von Seiten Ruag war grossartig, meinen Fragen wurden jederzeit kompetent und rasch beantwortet. Das Arbeitsklima war zu jederzeit angenehm und es freute mich jedes Mal aufs Neue, wenn ich nach Emmen zu einer Sitzung gefahren bin. Die Ausgangslage für diese Arbeit war zusätzlich erschwert, dass ich mich durch einen Berg an Information wühlen musste, um einmal zu verstehen, worum es geht und was der Referenzblock alles für Anforderungen erfüllen muss. Schritt für Schritt verschaffte ich mir einen Überblick über die Materie BHEC-Inspektion und konnte die Zusammenhänge deuten und in meine Designplanung einfließen lassen. Als ich die Unterscheidung und Gewichtung der verschiedenen Schadensmechanismen durchgeführt hatte, war mir klar, dass es so viele verschiedene Aspekte zu berücksichtigen gibt und die Palette der Mechanismen so weitgefächert ist, dass ich mich beim Design nicht auf eine eingeschränkte Ausführung festlegen darf. Das genau ist der Grund wieso ich einen modularen und variablen Aufbau für den Referenzblock gewählt habe.

Das Schreiben der Dokumentation kam trotz der sehr aufwändigen und zeitintensiven Recherche für die Fachbegriffe und Inspektionsverfahren mit etwas Verzögerung gut voran. Glücklicherweise hatte ich zeittechnisch gut geplant und konnte mit der Dokumentation schon eher beginnen. Ich bin mit dem Ergebnis der Diplomarbeit im Ganzen sehr zufrieden.

## **12. Verdankungen**

Bei Verdankungen ist es immer schwer wie man die Reihung macht, ohne jemandem vor den Kopf zu stossen, oder gar einem das Gefühl zu geben "weniger" dankbar zu sein. Ich empfinde für jeden, der mich in den letzten Jahren in Bezug auf mein Studium unterstützt und gefördert hat die selbe Dankbarkeit und Wertschätzung.

### **Vielen Dank**

Meiner Frau Mirela und meiner Schwiegermutter Eni gilt der meiste Dank. Ohne eure regelmässige Motivation und Unterstützung wäre ich wahrscheinlich heute nicht dort, wo ich jetzt bin. Ihr zwei seid die wichtigsten Menschen in meinem Leben.

### **Danke für Alles**

Vielen Dank für das Vertrauen und die Unterstützung an Stefan Frei und RUAG Schweiz AG, welche mir den Auftrag für das Konzept erteilt haben. Ich schätze es sehr, dass mir die Chance gegeben wurde meinem Ziel in der NDT-Branche Fuss zu fassen einen Schritt näher zu kommen.

Ein herzliches "Dankeschön" an alle meine Dozenten die mich in den letzten sechs Semestern begleitet haben.

# Anhang

Anhang A	Themeneingabe Diplomarbeit .....	B
Anhang B	Chart 4.1 Stress concentration Factor Ktg .....	D
Anhang C	Datenblatt Aluminiumlegierung 7075-T6 .....	E
Anhang D	Programmierung und Resultat CI- Berechnung .....	F
Anhang E	Übersicht Materialkosten Platten .....	H
Anhang F	Übersicht Materialkosten Coins .....	H

## Anhang A Themeneingabe Diplomarbeit

Ersek  
Andreas  
Halla 40, 3186 Dödingen  
+41 (0) 79 844 63 73  
andreas.ersek@yahoo.com  
Z-TMF-16  
RUAG Schweiz AG

### Vorschlag Diplomarbeit

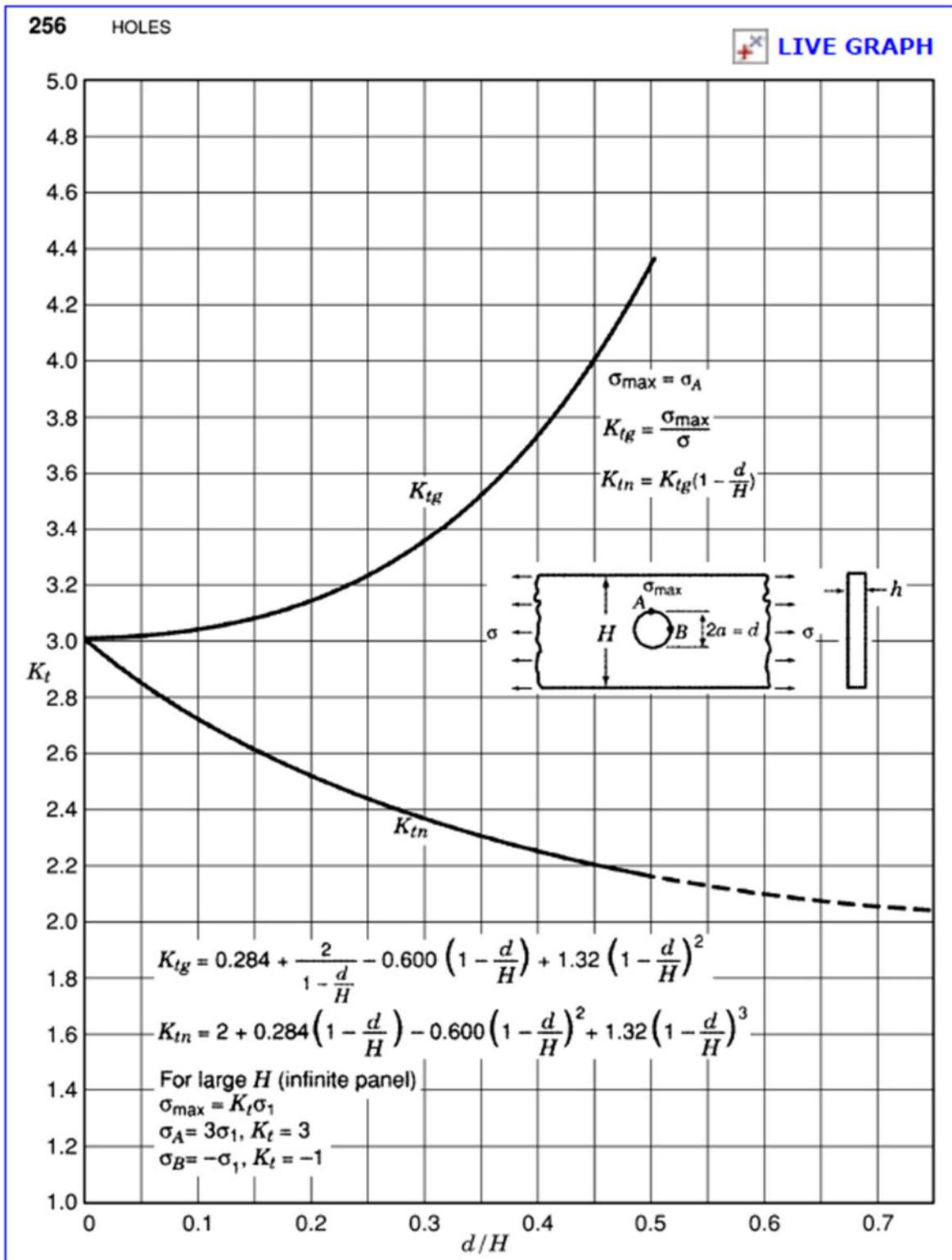
<b>Diplomwunsch</b>	Konzept zur Herstellung eines NDT (Non Destructive Testing) Wirbelstrom Referenzblocks mit verschiedenen Schadensmechanismen
<b>Themabeschreibung</b>	<p>Infolge der Alterung von Flugzeugstrukturen wird zur Sicherstellung der Flugsicherheit eines Flugzeuges im Unterhalt regelmässig mittels NDT-Inspektionen die Strukturintegrität sichergestellt. Eines der meist angewendeten Prüfverfahren in der Flugzeuginstandhaltung ist das Wirbelstromverfahren (ET) mit Rotiersonden. Im Zusammenhang mit diesem NDT Verfahren sind verschiedenste Einflussfaktoren/Schädigungsmechanismen bekannt jedoch ergeben sich Indikationen, welche nicht eindeutig zuzuordnen sind</p> <p><b>MS1:</b> Für die Abteilung RAFJSN des NDT Services &amp; Engineering der RUAG in Emmen, soll ein Konzept für einen Referenzblock erstellt werden. Die Definition soll anhand mehrerer international publizierten Reports gemacht werden. Dabei ist aus den möglichen Schadensmechanismen eine Auswahl zu treffen welche basierend auf mehreren Kriterien besteht. (z.B.: Klassierung ET Signal, Herstellbarkeit, Herstellkosten, Antreffenswahrscheinlichkeit.) Das Konzept für diesen Referenzblock soll schlussendlich zwei Varianten mit den folgenden Ausprägungen aufzeigen. - wirtschaftlichste Variante (Kosten-Nutzen) - technisch maximal mögliche Variante mit realitätsnahen Fehler - Herstellung Realcrack Probe ( inkl. Materialermüdungsberechnung)</p> <p><b>MS2:</b> Nach der Fertigung eines Referenzblocks durch die RUAG (nicht Bestandteil der Diplomarbeit) werden mehrere NDT Inspektoren den Referenzblock inspizieren und den Befund jeder Bohrung protokollieren. Für die anschliessende Sensitivitätsstudie ist eine Vorlage zu erstellen, welche die Protokollierung, Auswertung und Zusammenstellung der Resultate vereinfacht und visualisiert.</p>
<b>Kunde</b>	RUAG Schweiz AG, RUAG Aviation, Abteilung RAFJSN, NDT Services & Engineering

<b>Erfolgskriterien</b>	<p>MS1: Konzept und Varianten für den Referenzblock sind vorhanden in Form von: - Begründung und Auswahl zu Variante A und B - Dokumentation der Schadensmechanismen und Aufbau der einzelnen Bohrungen - Skizzen/ Zeichnungen zum Aufbau des Referenzblockes</p> <p>MS2: Vorlage zur Sensitivitätsstudie ist vorhanden in Form von: - Protokollvorlage - Auswertevorlage mit Resultatvisualisierung</p>
-------------------------	--

Wird vom Abteilungsvorstand ausgefüllt:

<b>Bewilligt</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Begründung Datum: 10.5.2019 <i>A. Ugh</i>
------------------	---

Anhang B Chart 4.1 Stress concentration Factor  $K_{tg}$



**Chart 4.1** Stress concentration factors  $K_{tg}$  and  $K_{tn}$  for the tension of a finite-width thin element with a circular hole (Howland 1929–30).

Anhang C Datenblatt Aluminiumlegierung 7075-T6

MMPDS-05  
1 April 2010

**Table 3.7.8.0(b<sub>1</sub>). Design Mechanical and Physical Properties of 7075 Aluminum Alloy Sheet**

Specification . . . . .	AMS 4045 and AMS-QQ-A-250/12 <sup>a</sup>						
	Sheet						
Form . . . . .	T6 and T62 <sup>b</sup>						
	Temper . . . . .	T6 and T62 <sup>b</sup>					
Thickness, in. . . . .		0.008-0.011	0.012-0.039		0.040-0.125		0.126-0.249 <sup>e</sup>
	Basis . . . . .	S	A	B	A	B	A
<b>Mechanical Properties:</b>							
$F_{tu}$ , ksi:							
L (S-basis) . . . . .	...	...	...	78	...	...	...
LT . . . . .	74	76	78	78	80	78	80
$F_{ty}$ , ksi:							
L (S-basis) . . . . .	...	...	...	69	...	...	...
LT . . . . .	63	67	70	68	70	69	71
$F_{cy}$ , ksi:							
L (S-basis) . . . . .	...	...	...	68	...	...	...
LT (S-basis) . . . . .	...	...	...	73	...	...	...
ST . . . . .	...	...	...	...	...	...	...
$F_{su}^c$ , ksi (S-basis):	...	...	...	47	...	...	...
$F_{br}^{c,d}$ , ksi:							
(e/D = 1.5) . . . . .	...	...	...	116	119	...	...
(e/D = 2.0) . . . . .	...	...	...	146	150	...	...
$F_{br}^{c,d}$ , ksi:							
(e/D = 1.5) . . . . .	...	...	...	95	98	...	...
(e/D = 2.0) . . . . .	...	...	...	108	111	...	...
$e$ , percent (S-basis):							
LT . . . . .	5	7 <sup>e</sup>	...	8 <sup>e</sup>	...	8 <sup>e</sup>	...
$E$ , 10 <sup>3</sup> ksi . . . . .	10.3						
$E_c$ , 10 <sup>3</sup> ksi . . . . .	10.5						
$G$ , 10 <sup>3</sup> ksi . . . . .	3.9						
$\mu$ . . . . .	0.33						
<b>Physical Properties:</b>							
$\omega$ , lb/in. <sup>3</sup> . . . . .	0.101						
$C$ , $K$ , and $\alpha$ . . . . .	See Figure 3.7.7.0						

Last Revised: Apr 2010, MMPDS-05, Item 09-29

a Mechanical properties were established under QQ-A-250/12.

b Design allowables were based upon data obtained from testing T6 temper sheet and from testing samples of sheet, supplied in the O or F temper, which were heat treated to demonstrate response to heat treatment by suppliers. Properties obtained by the user may be lower than those listed if the material has been formed or otherwise cold-worked, particularly in the annealed temper, prior to solution heat treatment.

c Grain direction unknown.

d Bearing values are "dry pin" values per Section 1.4.7.1. See Table 3.1.2.1.1.

e AMS 4045 specification minimums are higher than QQ-A-250/12 for these thickness ranges.

## Anhang D Programmierung und Resultat CI- Berechnung

### Log File

Crack Initiation Analysis

Analyst:

Date: Montag, 19. August 2019

Mode: CI94

LifeWorks: 4.9.182

Solver: CICALC 3.0.0 11 Dec 2001

Titles:

N/A

Label: Analysis #1

Analysis Type: General Strain-Life Analysis

Input Stresses:

Stress (MPa): 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500

Kc/Kt = 1.0

Analysis Options:

Notch Analysis Method: Nominally Elastic Neuber

Mean Stress (Smean>0): Smith, Watson, & Topper

Mean Stress (Smean<0):

Prestrain Option: Prestrain

Output Factors: Off

Life Cutoff = 1.0e10

Exceedances: On

Allowables: Off

Material Properties:

Source: From Database

Database: C:\Program Files (x86)\LifeWorks\materialst\life.mci

Group: CI94

Alloy: 7075-T6 (CYD756, EN756P, EN756)

Alloy ID: 9

Fty: 70 ksi

Ftu: 78 ksi

Stress-Strain Law: Table Lookup

Strain-Life Law: Table Lookup

Strain Life Factor = 1.0

Strain Amplitude Factor = 1.0

Spectrum Inputs:

Type: Constant Amplitude

Peak: 1

Valley: 0.1

Spectrum Units: Cycles

Cycles per Spectrum Unit:

Hysteresis Loop Counting: On

Starting Point: First Load

Spectrum Passes: One Pass

Unclosed Loops: CI94

Spectrum Manipulations: No

Spectrum Multiplier: 2

File Tag

Output Files:

Record File: M:\Diplomarbeit\Coupon\_CI\_Analyse\_7075\_T6.log  
Append: No

Analysis Completion Status = Analysis Complete  
No Runtime Messages

Crack Initiation Life in Cycles

Ko/Kt	Kt	Residual	Ref Stress	Life	Damage
1.000	1.00	0.00	50.00	1.000e+10	2.072e-19
1.000	1.00	0.00	60.00	1.000e+10	8.100e-18
1.000	1.00	0.00	70.00	1.000e+10	1.797e-16
1.000	1.00	0.00	80.00	1.000e+10	2.634e-15
1.000	1.00	0.00	90.00	1.000e+10	2.813e-14
1.000	1.00	0.00	100.00	1.000e+10	2.340e-13
1.000	1.00	0.00	110.00	1.000e+10	1.590e-12
1.000	1.00	0.00	120.00	1.000e+10	9.148e-12
1.000	1.00	0.00	130.00	1.000e+10	4.574e-11
1.000	1.00	0.00	140.00	4.927e+09	2.030e-10
1.000	1.00	0.00	150.00	1.230e+09	8.127e-10
1.000	1.00	0.00	160.00	3.361e+08	2.975e-09
1.000	1.00	0.00	170.00	99332340.0	1.007e-08
1.000	1.00	0.00	180.00	31474410.0	3.177e-08
1.000	1.00	0.00	190.00	10612510.0	9.423e-08
1.000	1.00	0.00	200.00	3783572.	2.643e-07
1.000	1.00	0.00	210.00	1578320.	6.336e-07
1.000	1.00	0.00	220.00	912834.	1.095e-06
1.000	1.00	0.00	230.00	677443.	1.476e-06
1.000	1.00	0.00	240.00	509175.	1.964e-06
1.000	1.00	0.00	250.00	387409.	2.581e-06
1.000	1.00	0.00	260.00	299147.	3.343e-06
1.000	1.00	0.00	270.00	233258.	4.287e-06
1.000	1.00	0.00	280.00	183535.	5.449e-06
1.000	1.00	0.00	290.00	145632.	6.867e-06
1.000	1.00	0.00	300.00	116466.	8.586e-06
1.000	1.00	0.00	310.00	94946.	1.053e-05
1.000	1.00	0.00	320.00	80078.	1.249e-05
1.000	1.00	0.00	330.00	67892.	1.473e-05
1.000	1.00	0.00	340.00	57846.	1.729e-05
1.000	1.00	0.00	350.00	49618.	2.015e-05
1.000	1.00	0.00	360.00	44055.	2.270e-05
1.000	1.00	0.00	370.00	39243.	2.548e-05
1.000	1.00	0.00	380.00	35065.	2.852e-05
1.000	1.00	0.00	390.00	31423.	3.182e-05
1.000	1.00	0.00	400.00	28238.	3.541e-05
1.000	1.00	0.00	410.00	25443.	3.930e-05
1.000	1.00	0.00	420.00	23069.	4.335e-05
1.000	1.00	0.00	430.00	20971.	4.769e-05
1.000	1.00	0.00	440.00	19048.	5.250e-05
1.000	1.00	0.00	450.00	17824.	5.610e-05
1.000	1.00	0.00	460.00	16719.	5.981e-05
1.000	1.00	0.00	470.00	15752.	6.349e-05
1.000	1.00	0.00	480.00	14861.	6.729e-05
1.000	1.00	0.00	490.00	14034.	7.125e-05
1.000	1.00	0.00	500.00	13268.	7.537e-05

## Anhang E Übersicht Materialkosten Platten

Logout  

**HABA**  
Lösungen  
aus Platten

 ONLINE SHOP   PRODUKTE   DIENSTLEISTUNGEN   ANWENDUNGEN   UNTERNEHMEN   KONTAKT

Homepage > Online Shop > Produkte > Individuelle Zuschnitte

LOGOUT   ERKLÄRVIDEO SHOP   MEIN ACCOUNT

Eingeloggt als: Stefan S   Logout

### PLATTENKONFIGURATOR

Bitte wählen Sie anhand der Eingabemöglichkeiten Ihren individuellen Plattenzuschnitt aus.

Wählen Sie das gewünschte Produkt

Alu28

Dicke in mm	Breite in mm	Länge in mm
6	220	320
Toleranz Dicke	Toleranz Breite	Toleranz Länge
0.1 / -0.1	0.8 / 0.3	0.8 / 0.3
Materialzeugnis	Kundenartikelnummer	Zeichnungsnummer
Anzahl	Stückpreis	Summe
3	32.60 CHF	97.80 CHF

Artikel hinzufügen

### BRAUCHEN SIE HILFE?

Unser Verkaufsteam hilft Ihnen gerne weiter.

+41 41 748 88 88

MO bis DO

07.30 bis 17.30 Uhr

FR

07.30 bis 17.00 Uhr

HINWEIS: Sonderdimensionen auf Anfrage möglich

## Anhang F Übersicht Materialkosten Coins

Logout  

**HABA**  
Lösungen  
aus Platten

 ONLINE SHOP   PRODUKTE   DIENSTLEISTUNGEN   ANWENDUNGEN   UNTERNEHMEN   KONTAKT

Homepage > Online Shop > Produkte > Individuelle Zuschnitte

LOGOUT   ERKLÄRVIDEO SHOP   MEIN ACCOUNT

Eingeloggt als: Stefan S   Logout

### PLATTENKONFIGURATOR

Bitte wählen Sie anhand der Eingabemöglichkeiten Ihren individuellen Plattenzuschnitt aus.

Wählen Sie das gewünschte Produkt

Alu7075 gefraest / fraisée

Dicke in mm	Breite in mm	Länge in mm
8	41	41
Toleranz Dicke	Toleranz Breite	Toleranz Länge
0.1 / -0.1	0.8 / 0.3	0.8 / 0.3
Materialzeugnis	Kundenartikelnummer	Zeichnungsnummer
Anzahl	Stückpreis	Summe
8	7.40 CHF	59.20 CHF

Artikel hinzufügen

### BRAUCHEN SIE HILFE?

Unser Verkaufsteam hilft Ihnen gerne weiter.

+41 41 748 88 88

MO bis DO

07.30 bis 17.30 Uhr

FR

07.30 bis 17.00 Uhr

HINWEIS: Sonderdimensionen auf Anfrage möglich