

Belegarbeit Sicherheit und Zuverlässigkeit

# Ständerbohrmaschine

Hochschule Heilbronn

Fred Härtelt

Winter Semester 2022/2023

16.01.2023

Fakultät: Mechanik und Elektrotechnik

Studiengang: Automotive Systems Engineering

Marc Grosse (210233), Moritz Höhnel (210258) und Mattis Ritter (210265)

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Festlegung der Grenzen .....	2
2.1 Verwendungsgrenzen.....	2
2.2 Räumliche Grenzen .....	2
2.3 Zeitliche Grenzen.....	3
2.4 Weitere Grenzen .....	3
3. Festlegung der Risikoprioritätszahl .....	4
4. Fehler Möglichkeits- und Einfluss-Analyse.....	5
4.1 Produkt-FMEA .....	5
4.2 Prozess-FMEA .....	9
4.3 Risikominderung.....	11
5. Fehlerbaumanalyse .....	13
5.1 Top Event: Stromschlag bei Berührung.....	13
5.2 Top Event: Maschine nicht funktionsfähig .....	14
6. Fazit .....	18
Abbildungsverzeichnis.....	19
Tabellenverzeichnis .....	19
Quellenverzeichnis .....	19

## 1. Einleitung

Für die Ausbildungswerkstatt eines Unternehmens der Metall- und Elektroindustrie soll eine neue Ständerbohrmaschine angeschafft werden. An dieser sollen die Auszubildenden zum ersten Mal selbstständig an ihren Werkstücken aus Metall, Kunststoff oder auch Holz arbeiten. Da es hauptsächlich um die Vermittlung der Grundlagen wie das einfache Bohren, Senken und Schneiden von Gewinden geht und die Auszubildenden das Handwerk noch richtig erlernen sollen, wird bei der Maschine auf modernste Extras wie beispielsweise Laser gestützte Positionierung verzichtet. Man entscheidet sich daher für die Anschaffung einer etwas älteren Maschine.

Um die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Ständerbohrmaschine zu gewährleisten, wird im Folgenden eine Produkt- und Prozess-Fehlermöglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) durchgeführt. Mit Hilfe dieser Methodik können bereits vor Beginn der Arbeiten potenzielle Fehler- und Sicherheitsrisiken der Maschine aufgedeckt und behoben werden.

Damit es möglich ist die Produkt-FMEA in aussagekräftiger Weise durchführen zu können werden zunächst die Grenzen der Maschine definiert. Anschließend wird die maximal vertretbare Risikoprioritätszahl (RPZ) festgelegt. Durch diese wird festgelegt wann es Handlungsbedarf zur Optimierung der Sicherheit und Zuverlässigkeit gibt.



Abbildung 1: Ständerbohrmaschine

Vor Inbetriebnahme wird die Prozess-FMEA durchgeführt, um auch auf mögliche Risiken im Arbeitsprozess reagieren zu können, um ein sichereres Arbeitsumfeld für die Auszubildenden zu schaffen und eine möglichst hohe Qualität der Erzeugnisse sicherzustellen.

Ist bei der FMEA eine höhere als die zulässige RPZ erreicht worden, so gilt es Maßnahmen festzulegen und zu implementieren, mit denen die RPZ mindestens auf den maximal zulässigen Wert gesenkt werden kann. Zusätzlich werden in manchen Fällen auch Maßnahmen zur Senkung der RPZ formuliert, wenn diese trotz nicht vorhandener Notwendigkeit, leicht umgesetzt werden können.

Abschließend wird noch eine Fehlerbaum-Analyse (FTA) des Top-Events, sowie des kritischsten Events der FMEA durchgeführt.

Die FTA ist eine auf boolescher Logik basierende Darstellung von Teilsystemausfällen, die zu einem Gesamtsystemausfall führen können. Sie hilft beim Auftreten von Fehlern die möglichen Ursachen schneller identifizieren zu können.

## 2. Festlegung der Grenzen

### 2.1 Verwendungsgrenzen

#### 2.1.1 Bestimmungsgemäße Verwendung

Zur Bestimmungsgemäßen Verwendung zählt das Bohren von (Sack-) Löchern in verschiedenen Materialien, das Schneiden von Innengewinden mit Maschinengewindebohrern, sowie das Herstellen von Kegel- und Flachsenkungen.

#### 2.1.2 Vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung

Der Bediener wählt die falsche Drehzahl beim Bohrvorgang oder nutzt einen zu großen Vorschub.

Die Ständerbohrmaschine wird ohne regelmäßige Inspektion und Wartung benutzt.

Das Werkstück wird nicht vorschriftsmäßig eingespannt.

Das Werkstück ist aus einem nicht zulässigen Material (siehe 2.4.3).

#### 2.1.3 Einsatzbereich der Maschine

Die Ständerbohrmaschine wird hauptsächlich industriell benutzt. Darüber hinaus gibt es auch private Nutzer, die eine Ständerbohrmaschine in ihrer eigenen Werkstatt haben.

#### 2.1.4 Nutzergruppen

Zu den Bedienpersonen der Ständerbohrmaschine zählen Auszubildende, Ausbilder und Fachkräfte. Diese Personengruppen sind angelernt oder erfahren. Aber auch unerfahrene Personen werden die Maschine bedienen.

Mit der Wartung und Reparatur der Ständerbohrmaschine wird nur ausgebildetes Fachpersonal beauftragt.

### 2.2 Räumliche Grenzen

#### 2.2.1 Beschreibung der Maschine

Der Aufbau der Ständerbohrmaschine wird im Folgenden von unten nach oben beschrieben.

Die Fußplatte bildet die Basis der Ständerbohrmaschine und sorgt für einen stabilen Stand. Aus dieser geht die Säule hervor, an welcher der höhenverstellbare Bohrtisch montiert ist. Dieser kann mit einer Kurbel hoch und runter gefahren werden, sowie auf einer Höhe festgeklemmt werden. Im Bohrtisch sind Nuten eingefräst, damit ein Maschinenschraubstock oder anderes Klemmwerkzeug darauf befestigt werden können. Am Kopf der Säule befindet sich die Bohrvorrichtung. Diese besteht unter anderem aus dem elektrischen Antriebsmotor (Drehstrom asynchron Maschine) und dem Getriebe für die Drehzahl. Die Drehzahl kann mit einem Schalter am Bedienelement auf etwa  $1400 \text{ U/min}$  bzw.  $700 \text{ U/min}$  voreingestellt und mit einem Hebel weiter herunter geregelt werden. Am Bedienelement befindet sich darüber hinaus der An/Aus-Schalter, ein Not-Aus-Schalter und man kann auch die Drehrichtung einstellen. Darüber hinaus gibt es noch ein Griffkreuz für den manuellen Spindelvorschub, mit welchem die Bohrspindel linear bewegt werden kann. Die Bohrtiefe kann mit einem mechanischen Anschlag begrenzt werden. In die Bohrspindel wird das Bohrfutter geklemmt, in welches dann das Werkzeug (der Bohrer) gespannt werden kann.

### 2.2.2 Bewegungsraum

Der Bohrtisch ist höhenverstellbar und schwenkbar, d.h. unterhalb und neben dem Bohrtisch muss ausreichend Platz frei gelassen werden.

### 2.2.3 Platzbedarf des Benutzers

Der Benutzer der Ständerbohrmaschine benötigt in etwa 1,5 Meter Platz vor der Bohrmaschine und einen Meter zu beiden Seiten. Zur Wartung der Ständerbohrmaschine sollte diese auch von hinten zugänglich sein.

### 2.2.4 Mensch-Maschine Schnittstellen

An der Bedieneinheit kann die grobe Drehzahl und die Drehrichtung gewählt werden. Die Feineinstellung der Drehzahl findet mit einem Hebel statt. Die aktuelle Drehzahl wird am Display in Umdrehungen pro Minute angezeigt.

### 2.2.5 Schnittstellen zu anderen Maschinen

Keine.

### 2.2.6 Schnittstellen zur Energieversorgung

Die Ständerbohrmaschine benötigt eine elektrische Energieversorgung. Dabei muss ein Drehstromanschluss vorhanden sein.

## 2.3 Zeitliche Grenzen

### 2.3.1 Vorgesehene Verwendungsdauer

Siehe Herstellerangaben.

### 2.3.2 Empfohlene Wartungsintervalle

Siehe Bedienungsanleitung.

## 2.4 Weitere Grenzen

### 2.4.1 Umwelt

Die Ständerbohrmaschine wird ausschließlich in geschlossenen Räumen, d.h. Werkstätten oder Maschinenhallen, verwendet. Die Maschine kann Sonneneinstrahlung durch Fensterscheiben ausgesetzt sein. Die Temperatur ist nach Arbeitsstättenverordnung auf minimal 12°C und maximal 35°C beschränkt. Je nach Betrieb kann die maximale Temperatur auch höher liegen. Für die private Benutzung ist die Temperatur nicht gesetzlich beschränkt. Allerdings ist zu erwarten, dass die maximale und minimale Temperatur kaum überschritten werden.

### 2.4.2 Erforderliche Sauberkeit

Vor und nach jeder Benutzung sollte eine hoher Grad an Sauberkeit, d.h. Spanfreiheit und Trockenheit, vorhanden sein, dabei ist vor allem der Bohrtisch und die Bohrspindel mit der Bohrfutteraufnahme von Relevanz. Während des Bohrvorgangs kann es zu starker Verschmutzung durch Späne und Kühlschmiermittel kommen, welche erst beim Wechseln des Werkstücks oder Werkzeugs zu beseitigen ist.

### 2.4.3 Eigenschaft des zu bearbeitenden Materials

In der Ständerbohrmaschine können Metalle, Kunststoffe und organische Materialien bearbeitet werden. Die richtige Wahl des Bohrwerkzeugs, der Schnittgeschwindigkeit und des Vorschubs liegt dabei am Benutzer.

### 3. Festlegung der Risikoprioritätszahl

In dem folgenden Kapitel wird die Einordnung der Risikoprioritätszahl (RPZ) festgelegt. Dies erfolgt in tabellarischer Form. Die Risikoprioritätszahl ist ein Maß zum Bewerten des Risikos und besonders nützlich, um Aufgaben zu priorisieren. Sie ist Produkt aus Auftretenswahrscheinlichkeit, Bedeutung und Entdeckungswahrscheinlichkeit. Diese wurden nach folgender Tabelle der QZ-Online ermittelt:

Auftretenswahrscheinlichkeit [A]	Bedeutung [B]	Entdeckungswahrscheinlichkeit [E]
<b>1 unwahrscheinlich</b> - es ist unwahrscheinlich, dass ein Fehler auftritt - geht gegen 0	<b>1</b> - es ist unwahrscheinlich, dass der Fehler irgendeine wahrnehmbare Auswirkung auf das Verhalten des Produkts oder Systems haben könnte - der Kunde wird den Fehler wahrscheinlich nicht bemerken	<b>1 hoch</b> - funktioneller Fehler, der nahezu sicher bei den nächsten Arbeitsgängen bemerkt wird - größer 99,99%
<b>2-3 sehr gering</b> - die Konstruktion entspricht generell früheren Entwürfen, für die verhältnismäßig geringe Fehlerzahlen gemeldet wurden - ca. 1:20.000 – 1: 10.000	<b>2-3</b> - der Fehler ist unbedeutend und der Kunde wird nur geringfügig belästigt - der Kunde wird wahrscheinlich nur eine geringfügige Beeinträchtigung des Systems bemerken	<b>2-5 mittel</b> - offensichtlicher Fehler, der z.B. 100% automatisch geprüft wird und den Kunden wahrscheinlich nicht erreichen wird - größer 99,7%
<b>4-6 gering</b> - die Konstruktion entspricht generell früheren Entwürfen, bei denen gelegentlich, aber nicht im größeren Maße, Fehler auftraten - ca. 1:2.000 – 1: 200	<b>4-6</b> - mittelschwerer Fehler, der Unzufriedenheit bei einigen Kunden auslöst - der Kunde wird die Beeinträchtigung bemerken und dadurch belästigt sein	<b>6-8 gering</b> - leicht zu erkennender Fehler, der z.B. mit einer 100% Funktionsprüfung kontrolliert wird - größer 98%
<b>7-8 mäßig</b> - die Konstruktion entspricht generell Entwürfen, die in der Vergangenheit immer wieder Schwierigkeiten verursachten - ca. 1:100 – 1: 20	<b>7-8</b> - schwerer Fehler, der den Kunden verärgert - Sicherheitsaspekte oder gesetzliche Überschreitungen sind aber nicht betroffen	<b>9 sehr gering</b> - nicht leicht zu erkennendes Fehlermerkmal, das 100% visuell oder manuell geprüft wird - mindestens 90%
<b>9-10 hoch</b> - es ist nahezu sicher, dass Fehler im größeren Umfang auftreten werden - ca. 1:10 – 1:2	<b>9-10</b> - äußerst schwerer Fehler, der zum „Liegenbleiben“ führt oder möglicherweise die Sicherheit und/oder Einhaltung gesetzlicher Vorschriften beeinträchtigt	<b>9 unwahrscheinlich</b> - verdeckter Fehler, der in der Fertigung oder Montage nicht erkannt wird, da das Merkmal nicht geprüft wird bzw. werden kann

Tabelle 1: Auftretenswahrscheinlichkeit, Bedeutung und Entdeckungswahrscheinlichkeit

Daraus folgend liegt der Wertebereich zwischen 1 und 1000. Die Tabelle ordnet RPZ-Werten eine Fehlerrisikostufe zu und legt fest, ob und in welchem Maß Handlungsbedarf besteht. Wir haben uns für die folgende Tabelle entschieden:

RPZ	Fehlerrisiko	Handlungsbedarf	Maßnahmen
<b><math>100 \leq \text{RPZ} \leq 1.000</math></b>	hoch	dringender Handlungsbedarf	müssen formuliert und umgesetzt werden
<b><math>50 \leq \text{RPZ} \leq 100</math></b>	mittel	Handlungsbedarf	sollten formuliert und umgesetzt werden
<b><math>2 \leq \text{RPZ} \leq 50</math></b>	akzeptabel	kein zwingender Handlungsbedarf	können formuliert und umgesetzt werden
<b><math>\text{RPZ} = 1</math></b>	keines	kein Handlungsbedarf	keine

Tabelle 2: RPZ

Dies ist die Standardtabelle, wie sie im Organisationshandbuch des BMI zu finden ist. Es wurde entschieden keine Änderungen festzulegen. Die beschriebene Maschine ist eine handelsübliche Bohrmaschine. Außerdem ist dies eine allgemeine Einstufung einer Ständerbohrmaschine, es werden also keine Sonderfälle betrachtet. Dies ist kein besonders gefährliches Gerät, dennoch haben wir uns entschlossen die maximal zulässige RPZ nicht zu erhöhen, um die Auszubildenden zu schützen und eine möglichst lange Lebensdauer der Maschine zu gewährleisten. Darüber hinaus ist die Maschine in keinem kritischen Prozess involviert oder die „Engstelle“ eines Prozesses, weshalb wir die maximal zulässige RPZ auch nicht verringert haben.

Somit ist festgelegt, dass wir RPZ-Werte bis 50 als akzeptabel einordnen. Bei Werten, die darüber liegen besteht Handlungsbedarf. Maßnahmen sollten oder müssen formuliert und auch umgesetzt werden.

## 4. Fehler Möglichkeits- und Einfluss-Analyse

### 4.1 Produkt-FMEA

Bei dieser FMEA handelt es sich um eine System-FMEA Produkt. Es wird die Einzelanschaffung eines fertigen Produktes betrachtet.

Im Folgenden wird die Herleitung der FMEA beschrieben. Im Erstellungsprozess wurden zuerst alle Fehlerarten zusammengetragen und kategorisiert. Es gibt die Kategorien Elektronik und Mechanik. Die Kategorie Elektronik ist nochmals unterteilt in die Bedienelemente (Elektronik 1) und die restliche Elektronik (Elektronik 2).

Nachdem die Fehlerarten aufgeschrieben waren, wurde die Analyse dieser durchgeführt. Dabei wurden Fehlerauswirkungen, Fehlerursachen und Kontrollmaßnahmen dokumentiert. Darauf folgend wurden die normierten Wahrscheinlichkeiten des Auftretens und der Entdeckung analysiert. Bevor der RPZ-Wert berechnet werden konnte, musste die Bedeutung des Fehlers festgelegt werden.

Das entstehende Ergebnis zeigte, in welchen Punkten Maßnahmen erforderlich waren. Diese haben wir im Anschluss ergriffen. Auch bei Fehlerarten, welche im akzeptablen Bereich lagen, wurden teilweise Maßnahmen ergriffen. Wir haben dies gemacht, wenn es sich um einfache Maßnahmen handelte, welche das Risiko jedoch trotzdem sinnvoll minderten.

## 4.1.1 Elektronik

Fehler Art	Fehlerauswirkung	Fehlerursache	Kontrollmaßnahme	A	B	E	RPZ	Empfohlene Maßnahmen	Getroffene Maßnahmen	A	B	E	RPZ
Not-Aus-Schalter schaltet nicht ab	Maschine bleibt nicht stehen	Schaltkontakt festgeschweißt, mechanisches Blockieren	Funktionsprüfung	3	10	6	180	Zweiten Notauschalter anbringen, Funktionstest bei jeder Benutzung	Zweiten Notauschalter anbringen, Funktionstest bei jeder Benutzung	2	10	2	40
Not-Aus-Schalter dauerhaft aktiv	Maschine geht nicht an	Kabelbruch, mechanisches Blockieren	Funktionsprüfung	4	9	2	72	Rote Lampe für aktiven Not-Aus einbauen	Rote Lampe für aktiven Not-Aus einbauen	4	9	1	36
Drehzahlumschalter defekt	Grobe Drehzahl nicht mehr umstellbar	Kabelbruch, Kurzschluss, mechanisches Blockieren	Funktionsprüfung	2	8	3	48	-	-	-	-	-	-
Drehrichtungsumschalter defekt	Drehrichtung nicht mehr einstellbar	Kabelbruch, Kurzschluss, mechanisches Blockieren	Funktionsprüfung	2	7	2	28	-	-	-	-	-	-
Anschanter defekt	Maschine startet nicht oder geht von allein an	Kabelbruch, Kurzschluss, mechanisches Blockieren	Funktionsprüfung	2	10	2	40	Grüne Lampe für Anschalter einbauen	Grüne Lampe für Anschalter einbauen	2	10	1	20
Ausschalter defekt	Maschine geht nicht aus oder schaltet dauerhaft aus	Kabelbruch, Kurzschluss, mechanisches Blockieren	Funktionsprüfung	2	10	4	80	Funktionstest vor jeder Benutzung	Funktionstest vor jeder Benutzung	2	10	1	20

Tabelle 3: Elektronik (1)



Fehler Art	Fehlerauswirkung	Fehlerursache	Kontrollmaßnahme	A	B	E	RPZ	Empfohlene Maßnahmen	Getroffene Maßnahmen	A	B	E	RPZ
Motor defekt	Maschine dreht sich nicht	Überlastung, Überhitzung, Kurzschluss	Hauptsicherung	4	9	2	72	Motorschutzschalter	Motorschutzschalter	1	9	2	18
Motor beschädigt	Maschine dreht sich zu langsam oder unrund, Lärmentwicklung	Kabelbruch, fehlerhaft angeschlossen, eine defekte Wicklung	Funktionsprüfung, regelmäßige Wartung	3	7	3	63	Kürzere Wartungsintervalle	Kürzere Wartungsintervalle	2	7	3	42
Körperschluss	Stromschlag bei Berührung	Eingeklemmte Leitung, beschädigte Isolierung	Prüfung bei Inbetriebnahme	3	10	10	300	RCD, regelmäßige Prüfung nach DIN VDE 0100	RCD, regelmäßige Prüfung nach DIN VDE 0100	2	10	2	40
Display zeigt nichts an	Ablesen der aktuellen Drehzahl nicht mehr möglich	Kurzschluss, Kabelbruch	Sichtprüfung	2	5	1	10	-	-	-	-	-	-

Tabelle 4: Elektronik (2)

## 4.1.2 Mechanik

Fehler Art	Fehlerauswirkung	Fehlerursache	Kontrollmaßnahme	A	B	E	RPZ	Empfohlene Maßnahmen	Getroffene Maßnahmen	A	B	E	RPZ
Keilriemen reißt	Bohrspindel dreht sich nicht, Bohrspindel wird nicht abgebremst	Abnutzung, Überlastung	Regelmäßige Wartung	2	10	5	100	Kürzere Wartungsintervalle	Kürzere Wartungsintervalle	2	10	2	40
Rost in Bohrspindel	Kein Rundlauf mehr, Festklemmen des Bohrfutters	Korrosion	Sichtprüfung	7	7	3	147	Am Ende jedes Arbeitstags einfetten, Monatlich Rundlauf mit Messuhr überprüfen	Am Ende jedes Arbeitswoche einfetten, Monatlich Rundlauf mit Messuhr überprüfen	3	7	2	42
Rost an der Säule	Festklemmen der Höhenverstellung des Bohrtisches, Schlechtes Aussehen	Korrosion	Sichtprüfung	7	5	2	70	Am Ende jedes Arbeitstags einfetten	Am Ende jedes Arbeitswoche einfetten	3	5	2	30
Rost am Bohrtisch	Verklemmen der Nutesnteine, Unebenheiten, Schlechtes Aussehen	Korrosion	Sichtprüfung	8	5	2	80	Am Ende jedes Arbeitstags einfetten	Am Ende jedes Arbeitstags einfetten	2	5	2	20
Rost am Anschlag	Festklemmen des Anschlags	Korrosion	Sichtprüfung	6	3	3	54	Am Ende jedes Arbeitswoche einfetten	Am Ende jedes Arbeitswoche einfetten	3	3	3	27
Defektes Lager der Hauptspindel	Starke Lärmentwicklung, Leistungsverlust, kein Rundlauf mehr, Wärmeentwicklung	Abnutzung, Überlastung	Regelmäßige Wartung	5	7	2	70	Kürzere Wartungsintervalle	Kürzere Wartungsintervalle	3	7	2	42
Drehzahlgetriebe klemmt	Drehzahl nur noch in zwei Abstufungen einstellbar	Abnutzung, Verschmutzung durch Fremdkörper	Regelmäßige Wartung	3	8	2	48	-	-	-	-	-	-

Tabelle 5: Mechanik

## 4.2 Prozess-FMEA

Diese FMEA beschreibt die System-FMEA Prozess. Dabei werden Risiken während des Betriebs analysiert. Auch hier wurden zuerst alle Fehlerarten zusammengetragen und dann kategorisiert. Es wurden der Prozess des Bohrens eines Durchgangsloch und Verletzungen bei der Bedienung betrachtet.

### 4.2.1 Bohren eines Durchgangslochs

Prozess	Fehler Art	Fehlerauswirkung	Fehlerursache	Kontrollmaßnahme	A	B	E	RPZ	Empfohlene Maßnahmen	A	B	E	RPZ
Durchgangsloch bohren	Übermaß	Zu hohes Spiel	Kein Rundlauf, asymmetrischer Bohrer, zu hohe Auskraglänge	Messung des Bohrdurchmesser	4	7	2	56	Rundlauf überprüfen, Bohrer nachschleifen, Auskraglänge verkleinern	2	7	2	28
	Gratbildung am Bohrungsausgang	Schlechtes Aussehen, liegt nicht plan an	Zu hoher Vorschub, stumpfer Bohrer	Sichtprüfung	8	4	2	64	Vorschub verringern, Bohrer nachschleifen	6	4	2	48
	Schiefe Bohrung	Wellen stehen nicht orthogonal zu Oberfläche	Ausbruch der Bohrspitze, Werkstück schief eingespannt	Sichtprüfung mit Winkel	2	8	3	48	Führungsfase verkleinern, Spanfreiheit am Schraubstock überprüfen	1	8	3	24
	Schlechte Oberflächengüte	Toleranzen werden nicht eingehalten, Vibrationen, Rattern	Stumpfer Bohrer, falsche Schnittwerte, zu hohe Auskraglänge	Sichtprüfung	4	4	5	80	Bohrer nachschleifen, Schnittwerte anpassen, , Auskraglänge verkleinern	2	4	5	40
	Überhitzung	Hoher Verschleiß des Bohrers, Beschädigung des Werkstücks	Stumpfer Bohrer, falsche Schnittwerte, zu hohe Auskraglänge, unpassendes Bohrwerkzeug, zu geringe Kühlung	Sichtprüfung	4	5	2	40	Bohrer nachschleifen, Schnittwerte anpassen, , Auskraglänge verkleinern, Kühlschmiermittelzufuhr erhöhen	1	5	2	10
	Falsche Positionierung	Bohrung passt nicht zu anderen Bauteilen	Ausbruch der Bohrspitze, zu kleine Zentrierung, Schraubstock ungenügend fixiert	Messung der Bohrungsposition	4	8	2	64	Führungsfase verkleinern, Bohrer nachschleifen, größer Zentrieren	2	8	2	32

Tabelle 6: Durchgangsloch bohren

## 4.2.2 Verletzungen bei Bedienung

Fehler Art	Fehlerauswirkung	Fehlerursache	Kontrollmaßnahme	A	B	E	RPZ	Empfohlene Maßnahmen	Getroffene Maßnahmen	A	B	E	RPZ
Aufwickeln von langen Haaren, Kleidungsstücken und Schmuck	Abtrennung von Gliedmaßen, Fleischwunden, Frakturen	Fahrlässigkeit/ Bequemlichkeit des Benutzers	Eigenständige Kontrolle des Bedieners	3	10	3	90	Hinweisschild an Maschine anbringen	Hinweisschild an Maschine anbringen	2	10	2	40
Spanflug	Leichte Verbrennung, Schnittverletzungen, Augenverletzungen	Unsachgemäße Benutzung, Fahrlässigkeit/ Bequemlichkeit des Benutzers	Eigenständige Kontrolle des Bedieners	7	9	2	126	Hinweisschild für Schutzbrille an Maschine anbringen, Schutzglas mit Endscharter montieren	Hinweisschild für Schutzbrille an Maschine anbringen, Schutzglas mit Endscharter montieren	2	9	2	36
Herumschlagende Werkstücke	Handverletzungen, Schürfwunden, Schnittverletzungen	Unsachgemäße Benutzung, falsches oder kein Einspannen des Werkstücks	Eigenständige Kontrolle des Bedieners	4	9	1	36	Spanfreiheit vor Einspannen herstellen	Spanfreiheit vor Einspannen herstellen	3	9	1	27
Kontakt mit Bohrrölen oder Kühlschmierstoffen	Ätzung der Haut oder Schleimhäute in Auge	Unsachgemäße Benutzung, Fahrlässigkeit/ Bequemlichkeit des Benutzers	Eigenständige Kontrolle des Bedieners	2	9	3	54	Hinweisschild für Schutzbrille an Maschine anbringen	Hinweisschild für Schutzbrille an Maschine anbringen	2	9	2	36

Tabelle 7: Verletzung bei Bedienung

### 4.3 Risikominderung

Der Prozess der Einstufung für die FMEA Werte soll im Folgenden anhand der beiden kritischsten Ereignissen, also den Fehlern mit der höchsten RPZ, erläutert werden.

#### 4.3.1 Körperschluss

Im folgenden Beispiel des Körperschlusses wird näher erklärt, wie wir die RPZ ermittelt und notwendige Maßnahmen zur Risikominderung durchgeführt haben. Der Körperschluss ist nach der ersten Berechnung der RPZ das kritischste Ereignis.

**Auftretenswahrscheinlichkeit:** Ein Körperschluss tritt auf, wenn eine blanke Leitung mit dem Gehäuse oder anderen leitfähigen Teilen in Kontakt gerät. Bei der Ständerbohrmaschine sind alle Leitungen fest verlegt und bewegen sich während des Betriebs nicht mit den beweglichen Teilen mit. Dennoch vibriert die Maschine im angeschalteten Zustand ständig und bei falscher Verwendung auch stärker. Diese Vibrationen können zur Beschädigung der Isolation oder dem Einklemmen einer Leitung führen. Aufgrund der trotzdem recht geringen gemeldeten Fehlerzahl ordnen wir den Wert 3 zu.

**Bedeutung:** Es handelt sich hierbei um einen äußerst schweren Fehler, da das Leben der an der Maschine arbeitenden Person gefährdet wird. Auch Ersthelfer werden hierdurch gefährdet. Wir ordnen der Bedeutung deshalb eine 10 zu.

**Entdeckungswahrscheinlichkeit:** Die Prüfung der Maschine auf Körperschluss wird in der ersten Festlegung der Kontrollmaßnahme nur bei der Inbetriebnahme durchgeführt. Da dieser Fehler nicht mit bloßem Auge zu entdecken ist, ist es unwahrscheinlich den Fehler zu erkennen. Wir vergeben deshalb den Wert 10.

So kommt man auf eine RPZ von 300. Es müssen folglich Maßnahmen formuliert und umgesetzt werden.

**Maßnahmen:** Einbau eines RCDs, weil dieses bei Körperschluss die Versorgung in unter 0,4 Sekunden unterbricht und tödliche Folgen verhindert werden. Dadurch wird ein Körperschluss immer entdeckt, solange das RCD funktionsfähig ist und somit konnten wir diesen Wert auf 2 senken. Die Zweite Maßnahme ist die regelmäßige Prüfung nach DIN VDE 0100, sodass eingeklemmte, blanke oder beschädigte Leitungen auffallen, bevor die Maschine bedient wird. Dadurch kann die weithin auch die Auftretenswahrscheinlichkeit noch stärker verringert werden, sodass wir diesen Wert ebenfalls auf 2 verringern konnten.

Darauffolgend konnte eine neue Einstufung durchgeführt werden. Die Maßnahmen senkten die Wahrscheinlichkeiten genügend. Die neue RPZ beträgt 40. Somit ist man in dem akzeptablen Bereich und es müssen keine weiteren Maßnahmen getroffen werden.

#### 4.3.2 Not-Aus Schalter schaltet nicht ab

Als zweites Beispiel betrachten wir denselben Vorgang für den Fall, dass der Not-Aus Schalter bei Betätigung die Ständerbohrmaschine nicht abschaltet.

**Auftretenswahrscheinlichkeit:** Der Not-Aus Schalter schaltet nicht ab, wenn er mechanisch blockiert ist oder die Kontakte des Öffners festgeschweißt sind. Diese Fehlerursachen sind jeweils nicht sehr wahrscheinlich, allerdings haben wir aus eigener Erfahrung schon einzelne defekte Not-Aus Schalter miterlebt, weshalb wir einen Wert von 3 vergeben.

Bedeutung: Auch bei diesem Fehler ist die körperliche Unversehrtheit des Bedieners in Gefahr. Schaltet die Maschine bei Betätigung des Not-Aus Schalters nicht ab, kann es zu schwerwiegenden Verletzungen kommen, wenn sich zum Beispiel Kleidungsstücke um die Spindel wickeln. Deshalb liegt für uns die Bedeutung bei 10.

Entdeckungswahrscheinlichkeit: Da bisher kein Zeitintervall für eine Funktionsprüfung festgelegt ist, wird der Fehler nur im Rahmen einer gezielten Prüfung entdeckt und damit entspricht dieser Wert der 6.

Die RPZ für diesen Fehler beträgt somit 180 und dadurch müssen Maßnahmen formuliert und umgesetzt werden.

Um die Auftretenswahrscheinlichkeit zu senken empfehlen wir den Einbau eines zweiten Not-Aus Schalters, welcher auch für den Bediener erreichbar sein sollte (z.B. Fußschalter). Durch die Redundanz kann die Wahrscheinlichkeit halbiert werden. Aufgerundet kommen wir somit auf den Wert 2. Um den Fehler öfter zu entdecken, empfehlen wir eine Funktionsprüfung vor jeder Benutzung der Ständerbohrmaschine. Dadurch kann gewährleistet werden, dass ein möglicher Defekt entdeckt wird bevor der Schalter benötigt wird. Ein Ausfall des Not-Aus Schalters während des Betriebs kann aber nicht ausgeschlossen werden. Damit senken wir diesen Wert auch auf 2.

Werden beide Maßnahmen auch so umgesetzt kann die RPZ auf 40 gesenkt werden und es bedarf somit keiner weiteren Maßnahmen.

## 5. Fehlerbaumanalyse

Im Folgenden wird eine Fehlerbaum-Analyse (engl. Fault-Tree-Analysis, kurz FTA) für die zwei Events „Stromschlag bei Berührung“ und „Maschine nicht funktionsfähig“ durchgeführt.

Das Event „Stromschlag bei Berührung“ ist das Event mit der höchsten RPZ, weshalb hierfür eine separate FTA durchgeführt wird.

Das Top-Event „Maschine nicht funktionsfähig“ wird anschließend in mehrere Fehlerbäume untergliedert, sodass es übersichtlich bis zu den Basis-Events aufgeschlüsselt wird.

Mithilfe dieser FTA ist es später möglich beim Ausfall des Systems die Ursache auf Untersysteme oder einzelne Komponenten zurückzuführen, wodurch der Fehler möglichst effizient behoben werden kann.

### 5.1 Top Event: Stromschlag bei Berührung

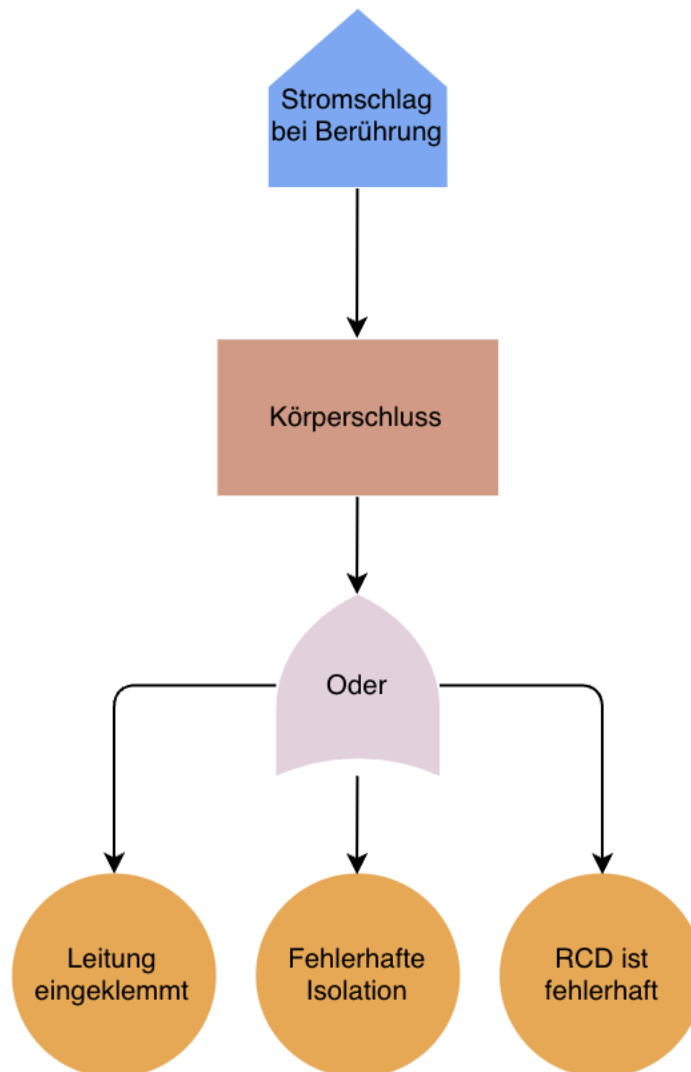


Abbildung 2: Top Event: Stromschlag bei Berührung

## 5.2 Top Event: Maschine nicht funktionsfähig

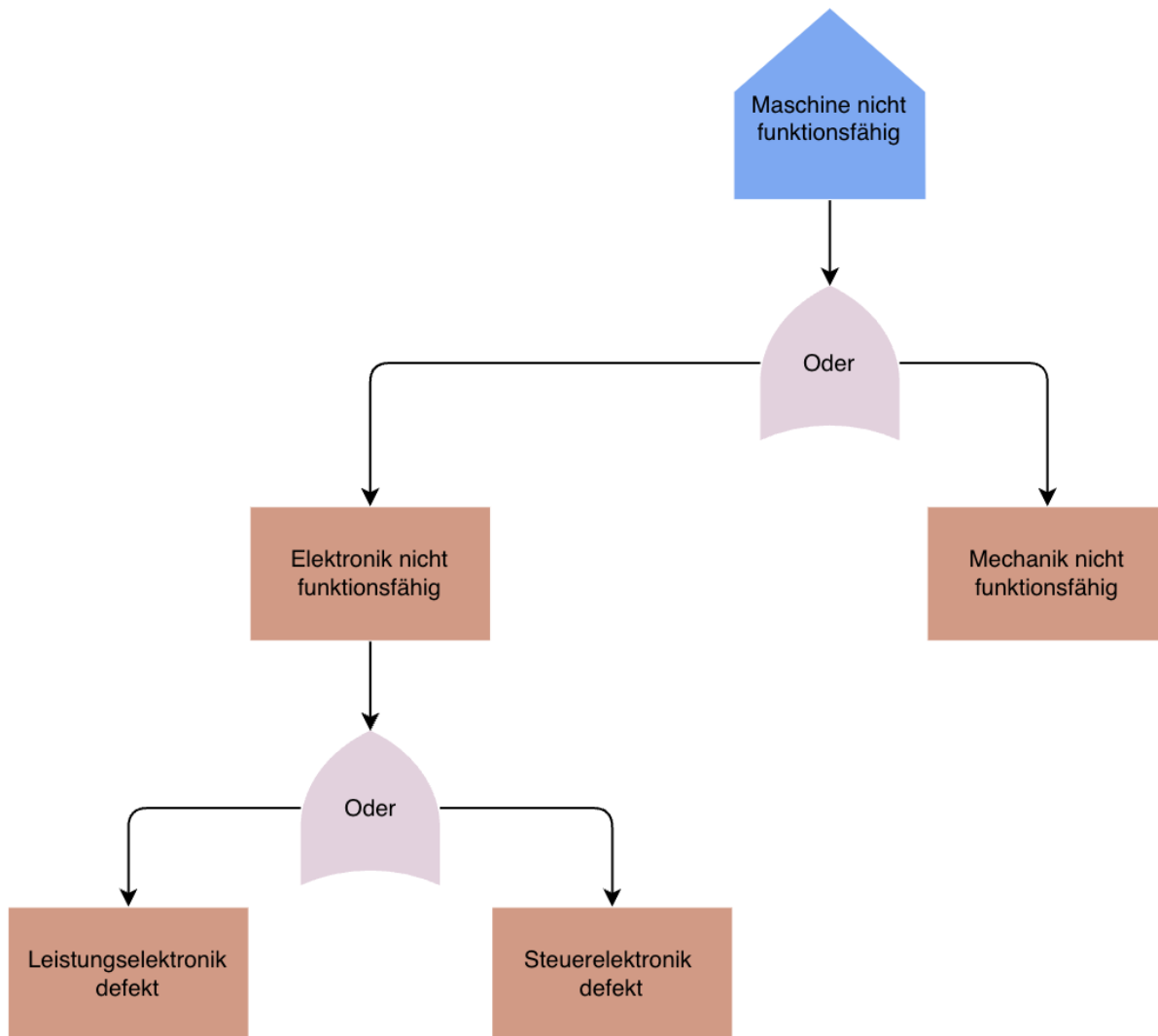


Abbildung 3: Top Event: Maschine nicht funktionsfähig



## 5.2.1 Event: Leistungselektronik defekt

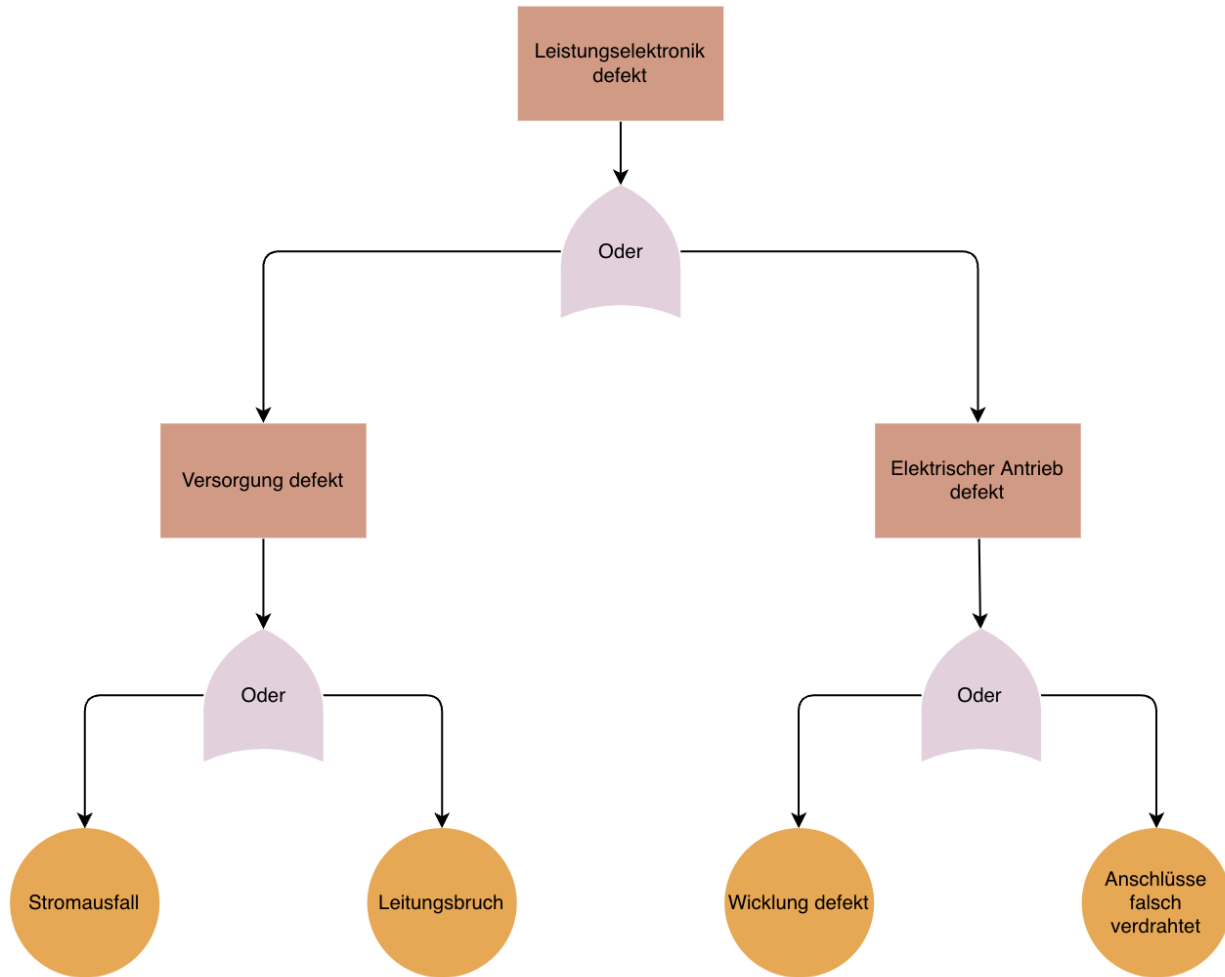


Abbildung 4: Event: Leistungselektronik defekt

## 5.2.2 Event: Steuerelektronik defekt

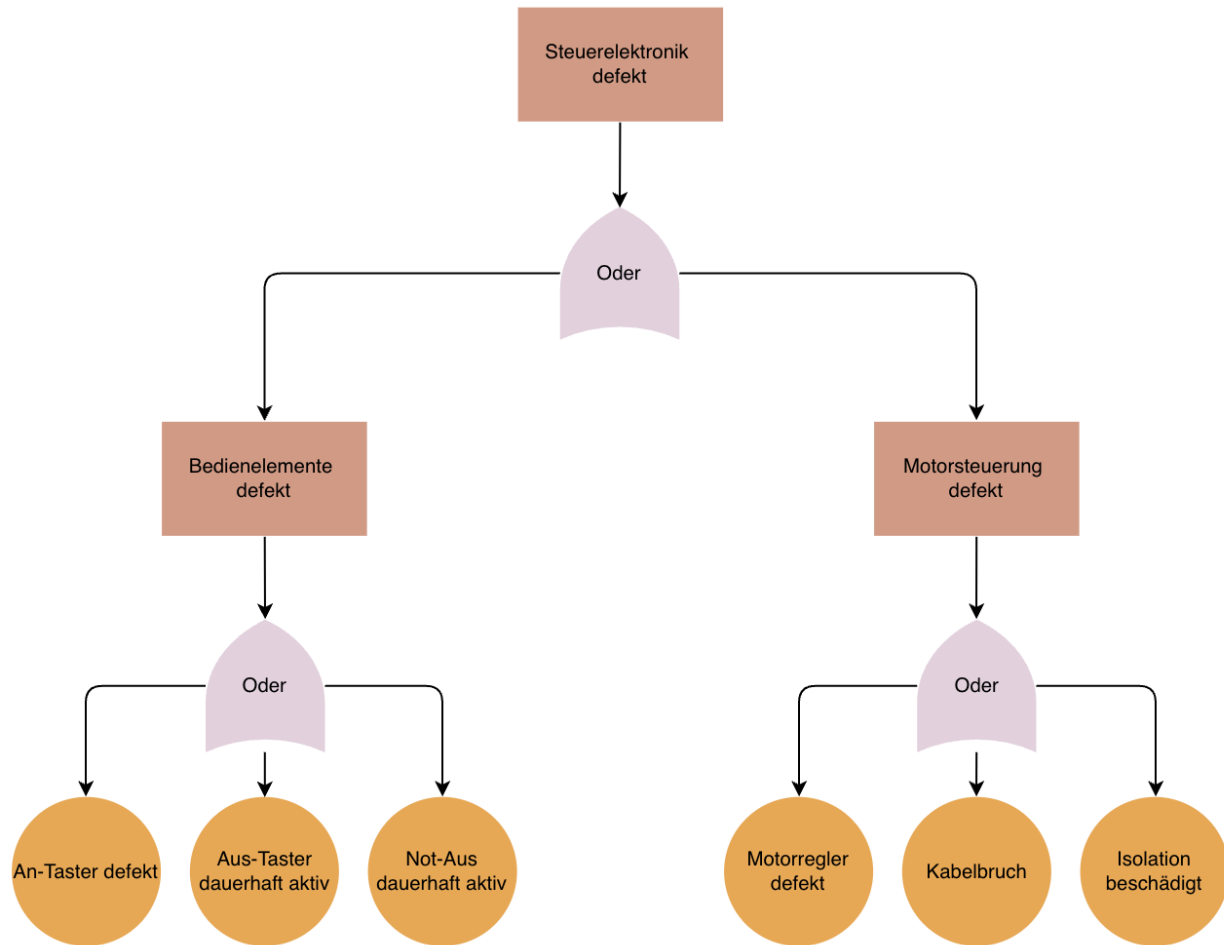


Abbildung 5: Event: Steuerelektronik defekt

## 5.2.3 Event: Mechanik nicht funktionsfähig

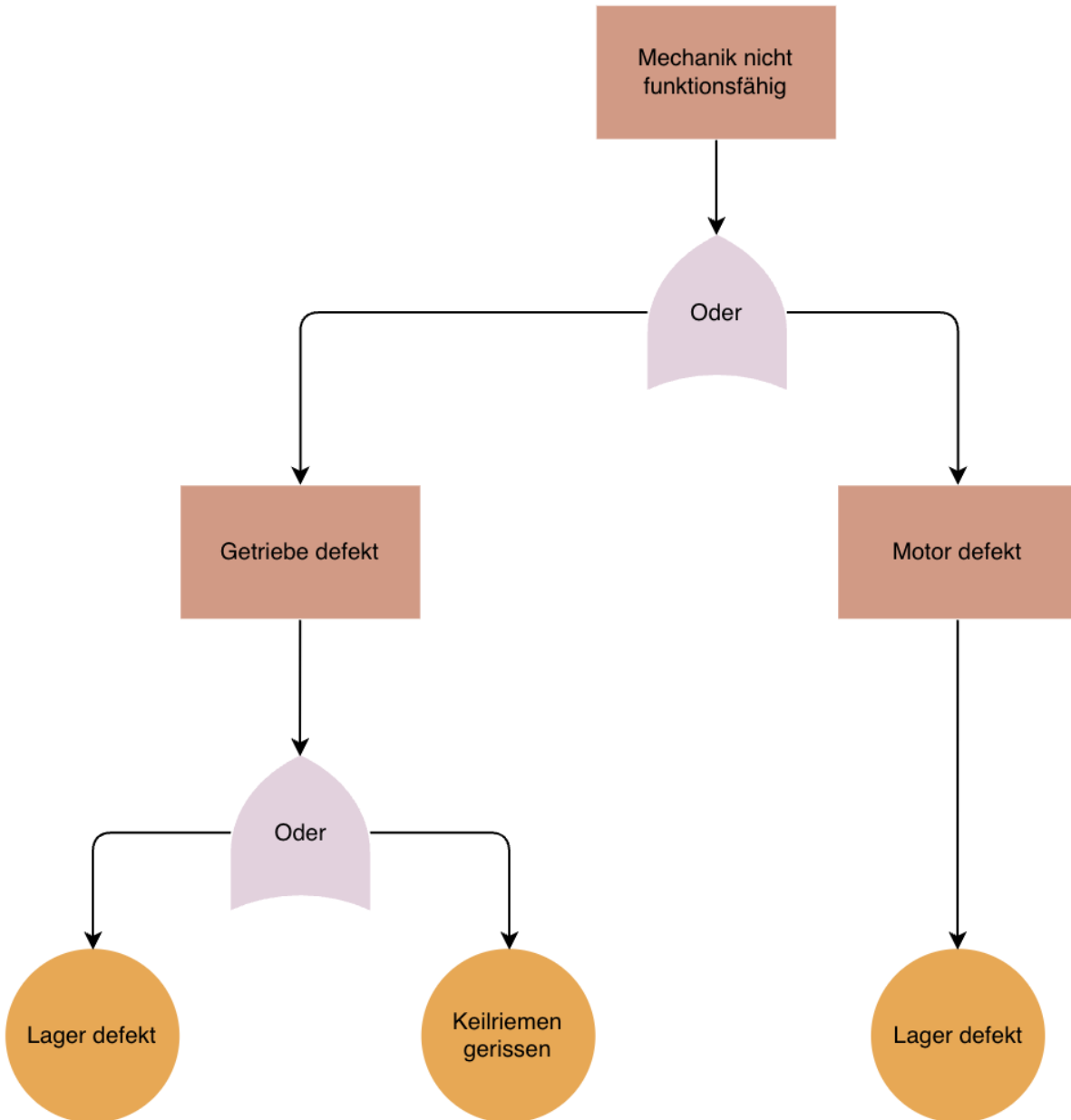


Abbildung 6: Event: Mechanik nicht funktionsfähig

## 6. Fazit

Nach Durchführung der FMEA gab es zunächst einige Fehler deren RPZ über der zuvor vereinbarten Grenze von 50 lag. Durch das Implementieren von geeigneten Schutzmaßnahmen wie beispielsweise das Verbauen eines RCDs oder eines Motorschutzschalters konnten jedoch für alle Fehler die RPZs auf einen Wert von unter 50 gebracht werden.

Sollte es doch zum Ausfall der Maschine kommen, so kann mit Hilfe der erstellten FTA das Fehlerbild analysiert werden und die Fehlerursache möglichst effizient abgestellt werden. Die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Ständerbohrmaschine ist somit im geforderten Maße erreichbar und kann nach Umsetzung der Maßnahmen in der Ausbildungswerkstatt verwendet werden.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ständerbohrmaschine.....	1
- SB 320 SH-1_16.03.2011.indd (wald-garten-maschinen.de)	
Abbildung 2: Top Event: Stromschlag bei Berührung .....	13
Abbildung 3: Top Event: Maschine nicht funktionsfähig.....	14
Abbildung 4: Event: Leistungselektronik defekt.....	15
Abbildung 5: Event: Steuerelektronik defekt .....	16
Abbildung 6: Event: Mechanik nicht funktionsfähig .....	17
- alle selbst erstellt mit Visual Paradigm	

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auftretenswahrscheinlichkeit, Bedeutung und Entdeckungswahrscheinlichkeit .....	4
- selbst erstellt nach qz-online.de	
Tabelle 2: RPZ .....	5
- selbst erstellt nach orgahandbuch.de	
Tabelle 3: Elektronik (1).....	6
Tabelle 4: Elektronik (2).....	7
Tabelle 5: Mechanik .....	8
Tabelle 6: Durchgangsloch bohren.....	9
Tabelle 7: Verletzung bei Bedienung.....	10
- alle selbst erstellt	

## Quellenverzeichnis

**Arbeitsrechte.de:** Arbeitsstättenverordnung: Temperatur in Arbeitsräumen,  
<https://www.arbeitsrechte.de/arbeitsstaettenverordnung-temperatur/> [zuletzt aufgerufen: 02.01.2023]

**QZ-Online.de:** Fehlermöglichkeits- und -Einflussanalyse (FMEA) nach QS-9000  
<https://www.qz-online.de/a/grundlagenartikel/fehlermoeglichkeits-und-einflussanalyse--316815>  
 [zuletzt aufgerufen: 03.01.2023]

**BMI:** Organisationshandbuch,  
[https://www.orgahandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6\\_MethodenTechniken/63\\_Analysetechniken/633\\_FehlermoeglichkeitUndEinflussanalyse/fehlermoeglichkeitundeinflussanalyse\\_inhalt.html](https://www.orgahandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6_MethodenTechniken/63_Analysetechniken/633_FehlermoeglichkeitUndEinflussanalyse/fehlermoeglichkeitundeinflussanalyse_inhalt.html)  
 [zuletzt aufgerufen: 03.01.2023]