



WHZ Westsächsische
Hochschule Zwickau
Hochschule für Mobilität

ENTWICKLUNG EINER PRÜFSTANDSOFTWARE FÜR KICKBACKTESTS BEI KETTENSÄGEN GEMÄSS DER NORM ISO 9518

Fakultät für Physikalische Technik und Informatik
Fachgruppe Informatik

Bachelorarbeit

vorgelegt von

Tillmann Sängler

betreut von

Prof. Dr. Ralf Laue

im Februar 2026

1. Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit dem Forschungs- und Transferzentrum e.V. (FTZ) durchgeführt. Der Verein hat durch die Bereitstellung der erforderlichen Messtechnik sowie durch fachliche, finanzielle und organisatorische Unterstützung wesentlich zum erfolgreichen Abschluss des Bachelorprojekts beigetragen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Matthias Richter und Herrn Prof. Dr.-Ing. Mirko Bodach als Vorsitzenden des FTZ sowie Herrn Prof. Dr. Carsten Keller für die Betreuung dieser Bachelorarbeit. Ihre Unterstützung war essenziell für die Durchführung des Projekts.

Darüber hinaus bedanke ich mich herzlich bei Herrn Dr.-Ing. Matthias Nobis, Herrn Dipl.-Ing. (FH) Marcel Redlich sowie Herrn Tom Voigtländer, die mich durch ihre fachliche Expertise und ihr entgegengebrachtes Vertrauen unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

1. Danksagung	2
2. Abkürzungsverzeichnis	7
3. Einleitung	10
4. Ziel des Projektes	12
5. Theoretische Grundlagen	13
5.1. Tragbare Motorkettensägen und ihre Gefahren	13
5.2. Was ist Kickback?	15
5.3. Risiko von Kickback	16
5.4. Kickback-Schutzeinrichtungen	17
5.4.1. Mechanische Kettenbremseinrichtung	17
5.4.2. Trägheitsbremse	18
5.4.3. Spitzenschutz	19
5.4.4. Fliehkraftkupplung	19
5.5. Aufbau eines Kickback-Prüfstandes	19
5.5.1. Prüfstand-Grundgestell	19
5.5.2. Linear beweglicher Schlitten	20
5.5.3. Rotierender Hebelarm	20
5.5.4. Schaltereinheit	20
5.5.5. Relais-Einheit	20
5.6. Normgerechter Test einer tragbaren Motorkettensäge	21
5.6.1. Rückschlagsimulation gemäß ISO 9518	21
5.6.2. Ermittlung der Simulationsparameter	22
6. Entstehung des Projekts	23
7. Erarbeitung der Anforderungen an die Software	25
7.1. Brainstorming im Vorfeld des Projekts	25
7.2. Think-Aloud beim Nutzen der vorhandenen Software	25
7.3. Prozessbegleitende Tests an einer tragbaren Motorkettensäge	25
7.4. Studium der ISO 9518-Norm	26
8. Anforderungen an die Software	27
8.1. Berechnung von Rückschlagenergien	27

8.2.	Umsetzung der Simulationsrechnung	27
8.3.	Validierung der Simulationsrechnung	27
8.4.	Nutzerführendes Design	27
8.5.	Kalibrierbarkeit des Prüfstands und der Sensoren	28
8.6.	PC-gestützte Bedienung und Anzeige aktueller Messgrößen	28
8.7.	Ausgabe eines maschinell erstellten Prüfprotokolls	29
8.8.	Intuitive Eingabe von Daten	29
8.9.	Freie Bedienung des Prüfstands	29
8.10.	Anpassbarkeit an zukünftige Testszenarien	29
8.11.	Anpassbarkeit der Oberfläche	30
9.	Konzeption der Prüfstandssoftware	31
9.1.	Vorläufiges Softwarekonzept	31
9.2.	Verbesserung auf Basis anderer Softwarelösungen	32
9.3.	Umsetzung einer funktionslosen Oberfläche	33
9.3.1.	Echtzeit-Ansicht	33
9.3.2.	Säge-Ansicht	34
9.3.3.	Testsequenz-Ansicht	34
9.3.4.	Simulations-Ansicht	36
9.3.5.	Validierungs-Ansicht	36
10.	Implementierung der Software	37
10.1.	Wahl der verwendeten Software	37
10.1.1.	NI-Gerätemonitor	37
10.1.2.	Microsoft Visual Studio	37
10.2.	Vorgehen bei der Implementierung	37
10.2.1.	Demoanwendung zur Messkartenkommunikation	37
10.2.2.	Implementierung der Prüfstandshardware	38
10.2.3.	Implementierung der Sensoren	38
10.2.4.	Implementierung der Sägekombinations-Klassen	39
10.2.5.	Implementierung der Sitzungsklasse	40
10.2.6.	Anbindung der Prüfstands-/Sägenoberfläche	40
10.2.7.	Implementierung der Testsequenzklassen	41
10.2.8.	Anbindung der Testsequenzoberfläche	42
10.2.9.	Umsetzung der Sensorkalibrierung	42
10.2.10.	Umsetzung der Persistenz	44
10.2.11.	Umsetzung der Simulation	44
10.2.12.	Umsetzung der Validierung	44
10.2.13.	Umsetzung der automatisierten Protokollgenerierung	45
11.	Überprüfung der Ergebnisse	46
11.1.	Unit-Tests	46
11.2.	Manuelle Tests	46

11.3. Usability-Test	47
11.3.1. Usability-Aufgabe	47
11.3.2. Beschränkung des Usability-Tests	48
11.3.3. Durchführung des Usability-Tests	48
11.3.4. Ergebnis des Usability-Tests	49
11.4. Vergleich mit Testdaten der Norm	49
11.5. Überprüfung der gemessenen Auftreffgeschwindigkeit mittels Hochgeschwin- digkeitskamera	50
12. Fazit	51
13. Ausblick	52
14. Anhang	53
A. beiliegende Dokumente	59
B. Erklärung zur Verwendung maschineller Hilfsmittel	60

Abbildungsverzeichnis

5.1. Aufbau einer tragbaren Motorkettensäge	13
5.2. Aufbau eines Hobelzahns	14
5.3. Aufbau einer Sägekette	14
5.4. Richtung der Kräfte im normalen Betrieb	15
5.5. Beispielkraft beim Sägen mit der Schwertspitze	15
5.6. Funktion der mechanischen Kettenbremseinrichtung	18
6.1. Screenshot von Software 1	23
6.2. Screenshot von Software 2	24
9.1. Wireframe-Konzept der Software	32
9.2. Screenshot der Prüfstandsansicht in der neu entwickelten Software	34
9.3. Screenshot der Sägeansicht in der neu entwickelten Software	34
9.4. Screenshot der Testvorbereitungsansicht in der neu entwickelten Software	35
9.5. Screenshot der Testansicht in der neu entwickelten Software	36
9.6. Screenshot der Simulationsansicht in der neu entwickelten Software	36
10.1. Quellcode zum Ermitteln des Messwertes eines Sensors	39
10.2. Quellcode zur Bestimmung der linearen Energie	41
10.3. Screenshot der Sensorkalibrierung in der neu entwickelten Software	43
10.4. Quellcode zur Berechnung der Kalibrierungskonstanten	43
14.1. Klassendiagramm der Software	54
14.2. Foto des Gesamten Prüfstandes	55
14.3. Foto des im Prüfstand verbauten Hebelarms	55
14.4. Foto des im Prüfstand verbauten Schlittenmechanismus	56
14.5. Screenshot von Software 2 - Testansicht	56
14.6. Screenshot von Software 2 - Sensoransicht	57
14.7. Screenshot von Software 2 - Auftreffgeschwindigkeitsansicht	57
14.8. Testprotokoll des Software Prototyps	58

2. Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Definition
Ablaufende Sägekette	Teil der Sägekette, der sich in Richtung Schwertspitze bewegt.
Antriebszahnrad	Zahnrad, das die Sägekette formschlüssig antreibt und mit der Abtriebswelle gekoppelt ist.
Auslösebügel	Bauteil der mechanischen Kettenbremseinrichtung, das bei Rückschlag oder manueller Betätigung die Bremsfunktion aktiviert.
Batteriebetriebener Kleinentaster	Kleine Batteriebetriebene Kettensäge für kleinere Äste.
Bediener	Person, die eine tragbare Motorkettensäge führt, steuert und kontrolliert.
Bremsband	Ringförmiges Metallband der mechanischen Kettenbremseinrichtung, das sich bei Auslösung um die Kupplungsglocke legt und diese abbremst.
Brustschneide	Vertikale Schneidkante eines Hobelzahns, die den Span vom Werkstoff abtrennt.
Dachschneide	Horizontale Schneidkante eines Hobelzahns, die den Span vom Werkstoff abtrennt.
Einlaufende Sägekette	Teil der Sägekette, der sich vom Antriebszahnrad in Richtung Motoreinheit bewegt.
Elektrische Kettensäge	Kettensäge mit Elektromotor der durch Netzstrom angetrieben wird.
Fliehkraftkupplung	Drehzahlabhängige Kupplung, die durch Zentrifugalkraft selbsttätig Kraftschluss herstellt.
Führungsschiene	Längliches Bauteil mit Führungsnut zur Führung der Sägekette.
Hobelzahn	Schneidglied der Sägekette zur Holzabtragung.
Kettenbremsbügel	Auslösebügel zum aktivieren der mechanischen Kettenbremseinrichtung.
Kickback	Unkontrollierte Rückwärts- und Aufwärtsbewegung der Säge infolge eines Rückschlags an der Schwertspitze.
Kickback-Schutzeinrichtungen	Maßnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit oder Folgen eines Kickbacks.

Kickbackwinkel	Winkel der Drehbewegung der Säge während eines Kickbacks.
Kraftschluss	Drehmomentübertragung durch Reibung zwischen Bauteilen.
Kupplungsglocke	Bauteil der Fliehkraftkupplung zur Drehmomentübertragung auf das Antriebszahnrad.
Leerlaufdrehzahl	Motordrehzahl der Kettensäge ohne Betätigung des Gashahns.
Linker Hobelzahn	Hobelzahn mit Brustschneide auf der Linken Seite.
Masseschwerpunkt	Punkt, in dem die Masse eines Körpers konzentriert gedacht wird.
Mechanische Kettenbremseinrichtung	Mechanisches System zum anhalten oder bremsen der Sägekette.
Mitteldichte Faserplatte (MDF)	Holzwerkstoff aus fein zerfasertem Holz.
Motoreinheit	Sägekombination abzüglich Sägekette und Sägeschwert.
Präventiv	Vorbeugend wirkend.
Prüfstand	Einrichtung zur kontrollierten Untersuchung von tragbaren Motorkettensägen.
Reaktiv	Als Reaktion auf ein Ereignis wirkend.
Reaktionszeit	Zeit des Bedieners auf das Kickbackereignis zu reagieren.
Rechter Hobelzahn	Hobelzahn mit Brustschneide auf der Rechten Seite .
Rückschlag	Bewegung der Säge entgegen der Schneidrichtung durch plötzlichen Widerstand.
Rückschlagtest	Standardisiertes Prüfverfahren zur Bewertung des Rückschlagverhaltens.
Rückschlagwinkel	Maximaler Drehwinkel infolge eines Rückschlags.
Sägekette	Umlaufende Kette mit Schneid- und Verbindungsgliedern.
Sägekombination	Kombination aus Säge, Führungsschiene und Sägekette.
Sägespan	Beim Sägen abgetragenes Material.
Sägeschwert	Bauteil zur Führung der Sägekette.
Schwertschwertspitze	Vorderes Ende des Sägeschwerts mit erhöhter Rückschlaggefahr.
Schnitttiefeinstellung	Einstellung des Tiefenbegrenzers zur Begrenzung der Schnitttiefe.
Schwimmend	Rotationsunabhängig gelagert.
Spitzenschutz	Schutzvorrichtung an der Schwertschwertspitze.
Tiefenbegrenzer	Bauteil der Sägekette zur Begrenzung der Spanabnahme.
Trägheit	Widerstand gegen Bewegungsänderung.
Trägheitsbremse	mechanischen Kettenbremseinrichtung, die durch Massenträgheit ausgelöst wird.

Tragbare Motorkettensäge	Handgeführte motorbetriebene Kettensäge.
Treibglied	Glied der Sägekette, das vom Antriebszahnrad erfasst wird.
Umlenkstern	Zahnrad an der Schwertspitze zur Umlenkung der Sägekette.
Verbindungsglied	Kettenglied ohne Schneidfunktion.

3. Einleitung

Als Teil des normgerechten Prüfprozesses von tragbaren Motorkettensägen werden Rückschlagtests gemäß ISO 9518 durchgeführt. Um tragbare Motorkettensägen normgerecht testen zu können, werden spezialisierte Prüfstände benötigt, welche diese Rückschläge untersuchen.

Ein Rückschlag ist hierbei ein Phänomen, das im Fachjargon als Kickback bekannt ist. Kickback beschreibt ein plötzlich auftretendes Zurückschnellen einer tragbaren Motorkettensäge. Hervorgerufen wird Kickback unter anderem durch den Sägewiderstand an der oberen Spitze des Sägeschwertes der tragbaren Motorkettensäge.

Das Zurückschnellen der tragbaren Motorkettensäge in Richtung des Bedieners birgt ein stark erhöhtes Verletzungsrisiko im Oberkörper- und Gesichtsbereich. Um die Intensität des Zurückschnellens zu verringern, besitzen tragbare Motorkettensägen bestimmte Schutzrichtungen, welche die Bewegung der Sägekette stoppen und ein Gegenmoment zum eigentlichen Rückschlagmoment erzeugen. Dieses Gegenmoment wirkt dem Zurückschnellen der tragbaren Motorkettensäge entgegen und senkt somit das Verletzungsrisiko. Die tragbare Motorkettensäge entwickelt also ein geringeres Moment auf den Bediener, was zu einem kleineren Rückschlagwinkel führt. Außerdem sorgt eine Sägekette, die sich zum Zeitpunkt einer Kollision nicht mehr bewegt, für deutlich weniger schwerwiegende Verletzungen.

Um ein rechtzeitiges Eingreifen der Schutzrichtung zu überprüfen, wird im Prüfstand eine Reihe von Tests durchgeführt, die anschließend zur Berechnung eines theoretischen Wertes genutzt werden, welcher den Rückschlagwinkel einer tragbaren Motorkettensäge beschreibt.

Ein der Norm beiliegendes Flussdiagramm, das die Berechnung dieses theoretischen Wertes veranschaulicht, liefert einen Berechnungsalgorithmus, der in die Prüfstandssoftware integriert werden muss. Die Prüfstandssoftware, welche aus frühen Versionen der Norm stammt, ist nicht mehr zeitgemäß und muss zwingend überarbeitet werden. Zudem haben sowohl hardwaretechnische Änderungen am Prüfstand die bestehende Software inkompatibel gemacht als auch neue Marktanforderungen zusätzlichen Anpassungsbedarf geschaffen. So existiert mittlerweile eine Vielzahl elektrischer Kettensägen sowie batteriebetriebener Kleinentaster, die angepasste Prüfverfahren erfordern.

In der vorliegenden Bachelorarbeit wird die Entwicklung eines Softwareprototyps in Kooperation mit dem Forschungs- und Transferzentrum e.V. (FTZ) beschrieben. Neben der Umsetzung des eigentlichen Softwareprojekts werden auch die Grundlagen des Kickback-

Phänomens erklärt. Ebenso werden wesentliche Aspekte der Norm ISO 9518 erläutert. Diese theoretischen Grundlagen dienen dem besseren Verständnis der Anforderungen an die Software sowie dem Verständnis des vorgesehenen Einsatzzwecks. Dabei werden ausschließlich grundlegende Zusammenhänge und Konzepte dargestellt, um ein einheitliches Verständnis der sicherheitstechnischen und normativen Rahmenbedingungen zu schaffen.

4. Ziel des Projektes

Dieses Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Prototyp-Software, welche das Bedienen des Prüfstands ermöglicht und die Durchführung normgerechter Tests vereinfachen soll. Die Aufgabe der Software besteht darin, eine Schnittstelle zwischen Benutzer und Prüfstand zu schaffen. Dabei soll die Software die Daten der zu testenden Motorkettensäge erfassen, die Durchführung von Tests ermöglichen und den von der Norm in Form eines Flussdiagramms vorgegebenen Algorithmus zur Berechnung des Kickbackwinkels integrieren. Die Software soll den Prüfablauf unterstützen, die Bedienbarkeit des Prüfstands verbessern und eine strukturierte Durchführung der gemäß Norm vorgesehenen Versuchsreihen gewährleisten. Hierzu muss die im Prüfstand verbaute Hardware angesteuert und ausgelesen werden. Die Software soll außerdem ansprechend gestaltet sein und auf der bestehenden Hardware nachinstalliert werden können. Bei erfolgreicher Umsetzung wird die Prototyp-Software nach Abschluss der Arbeit zu einem voll funktionsfähigen Endprodukt weiterentwickelt.

5. Theoretische Grundlagen

Um die Entwicklung einer normgerechten Prüfstandssoftware für Kickbacktests an tragbaren Motorkettensägen durchführen oder nachvollziehen zu können, müssen zuvor einige Aspekte genauer betrachtet werden. Theoretische Grundlagen, wie das allgemeine Funktionsprinzip einer tragbaren Motorkettensäge, die aus dieser Funktion resultierenden Gefahren sowie das genormte Messverfahren zur Einschätzung der Kickbackgefahr sollten dabei verstanden sein. Im Folgenden wird auf diese Aspekte grundlegend eingegangen.

5.1. Tragbare Motorkettensägen und ihre Gefahren

Tragbare Motorkettensägen werden als universelle und flexible Werkzeuge sowohl in großen Teilen der Industrie als auch in vielen privaten Bereichen eingesetzt [1]. Als Grundprinzip wird hierbei eine Sägekette durch eine Motoreinheit entlang einer Führungsschiene beschleunigt. Üblicherweise wird die Sägekette oberhalb der Führungsschiene in Richtung der Spitze der Führungsschiene bewegt. An der Spitze der Führungsschiene wird die Sägekette anschließend umgelenkt und wieder in Richtung der Motoreinheit zurückgeführt [2] (Abbildung 5.1).

Das Umlenken der Sägekette an der Führungsschienspitze erfolgt entweder ausschließlich durch eine gekrümmte Führungsschiene oder mithilfe eines Zahnrads, welches zur Minimierung der Reibungsverluste der Sägekette dient. Dieses Zahnrad wird Umlenkstern genannt. Auf diese Weise läuft die Sägekette kontinuierlich um die Führungsschiene [3].

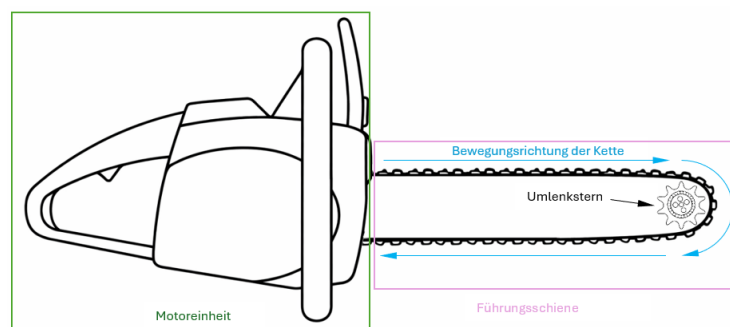


Abbildung 5.1.: Aufbau einer tragbaren Motorkettensäge

Die in der Sägekette eingeketteten Hobelzähne (Abbildung 5.2) sind aufgrund des Hobelprinzips in der Lage, bei Kontakt mit einem Werkstoff Späne abzutragen und diesen somit zu

durchtrennen. Dabei sind bei üblichen Sägeketten die Brustschneide (Abbildung 5.2) und die Dagschneide (Abbildung 5.2) des Zahns für das Abtrennen des Sägespans verantwortlich. Die Dicke des Sägespans wird hauptsächlich durch einen dem Hobelzahn vorgesetzten Tiefenbegrenzer (Abbildung 5.2) bestimmt. Der Tiefenbegrenzer ist hierbei ein rampenförmiges Element, das ohne Materialabtrag am Werkstück reibt. Der Höhenunterschied zwischen der Dagschneide und der Oberkante des Tiefenbegrenzers legt die Dicke des Sägespans fest. Diese Einstellung wird als Schnitttiefeneinstellung bezeichnet. Je größer die Schnitttiefeneinstellung ist, desto dicker ist der vom Hobelzahn abgetragene Sägespan [4].

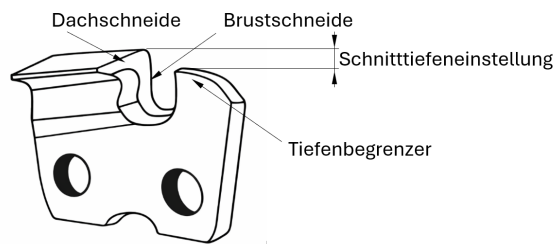


Abbildung 5.2.: Aufbau eines Hobelzahns

Die Sägekette besteht aus einer Aneinanderreihung von Segmenten, die, wie in Abbildung 5.3 dargestellt, miteinander zusammengesetzt sind. Dabei folgt auf einen linken Hobelzahn ein Treibglied, anschließend ein Verbindungsglied, gefolgt von einem Treibglied und einem rechten Hobelzahn [5]. Ein Treibglied dient hierbei zur Kraftübertragung zwischen Motoreinheit und Sägekette [2]. Das abwechselnde Verbauen gleich geschärfter rechter und linker Hobelzähne stellt dabei einen geraden Schnitt sicher [6].

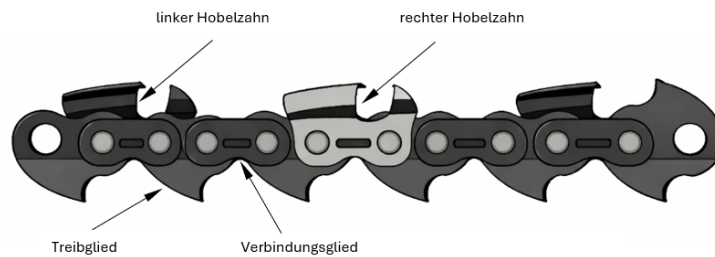


Abbildung 5.3.: Aufbau einer Sägekette

Die zum Abtrennen eines Spans benötigte Kraft wird entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung des Hobelzahns zunächst auf die Führungsschiene, anschließend auf die Motoreinheit und schließlich auf den Bediener übertragen. Die von der Motoreinheit ablaufende Sägekette (Abbildung 5.4) erzeugt dabei eine Kraft in Richtung des Bedieners, während die einlaufende Sägekette eine Kraft in die entgegengesetzte Richtung erzeugt [7].

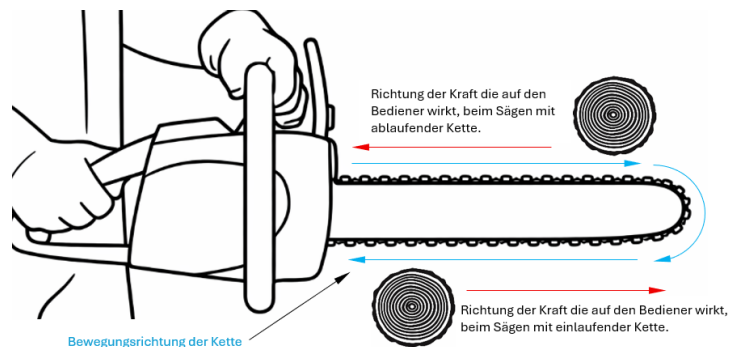


Abbildung 5.4.: Richtung der Kräfte im normalen Betrieb

Im Bereich der Führungsschienenspitze entsteht eine tangential zum Umfang wirkende Kraft, da die Sägekette dort ihre Bewegungsrichtung ändert. Dabei ändert sich die Richtung der wirkenden Kraft innerhalb eines sehr geringen Abstandes stark (Abbildung 5.5) [7].

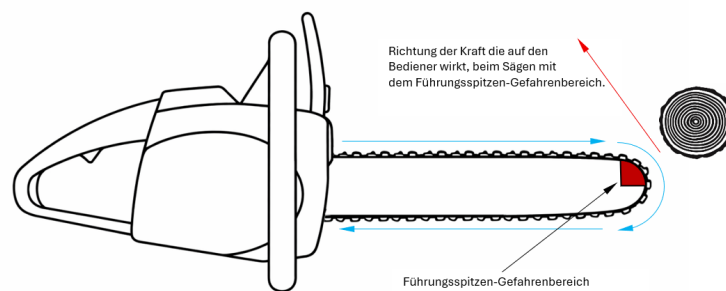


Abbildung 5.5.: Beispielkraft beim Sägen mit der Schwertschneide

5.2. Was ist Kickback?

Kickback als Phänomen bei tragbaren Motorkettensägen beschreibt ein Zurückschlagen der tragbaren Motorkettensäge. Hierbei muss zwischen unterschiedlichen Formen von Kickback unterschieden werden, da Kickback durch verschiedene Ursachen entstehen kann [8].

Kickback durch Einklemmen der Sägekette

Kickback entsteht unter anderem durch ein plötzliches Einklemmen der Sägekette im Werkstück. Dabei kommt die Sägekette innerhalb eines kurzen Zeitraums zum Stillstand. Infolge dessen wird ein Moment auf den Bediener ausgeübt.

Kickback durch Fremdkörper im Werkstoff

Ebenso kann die Sägekette durch Fremdkörper im Werkstoff plötzlich stark abgebremst werden. So führen beispielsweise metallische Einschlüsse im Holz ebenfalls zu einem Moment

der tragbaren Motorkettensäge.

Kickback durch Sägen mit der Schwertspitze

Das für diese Arbeit betrachtete Kickback ist jedoch von der Führungsschienenspitze abhängig. Hierbei entsteht der Kickback durch eine für den Bediener schwer kontrollierbare Krafteinwirkung auf die Spitze der Führungsschiene. Nutzt der Bediener das obere Viertel des Sägeschwertes (Abbildung 5.5), kann es zum Kickback kommen. Dabei führt eine Reihe von Faktoren zur Entstehung des Kickback-Phänomens.

Faktor 1: Tangentiale Krafrichtung

Die dem Hobelzahn beim Abtrennen eines Sägespans entgegenwirkende Kraft wirkt an der Führungsschienenspitze tangential zum Umfang der Führungsschiene. Da diese Kraft an der Spitze des Sägeschwertes angreift, ist die Hebelwirkung bezogen auf den Masseschwerpunkt der tragbaren Motorkettensäge sehr groß (Abbildung 5.5) [9].

Faktor 2: Höhere Schnitttiefe

Beim Umlenken der Sägekette an der Spitze der Führungsschiene ändert sich die relative Lage des Hobelzahns zum Werkstoff. Im Vergleich zum linearen Schneidvorgang entlang der geraden Führungsschiene vergrößert sich an der Führungsschienenspitze der wirksame Höhenunterschied zwischen der Oberkante des Tiefenbegrenzers und der Dachschneide. Dadurch erhöht sich die Schnitttiefe des Hobelzahns. Die Schnitttiefe bestimmt unmittelbar die Dicke des abgetragenen Sägespans. Somit führt eine größere Schnitttiefe zu einer erhöhten Kraft, die dem Hobelzahn beim Schneiden entgegenwirkt. Da diese erhöhte Schnittkraft an der Führungsschienenspitze wirkt, wird sie zusätzlich durch den großen Hebelarm relativ zum Masseschwerpunkt der tragbaren Motorkettensäge verstärkt. In Kombination mit der tangentialen Krafrichtung an der Umlenkstelle führt dies zu einem deutlich erhöhten Drehmoment auf die tragbare Motorkettensäge. Dieses Drehmoment trägt wesentlich zur Entstehung des Kickback-Phänomens bei [10].

Faktor 3: Reaktionszeit

Bereits durch geringe Positionsänderungen an der Schwertspitze ergeben sich starke Änderungen der Krafrichtung, die auf die Führungsschiene und somit auf die tragbare Motorkettensäge wirken. Diese Krafrichtungswechsel treten so schnell auf, dass dem Bediener kaum Zeit zur Reaktion bleibt [3].

5.3. Risiko von Kickback

Bei einem solchen Kickback-Vorfall bewegt sich die tragbare Motorkettensäge entlang des Werkstücks mit der Schwertspitze nach oben. Das Sägeschwert bewegt sich dabei in Richtung des Bedieners. Der Bediener hat in diesem Fall nur eine sehr kurze Reaktionszeit von etwa 0,1 Sekunden, um der auf ihn zukommenden tragbaren Motorkettensäge durch das Aufbringen einer entgegengerichteten Kraft entgegenzuwirken [11, 12]. Gelingt es dem Bediener

nicht, innerhalb dieser Zeit ausreichend zu reagieren, kann das Massenträgheitsmoment der tragbaren Motorkettensäge ausreichen, um durch die ablaufende Sägekette und die bei einer Kollision vorhandene Restenergie schwere Verletzungen zu verursachen [9].

Kickback-Ereignisse führen häufig zu schweren Verletzungen, insbesondere im Kopf- und Gesichtsbereich, und sind in der Vergangenheit wiederholt Ursache für tödliche Unfälle bei Arbeiten mit tragbaren Motorkettensägen gewesen [13].

5.4. Kickback-Schutzeinrichtungen

Um dem Phänomen des Kickbacks entgegenzuwirken, wurden bei tragbaren Motorkettensägen im Laufe der Jahre verschiedene Schutzeinrichtungen entwickelt. Diese sicherheitstechnischen Maßnahmen verfolgen das Ziel, das Risiko eines Kickbacks sowohl präventiv als auch reaktiv zu reduzieren. Präventive Schutzeinrichtungen sind darauf ausgelegt, das Entstehen eines Kickbacks möglichst zu verhindern, beispielsweise durch konstruktive oder funktionale Anpassungen der Maschine. Reaktive Schutzmechanismen hingegen greifen im Falle eines bereits eingetretenen Kickback-Ereignisses ein, um dessen Auswirkungen zu begrenzen. Dadurch soll insbesondere die Intensität der Rückschlagbewegung minimiert und das Verletzungsrisiko für den Anwender deutlich reduziert werden.

5.4.1. Mechanische Kettenbremseinrichtung

Die mechanische Kettenbremseinrichtung stellt ein wesentliches reaktives Sicherheitselement zur Abschwächung von Kickback-Ereignissen dar und wurde in den 1970er-Jahren entwickelt [14]. Ihre primäre Funktion besteht darin, die Bewegung der Sägekette im Falle eines Rückschlags stark zu verlangsamen oder vollständig zum Stillstand zu bringen.

Die Funktionsweise der mechanischen Kettenbremseinrichtung beruht in der Regel auf einem metallischen Bremsband, das ringförmig um die Kupplungsglocke der tragbaren Motorkettensäge angebracht ist. Im normalen Sägebetrieb besteht ein geringer Abstand zwischen dem Bremsband und der Kupplungsglocke, sodass sich diese frei drehen kann. Da die Kupplungsglocke mit dem Antriebszahnrad der Sägekette verbunden ist, wird bei bestehendem Kraftschluss zwischen Motor und Antriebszahnrad die Drehbewegung ungehindert auf die Sägekette übertragen.

Im ausgelösten Zustand der mechanischen Kettenbremseinrichtung sorgt eine vorgespannte Feder dafür, dass das Bremsband gleichmäßig an der Kupplungsglocke anliegt. Durch die große Kontaktfläche zwischen Bremsband und Kupplungsglocke entsteht eine erhebliche Reibung. Da das Bremsband fest mit dem Gehäuse der Motoreinheit verbunden ist und sich somit relativ zur rotierenden Kupplungsglocke nicht mitdrehen kann, führt diese Reibung zu einer effektiven Bremswirkung. Diese Bremswirkung verlangsamt die Drehbewegung der Kupplungsglocke und folglich der Sägekette stark.

Das Auslösen der mechanischen Kettenbremseinrichtung erfolgt über einen sogenannten Kettenbremsbügel, der sich üblicherweise vor dem vorderen Handgriff der tragbaren Motorkettensäge befindet. Die Betätigung dieses Bügels bewirkt die Freigabe der dem Bremsband vorgesetzten Feder, wodurch das Kettenbremsband unmittelbar an die Kupplungsglocke gepresst wird und der Bremsvorgang einsetzt (Abbildung 5.6) [15].

Im Falle eines Kickback-Ereignisses führt die plötzliche Rotationsbewegung der tragbaren Motorkettensäge dazu, dass der Handrücken des Anwenders mit dem Kettenbremsbügel in Kontakt kommt. Überschreitet der Rückschlag dabei einen entsprechenden Winkel, wird durch die mit der Handrückseite auf den Bremsbügel ausgeübte Kraft die mechanische Kettenbremseinrichtung ausgelöst. Auf diese Weise wird die Gefährdung des Anwenders erheblich verringert.

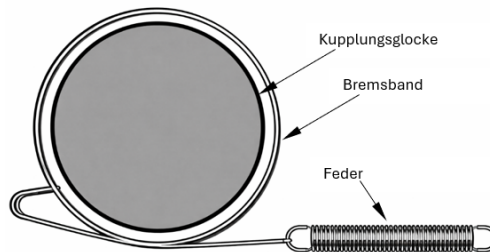


Abbildung 5.6.: Funktion der mechanischen Kettenbremseinrichtung

Durch das Auslösen der mechanischen Kettenbremseinrichtung wird die Bewegung der Sägekette innerhalb von etwa 0,1 Sekunden vollständig zum Stillstand gebracht [11, 12]. Das abrupte Abbremsen der rotierenden Sägekette führt zur Erzeugung eines Drehmoments, das der Bewegungsrichtung des Kickback-Ereignisses entgegengerichtet ist. Dieses entgegengerichtete Drehmoment reduziert die Rückschlagbewegung der tragbaren Motorkettensäge erheblich und trägt dazu bei, die Dynamik des Kickback-Vorfalles abzuschwächen.

5.4.2. Trägheitsbremse

Die Trägheitsbremse ist eine zumeist in die mechanische Kettenbremseinrichtung integrierte Funktion, welche durch die Abstimmung zwischen der Masse des Auslösebügels, der mechanischen Kettenbremseinrichtung und der Auslösekraft der mechanischen Kettenbremseinrichtung umgesetzt wird. Ihre Funktion beruht auf der Trägheit des Auslösebügels der mechanischen Kettenbremseinrichtung.

Kommt es zu einem Kickback-Vorfall der tragbaren Motorkettensäge, bei dem sich die tragbare Motorkettensäge translativ oder rotativ bewegt, löst die mechanische Kettenbremseinrichtung automatisiert aus. Die Masse des Auslösebügels der mechanischen Kettenbremseinrichtung erzeugt in Abhängigkeit von der Beschleunigung der tragbaren Motorkettensäge beim Kickback-Vorfall ein Trägheitsmoment, welches gegebenenfalls ausreicht, um die zum Auslösen der mechanischen Kettenbremseinrichtung erforderliche Kraft aufzubringen [16].

Die wesentlichen Einflussfaktoren sind hierbei die Beschleunigung, welche beim Kickback-Vorfall auf den Auslösebügel der mechanischen Kettenbremseinrichtung wirkt, sowie die Masse des Auslösebügels der mechanischen Kettenbremseinrichtung. Löst die Trägheitsbremse aus, wird die mechanische Kettenbremseinrichtung aktiviert, und es wird zugleich ein Gegenmoment zum Kickback erzeugt.

5.4.3. Spitzenschutz

Als Anbauteil zur Vermeidung des hier betrachteten Kickbacks sind Spitzenschützer erhältlich. Sie verhindern ein Arbeiten im Gefahrenbereich der Schwertspitze, indem dort eine Schutzkappe angebracht wird. Somit stehen für Sägearbeiten ausschließlich die ein- und ablaufende Sägekette der tragbaren Motorkettensäge zur Verfügung. Diese Einschränkung der tragbaren Motorkettensäge verhindert den hier betrachteten Kickback nahezu vollständig, führt in der Praxis jedoch zu so starken Einschränkungen, dass eine Verwendung oftmals nicht praktikabel ist [17].

5.4.4. Fliehkraftkupplung

Eine der grundlegenden Schutzeinrichtungen zur Reduzierung von Kickback-Gefahren bei tragbaren Motorkettensägen ist die Fliehkraftkupplung, die in den meisten benzinbetriebenen Motorkettensägen verbaut ist. Sie ist ebenfalls eine präventive Kickback-Schutzeinrichtung. Ihre Funktion beruht auf einem drehzahlabhängigen Kraftschluss. Dieser Kraftschluss stellt die Kraftübertragung vom Motor der Kettensäge zur Sägekette sicher. Durch das Verbauen einer solchen Fliehkraftkupplung ist gewährleistet, dass sich die Sägekette einer tragbaren Motorkettensäge bei Leerlaufdrehzahl nicht bewegt. Hierdurch werden Kickback-Ereignisse präventiv verhindert. Kommt es beispielsweise bei Leerlaufdrehzahl zu einer Kollision zwischen einem Gegenstand und der Spitze des Sägeschwertes, wird kein Kickback erzeugt.

5.5. Aufbau eines Kickback-Prüfstandes

Prüfstände, welche nach ISO 9518 aufgebaut sind, bestehen aus mehreren Baugruppen, die für die Durchführung der normgerechten Tests erforderlich sind.

5.5.1. Prüfstand-Grundgestell

Als Haupteinheit des Prüfstandes dient das Grundgestell. Auf diesem sind alle weiteren Baugruppen montiert. Zudem dient es als Referenzpunkt für alle Messungen, die am Prüfstand durchgeführt werden. (Abbildung 14.2)

Um die Sicherheit während der Tests zu gewährleisten, sind am Prüfstand-Gestell Türen mit entsprechenden Türkontaktschaltern verbaut. Türkontaktschalter dienen dabei als digitale Sensoren zur Erfassung des Zustands der Türen.

5.5.2. Linear beweglicher Schlitten

Der linear frei bewegliche Schlitten dient zur Aufnahme eines Holzprüfkörpers. (Abbildung 14.4) Dieser Holzprüfkörper wird mithilfe einer Masse in eine definierte Richtung beschleunigt. Die Masse ist dabei an einem Seil befestigt, welches über zwei Umlenkrollen geführt wird und durch seine Gewichtskraft die Beschleunigung erzeugt.

Der Schlitten, welcher den Holzprüfkörper aufnimmt, ist zudem in der Lage, den Winkel des Holzprüfkörpers zu variieren. Dabei ist ein Winkelbereich von 0° bis 35° üblich.

Der frei bewegliche Schlitten kann mithilfe eines digitalen Aktuators arretiert und während eines Tests freigegeben werden. Ein digitaler Aktuator ist ein über ein Schaltsignal betätigter Bolzen. Dieser ist in der Lage den Schlitten gegen Bewegung zu blockieren und bei Aktivierung freizugeben.

Am im Projekt eingesetzten Prüfstand sind außerdem Laserdistanzsensoren montiert. Diese messen unter anderem den Abstand des Schlittens relativ zum Grundgestell sowie den Abstand der umgelenkten Masse relativ zum Grundgestell. Die erfassten Messwerte dienen zur Bestimmung der linearen Energie, die vom Schlitten bei einem Rückstoß aufgenommen wird.

5.5.3. Rotierender Hebelarm

Zur Aufnahme der tragbaren Motorkettensäge dient ein um eine Achse frei beweglicher Hebelarm. (Abbildung 14.3) Die Rotationsachse ist dabei schwimmend auf dem Grundgestell gelagert. Im Hebelarm wird die zu prüfende tragbare Motorkettensäge so montiert, dass sich ihr Masseschwerpunkt auf der Rotationsachse befindet.

Der Hebelarm wird zusätzlich durch zwei Massen zurückgehalten. Dabei ist eine Masse über ein Seil doppelt umgelenkt und direkt mit dem Hebelarm verbunden. Eine weitere Masse hält diese erste Masse über einen Flaschenzugaufbau zurück.

Auch der rotierende Hebelarm kann mithilfe eines digitalen Aktuators arretiert und während des Tests freigegeben werden. Zur indirekten Erfassung des Winkels des Hebelarms werden ebenfalls Laserdistanzsensoren eingesetzt. Ein Sensor misst dabei den Abstand zwischen dem Prüfstandsgestell und der Rückhaltmasse, welche direkt mit dem Hebelarm gekoppelt ist. Ein weiterer Sensor erfasst den Abstand zwischen dem Prüfstandsgestell und der über den Flaschenzug gekoppelten Masse.

5.5.4. Schaltereinheit

Der im Projekt verwendete Prüfstand verfügt zudem über zwei Schaltereinheiten, die zum Auslösen, Steuern und Überwachen des Prüfstandbetriebs genutzt werden können.

5.5.5. Relais-Einheit

Im Prüfstand ist außerdem eine Schaltanlage verbaut, welche die Ansteuerung der Kettensäge über ein Relais ermöglicht. Ein Relais ist hierbei ein elektrischer Schalter, der es abhängig

von der montierten Sägekombination ermöglicht, benzinbetriebene Kettensägen abzuschalten oder elektrische Kettensägen ein- und auszuschalten.

5.6. Normgerechter Test einer tragbaren Motorkettensäge

Bei der Entwicklung tragbarer Motorkettensägen sowie deren Vermarktung in Deutschland stehen den Herstellern zahlreiche nationale und internationale Normen zur Verfügung, die der Gewährleistung eines hohen Sicherheitsniveaus dienen. Diese Normen definieren unter anderem konstruktive Anforderungen, Prüfverfahren und sicherheitsrelevante Kenngrößen, um das Verletzungsrisiko für Anwender zu minimieren. Eine zentrale Rolle im Zusammenhang mit der Beurteilung des Rückschlagverhaltens tragbarer Motorkettensägen nimmt dabei die Norm ISO 9518 [11, 12] ein.

Die Norm ISO 9518 dient zur Überprüfung der Kickback-Eigenschaften sogenannter Sägekombinationen. Unter einer Sägekombination wird die funktionale Einheit aus Motoreinheit, Führungsschiene und Sägekette verstanden. Die Norm legt standardisierte Prüfmethoden zur Ermittlung des Kickbackwinkels mit und ohne Auslösen der reaktiven Kickback-Schutzeinrichtungen tragbarer Motorkettensägen fest. Mittels dieser Prüfmethoden kann ermittelt werden, ob die sachgemäße Funktion der mechanischen Kettenbremseinrichtung sowie der damit verbundenen Trägheitsbremse gewährleistet ist. Außerdem wird der Einfluss der mechanischen Kettenbremseinrichtung auf den erreichten Rückschlagwinkel gemessen und festgehalten.

5.6.1. Rückschlagsimulation gemäß ISO 9518

Aufbauend auf Hochgeschwindigkeitsaufnahmen realer Kickback-Ereignisse bei handgeführten tragbaren Motorkettensägen wurde im Rahmen der Erarbeitung der Norm ISO 9518 ein Computerprogramm entwickelt, das der Norm beigelegt ist. Ziel dieses Programms ist die Berechnung eines theoretischen Kennwertes, der zur Einschätzung des Kickbackwinkels genutzt wird. Das Programm ist Bestandteil der Norm und sowohl in Form eines Flussdiagramms als auch als BASIC-Code dokumentiert. Die für die Berechnung erforderlichen Eingangsparameter stammen aus Messungen, die auf einem speziell hierfür entwickelten Prüfstand durchgeführt werden.

Diese Anlage ermöglicht eine kontrollierte, reproduzierbare und normkonforme Erfassung der relevanten Bewegungs- und Kraftgrößen, die während eines simulierten Rückschlags auftreten. Auf Grundlage der ermittelten Messdaten ist das Computerprogramm in der Lage, den Kickbackwinkel rechnerisch zu bestimmen. Dieser berechnete Rückschlagwinkel dient als späterer Wert zur Einschätzung des Kickbackverhaltens der tragbaren Motorkettensäge.

5.6.2. Ermittlung der Simulationsparameter

Die in der Simulation verarbeiteten Daten werden aus gezielt im Prüfstand herbeigeführten Rückschlägen ermittelt und bilden die Grundlage für die Berechnung innerhalb der Simulation. Die Rückschläge werden hierbei durch die gezielte Kollision eines Holzprüfkörpers mit der sich bewegenden Sägekette im Bereich der Spitze des Sägeschwertes ausgelöst. Hierbei muss eine in der Norm 9518 vorgegebene Auftreffgeschwindigkeit des Holzprüfkörpers gewährleistet sein. Die bei der Kollision entstehenden Rückschlagbewegungen und -kräfte werden mit geeigneter Messtechnik erfasst und aufgezeichnet. Der eingesetzte Holzprüfkörper besteht aus einer mitteldichten Faserplatte (MDF) mit definierter Härte sowie festgelegten geometrischen und mechanischen Eigenschaften. Durch die Verwendung dieses standardisierten Materials wird eine hohe Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse sichergestellt.

Das Prüfverfahren sieht die Durchführung einer Versuchsreihe vor, bei der der Winkel des Holzprüfkörpers relativ zur tragbaren Motorkettensäge systematisch variiert wird. Auf diese Weise können unterschiedliche Bedingungen simuliert werden, wie sie auch im praktischen Einsatz auftreten. Zusätzlich werden die Versuche bei unterschiedlichen Motordrehzahlen durchgeführt, um den Einfluss der Kettengeschwindigkeit auf die auftretenden Rückschlagsenergien zu untersuchen und die maximalen Rückschlagwerte zu bestimmen.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Prüfverfahrens ist die Berücksichtigung der mechanischen Kettenbremseinrichtung. Während eines Rückschlags erzeugt die ausgelöste mechanische Kettenbremseinrichtung ein zusätzliches Moment, das die Dynamik des Systems beeinflusst. Dieses Moment wird im Rahmen der Normprüfungen indirekt ermittelt, indem Versuche mit ausgelöster mechanischer Kettenbremseinrichtung mit entsprechenden Versuchen ohne ausgelöste mechanische Kettenbremseinrichtung verglichen werden. Das von der mechanischen Kettenbremseinrichtung erzeugte Moment wird dabei als Differenzwert zwischen beiden Versuchsreihen angenommen.

Die im Rahmen der Versuche ermittelten Messdaten werden im Anschluss zusammengefasst. Hierbei wird für jede Messgröße der Mittelwert aus mehreren unter identischen Testbedingungen durchgeführten Prüfabläufen gebildet. Durch die Mittelwertbildung wird der Einfluss zufälliger Streuungen reduziert.

Aus der Auswertung ergeben sich Durchschnittswerte für die folgenden Kenngrößen:

- die auf den Holzprüfkörper übertragene lineare Energie
- die auf die tragbare Motorkettensäge übertragene Rotationsenergie

Diese gemittelten Kennwerte bilden die Grundlage für die rechnerische Bestimmung des Kickbackwinkels.

6. Entstehung des Projekts

Bislang kamen am FTZ zwei unterschiedliche Softwarelösungen für den Betrieb des Prüfstands zum Einsatz. Diese Softwarelösungen übernehmen die Kommunikation mit der Steuerungseinheit des jeweiligen Prüfstands und bilden damit das zentrale Bindeglied zwischen dem Nutzer und dem Prüfstand. Sie ermöglichen die Bedienung des Prüfstands, die Parametrierung der Versuche sowie die Erfassung, Visualisierung und Speicherung der während der Prüfungen gewonnenen Messdaten. Mittels der Prüfstandssoftware sollen die Rückschlagenergien für die in der Norm definierten Versuche ermittelt werden. Auf Basis dieser errechneten Energiewerte können die Intensität des Kickbacks und die Wirkungsfähigkeit der mechanischen Kettenbremseinrichtung eingeschätzt werden.

Software 1

Die bislang verwendete Softwarelösung aus dem Jahr 1998 war zum Zeitpunkt ihrer Einführung vollständig funktionsfähig und erfüllte die damals geltenden technischen und funktionalen Anforderungen (Abbildung 6.1). Im Rahmen des vorgesehenen Einsatzbereichs ermöglichte sie einen zuverlässigen Betrieb des Prüfstands sowie die normkonforme Durchführung der Prüfungen. Aufgrund neuerer Steuerelektronik der Prüfstände war eine Übernahme oder Weiterverwendung dieser Software nicht möglich. Aus diesem Grund musste die Software außer Betrieb genommen und durch eine neue Lösung ersetzt werden.

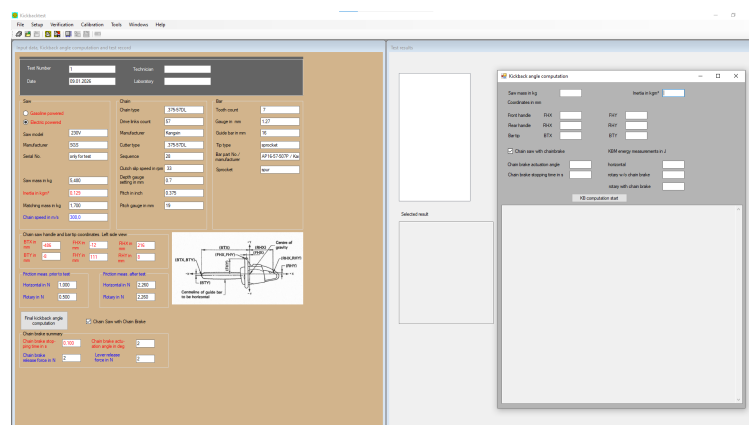


Abbildung 6.1.: Screenshot von Software 1

Software 2

Die Weiterentwicklung dieser Software stellt bereits eine Verbindung zur erneuerten Steuerlogik der Prüfstände her und kann grundlegende Betriebs- und Messdaten abfragen.

Allerdings ist dieser Prototyp (Abbildung 6.2, 14.6 und 14.7) noch nicht in der Lage, den vollständigen normativen Prüfablauf abzubilden. Insbesondere die Durchführung vollumfänglicher Testreihen mit variierenden Kontaktwinkeln des Prüfkörpers sowie unterschiedlichen Motordrehzahlen können innerhalb der Software nicht vollständig verarbeitet und automatisiert dargestellt werden. Dadurch war der Einsatz des Prototyps auf einfache Versuche beschränkt.

Darüber hinaus zeigten sich während der praktischen Nutzung des Prototyps neu auftretende, erweiterte Anforderungen an die Software, insbesondere im Hinblick auf die Bedienbarkeit. Diese Anforderungen ließen sich aufgrund der bestehenden Softwarestruktur nur mit erheblichem Aufwand nachträglich umsetzen. Dies führte zur Entwicklung eines neuen Softwareprototyps, der diesen Anforderungen gerecht werden und zukünftig als zentrale Steuerungs- und Auswertesoftware für die Prüfstände eingesetzt werden soll.

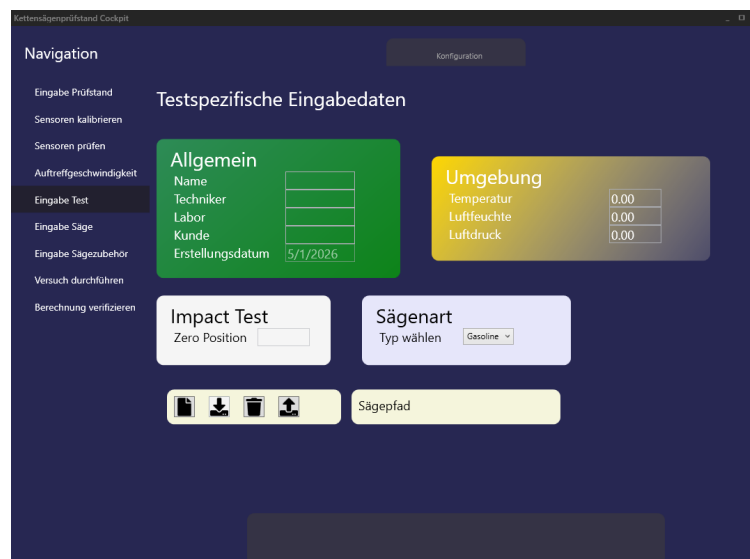


Abbildung 6.2.: Screenshot von Software 2

7. Erarbeitung der Anforderungen an die Software

Für die Entwicklung eines neuen Softwareprototyps ist die systematische Festlegung der Anforderungen an die Software von essenzieller Bedeutung. Nur auf Basis klar definierter funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen kann eine zielgerichtete und nachhaltige Softwarelösung entwickelt werden. Aus diesem Grund erfolgte die Erstellung eines strukturierten Anforderungskatalogs in mehreren aufeinander aufbauenden Schritten.

7.1. Brainstorming im Vorfeld des Projekts

Zu Beginn des Projekts machten sich alle involvierten Personen, darunter Entwickler, Anwender sowie fachlich verantwortliche Experten, Gedanken darüber, welche Aspekte und Funktionalitäten in der Software berücksichtigt werden sollen. Ziel dieser initialen Phase war es, sowohl technische als auch anwenderbezogene Anforderungen frühzeitig zu identifizieren und gegebenenfalls neue Konzepte aufgreifen zu können.

7.2. Think-Aloud beim Nutzen der vorhandenen Software

Anschließend wurde eine Think-Aloud-Studie an der bereits eingesetzten Software durchgeführt. In diesem Rahmen nutzten Entwickler, Anwender sowie fachlich verantwortliche Experten die aktuell eingesetzte Software und verbalisierten während der Bedienung ihre Gedanken, Beobachtungen und auftretenden Schwierigkeiten. Die hierbei identifizierten Probleme und Einschränkungen wurden systematisch dokumentiert und im weiteren Projektverlauf in konkrete Anforderungen an die neue Software überführt.

7.3. Prozessbegleitende Tests an einer tragbaren Motorkettensäge

Als abschließender Schritt wurden reale Tests an tragbaren Motorkettensägen begleitet. Während der Durchführung dieser Versuche konnten zusätzliche Anforderungen identifiziert werden, die sich insbesondere aus dem praktischen Prüfablauf, der Bedienung des Prüfstands

sowie aus der Handhabung der Messdaten ergaben. Auch diese Erkenntnisse wurden in den Anforderungskatalog aufgenommen und flossen in die Definition der Anforderungen an den neuen Softwareprototyp ein.

7.4. Studium der ISO 9518-Norm

Während ein Großteil der Anforderungen aus der Analyse bereits eingesetzter Softwarelösungen sowie aus den Rückmeldungen und Feststellungen der Anwender hervorging, ergaben sich weitere Anforderungen aus den in der zugrunde liegenden Norm definierten Parametern. Diese Parameter müssen innerhalb des Programms genutzt, dargestellt und abgefragt werden. Durch das systematische Herausarbeiten dieser normativen Anforderungen konnten insbesondere die relevanten Bezeichnungen sowie die zugehörigen Einheiten der später zu integrierenden Parameter eindeutig identifiziert werden.

8. Anforderungen an die Software

Die im Rahmen dieser Arbeit erarbeiteten Anforderungen wurden systematisch zusammengefasst und anschließend entsprechend ihrer Relevanz in absteigender Reihenfolge sortiert. Diese Sortierung dient dazu, die wesentlichen Aspekte hervorzuheben. Im Folgenden werden die wichtigsten Anforderungen aufgelistet und erläutert.

8.1. Berechnung von Rückschlagenergien

Die Software muss die bei Rückschlägen erzeugten Energien berechnen und darstellen können. Hierfür werden die Spannungssignale der im Prüfstand verbauten Messkarte ausgelesen und entsprechend aufbereitet. Dies muss für einzelne Messungen möglich sein. Ebenso müssen Mittelwerte für Messungen unter gleichen Bedingungen berechnet werden. Diese Mittelwerte müssen als Grundlage für die Simulationsrechnung nutzbar sein.

8.2. Umsetzung der Simulationsrechnung

Die in der Norm bereitgestellte Simulationsrechnung muss im Programm umgesetzt werden und die Berechnung des Kickbackwinkels gewährleisten. Hierfür soll der im Flussdiagramm bereitgestellte Algorithmus verwendet werden. Die von der Simulation verwendeten Daten sollen dabei aus den Rückschlägen gewonnen werden.

8.3. Validierung der Simulationsrechnung

Um die Durchführung eines normgerechten Tests sicherzustellen, ist eine Validierung der Simulationsrechnung anhand von Testdaten erforderlich. Diese Validierung dient dazu, Simulationsergebnisse zu überprüfen und deren Übereinstimmung mit den normativen Vorgaben nachzuweisen. Zu diesem Zweck ist eine geeignete Benutzeroberfläche bereitzustellen, welche es ermöglicht, sämtliche in der zugrunde liegenden Norm definierten Eingangsdaten vollständig, korrekt und reproduzierbar einzugeben.

8.4. Nutzerführendes Design

Da sich in der Vergangenheit bei vergleichbarer Prüfstandssoftware gezeigt hat, dass die Software häufig als primärer Anhaltspunkt für die Durchführung der Tests herangezogen

wird, ist ein fehlerrobustes und nutzerführendes Design von zentraler Bedeutung. Ziel ist es, den Nutzer innerhalb der Software so anzuleiten, dass auch ohne das gleichzeitige Lesen der zugrunde liegenden Norm jederzeit eindeutig nachvollziehbar ist, welcher nächste Schritt im Prüfprozess auszuführen ist.

Bei der zuvor verwendeten Software war vorgesehen, dass die Norm während der Testdurchführung als maßgebliche Anleitung dient und die Software lediglich als unterstützendes Werkzeug zur Datenerfassung verwendet wird. Diese Vorgabe hat sich in der praktischen Anwendung vergangener Software jedoch als unpraktisch erwiesen. Stattdessen zeigte sich, dass Prüfer die Software in hohem Maße als Anleitung zur Durchführung der Tests nutzen. Aus diesem Grund ist das Softwarekonzept dahingehend anzupassen, dass ein Prüfer allein mithilfe der Software in der Lage ist, eine vollständige und erfolgreiche Überprüfung normkonform durchzuführen. Dies erfordert insbesondere eine klare Strukturierung der Abläufe, eine verständliche Nutzerführung sowie geeignete Mechanismen zur Vermeidung von Bedien- und Eingabefehlern.

8.5. Kalibrierbarkeit des Prüfstands und der Sensoren

Da die entwickelte Software für den Einsatz an einer Vielzahl von Prüfständen vorgesehen ist, muss eine Kalibrierung des jeweils verwendeten Prüfstands sowie der angebundenen Sensorik möglich sein. Die Kalibrierbarkeit stellt sicher, dass Messwerte unabhängig von der konkreten Hardwarekonfiguration korrekt erfasst, verarbeitet und interpretiert werden können. Hierzu ist es erforderlich, dass kalibrierrelevante Parameter flexibel angepasst werden können. Dies umfasst sowohl die Berücksichtigung prüfstandspezifischer Eigenschaften als auch die individuelle Kalibrierung einzelner Sensoren.

8.6. PC-gestützte Bedienung und Anzeige aktueller Messgrößen

Die Bedienung des Prüfstands soll vollständig über einen Computer möglich sein. Hierdurch wird eine zentrale und komfortable Steuerung sämtlicher relevanter Funktionen gewährleistet, ohne dass zusätzliche Bedienelemente am Prüfstand selbst erforderlich sind. Bedienelemente am Prüfstand können redundant verfügbar und nutzbar sein, jedoch müssen sie nicht für die Durchführung des Tests genutzt werden. Darüber hinaus ist eine kontinuierliche Anzeige der aktuellen Messgrößen vorzusehen. Der Anwender soll jederzeit einen Überblick über die momentanen Zustands- und Messwerte erhalten. Diese sollen anschaulich und leicht nachvollziehbar dargestellt werden.

8.7. Ausgabe eines maschinell erstellten Prüfprotokolls

Da die Software als leitendes System zur Durchführung der Tests eingesetzt wird, ist die automatische Erstellung eines Prüfprotokolls erforderlich. Dieses Prüfprotokoll soll sämtliche für die Bewertung des Tests relevanten Daten enthalten und eine nachvollziehbare Dokumentation des gesamten Prüfablaufs ermöglichen. Das maschinell erzeugte Prüfprotokoll umfasst dabei sowohl die eingegebenen Attribute der tragbaren Motorkettensäge als auch die während des Tests erfassten Messwerte in Form der Simulationsergebnisse. Aufgrund des Prototyp-Charakters der Software genügt eine Übersicht der Daten ohne Formatierung. Mit der Ausgabe des Protokolls gilt ein Test innerhalb der Software als abgeschlossen. Eine Auswertung des Tests soll auf Basis des Protokolls möglich sein.

8.8. Intuitive Eingabe von Daten

Die Eingabe der erforderlichen Daten soll für den Anwender leicht verständlich und intuitiv gestaltet sein. Eine klare Strukturierung der Eingabemasken sowie eine verständliche Benennung der Parameter tragen dazu bei, den Bedienaufwand zu reduzieren und die Einarbeitungszeit zu minimieren.

8.9. Freie Bedienung des Prüfstands

Um Kalibrierungen am Prüfstand durchführen zu können sowie gegebenenfalls neuartige oder nicht normgerechte Tests zu realisieren, ist eine freie Bedienung des Prüfstands erforderlich. Diese Funktionalität soll es dem Anwender ermöglichen, unabhängig von fest definierten Testabläufen auf sämtliche relevanten Komponenten des Prüfstands zuzugreifen. Darunter soll eine flexible Anpassung an spezielle Prüfanforderungen verstanden werden, sodass auch Prüfprozesse möglich sind, die nicht durch bestehende Normen abgedeckt sind.

Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass diese Betriebsart klar von normgebundenen Prüfabläufen abgegrenzt ist, um Fehlbedienungen oder unbeabsichtigte Abweichungen von standardisierten Tests zu vermeiden.

8.10. Anpassbarkeit an zukünftige Testszenarien

Um auch für zukünftige Testszenarien und veränderte Prüfanforderungen vorbereitet zu sein, muss die Software die Anpassung des Simulationsalgorithmus zulassen. Insbesondere soll es möglich sein, zusätzliche oder alternative Simulationsalgorithmen in das bestehende System zu integrieren, ohne grundlegende Änderungen an der Softwarearchitektur vornehmen zu müssen.

8.11. Anpassbarkeit der Oberfläche

Die Software soll so konzipiert sein, dass auch fachfremde Entwickler die Benutzeroberfläche weiterentwickeln und anpassen können. Hierzu ist eine klare Trennung zwischen der fachlichen Logik und der Darstellungsebene vorzusehen, sodass Änderungen an der Oberfläche ohne tiefgehende Eingriffe in den Kern der Anwendung möglich sind.

9. Konzeption der Prüfstandssoftware

9.1. Vorläufiges Softwarekonzept

Noch ohne Kenntnis bereits vorhandener Softwareversionen wurde in der Konzeptionsphase ein handgezeichnetes Wireframe erstellt, das erste Ideen zur Gestaltung der Software umsetzte. Ziel dieses Vorgehens war es, grundlegende Konzepte und Bedienstrukturen frühzeitig zu visualisieren und zu konkretisieren. Dabei wurde insbesondere versucht, Ideen, die aus der Analyse und dem Verständnis der zugrunde liegenden Norm abgeleitet wurden, in einer ersten Entwurfsform umzusetzen und festzuhalten. Das Wireframe diente somit als konzeptionelles Hilfsmittel, um Anforderungen und Lösungsansätze strukturiert darzustellen und als Grundlage für die weitere Ausarbeitung der Software zu verwenden.

Als zentrale Bausteine der Software sind zwei dem Nutzer zur Verfügung stehende Bereiche vorgesehen. Der erste Bereich dient der Navigation innerhalb der Anwendung sowie der strukturierten Führung des Anwenders durch die durchzuführenden Tests (Abbildung 9.1).

Bereich zwei dient als detaillierte Ansicht des jeweils ausgewählten Menüpunkts und ermöglicht dem Bediener die Eingabe relevanter Daten sowie die Anzeige von Live-Vorschaudaten. Darüber hinaus erlaubt dieser Bereich einen schnellen Überblick über alle relevanten Punkte eines jeweiligen Themenbereichs (Abbildung 9.1).

Eine weitere Idee bestand darin, Eingabemasken so zu gestalten, dass die Eingabe der in der Norm festgelegten Daten vereinfacht wird. Dabei standen insbesondere die von der Norm vorgegebenen Parameter der tragbaren Motorkettensäge im zentralen Fokus. Da diese Parameter lediglich aus drei Buchstaben bestehen [12] und sich daher leicht vom Bediener verwechseln lassen, soll durch den Einsatz grafischer Hilfsmittel eine eindeutige Zuordnung unterstützt und ein Verwechseln der Parameter vermieden werden (Abbildung 9.1).

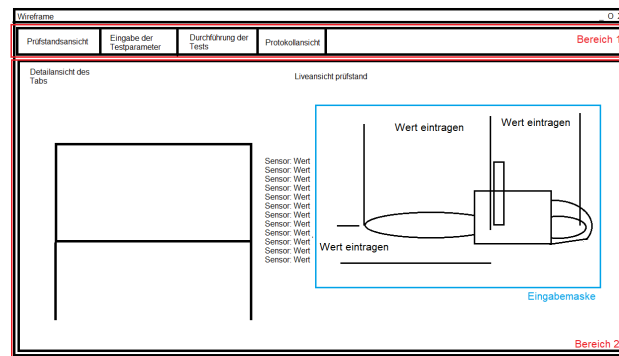


Abbildung 9.1.: Wireframe-Konzept der Software

9.2. Verbesserung auf Basis anderer Softwarelösungen

Anschließend wurden Designkonzepte aus bereits vorhandenen Softwarelösungen untersucht. Dabei wurde auf die während der Benutzungstests angelegten Notizen zurückgegriffen. In der zuerst analysierten Softwarelösung wurde festgestellt, dass sich die Eingabemaske in ihrer Struktur stark am später von der Software ausgegebenen Prüfprotokoll orientiert. Dieser Ansatz wurde als positiv angesehen und soll perspektivisch in ähnlicher Form in die neue Software übernommen werden.

Eine Validierung der Simulationsrechnung innerhalb der Software mithilfe der in der Norm bereitgestellten Validierungsdaten erfolgt in Software 1 über einen im Menü verfügbaren Unterpunkt, der eine hierfür vorgesehene Oberfläche aufruft. Diese Funktionalität wurde als sinnvoll und zweckmäßig bewertet und soll daher in ähnlicher Form in das neue Softwarekonzept übernommen werden.

Die Kalibrierung der Sensoren ist in Software 1 ebenfalls als eigener Menüpunkt umgesetzt. Während der durchgeführten Tests entstand hierzu die Idee, den Kalibriervorgang künftig direkter in die visuelle Darstellung der Prüfstandsansicht zu integrieren, um den Ablauf für den Anwender intuitiver und übersichtlicher zu gestalten.

Die in Software 2 verwendete vertikale Navigation erwies sich während der Tests als besonders hilfreich, da sie dem Bediener die Reihenfolge des Testablaufs anschaulich vermittelt (Abbildung 14.5). Diese Form der Nutzerführung wurde von den Softwarenutzern auf Nachfrage als positiv bewertet und soll im weiteren Verlauf gezielt ausgebaut werden.

Ein weiterer in Software 2 positiv bewerteter Aspekt ist die farbliche Gruppierung von Themenbereichen (Abbildung 14.5). Durch die Verwendung gleicher Farben zur Kennzeichnung zusammengehöriger Inhalte wird deren Zusammengehörigkeit visuell hervorgehoben, was die Orientierung erleichtert und die Bedienbarkeit der Software insgesamt verbessert.

Ebenso zeigte sich, dass einige Parameter nur unzureichend oder ungenau beschriftet sind, was beim Bediener zu Verwechslungen führen kann. Für die Neuentwicklung ist daher auf eine präzise und eindeutige Bezeichnung aller Parameter zu achten (Abbildung ??).

Auf Basis der während der Nutzertests gesammelten Daten sowie der im Rahmen des Brainstormings erarbeiteten Ideen wurde eine Prototyp-Oberfläche entwickelt. Zu diesen Daten zählen unter anderem Softwarekonzepte, die von den Nutzern als besonders praktikabel hervorgehoben wurden, ebenso wie Ideen und Verbesserungsvorschläge, die sich vor oder während der Nutzung der Software ergaben.

9.3. Umsetzung einer funktionslosen Oberfläche

Die zuvor entwickelte Oberfläche wurde direkt im Oberflächeneditor von Microsoft Visual Studio erstellt. Zur besseren Veranschaulichung und zur Erzeugung eines praxisnahen Eindrucks wurde die Oberfläche mit Demodaten befüllt. Dadurch konnte eine realistische Visualisierung des späteren Softwareverhaltens erreicht und ein erster Eindruck der geplanten Benutzeroberfläche im praktischen Einsatz gewonnen werden.

9.3.1. Echtzeit-Ansicht

Die Liveansicht des Prüfstands stellt den ersten Punkt der Navigation dar und ermöglicht dem Bediener die kontinuierliche Überwachung des Prüfstands. In diesem Bereich können aktuelle Messwerte in Echtzeit eingesehen sowie gegebenenfalls notwendige Kalibrierungen durchgeführt werden. Darüber hinaus ist eine weitgehende Bedienung des Prüfstands über diese Ansicht möglich. Gleichzeitig werden alle für die spätere Protokollerstellung erforderlichen Messwerte vom Prüfstand erfasst.

Der Nutzer hat zudem die Möglichkeit, Prüfstandskonfigurationen zu speichern. Durch das Abspeichern dieser Konfigurationen können zwischen einzelnen Tests konstante Kalibrierzustände gewährleistet und die Rüstzeiten zur Vorbereitung der eigentlichen Prüfungen reduziert werden. Zusätzlich erlaubt dieser Modus eine ungeführte Steuerung des Prüfstands. Diese Funktion ist insbesondere in der Testvorbereitung von Bedeutung, da sie das Ausrichten der tragbaren Motorkettensäge sowie das Einstellen der Schlittenparameter erleichtert.

Innerhalb der Prüfstandsoberfläche werden außerdem die Reibungswerte des Rotationsarms, an dem die tragbare Motorkettensäge befestigt ist, sowie die Reibung des Horizontalschlittens erfasst, welcher den Prüfkörper auf die Schwertspitze beschleunigt. Die grafische Darstellung des Prüfstands orientiert sich dabei eng am realen Aufbau und bildet die wesentlichen Komponenten übersichtlich und verständlich ab (Abbildung 9.2).

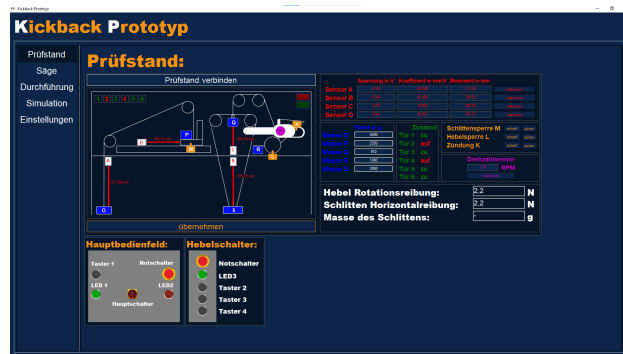


Abbildung 9.2.: Screenshot der Prüfstandsansicht in der neu entwickelten Software

9.3.2. Säge-Ansicht

Unter dem Navigationspunkt “Säge” (Abbildung 9.3) werden alle relevanten Eingabedaten zur verwendeten tragbaren Motorkettensäge erfasst. Dabei erfolgt eine Unterteilung in die einzelnen Baugruppen der Sägekombination, um eine strukturierte und nachvollziehbare Dateneingabe zu ermöglichen. Die Baugruppen sind in optisch getrennten Bereichen angeordnet, sodass eine klare logische Trennung zwischen den einzelnen Komponenten gewährleistet ist.

Das Speichern und Laden einzelner Bauteile ist ebenfalls vorgesehen, um die Konfiguration einer Sägekombination effizient und zeitsparend zusammenstellen zu können. Die für die Sägekombination zu erfassenden Koordinaten werden darüber hinaus direkt in einer hierfür vorgesehenen grafischen Darstellung eingegeben. Dadurch werden Verwechslungen vermieden und die Dateneingabe für den Benutzer erleichtert.

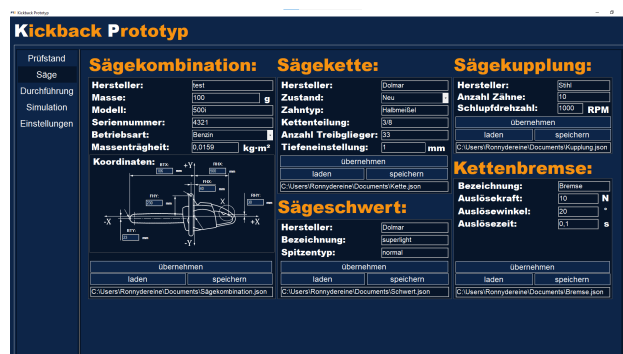


Abbildung 9.3.: Screenshot der Sägeansicht in der neu entwickelten Software

9.3.3. Testsequenz-Ansicht

Sobald sich der Nutzer im dritten Punkt der Navigation befindet, können die eigentlichen Testdurchläufe durchgeführt werden. In diesem Abschnitt wird der Anwender in besonderem Maße durch den Prüfprozess geführt. In Form einer Kurzanleitung wird der Nutzer zunächst

aufgefordert, den für die Messung erforderlichen Nullpunkt zu setzen. Dieser Nullpunkt definiert die Position im Prüfstand, an der die vorgegebene Auftreffgeschwindigkeit für die Messung erreicht werden muss.

Nachdem der Nullpunkt festgelegt wurde, können Probemessungen durchgeführt werden. Diese Probemessungen dienen der Justierung der Auftreffgeschwindigkeit. Sobald der Nutzer die für die Messung erforderliche Auftreffgeschwindigkeit am Prüfstand eingestellt hat, kann zum eigentlichen Test übergegangen werden (Abbildung 9.4).

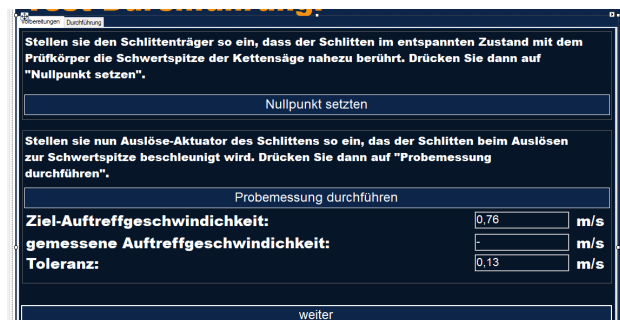


Abbildung 9.4.: Screenshot der Testvorbereitungsansicht in der neu entwickelten Software

Sobald die Durchführung von Tests möglich ist, wird eine Reihe von Datensätzen vorgegeben, die gemäß der Norm schrittweise abzuarbeiten sind. Der Nutzer muss hierbei lediglich die in der Benutzeroberfläche angezeigten Parameter am Prüfstand einstellen und anschließend die jeweiligen Messungen auslösen.

Die im Rahmen einer ausgewählten Messung erfassten Daten werden in einer grafischen Darstellung innerhalb eines Koordinatensystems visualisiert. Diese Darstellung ermöglicht es dem Nutzer, untypische Messkurven bereits während oder unmittelbar nach dem Versuch zu erkennen. Darüber hinaus kann durch die visuelle Analyse der Messdaten auf mögliche Fehleinstellungen der Software oder auf Defekte der eingesetzten Messhardware geschlossen werden. Zugleich wird die tatsächlich bei der Messung erreichte Auftreffgeschwindigkeit des Schlittens angezeigt. Die ermittelten Energiewerte, die beim Kickback auf den Schlitten sowie den Hebelmechanismus gewirkt haben, werden ebenfalls dargestellt (Abbildung 9.4).

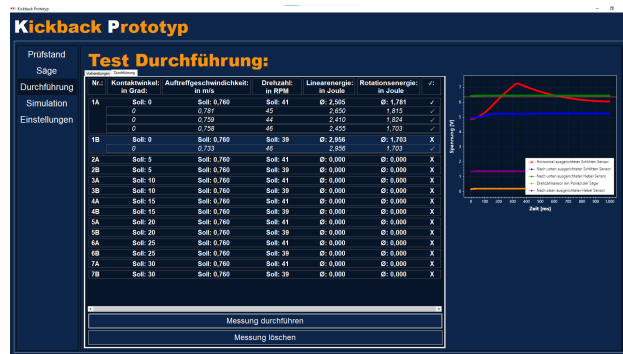


Abbildung 9.5.: Screenshot der Testansicht in der neu entwickelten Software

9.3.4. Simulations-Ansicht

Hat der Nutzer die für den Test einer Sägekombination erforderlichen Messungen durchgeführt, kann er anschließend in die Simulationsansicht wechseln und die in den Messungen ermittelten Daten im Simulationsalgorithmus verarbeiten lassen. Die hierfür verwendete Benutzeroberfläche orientiert sich an der Sägeansicht und gewährleistet dadurch eine konsistente und wiedererkennbare Bedienstruktur.

Zusätzlich werden die während der Simulation berechneten Zwischenschritte in Form einer Tabelle ausgegeben. Die im Rahmen der Simulation ermittelten Ergebnisse werden gut sichtbar und übersichtlich auf der Oberfläche dargestellt, sodass eine nachvollziehbare Auswertung der Simulationsabläufe ermöglicht wird (Abbildung 9.6).

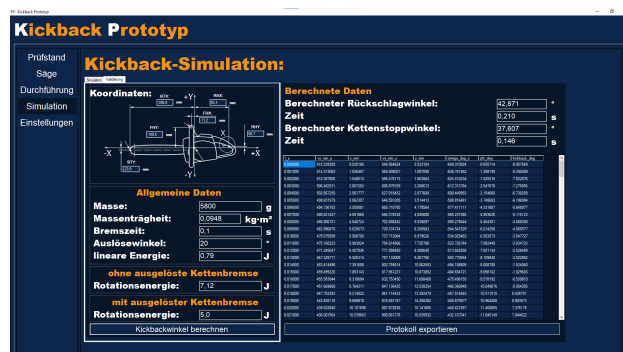


Abbildung 9.6.: Screenshot der Simulationsansicht in der neu entwickelten Software

9.3.5. Validierungs-Ansicht

Die Validierungsansicht ähnelt in ihrem Aufbau stark der Simulationsansicht, unterscheidet sich jedoch darin, dass die dort dargestellten Daten vollständig durch den Nutzer eingegeben werden können und nicht in das Prüfprotokoll übernommen werden. Darüber hinaus hat der Nutzer die Möglichkeit, die Werte für Rotationsenergie und lineare Energie manuell vorzugeben. So ist der Vergleich mit den der Norm beigelegten Daten möglich.

10. Implementierung der Software

10.1. Wahl der verwendeten Software

10.1.1. NI-Gerätemonitor

Der NI-Gerätemonitor ist eine Software, die als Treibersoftware für Messkarten des Herstellers “National Instruments” dient. Im Rahmen dieses Projekts stellt diese Software die Schnittstelle zwischen Prüfstand und Prototyp-Software dar. Dabei fungiert eine solche Messkarte als zentrale Hardwareeinheit. Über die Treibersoftware stellt die Prototyp-Software eine Verbindung zur Messkarte her und kann sowohl Messdaten abfragen als auch Aktuatoren ansteuern. Als von National Instruments empfohlene Treibersoftware für die verwendete Messkarte wird der NI-Gerätemonitor daher im Projekt eingesetzt.

10.1.2. Microsoft Visual Studio

Die Verwendung von Microsoft Visual Studio als Entwicklungsumgebung wurde in Abstimmung mit dem FTZ festgelegt. Diese Entscheidung stellt die Kompatibilität mit bereits eingesetzten Rechnern an den Prüfständen sicher, da bestehende Softwarelösungen auf Microsoft Visual Studio basieren. Darüber hinaus wird durch die Wahl von Microsoft Visual Studio die spätere Übernahme und Weiterentwicklung von Programmen erleichtert, da neue Entwickler nur eine Software für Programmierung und Oberflächendesign benötigen. Der Aufbau der Benutzeroberflächen mithilfe von Windows Forms ermöglicht zudem eine übersichtliche und wartungsfreundliche Gestaltung. Anpassungen an den Oberflächen können dadurch mit vergleichsweise geringem Aufwand vorgenommen werden und sind auch zu einem späteren Zeitpunkt durch nicht speziell geschultes Personal realisierbar.

10.2. Vorgehen bei der Implementierung

10.2.1. Demoanwendung zur Messkartenkommunikation

Als erster Schritt der Umsetzung wurde der Aufbau einer Demosoftware realisiert, um die grundlegende Kommunikation mit der verwendeten Messhardware sicherzustellen. Hierzu wurde eine WinForms-Anwendung erstellt, deren primäre Funktion darin bestand, einzelne Messwerte der verbauten Laserdistanzsensoren abzufragen sowie Messdatenreihen mit vordefinierter Länge auszulesen.

Darüber hinaus wurde die Anbindung digitaler Sensoren umgesetzt, die im Prüfstand unter anderem in Form von Türschließkontakten verbaut sind. Ergänzend dazu wurde mittels einer definierten Schaltsequenz das Ansteuern sämtlicher Aktuatoren des Prüfstands getestet. Dabei wurden die einzelnen Aktuatoren sequenziell für jeweils 500 Millisekunden geschaltet, um deren Funktionsfähigkeit und die korrekte Ansteuerung zu verifizieren. Die Entwicklung dieser Demoanwendung mit bewusst minimalistisch gehaltener Benutzeroberfläche war für den weiteren Projektverlauf von besonderer Bedeutung, da eine fehlende oder fehlerhafte Kommunikation mit der Messhardware die Umsetzung der eigentlichen Softwarelösung nahezu unmöglich gemacht hätte.

10.2.2. Implementierung der Prüfstandshardware

Nach der Sicherstellung der Kommunikation mit der Messhardware wurden erste Klassen im Code umgesetzt. Hierzu wurde die gesamte Funktionalität der Kommunikation mit dem Prüfstand in einer Prüfstandsklasse gebündelt. Diese Klasse dient als zentrale Kommunikationsschnittstelle zu den im Prüfstand verbauten Messkarten.

Die im Prüfstand verbauten, jeweils unterschiedlichen Messkarten wurden dabei als eigenständige Klassen modelliert, welche im Prüfstandsobjekt referenziert sind. Die Struktur sowie die Beziehungen der Klassen zueinander sind im zugehörigen Klassendiagramm dargestellt (Abbildung 14.1).

Der Prüfstand enthält darüber hinaus Attribute für Daten, die zur Bestimmung der Energiewerte von Rückschlägen erforderlich sind, sowie allgemeine Informationen zur Überwachung des Prüfstands. Dazu gehören unter anderem:

1. Massen der im Prüfstand verwendeten Rückhaltegewichte
2. Reibungswerte der im Prüfstand verbauten Komponenten
3. Status der Türkontaktschalter
4. Status der verbauten Aktuatoren

Die Daten der im Prüfstand verbauten Massen werden über die Prüfstandsansicht eingegeben. Der Status der Türkontaktschalter sowie der verbauten Aktuatoren wird genutzt, um die Sicherheit des Prüfstands zu gewährleisten. Hierbei ist beispielsweise das Auslösen des Schlittens nur möglich, wenn alle Türkontaktschalter aktiviert sind.

10.2.3. Implementierung der Sensoren

Die vom Prüfstand verwendeten Sensoren wurden ebenfalls als eigene Klassen modelliert und sind, abhängig vom jeweiligen Sensortyp, in den entsprechenden Messkarten referenziert. Sie

dienen zur Speicherung der erfassten Messwerte und stellen unter anderem die Kalibrierungslogik sowie die Logik zur Bestimmung des tatsächlichen Messwertes bereit.

Die Bestimmung des Messwertes geschieht dabei wie folgt: Der Laserdistanzsensor ermittelt den Abstand zu einem Objekt mittels des zeitlichen Versatzes vom Senden eines Lichtimpulses bis zur wieder eintreffenden Reflexion. Wird durch die analoge Messkarte ein Messwert abgefragt, so misst diese die am Ausgang des Sensors anliegende Spannung. Diese Spannung steht in einem linearen Zusammenhang mit dem gemessenen Abstand.

Der erfasste Spannungswert wird anschließend vom Messkartenobjekt an das Sensorobjekt übermittelt. Beispielsweise wird innerhalb des Abstandssensorobjekts der Abstandswert durch ein Tupel repräsentiert, welches sowohl den berechneten Abstand als auch den zugrunde liegenden Spannungswert enthält. Die Umrechnung von der Spannung in den Abstand erfolgt mittels linearer Regression (Abbildung 10.1).

```
public double berechneAbstand(double spannungInVolt)
{
    // Sicherstellen, dass die Kalibrierung aktuell ist
    kalibrierungskonstanteBerechnen();

    double d1 = Kalibrierungspunkt1_mm_V[0];
    double u1 = Kalibrierungspunkt1_mm_V[1];

    double m = Kalibrierungskonstante; // mm pro Volt

    // Lineare Interpolation / Extrapolation
    //  $d(U) = d1 + m * (U - u1)$ 
    return d1 + m * (spannungInVolt - u1);
}
```

Abbildung 10.1.: Quellcode zum Ermitteln des Messwertes eines Sensors

Im unkalibrierten Zustand basiert diese Regression auf den Herstellerangaben des Sensors. Dabei wird angenommen, dass ein Spannungsbereich von 0 bis 10 Volt einem Entfernungsbereich von 200 Millimetern bis 1000 Millimetern entspricht.

10.2.4. Implementierung der Sägekombinations-Klassen

Nach erfolgreicher Implementierung der grundlegenden Sensorlogik folgte die Umsetzung der Sägekombination in Teilklassen. Diese Klassen enthalten entsprechende Attribute sowie zugehörige Abfrage- und Festlegungsfunktionalitäten. In Abbildung 14.1 sind die Klassen mit ihren Attributen dargestellt.

Einheiten, die möglicherweise umgerechnet werden müssen, wurden dabei ebenfalls als eigene Klassen implementiert.

Als zentrale Klasse dient hierbei die Sägeklasse. Sie repräsentiert die tragbare Motorkettensäge und enthält Objektinstanzen von untergeordneten Klassen. Dabei sind Sägeschwert, Sägekette, Sägekupplung und Kettenbremse als eigene Klassen umgesetzt. Objektreferenzen zu ihnen werden in der Sägeklasse gespeichert. Die Aufteilung in Teilklassen erfolgt unter anderem mit dem Ziel, einzelne Komponenten der Sägekombination zu einem späteren Zeitpunkt unabhängig voneinander speichern und laden zu können.

Darüber hinaus ist diese Strukturierung sinnvoll, da in der Benutzeroberfläche unter anderem Attribute wie Herstellerbezeichnungen für nahezu alle Einzelkomponenten der tragbaren Motorkettensäge vorgesehen sind. Durch die klare Aufteilung der Komponenten auf separate Klassen lassen sich Attribute wie beispielsweise Herstellerbezeichnungen eindeutig einem jeweiligen Objekt zuordnen (Abbildung 14.1). Dies erhöht die Übersichtlichkeit der Implementierung und verhindert Verwechslungen von Attributen während der Entwicklung des Codes.

Die in der Abbildung gezeigten Klassen dienen nahezu ausschließlich zum Halten der Attribute und beinhalten kaum Logik.

10.2.5. Implementierung der Sitzungsklasse

Anschließend erfolgte die Implementierung der Sitzungsklasse. Sie repräsentiert eine vom Benutzer gestartete Sitzung und fungiert als vermittelnde Instanz zwischen der Benutzeroberflächenlogik und dem zugrunde liegenden Datenmodell.

Die Sitzungsklasse enthält sowohl die Referenz auf die aktuell verwendete Sägekombination mit all ihren Komponenten als auch die abzuarbeitende Testsequenz, welche vom Nutzer schrittweise durchzuführen ist.

Eine Testsequenz stellt dabei eine strukturierte Sammlung von Datensätzen bereit, deren konkrete Implementierung und inhaltliche Ausgestaltung zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt und dort näher erläutert wird.

10.2.6. Anbindung der Prüfstands-/Sägenoberfläche

Da das zugrunde liegende Datenmodell zu diesem Zeitpunkt bereits ausreichte, um erste Teile der Benutzeroberfläche mit Funktionalität auszustatten, wurden zunächst die Prüfstandsansicht sowie die Sägenansicht implementiert.

Hierfür wurde die im Oberflächeneditor von Microsoft Visual Studio erstellte Benutzeroberfläche an das Prüfstandsobjekt angebunden. Die Anbindung erfolgte über entsprechende Event-Handler, sodass der Zustand der Türen sowie das Auslösen von Bedienelementen in-

nerhalb der Software in Echtzeit erfasst und verarbeitet werden kann. Darüber hinaus werden die angezeigten Messwerte der Abstandssensoren sowie des Drehzahlsensors zweimal pro Sekunde aktualisiert. Ebenso wurde die Eingabe der im Prüfstand verwendeten Massen sowie der Reibungswerte implementiert. Das freie Auslösen der einzelnen Aktuatoren wurde ebenfalls umgesetzt.

Die in der Sägenansicht dargestellte visuelle Repräsentation der Sägekombination wurde ebenfalls an die entsprechenden Objektinstanzen angebunden. Da in diesem Fall ausschließlich Daten aus der Benutzeroberfläche in die zugrunde liegenden Objekte übernommen werden, erwies sich die Implementierung als vergleichsweise unkompliziert.

10.2.7. Implementierung der Testsequenzklassen

Um Tests normgerecht durchführen zu können, ist die Vorgabe der abzuarbeitenden Datensätze essenziell. Zu diesem Zweck wurden eine Testsequenzklasse, eine Datensatzklasse und eine Messungsklasse implementiert.

Ein Messungsobjekt ist hierbei ein am Prüfstand durchgeführter Kickbacktest. In jeder einzelnen Messung werden demnach die gemessenen Daten aus dem Prüfstand gespeichert. Außerdem werden die bei der jeweiligen Messung erreichten Energien ermittelt und gespeichert. Beispielsweise wird die lineare Energie wie in Abbildung 10.2 bestimmt.

```
public Double berechneHegelHorizontaleEnergie()
{
    Double masseDesHorizontalenRückhaltegewichtsInKg = prüfstand.gibMasseDesHorizontalenRückhaltegewichts().gibMasseInKilogramm();
    Double verschiebungDesHorizontalenRückhaltegewichtsInMm = gibVerschiebungDesHorizontalenRückhaltegewichtsInMm();
    Double reibungDesSchlittensInNewton = prüfstand.gibHorizontalReibung().gibKraftInNewton();
    Double verschiebungDesSchlittensInMm = gibVerschiebungDesSchlittensInMm();

    // Arbeit = Gewichtskraft * Weg + Reibungskraft * Weg
    // Division durch 100: Einheitenumrechnung
    Double W =
        (erdbeschleunigungG * masseDesHorizontalenRückhaltegewichtsInKg *
         verschiebungDesHorizontalenRückhaltegewichtsInMm + reibungDesSchlittensInNewton *
         verschiebungDesSchlittensInMm) / 100;
    return W;
}
```

Abbildung 10.2.: Quellcode zur Bestimmung der linearen Energie

Die Gültigkeit einer Messung wird anschließend anhand der Vorgaben aus der Datensatzklasse geprüft.

Die Datensatzklasse dient als Sammlung von Messungen, welche unter gleichen Startbedingungen durchgeführt wurden. Ein Datensatz gibt dabei die Bedingungen für alle in ihm gespeicherten Messungen vor. Außerdem wird im Datensatz überprüft, ob genügend gültige Messungen durchgeführt wurden. In einem üblichen Datensatz müssen gemäß Norm ISO 9518 [11] mindestens 3 gültige Messungen gespeichert werden. Ist dies der Fall, wird der Datensatz ebenfalls als gültig markiert. Im Datensatz werden die linearen und Rotationsenergiwerte der gültigen Messungen arithmetisch gemittelt.

Eine Testsequenz dient wiederum als Sammlung unterschiedlicher Datensätze. Dabei enthält jeder Datensatz von der Norm vorgegebene Parameter (Abbildung 14.1). Die Testsequenz stellt die Logik bereit, welche den Datensatz mit dem höchsten Energiewert ermittelt. Der ermittelte Datensatz mit den höchsten Energiewerten dient als Referenz für das schlimmste auftretende Kickbackereignis. Er stellt die Energieparameter bereit, die als Eingangsgrößen für die Kickback-Simulation verwendet werden. Standardmäßig umfasst eine Testsequenz 14 Datensätze, die jeweils unterschiedliche, aus der Norm hervorgehende Bezeichnungen, Kontaktwinkel sowie Motordrehzahlen aufweisen [11].

10.2.8. Anbindung der Testsequenzoberfläche

Im nächsten Schritt erfolgte die Anbindung der Benutzeroberfläche, welche zur Durchführung der in der Norm beschriebenen Tests verwendet wird. Hierbei wurden sowohl die zur Testvorbereitung genutzte Anleitungsansicht (Abbildung 9.4) als auch die eigentliche Testoberfläche mit der erforderlichen Anwendungslogik verbunden (Abbildung 9.5).

Die in der Anleitungsansicht integrierte Logik beschränkt sich auf wenige temporäre Objekte, die gezielt zur Vorbereitung und Durchführung der Tests eingesetzt werden. Diese Objekte dienen insbesondere dazu, die Auftreffgeschwindigkeit des Prüfkörpers auf die Schwertspitze zu messen. Auf Basis dieser Messung wird überprüft, ob die eingestellte Geschwindigkeit der von der Testsequenz bereitgestellten Vorgabe entspricht. Diese Vorgabe für die bei einem Test notwendige Auftreffgeschwindigkeit stammt aus der Norm ISO 9518 [11].

10.2.9. Umsetzung der Sensorkalibrierung

Da zu diesem Zeitpunkt bereits erste Messungen möglich waren, wurde im weiteren Verlauf die Implementierung der Sensorkalibrierung umgesetzt. Hierfür wurde eine Realisierung gewählt, die über eine separate Kalibrierungsoberfläche umgesetzt ist. Durch das Anklicken der Kalibrierungsschaltfläche in der Prüfstandsansicht wird eine Instanz einer Windows Form geladen, in der die Kalibrierung anhand einer Schritt-für-Schritt-Anleitung durchgeführt werden kann.



Abbildung 10.3.: Screenshot der Sensorkalibrierung in der neu entwickelten Software

Im Rahmen der Kalibrierung werden die im jeweiligen Sensorobjekt gespeicherten Kalibrierungspunkte überschrieben. Diese Kalibrierungspunkte sind standardmäßig als Tupel repräsentiert, wobei der erste Wert eines Tupels jeweils die untere beziehungsweise obere Messgrenze des Sensors beschreibt und der zweite Wert die dazu korrespondierende Spannung angibt.

Während der Kalibrierung werden vom Nutzer festgelegte und genau bekannte Abstände am Sensor eingestellt. Anschließend werden die hierzu zugehörigen Spannungen gemessen. Durch das Überschreiben der Kalibrierungspunkte wird anschließend eine neue lineare Abhängigkeit berechnet, welche in Form der Kalibrierungskonstante in der Benutzeroberfläche dargestellt wird. Diese Form der Kalibrierung wird als Zweipunktkalibrierung bezeichnet und entspricht der Herstellervorgabe des Sensors.

Die Berechnung der Kalibrierungskonstante erfolgt dabei als Division des gemessenen Abstandsunterschieds durch den gemessenen Spannungsunterschied und geschieht im Programm wie in Abbildung 10.4.

```
public void kalibrierungskonstanteBerechnen()
{
    double d1 = Kalibrierungspunkt1_mm_V[0];
    double u1 = Kalibrierungspunkt1_mm_V[1];

    double d2 = Kalibrierungspunkt2_mm_V[0];
    double u2 = Kalibrierungspunkt2_mm_V[1];

    // Prüfen, ob sinnvoll kalibriert wurde
    if (Math.Abs(u2 - u1) < 1e-12)
    {
        throw new InvalidOperationException(
            "Kalibrierpunkte sind ungültig. Die Spannungen u1 und u2 müssen unterschiedlich sein.");
    }

    // Steigung (mm pro Volt)
    Kalibrierungskonstante = (d2 - d1) / (u2 - u1);
}
```

Abbildung 10.4.: Quellcode zur Berechnung der Kalibrierungskonstanten

10.2.10. Umsetzung der Persistenz

Da die Kalibrierung der Sensoren mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden ist, bot es sich im weiteren Verlauf an, die Software um eine Persistenzlogik zu erweitern. Zu diesem Zweck wurde eine Klasse zum Laden von Objekten implementiert, welche Objekte mithilfe des JSON-Formats in das Programm einliest. JSON steht dabei für JavaScript Object Notation und dient als Dateiformat zur strukturierten Speicherung und Übertragung von Daten. Diese Persistenzlogik wurde anschließend mit den in der Benutzeroberfläche vorgesehenen “Laden”- und “Speichern”-Schaltflächen verknüpft.

Über diese Klasse kann unter Angabe eines Dateipfades und durch einen entsprechenden statischen Funktionsaufruf ein Objekt geladen werden, das anschließend in die Sitzungsinstanz übernommen wird. Auf diese Weise ist das Laden von Sägekomponenten sowie Prüfstandskonfigurationen möglich.

Die Anbindung an eine Datenbank wurde in Betracht gezogen, jedoch bewusst nicht umgesetzt. Ein wesentlicher Vorteil der Verwendung von JSON-Dateien besteht darin, dass deren Inhalte mit gängiger, vorinstallierter Software eingesehen und bearbeitet werden können. Dies erleichtert es dem Anwender, Sägekonfigurationen auch außerhalb der Software zu verwalten oder zu überprüfen.

10.2.11. Umsetzung der Simulation

Zur Berechnung des in der ISO 9518 beschriebenen berechneten Kickbackwinkels [11] wurde die Simulationsansicht mit der entsprechenden Logik verknüpft. Da der zugrunde liegende Simulationsalgorithmus normativ festgelegt ist, konnte hierfür eine bereits in Software 1 und Software 2 verwendete Klasse wiederverwendet werden. Um diese Klasse objektorientiert in die vorliegende Software integrieren zu können, wurde sie um eine Wrapperklasse ergänzt, welche die Nutzung der Simulationslogik innerhalb der Anwendung wesentlich vereinfacht. Die für die Simulation erforderlichen Daten werden bei der Ausführung aus dem Sitzungsobjekt geladen.

Die innerhalb der Testsequenz ermittelten Maximalwerte der relevanten Energiekomponenten dienen anschließend als Eingangsgrößen zur Berechnung des größtmöglichen Rückschlagwinkels der Sägekombination. Nach Abschluss der Berechnung werden die resultierenden Daten in die Benutzeroberfläche übernommen und dort entsprechend dargestellt.

10.2.12. Umsetzung der Validierung

Bei der Umsetzung der ursprünglich vorgesehenen Validierungsoberfläche zeigte sich eine starke Überschneidung mit den in der Simulationsoberfläche verwendeten Komponenten. Da sich das Design unter diesen Umständen sinnvoll vereinfachen ließ, wurde vom anfänglichen

Entwurf abgewichen und die Validierung direkt als Bestandteil der Simulationsansicht integriert.

Um die Validierung durchführen zu können, werden temporäre Objekte erzeugt, welche die in der Benutzeroberfläche eintragbaren Daten speichern. Die Validierung wird anschließend auf Basis dieser Objekte durchgeführt und in der Benutzeroberfläche ausgegeben. Dabei sind die Sägeparameter und Energiewerte, welche in der Simulation benötigt werden, frei anpassbar.

10.2.13. Umsetzung der automatisierten Protokollgenerierung

Zur Erstellung eines maschinell erzeugten Protokolls wurde auf die Bibliothek PDFsharp zurückgegriffen, die die Generierung von PDF-Dokumenten vereinfacht und standardisiert ermöglicht. In dem erzeugten Dokument wird ein Protokollobjekt abgebildet, das mit Daten aus den im Prüfstand verwendeten Objekten gespeist wird. Auf die Umsetzung einer eigens dafür vorgesehenen Oberfläche wurde verzichtet. Stattdessen ist innerhalb der Simulationsansicht eine entsprechende Schaltfläche zum Exportieren des Protokolls vorgesehen, über die die Erstellung und Ausgabe des PDF-Dokuments ausgelöst wird. Auf die Umsetzung eines gut lesbaren und sauber auswertbaren Prüfprotokolls wird im Prototypstadium der Software verzichtet, da es bei einer Weiterentwicklung der Software zu erheblichen Änderungen am Aufbau des Protokolls kommen würde. Um den Export dennoch innerhalb der Software abbilden zu können, werden die Daten in Listenform exportiert (Abbildung 14.8).

11. Überprüfung der Ergebnisse

Um die korrekte Funktionsfähigkeit der Software zu gewährleisten, muss diese mit unterschiedlichen Aspekten überprüft werden. Dabei werden sowohl die grundsätzliche Lauffähigkeit der Anwendung, die Benutzbarkeit als auch die korrekte Implementierung der Klassen sowie die Richtigkeit der ermittelten Mess- und Simulationsergebnisse untersucht.

11.1. Unit-Tests

Während der Entwicklung der Software wurden begleitend Unit-Tests durchgeführt, wobei auf das Testframework xUnit zurückgegriffen wurde. Der Fokus lag insbesondere auf der Überprüfung der implementierten Datenstrukturen und zentralen Logikkomponenten. Die Unit-Tests ermöglichten eine automatisierte Überprüfung der Funktionalität der Software und trugen dazu bei, Fehler frühzeitig zu identifizieren. Grafische Benutzeroberflächen sowie hardwareabhängige Komponenten wurden aufgrund des Prototypcharakters der Software und der zeitlichen Begrenzung des Projekts nicht automatisiert getestet. Da die zugrunde liegende Datenstruktur im Verlauf des Projekts in wesentlichen Teilen angepasst wurde, mussten bestehende Tests wiederholt überarbeitet und teilweise neu implementiert werden.

Das Testen mittels xUnit unterstützte dabei, logische Fehler frühzeitig zu identifizieren. So wird in der Software beispielsweise die Auftreffgeschwindigkeit des Prüfkörpers berechnet. Grundlage dieser Berechnung ist der Abstand zweier Messpunkte innerhalb eines Arrays. Bewegt sich der Schlitten während einer Messung nicht, kann der Abstand zwischen den Messpunkten den Wert 0 annehmen. Auf Basis dieses Abstands wird unter Berücksichtigung der Abtastrate der Messkarte die Geschwindigkeit berechnet. Nimmt der Abstand tatsächlich den Wert 0 an, muss die Berechnung abgebrochen werden, da die zugrunde liegende Berechnungsformel in diesem Fall kein gültiges Ergebnis liefern kann. Zur Vermeidung entsprechender Laufzeitfehler wurde anschließend eine Wächter-Abfrage implementiert, die ungültige Differenzwerte frühzeitig abfängt und die Ausführung der Berechnung entsprechend verhindert.

11.2. Manuelle Tests

Da eine Interaktion mit der im Prüfstand verbauten Hardware nicht durch Unit-Tests mit xUnit abgedeckt werden konnte, mussten ergänzend manuelle Tests durchgeführt werden.

Hierzu zählte unter anderem das gezielte Unterbrechen der Verbindung zwischen Prüfstand und Software. Dabei wurde zunächst die Kabelverbindung zwischen dem Prüfstand und dem Rechner getrennt. Zu Beginn der Tests führte dieses Vorgehen zu einem Absturz der Software. Durch das gezielte Abfangen der auftretenden Fehler konnte dieses Verhalten jedoch behoben werden. Ein anschließendes erneutes Verbinden des Prüfstands ermöglicht nun den erneuten Verbindungsaufbau, sodass das Programm ordnungsgemäß weiterarbeiten kann.

Durch weitere manuelle Tests zeigte sich zudem, dass das Auslösen bestimmter Aktuatoren nur bei geschlossenen Türkontaktschaltern möglich ist. Diese Funktionalität ist Bestandteil der eingesetzten Messkarte und kann durch den Softwareprototypen nicht beeinflusst werden. Der aus Sicherheitsgründen implementierte Schutzmechanismus führte dazu, dass eine Messung softwareseitig als ausgelöst galt, obwohl tatsächlich kein physikalisches Auslösen stattgefunden hatte. Durch eine Anpassung der Software, bei der vor dem Start einer Messung zusätzlich der Zustand der Türkontaktschalter überprüft wird, konnten derartige Fehlzustände zuverlässig verhindert werden.

Derartige Tests lassen sich nur schwer automatisieren, weshalb eine wiederholte manuelle Durchführung unerlässlich ist. Die hier dargestellten Szenarien stellen dabei lediglich exemplarische Beispiele dar.

11.3. Usability-Test

Als Teil der Überprüfung der entwickelten Software wurden unter anderem Usability-Tests durchgeführt.

11.3.1. Usability-Aufgabe

Die im Rahmen der Usability-Tests zu bewältigende Aufgabe bestand darin, die Daten einer bereits vermessenen tragbaren Motorkettensäge in die entwickelte Software einzugeben. Anschließend sollte die tragbare Motorkettensäge getestet und der daraus resultierende Kickbackwinkel bestimmt werden. Den abschließenden Schritt des Tests stellte das Exportieren des Prüfprotokolls dar.

Ziel dieser Aufgabe war es, einen möglichst praxisnahen Einsatz der Software zu simulieren. Dabei auftretende Schwierigkeiten und Hindernisse sollten identifiziert werden, um diese Erkenntnisse in die Weiterentwicklung der Software einfließen zu lassen und die Nutzerfreundlichkeit weiter zu verbessern.

11.3.2. Beschränkung des Usability-Tests

Aufgrund der zwingend erforderlichen Sachkunde im Umgang mit dem Prüfstand musste für die Durchführung der Usability-Tests auf eine einzelne Testperson zurückgegriffen werden. Die Testperson verfügt über umfassende Kenntnisse des in der Norm vorgegebenen Testablaufs sowie über Erfahrung mit den beiden Vorgängerversionen der Software.

Diese Rahmenbedingungen schränken die Aussagekraft der Usability-Tests ein, da dieser Erfahrungshintergrund die Bedienung der Software erleichtert. Eine Erprobung mit Personen, die zwar über ausreichende Sachkunde am Prüfstand verfügen, jedoch geringe oder keine Vorkenntnisse des normgerechten Prüfprozesses besitzen, wäre daher für zukünftige Untersuchungen sinnvoll.

11.3.3. Durchführung des Usability-Tests

Zu Beginn verschaffte sich die Testperson einen Überblick über die Software und testete sowohl die freie Bedienung als auch die Prüfstandsansicht der Software. Dabei wurde insbesondere die Live-Übertragung der aktuellen Prüfstandskonfiguration als sinnvoll und hilfreich bewertet.

Im weiteren Verlauf versuchte die Testperson, einen umfassenden Überblick über die Menüstruktur zu gewinnen, indem die verschiedenen Ansichten der Software systematisch durchlaufen wurden. Anschließend wurden die Daten der tragbaren Motorkettensäge in der Sägeansicht eingetragen und übernommen.

Dabei wurde eine mögliche Verbesserung identifiziert: Das automatische Übernehmen geänderter Daten ohne eine explizite Bestätigung über eine Schaltfläche wurde als wünschenswert erachtet.

Nach erfolgreicher Eingabe der Daten wurde die in der Software integrierte Anleitung zur Vorbereitung der Tests vollständig durchgearbeitet. In diesem Zusammenhang wurde angemerkt, dass ein optisches Feedback zur Bestätigung des erfolgreichen Setzens des Nullpunkts hilfreich wäre.

Nach Abschluss der Vorbereitungen wurden Messungen durchgeführt. Hierbei ist zu beachten, dass zu Testzwecken lediglich eine reduzierte Anzahl an Messungen vorgenommen wurde, da ein vollständig normgerechter Test zeitlich nicht umsetzbar gewesen wäre.

Nach erfolgreichem Abschluss der Messungen wurde der Kickbackwinkel berechnet und der Test mit der Ausgabe des Prüfprotokolls abgeschlossen.

11.3.4. Ergebnis des Usability-Tests

Die Durchführung des Usability-Tests ist insgesamt als erfolgreich im Hinblick auf die Bedienbarkeit der Software zu bewerten. Der Testperson war es möglich, den Test eigenständig und ohne fremde Hilfe bereits beim ersten Durchlauf vollständig durchzuführen und abzuschließen.

Darüber hinaus wurde im Anschluss an den Test eine Befragung der Testperson durchgeführt, um die Bedienbarkeit der entwickelten Software im Vergleich zu früheren Softwarelösungen zu erfassen. Dabei wurde die neu entwickelte Softwarelösung als deutliche Verbesserung gegenüber den Vorgängerversionen beschrieben. Insbesondere die verbesserte Nutzerführung innerhalb der gesamten Software, die Gruppierung der Daten in der Sägeansicht sowie die klare Erkennbarkeit der durchzuführenden Tests wurden als wesentliche Verbesserungen identifiziert.

Obwohl die eingeschränkte Aussagekraft des Usability-Tests keine vollumfängliche Bewertung der Nutzerfreundlichkeit zulässt, ist insbesondere die subjektive Einschätzung der Testperson von Bedeutung. Die im Anschluss an den Test durchgeführte Befragung verdeutlicht, dass das angestrebte Ziel einer verbesserten Nutzerfreundlichkeit erreicht wurde. Grundlage dieser Einschätzung ist insbesondere die umfangreiche Erfahrung der Testperson mit dem Prüfprozess sowie den Vorgängerversionen der Software.

Die während der Nutzung identifizierten Probleme können zudem in zukünftigen Versionen gezielt behoben werden und verdeutlichen zugleich, dass es sich bei der vorliegenden Software weiterhin um eine entwicklungsfähige Version mit weiterem Optimierungspotenzial handelt.

11.4. Vergleich mit Testdaten der Norm

Um eine normgerechte Simulation sicherzustellen, muss der Simulationsalgorithmus mithilfe der in der Norm bereitgestellten Testdaten überprüft werden. Die in der Validierungsansicht eingegebenen Werte müssen dabei bei der Berechnung zu denselben Ergebnissen führen, wie sie in der Norm festgelegt sind. Auf diese Weise wird die Vergleichbarkeit der Software mit anderen normkonformen Lösungen gewährleistet.

Die im Rahmen des Softwareprototyps durchgeführte Validierung zeigte keine nennenswerten Abweichungen gegenüber den aus der Norm stammenden Referenzdaten. Damit konnte die korrekte Umsetzung des Simulationsalgorithmus bestätigt werden.

11.5. Überprüfung der gemessenen Auftreffgeschwindigkeit mittels Hochgeschwindigkeitskamera

Da die von der Software ermittelten Messwerte gewissen Abweichungen unterliegen und eine Überprüfung mittels einer alternativen Messtechnik als sinnvoll erachtet wurde, wurden die Sensorwerte zusätzlich validiert.

Hierzu wurde eine Hochgeschwindigkeitskamera eingesetzt, welche die Bewegung des Schlittens aufzeichnete. Zeitgleich wurden sowohl eine Messung innerhalb der Software als auch eine Filmaufnahme gestartet.

Anschließend wurden die Auftreffgeschwindigkeiten, welche durch die Software ermittelt wurden, mit den aus der Videoaufzeichnung berechneten Geschwindigkeiten verglichen.

Dabei ergaben sich geringe Abweichungen zwischen den beiden Messmethoden. Diese stellen für den Prototypstatus der Software jedoch kein wesentliches Problem dar, sollten jedoch im Rahmen einer möglichen Weiterentwicklung der Software genauer untersucht werden.

12. Fazit

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines Softwareprototyps für eine ISO-9518-konforme Anwendung. Im Rahmen der Vorbereitungsphase standen insbesondere die intensive Einarbeitung in die ISO 9518 sowie der Aufbau eines grundlegenden Verständnisses für die Funktionsweise und das Verhalten tragbarer Motorkettensägen im Mittelpunkt. Diese Phase bildete die notwendige Grundlage für alle weiteren Arbeitsschritte.

Die anschließende Ableitung und Ausarbeitung der Anforderungen aus der Norm sowie aus der praktischen Arbeit am Prüfstand erforderten einen hohen zeitlichen Aufwand. Gleiches gilt für die Konzeption, Gestaltung und Implementierung der Software, die aufgrund der Komplexität der normativen Vorgaben und der technischen Zusammenhänge ebenfalls einen wesentlichen Anteil der Bearbeitungszeit in Anspruch nahm.

Insgesamt konnte das in dieser Arbeit formulierte Ziel erreicht werden, indem ein funktionsfähiger Softwareprototyp entwickelt wurde, der die wesentlichen Anforderungen der ISO 9518 abbildet und als Grundlage für weiterführende Entwicklungen dient.

Die entwickelte Prototyp-Software stellt eine solide Basis für die Weiterentwicklung zu einer vollumfänglichen Softwarelösung dar. Sie führt neue Bedienkonzepte ein, die darauf abzielen, die Nutzung der Anwendung intuitiver und stärker geführt zu gestalten.

Aufgrund der zeitlichen Limitierung sowie des Umfangs der umzusetzenden Testszenarien beschränkt sich der derzeitige Funktionsumfang jedoch auf grundlegende Anforderungen. Eine weiterführende Entwicklung der Software ist daher unumgänglich.

13. Ausblick

Eine weiterentwickelte Software, die den Anforderungen des realen Einsatzes standhält, kann auf Grundlage des in dieser Arbeit entwickelten Softwareprojekts umgesetzt werden. Dabei sind vielfältige Erweiterungen denkbar.

So könnten unter anderem zusätzliche Anleitungsansichten ergänzt werden. In der Norm sind beispielsweise die Vermessung der tragbaren Motorkettensäge sowie die Bestimmung des Härtegrads des Prüfkörpers geregelt. Diese Prozesse ließen sich in Form geführter Anleitungen in die Software integrieren. Zudem wäre es möglich, die dabei erfassten Daten in das Prüfprotokoll aufzunehmen und somit die Dokumentation weiter zu vervollständigen.

Eine Erweiterung um Mehrsprachigkeit erscheint ebenfalls sinnvoll. Der aktuelle Prototyp ist ausschließlich in deutscher Sprache umgesetzt. Eine Ergänzung um weitere Sprachen müsste dabei in enger Abstimmung mit der ISO 9518 erfolgen, da sowohl die Norm als auch der Softwareprototyp zahlreiche identische Bezeichnungen verwenden, die für ein einheitliches und normkonformes Verständnis beibehalten werden sollten.

Darüber hinaus sollte die Software zukünftig gezielt an die im realen Einsatz auftretenden Problemstellungen angepasst und weiterentwickelt werden. Erst im laufenden Betrieb lassen sich praxisrelevante Probleme zuverlässig identifizieren, die in einem weiteren Schritt analysiert und durch geeignete Anpassungen behoben werden können.

14. Anhang

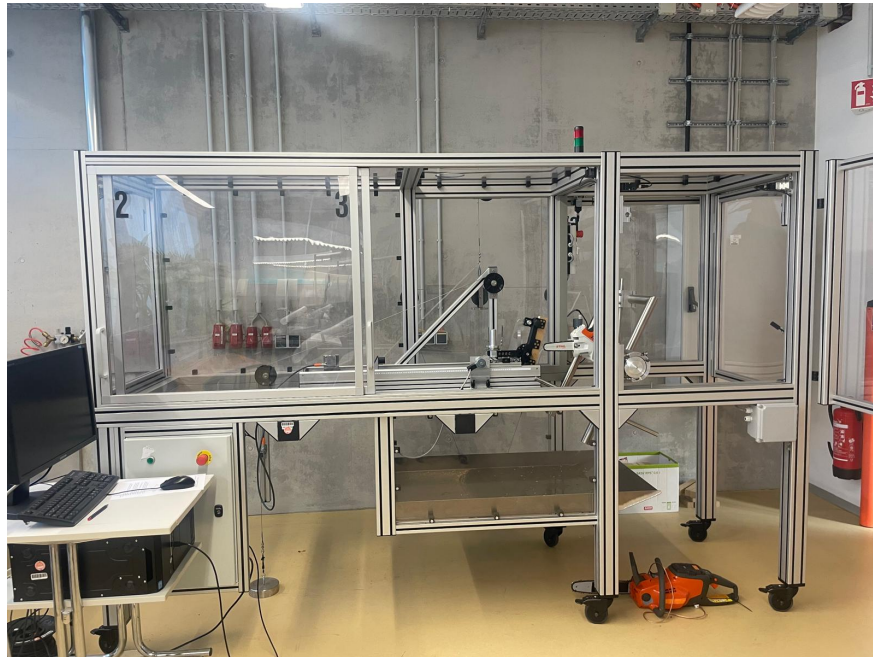


Abbildung 14.2.: Foto des Gesamten Prüfstandes

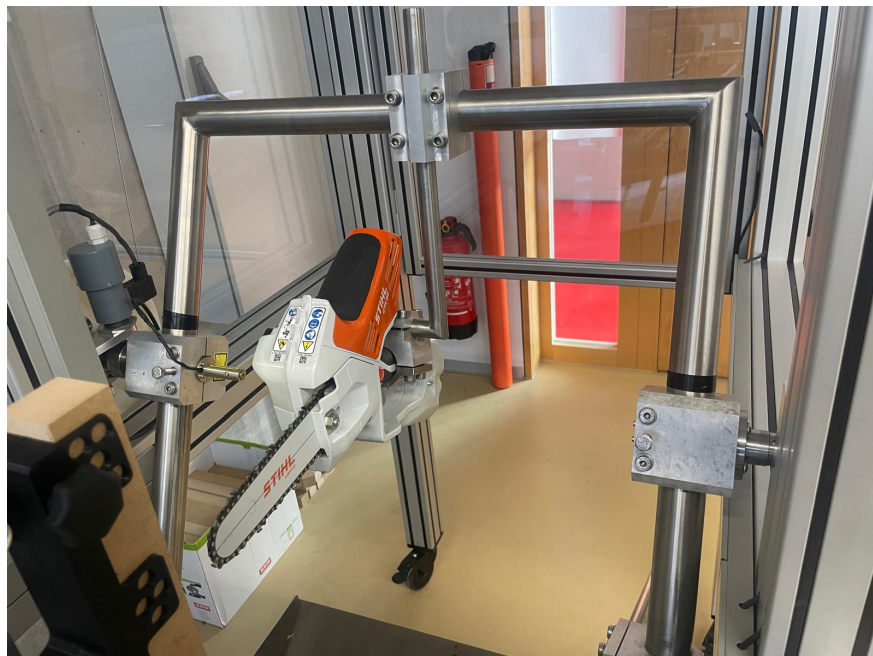


Abbildung 14.3.: Foto des im Prüfstand verbauten Hebelarms

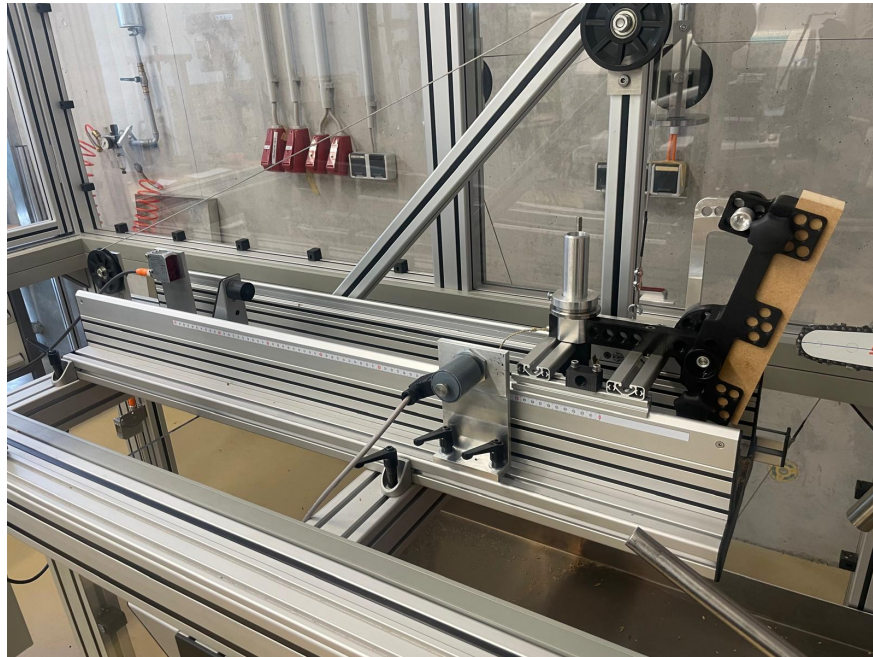


Abbildung 14.4.: Foto des im Prüfstand verbauten Schlittenmechanismus

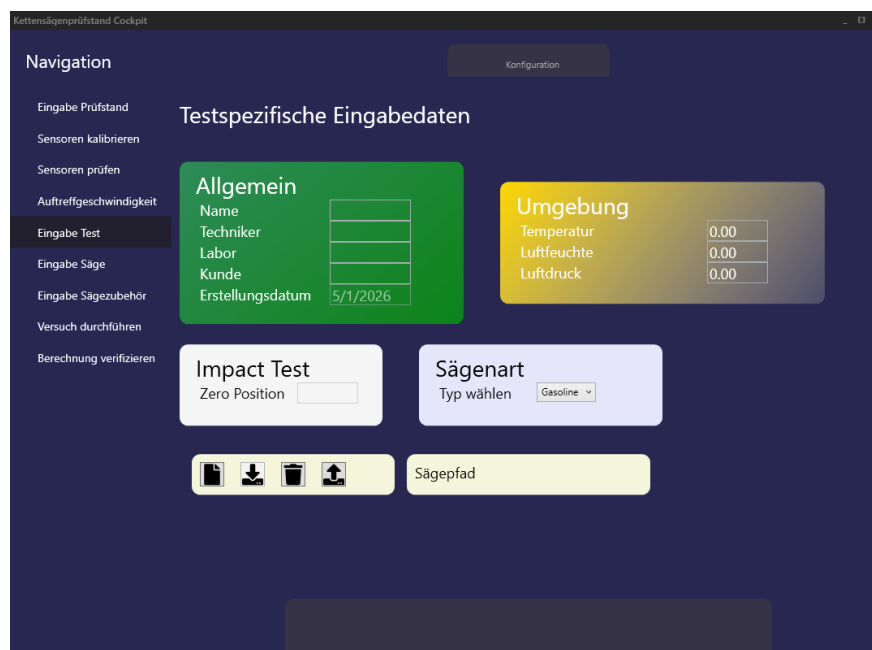


Abbildung 14.5.: Screenshot von Software 2 - Testansicht

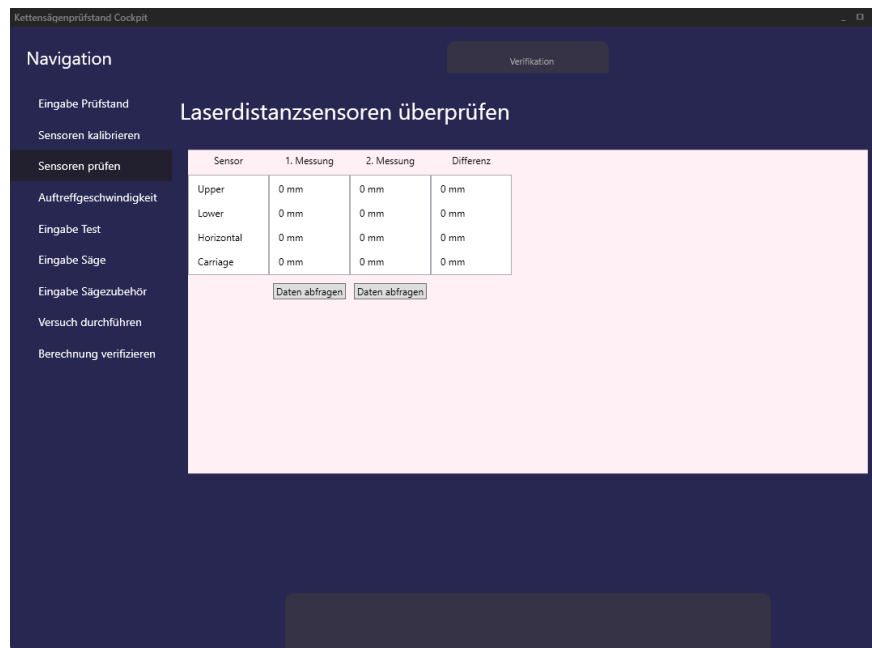


Abbildung 14.6.: Screenshot von Software 2 - Sensoransicht

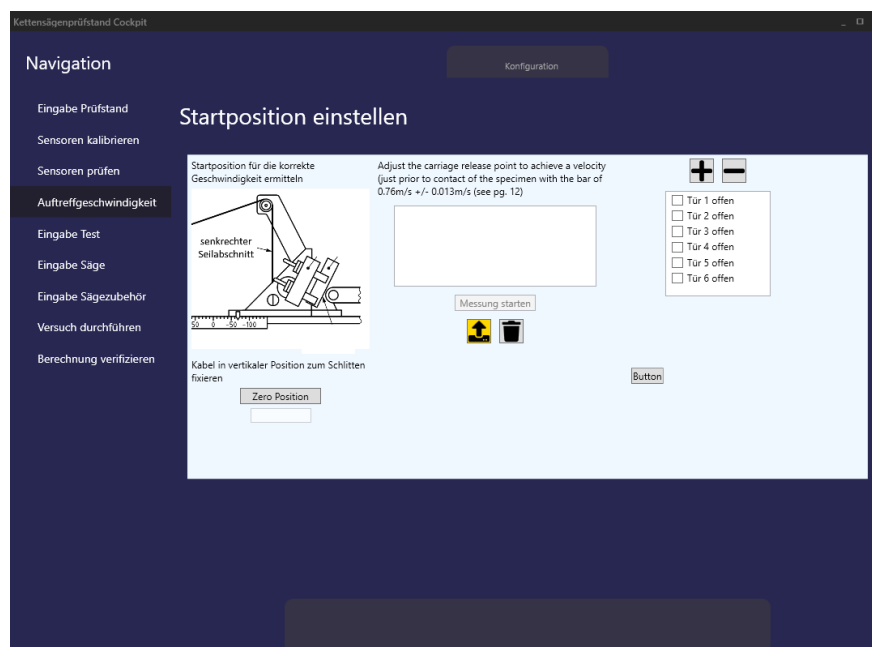


Abbildung 14.7.: Screenshot von Software 2 - Auftreffgeschwindigkeitsansicht

Prüfprotokoll

ISO 9518 – Dokumentation der Prüfdaten

Testlabor: PSS Testlabor

Testnummer: 42

Datum: 02.02.2026

Techniker: Max Mustermann

Säge	
Hersteller	test
Modell	500i
Seriennummer	4321
Masse	100kg
Betriebsart	Benzin
Trägheit	0,0150 (kg*m²)/s²
PHX	40 mm
PHY	230 mm
RHX	500 mm
RHY	30 mm
BTX	106 mm
BTY	23 mm
Sägekette	
Hersteller	Dolmar
Zustand	Neu
Zahntyp	Halbmaißel
Teilung	3/8
Treibgliederanzahl	33
Tiefeneinstellung	1 mm
Sägeschwert	
Hersteller	Dolmar
Bezeichnung	superlight
Spitzentyp	normal
Kupplung	
Hersteller	Stihl

Erstellt am: 02.02.2026 13:01

Anzahl Zähne	10
Schlupfrehzahl	1000 RPM
Kettenbremse	
Bezeichnung	Bremsen
Auslösekraft	10 N
Auslöswinkel	20 °
Bremszeit	0,1 s
Kickbacksimulation	
Berechneter Rückschlagwinkel	—
Zeit des höchsten Winkels	—
Berechneter Kettenstopwinkel	—

Abbildung 14.8.: Testprotokoll des Software Prototyps

A. beiliegende Dokumente

- Projektordner der umgesetzten Software
- Auswertung der Videomessdaten der Schlittenaufreffgeschwindigkeit
- von der Software generiertes Prüfprotokoll
- Ordner mit in der Arbeit genutzter Quellen

B. Erklärung zur Verwendung maschineller Hilfsmittel

Im Rahmen der Erstellung dieser Bachelorarbeit wurden Werkzeuge der Künstlichen Intelligenz in begrenztem Umfang eingesetzt. Die Nutzung erfolgte zum einen zur Rechtschreib- und Grammatikprüfung sowie zur punktuellen stilistischen Überarbeitung einzelner Formulierungen, ohne den inhaltlichen Aufbau, die Argumentation oder die wissenschaftlichen Aussagen der Arbeit zu beeinflussen.

Zum anderen wurden künstliche-Intelligenz-gestützte Werkzeuge zur Unterstützung bei der Erstellung einzelner Grafiken verwendet. Diese dienten ausschließlich der visuellen Aufbereitung und Darstellung bereits vorliegender Sachverhalte oder Konzepte. Die Auswahl der Inhalte und die Interpretation der dargestellten Informationen erfolgte vollständig eigenständig.

Außerdem wurde während der Umsetzung der Software auf künstliche-Intelligenz-gestützte Werkzeuge zurückgegriffen, um Teile des Codes zu vervollständigen. Dabei wurden sowohl die in der Entwicklungsumgebung integrierten KI-Funktionen genutzt als auch extern verfügbare Dienste in Form des aufgeführten Werkzeugs.

Verwendet wurden:

- OpenAI. (2026). ChatGPT (Version GPT-5.2) [Large Language Model]. <https://chat.openai.com/>



Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit in allen Teilen selbstständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form in noch keiner anderen Prüfung vorgelegen hat. Mir ist bewusst, dass ich Autor/in der vorliegenden Arbeit bin und volle Verantwortung für den Text trage. ☒

Ich erkläre, dass ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken – dazu gehören auch Internetquellen – übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht und die entsprechenden Quellen angegeben habe. ☒

Mir ist bewusst, dass meine Arbeit auf Plagiate überprüft werden kann. Mir ist bekannt, dass es sich bei der Abgabe eines Plagiats um ein schweres akademisches Fehlverhalten handelt und dass Täuschungen nach der für mich gültigen Prüfungsordnung geahndet werden. ☒

Zusätzlich versichere ich, dass ich auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Werkzeuge nur in Absprache mit den Prüfern verwendet habe. Dabei stand meine eigene geistige Leistung im Vordergrund, und ich habe jederzeit den Prozess steuernd bearbeitet. ☒

Diese Werkzeuge habe ich im Quellenverzeichnis in der Rubrik „Übersicht verwendeter Hilfsmittel“ mit ihrem Produktnamen und einer Übersicht des im Rahmen dieser Prüfungs-/Studienarbeit genutzten Funktionsumfangs unter Angabe der Textstelle in der Arbeit vollständig aufgeführt. ☒

Ich versichere, dass ich keine KI-basierten Tools verwendet habe, deren Nutzung die Prüfer explizit schriftlich ausgeschlossen haben. Ich bin mir bewusst, dass die Verwendung von Texten oder anderen Inhalten und Produkten, die durch KI-basierte Tools generiert wurden, keine Garantie für deren Qualität darstellt. ☒

Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Passagen vollumfänglich selbst und trage die Verantwortung für eventuell durch die KI generierte fehlerhafte oder verzerrte Inhalte, fehlerhafte Referenzen, Verstöße gegen das Datenschutz- und Urheberrecht oder Plagiate. ☒

Lichtenstein, 04.02.20

Ort, Datum

Unterschrift

Literaturverzeichnis

- [1] CHRISTIAN GOHL, Dirk Trampenau Reinhold Sabsch Hartmuth Wittig Torsten Nimsch Thomas Putz Mario Knopp Joachim M. Karl-Heinz Litzke L. Karl-Heinz Litzke: *Sicheres Bedienen von Motorsägen: Lehrsystem*. Online PDF. <https://resch-verlag.com/images/Lehrsystem-Motorsaegen.pdf>. Version: 2013. – Zugriff am 21.01.2026
- [2] BC FOREST SAFETY COUNCIL: *Describe and Operate Chainsaw*. Online PDF. https://www.bcforestsafes.org/wp-content/uploads/2021/03/lng_1028_Describe_and_Operate_Chainsaw.pdf. Version: 2020. – Zugriff am 21.01.2026
- [3] GROUP, Construction T.: *Chainsaw Operator's Manual – Chainsaw safety, maintenance and cross-cutting techniques*. Online PDF. <https://docs.constructiontraininggroup.com.au/wp-content/uploads/edd/2023/06/FWPCOT-Module-Chainsaw-Operators-Manual-CTG-1.pdf>. Version: 2023. – Zugriff am 21.01.2026
- [4] GMBH, Pferd T.: *Der schnelle Weg zur optimal geschärften Sägekette*. Online PDF. <https://assets.pferd.com/pfd/products/pdfs/pocket-guide-saegekette-schaerfen-2018-web-de.pdf>. Version: 2018. – Zugriff am 21.01.2026
- [5] LÖBNITZ, Andreas: *Schärfen einer Motorsägenkette am Beispiel einer 325" Halbmeißelkette*. Online PDF. https://www.sbs.sachsen.de/download/Schaerfen_einer_Motorsaegenkette.pdf. Version: 2023. – Zugriff am 21.01.2026
- [6] GROUP, National Wildfire C.: *Wildland Fire Chain Saws S-212 Student Workbook*. Online PDF. https://www.bchw.org/files/wildland-fire-chain-saws-212_student-workbook.pdf. Version: 2012. – Zugriff am 21.01.2026
- [7] DALE PATTERSON, Dr Jeremy W. Dr.John Heading H. Dr.John Heading: *Chain Saw Training Manual 2022*. Online PDF. <https://storage2.snappages.site/KWD8X2/assets/files/OH-Chain-Saw-Training-Manual-2022.pdf>. Version: 2017. – Zugriff am 21.01.2026
- [8] ECHO, INCORPORATED: *Echo Chain Saw Safety Manual*. Online PDF. https://asjsmallengines.com/downloads/Echo_ChainSaw_Safety.pdf. Version: 2007. – Zugriff am 21.01.2026
- [9] ROBINSON, Donald: *Evaluation of Chain Saw Simulated Kick-back Modes*. Online PDF. <https://www.govinfo.gov/>

- content/pkg/GOV PUB-C13-8ea1f096f10fcb2198dadb05977b1846/pdf/
GOVPUB-C13-8ea1f096f10fcb2198dadb05977b1846.pdf. Version: 1983. – Zugriff am 21.01.2026
- [10] ARNOLD, D. ; PARMIGIANI, J. P.: *A Study of Chainsaw Kickback*. <http://dx.doi.org/10.13073/FPJ-D-14-00096>. Version: sept 2015
- [11] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *ISO 9518: Forstmaschinen — Tragbare Kettensägen — Rückschlagtest*. Internationale Norm, 1998. – Zugriff am 21.01.2026
- [12] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *ISO 9518: Forstmaschinen — Tragbare Kettensägen — Rückschlagtest*. Internationale Norm, 2018. – Zugriff am 21.01.2026
- [13] WU, Jianqiao: *Theoretical investigation of kickback in diamond chainsaw and circular cut-off saw*. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/118681>. Version: 2018. – Zugriff am 21.01.2026
- [14] HAIM, G.: *Von der Fällmaschine zur modernen Motorsäge*. Online PDF. https://www.waldwissen.net/assets/lernen/forstgeschichte/wsl_faellmaschine_motorsaege/download/wsl_faellmaschine_motorsaege_originalartikel.pdf. pdf. Version: 2002. – Zugriff am 21.01.2026
- [15] HALT, Perfekter: *Rund ums Thema Kettensäge und Sägeketten*. Online PDF. <https://www.perfekter-halt.de/template/elemente/162/Rund%20ums%20Thema%20Kettens%C3%A4ge%20und%20S%C3%A4geketten.pdf>. – Zugriff am 21.01.2026
- [16] HUSQVARNA: *Operator's Manual: Husqvarna T540i XP*. Online PDF. https://honeybros.com/wp-content/uploads/2020/02/Husqvarna_T540i_XP.pdf. Version: 2020. – Zugriff am 21.01.2026
- [17] OCCUPATIONAL HEALTH, Canadian C. ; SAFETY: *Chainsaws - Kickback*. Online PDF. https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/chainsaws/kickback.pdf. Version: 2023. – Zugriff am 21.01.2026