

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

**ENTWICKLUNG EINES SELBSTFAHRENDEN
TRANSPORT -UND ANTRIEBSFAHRZEUGES ZUR
UNTERSTÜTZUNG VON ARBEITEN IN
WEINBAUSTEILLAGEN**

1. Gutachter: Prof. Dr. Hans-Peter Schwarz

Hochschule Geisenheim University

Zentrum für Wein- und Gartenbau; Institut für Technik

2. Gutachter: Prof. Dr. Bernd Honermeier

Justus-Liebig-Universität Giessen

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I; Professur für

Pflanzenbau

vorgelegt von: Dipl. landwirt. Maschinenbau Ing. Sandor Hum

Kiefernweg 1

65385 Rüdesheim am Rhein

Geisenheim 14. Sep. 2013

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS.....	I
VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN.....	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	IV
TABELLENVERZEICHNIS	IX
1 EINLEITUNG	1
1.1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	1
1.2 ZIELSETZUNG	2
2 LITERATURÜBERSICHT	2
2.1 WEINBAU IN STEILLAGEN	2
2.1.1 <i>Abgrenzung und Vermarktung des Steillagenweinbaus</i>	3
2.1.2 <i>Kultivierung</i>	5
2.1.3 <i>Mechanisierung</i>	11
2.1.3.1 <i>Direktzug</i>	13
2.1.3.2 <i>Seilzugmechanisierung</i>	19
2.2 VORSTELLUNG DES BRIELMAIER MOTORMÄHERS	29
2.3 PRODUKTPLANUNG.....	32
2.4 WERKSTOFFKUNDE	35
2.4.1 <i>Unlegierter Baustahl</i>	36
2.4.2 <i>Kaltgewalzter Feinkornblechstahl</i>	37
2.4.3 <i>Automatenstahl</i>	38
2.4.4 <i>Vergütungsstahl</i>	39
2.4.5 <i>Federstahl</i>	40
2.4.6 <i>Knetlegiertes Aluminium</i>	40
2.4.7 <i>Gleitlagerbronze</i>	41
2.4.8 <i>Befestigungselementwerkstoff</i>	41
2.5 FERTIGUNGSTECHNOLOGIE	42
2.5.1 <i>Trennverfahren (Zerspanen oder Spanen)</i>	44
2.5.1.1 <i>Spanbildung</i>	51
2.5.1.2 <i>Die entstehende Wärme beim Spanen und seine Kühlung</i>	56
2.5.1.3 <i>Drehen</i>	58
2.5.1.4 <i>Bohren, Senken, Reiben</i>	63
2.5.1.5 <i>Fräsen</i>	68
2.5.1.6 <i>Sägen</i>	76
2.5.1.7 <i>Schneiden mit dem Laserstrahl</i>	77
2.5.2 <i>Fügeverfahren</i>	80
2.5.2.1 <i>Schraubenverbindung</i>	81
2.5.2.2 <i>Schweißen</i>	81
3 MATERIAL UND METHODE.....	94
3.1 DIE VERWENDETE COMPUTERSOFTWARE.....	94
3.2 VERWENDETE MASCHINEN	104
3.3 FÜR DIE MESSUNG EINGESETZTES MESSGERÄT	105
4 ERGEBNISSE	108

4.1	PLANBESCHREIBUNG	108
4.2	ANTRIEB	109
4.3	ZWEIACHSER	111
4.3.1	<i>Die Verbindungswelle des zweiachsigen Geräts</i>	111
4.3.2	<i>Erste Konstruktion</i>	114
4.3.3	<i>Zweite Konstruktion</i>	129
4.3.3.1	<i>Lenkung</i>	131
4.3.3.2	<i>Plattform</i>	133
4.3.3.3	<i>Mulchgerät</i>	141
4.3.3.4	<i>Pflanzenschutzgerät</i>	145
4.4	DREIACHSER	147
4.4.1	<i>Verbindungswelle der ersten Version</i>	147
4.4.2	<i>Erste Konstruktion</i>	150
4.4.3	<i>Zweite Version</i>	163
5	DISKUSSION	174
5.1	DISKUSSION DES LITERATURTEILS	174
5.2	DISKUSSION VON MATERIAL UND METHODE	175
5.3	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	177
5.3.1	<i>Vergleich der ersten und zweiten Version der Fahrzeuge</i>	178
5.3.2	<i>Vergleich des Zwei- und Dreiachsers</i>	180
5.4	ANWENDUNG IN DER PRAXIS	181
5.4.1	<i>Zwei- und Dreiachser</i>	181
5.4.2	<i>Arbeitsgeräte</i>	184
5.4.2.1	<i>Plattform</i>	184
5.4.2.2	<i>Mulcher</i>	185
5.4.2.3	<i>Pflanzenschutzgerät</i>	186
6	ZUSAMMENFASSUNG	189
7	SUMMARY	191
8	LITERATURVERZEICHNIS	193
	DANKSAGUNG	201
	ANHANG	202

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

°	Grad
Ø	Durchmesser
°C	Grad Celsius
10 ⁻⁶ m/m	10 ⁻⁶ Meter pro Meter (Mikrometer pro Meter)
1/s	Ein pro Sekunde (Lastspielfrequenz der Feder)
bar	bar
CAD	Computer Aided Design
CAN- Bus	Controller Area Network - Bussystem
CO ₂	Kohlendioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMS	Dehnungsmessstreife
EN	Europäische Norm
GPa	Gigapascal
ha	Hektar
ha/h	Hektar pro Stunde
h/ha	Arbeitsstunde pro Hektar
ISO	Internationale Organisation für Normung
kg	Kilogramm
km/h	Kilometer pro Stunde
kW	Kilowatt
m	Meter
MAG	Metall-Aktivgas
MIG	Metall-Inertgas
Mha	Millionen Hektar
Mhl	Millionen Hektoliter
mm	Millimeter
MPa	Megapascal
mV/V	Millivolt pro Volt
N	Newton
Nm	Newtonmeter
PS	Pferdestärke
RMS	Raupenmechanisierungssystem

s	Sekunde
SMS	Seilzugmechanisierungssystem
V	Volt
WIG	Wolfram – Inertgas-Schweißen

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Steillagenweinberg Hochschule Geisenheim, Kaub (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S.34)..... 1

Abbildung 2: Die Reihen der Rebanlage der natürlichen Kontur des Hanges (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 3,)..... 6

Abbildung 3: Querterrassen Mosel (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 6)..... 7

Abbildung 4: Mechanisierungsmöglichkeiten in Abhängigkeit von der Hangneigung (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 7) 13

Abbildung 5: Achsschenkelgelenkter Schmalspurtraktor (SCHWARZ a 2012)..... 14

Abbildung 6: Knickgelenkter Radschlepper (ANTONIO CARRARO 2013 S.2)..... 16

Abbildung 7: Knickgelenkter Traktor MACH 4 mit Gummilaufwerk (ANTONIO CARRARO 2012 S. 3) 17

Abbildung 8: Geier Schmalspur – Raupenschlepper (SCHWARZ b 2013) 18

Abbildung 9: Hangelwinde (SCHWARZ b 2013) 20

Abbildung 10: Anhänger mit Traktor (DIETRICH 1995 S. 35)..... 21

Abbildung 11: Lastwagen mit Geräteträger (EIGENE AUFNAHME 2011) 21

Abbildung 12: Selbstfahrender Anhänger mit lenkbarem Unterstützrad (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 9)..... 22

Abbildung 13: Selbstlenkender Geräteträger mit Transportfläche (DIETRICH 1995 S. 31) 23

Abbildung 14: Geräteträger mit Mulcher (DIETRICH 1995 S. 35) 24

Abbildung 15: Raupenmechanisierungssystem (PORTEN et.al. 2010, S. 38) 26

Abbildung 16: RMS-Raupe mit Multifunktionsarm (ANONYM 2010 S. 29)..... 27

Abbildung 17: Uni-Trak Geräteträger (ANONYM 2010 S. 29) 29

Abbildung 18: Brielmaier Q1 Motormäher (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 18) 30

Abbildung 19: Schwerpunkt und Bedienung des Lenkholmes bei verschiedenen Motormähern (BRIELMAIER PROSPEKT 2012 a S. 2) 31

Abbildung 20: Die klassische und moderne Produktinnovation (nach HERRMANN UND HUBER 2009 S. 124 - 125)..... 33

Abbildung 21: Die Kennzeichnung des unlegierten Baustahles (FISCHER et al. 2011 S. 119)..... 36

Abbildung 22: Untergruppen des Trennverfahrens (FRITZ et al.2010 S. 238)..... 44

Abbildung 23: Bewegungen und Geschwindigkeiten des Spanverfahrens (WITT et al. 2006 S. 108)..... 46

Abbildung 24: Hauptteil des Drehmeißels (DUDAS 2000a S. 172)..... 48

Abbildung 25: Flächen und Winkel des Drehmeißels (FRITZ et al. 2010 S. 248)..... 49

Abbildung 26: Werkzeug- und Wirkbezugssystem (FRITZ et al. 2010 S. 249)..... 50

Abbildung 27: Werkzeugwinkel (FRITZ et al. 2010 S. 250)..... 51

Abbildung 28: Vorgang der Spanbildung (a: Spandicke, v_c : Schnittgeschwindigkeit, Φ : Scherwinkel, v_Φ : Schergeschwindigkeit, v_s : Stirnflächengeschwindigkeit) (DUDAS 2000a S. 184) 52

Abbildung 29: Spanbildungsmodell (FRITZ et al. 2010 S. 252)..... 53

Abbildung 30: Spanarten: a) Reißspan, b) Scherspan, c) Fließspan (Φ : Scherwinkel)(FRITZ et al. 2010 S. 253) 55

Abbildung 31: Die Wärmeverteilung während des Spanens und die wichtigen Ergieumwandlungsstellen (Q_{Umwelt} : Die im Umwelt oder im

	Kühlschmierstoffe gewandelte Wärmeenergiemenge, Φ : Scherwinkel)(FRITZ et al. 2010 S. 256)	57
Abbildung 32:	Drehmaschine mit ihren Teilen (DILLINGER et al. 2010 S. 152).....	58
Abbildung 33:	Plandrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. S. 272)	59
Abbildung 34:	Runddrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 272).....	59
Abbildung 35:	Schraubendrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 273)	60
Abbildung 36:	Wälzdrehen (n_w : Werkstückdrehzahl, n_s : Werkzeugdrehzahl, v_f : Vorschubgeschwindigkeit) (DUDAS 2000a S. 235).....	60
Abbildung 37:	Profildrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 274)	61
Abbildung 38:	Formdrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_f : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 275).....	61
Abbildung 39:	verschiedene Drehmeißel: 1 Gerader Lang-, 2 Gerader Schlich-, 3 Gebogener Schlich-, 4 Breiter Schlich-, 5 Radialer Schlich-, 6 Stirnschneid- 7 Abgesetzter-, 8 Gebogener Langdrehmeißel, 9 Ausdrehmeißel für die Durchgangsbohrung, 10 Ausdrehmeißel für die Sackbohrung, 11 bohrungsabgesetzter Drehmeißel und 12 Seitenschneider Drehmeißel, L linksgerichtet, R rechtsgerichtet, und N zweigerichtet (DUCSAI 2008 S. 53).....	62
Abbildung 40:	Prisma (a) - und Kreismeißel (b), n : Werkstückdrehzahl, α_0 : Freiwinkel beim z Punkt der Schneide, γ_0 : Spanwinkel, v_f : Vorschubgeschwindigkeit, h : Abstand zwischen dem Werkstück- und dem Kreisschneidemittelpunkt(DUCSAI 2008 S. 55)	63
Abbildung 41:	Bewegung beim Bohrverfahren (DILLINGER et al. 2010 S. 122).....	63
Abbildung 42:	Bohrmaschine mit ihren Teilen (EGENE AUFNAHME).....	64
Abbildung 43:	Planbohren (n_c : Schnittdrehzahl, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 278)	65
Abbildung 44:	Rundbohren (n_c : Schnittdrehzahl, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 278)	66
Abbildung 45:	Profilbohren (n_c : Schnittdrehzahl, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 279)	66
Abbildung 46:	Schrauben- und Formbohren (n_c : Schnittdrehzahl, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 279).....	67
Abbildung 47:	Bohrwerkzeuge (DILLINGER et al. 2010 S. 128, FRISCHHERZ et al. 2010 S. 46)	68
Abbildung 48:	Fräsmaschine mit ihren Teilen (DILLINGER et al. 2010 S. 169)	69
Abbildung 49:	Gegen- und Gleichlaufräsen (F : Schnittkraft, v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_f : Vorschubgeschwindigkeit) (DILLINGER et al. 2010 S. 161).....	70

Abbildung 50: Planfräsen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{ft} : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 283)	71
Abbildung 51: Rundfräsen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{ft} : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 283)	72
Abbildung 52: Schraub- und Wälzfräsen (n_w : Werkstückdrehzahl, v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_f : Vorschubgeschwindigkeit, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{ft} : Vorschubgeschwindigkeit α : Winkel zwischen den Werkstück- und Werkzeugachsen) (FRITZ et al. S. 284)	73
Abbildung 53: Profilverfräsen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{ft} : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 284)	73
Abbildung 54: Formfräsen (n_c : Schnittdrehzahl, v_f : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 284)	74
Abbildung 55: Fräswerkzeuge (DILLINGER et al. 2010 S. 156, DUDAS 2000a S. 274, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007 S. 52).....	75
Abbildung 56: Sägewerkzeuge (EIGENE AUFNAHME).....	76
Abbildung 57: Ausgestaltung der Sägezähne (DILLINGER et al. 2010 S. 120)	77
Abbildung 58: Versichdene Sägemaschinen (Bügelsägemaschine vpn DILLINGER et al. 2010 S. 121, EIGENE AUFNEHMEN)	77
Abbildung 59: Schneiden mit Laserstrahl (DILLINGER et al. 2010 S. 110)	78
Abbildung 60: Pfeil für die Nahtart (FRISCHER et al. 2011 S. 88).....	84
Abbildung 61: Ergänzungs- und Zusatzsinnbild (FRISCHER et al. 2011 S. 88)	85
Abbildung 62: Lichtbogenhandschweißen (DILLINGER et al. 2010 S. 219).....	87
Abbildung 63: Metall-Inter- und Metal-Aktivgas Schweißgerät (DILLINGER et al. 2010 S. 222).....	89
Abbildung 64: Wolfram – Inertgasschweißen (DILLINGER et al. 2010 S. 223).....	91
Abbildung 65: Gleich- und Wechselstromschweißen (DILLINGER et al. 2010 S. 223)....	92
Abbildung 66: Netz der Finiten Element Methode (im SolidWorks Programm) (Größer Darstellung im Anhang)	95
Abbildung 67: Finite Element Methode mit verschiedenen Netzdichten.	96
Abbildung 68: Montagezeichnung der Welle der Hinterwalze (Größer Darstellung im Anhang)	97
Abbildung 69: Bauteilzeichnung des Gleitlagergehäuses.....	99
Abbildung 70: Toleranzangabemöglichkeit (DILLINGER et al. 2010 S. 40).....	100
Abbildung 71: MDESING Roloff/ Matek Edition Programm (Größere Darstellung im Anhang)	100
Abbildung 72: Tabelle der Zuschnitteile, Werkstoffe und Verbindungselemente	102
Abbildung 73: Beispielzeichnung mit dem AutoCAD 2007 2-D-Zeichnungsprogramm (Größere Darstellung im Anhang).....	103
Abbildung 74: FluidSIM Hydraulik 4.2 Demoversion (Größere Darstellung im Anhang)	104
Abbildung 75: Dehnungsmessstreifen (HOFFMANN 1987 S. 7).....	105
Abbildung 76: T – Rosette (HOFFMANN 1987 S. 51).....	106

Abbildung 77: Zwei Aufbaumöglichkeiten einer Weatstone`sche Maßbrücke (HOFFMANN 1987 S. 146)	107
Abbildung 78: Kurze und lange Walzen.....	110
Abbildung 79: Einzelne Teile der Fahrzeuge	110
Abbildung 80: Verbindungswelle des Zweiachsers	111
Abbildung 81: Die entstehende Spannung bei den Verbindungswellen des Zewiachsers	113
Abbildung 82: Erster Rahmen des Zweiachsers	114
Abbildung 83: Skizze des Rahmens.....	116
Abbildung 84: Finite Element Methode der Plattform und des Hebelarms (erste Version)	117
Abbildung 85: Finite Element Methode der Verbindungsbolzen und des Rahmens (erste Version)	119
Abbildung 86: Plattformversionen.....	120
Abbildung 87: Kiste mit den elektronischen Steuerteilen	121
Abbildung 88: Hydraulikkreis des Zweiachsers bei Geradfahrt.....	123
Abbildung 89: Hydraulikkreis des Zweiachsers während der Lenkung nach links mit 50% Drosselventilöffnung	124
Abbildung 90: Hydraulikkreis des Zweiachsers während der Lenkung nach links mit 100% Drosselventilöffnung	125
Abbildung 91: Hydraulikkreis des Zweiachsers bei der Rückwärtsfahrt	127
Abbildung 92: Dehnung und Schlupf (Die Punktlinien sind die berechneten Daten, die fließende Linien sind die gemessenen Daten) (Brunner 2012 S. 22-23).....	128
Abbildung 93: Zweite Konstruktion des Rahmens	129
Abbildung 94: Finite Element Methode der zweiten Konstruktion	130
Abbildung 95: Hydraulikkreis der Knicklenkung (Bei gerader Fahrt).....	132
Abbildung 96: Dehnung und Schlupf für die Knicklenkung (Die Punktlinien sind die berechneten Daten, die fließende Linien sind die gemessenen Daten) (BRUNNER 2012 S. 22-23).....	133
Abbildung 97: Die Versionen der Plattform	134
Abbildung 98: Skizze der Plattform (zweite Version).....	135
Abbildung 99: Skizze der Plattform (Version der Knicklenkung)	136
Abbildung 100: Finite Element Methode – Plattform und Hydraulikzylinderbolzen der zweiten Version der Knicklenkung.....	137
Abbildung 101: Skizze für die Berechnung des Belastungssystems des ersten kritischen Falls	138
Abbildung 102: Finite Element Methode – Grundrahmen der zweite Version der Knicklenkung	140
Abbildung 103: Grundrahmen des Mulchers	141
Abbildung 104: Zweiachsiges Gerät mit kippbarem Mulchgerät	142
Abbildung 105: Messerposition	143
Abbildung 106: Der neue Grundrahmen	143
Abbildung 107: Einstellungsmöglichkeit des Gebläses nach dem zweiten Kriterium..	146
Abbildung 108: Auf Grundlage des zweiten und dritten Kriteriums	147
Abbildung 109: Verbindungswellen der ersten Version des Dreiachsers	148
Abbildung 110: Finite Element Methode – Verbindungswelle des Dreiachsers.....	149
Abbildung 111: Erste Version des Dreiachsers	150
Abbildung 112: Skizze des Grundrahmens der ersten Version	152

Abbildung 113: Finite Element Methode –Rahmen der ersten Version des Dreiachsers I.....	153
Abbildung 114: Finite Element Methode – Rahmen der ersten Version des Dreiachsers II.....	154
Abbildung 115: Finite Element Methode – Vorderteil der ersten Version des Dreiachsers.....	156
Abbildung 116: Skizze für die Federkraftberechnung der ersten Version des Dreiachsers.....	158
Abbildung 117: Finite Element Methode – hinteres Teil der ersten Version des Dreiachsers.....	160
Abbildung 118: Die angegebene Daten des MDESING Roloff/ Matek Edition Programms	162
Abbildung 119: Erste Version des Dreiachsers mit Hydraulikzylinder.....	163
Abbildung 120: Zweite Version des Dreiachsers	164
Abbildung 121: Hydraulikkreis der hydraulischen Feder	165
Abbildung 122: Finite Element Methode –Rahmen der zweiten Version des Dreiachsers.....	167
Abbildung 123: Skizze für die Federkraftberechnung der zweiten Version des Dreiachsers.....	168
Abbildung 124: Finite Element Methode – hinteres Teil der zweiten Version des Dreiachsers.....	170
Abbildung 125: Hydraulikkreis während der geraden Fahrt	172
Abbildung 126: Hydraulikkreis während der Lenkung nach links.....	173
Abbildung 127: Lenkmanöver der ersten Version des Dreischres	180
Abbildung 128: Dreiachsiger Anhänger (KÖGEL PROSPEKTE 2013 S. 1)	181
Abbildung 129: Düse mit Gebläse	188

TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1: Arbeitszeitaufwand unterschiedlicher Bewirtschaftungsformen im Steillagenweinbau (nach BÖHME 2003 S. 7)</i>	4
<i>Tabelle 2: "Grenzsteigungen für Mechanisierung mit hangtauglichen Radschlepperbauarten" (nach DIETRICH 1995 S. 18)</i>	16
<i>Tabelle 3: Quellen der Unternehmensideen (nach HERRMANN UND HUBER 2009 S. 126).....</i>	33
<i>Tabelle 4: Spanformarten (FRITZ et al. 2010 S. 255).....</i>	56
<i>Tabelle 5: Die wichtigsten Fügeverfahren (DILLINGER et al. 2010 S. 206).....</i>	80
<i>Tabelle 6: Sinnbilder der Schweißnähte (FRISCHER et al. 2011 S. 88-89).....</i>	83
<i>Tabelle 7: Varianten des Schweißverfahrens (DILLINGER et al. 2010 S. 217).....</i>	85

1 EINLEITUNG

1.1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

In Deutschland spielt der Steillagenweinbau auf Grund seiner touristischen Anziehungskraft und seines landschaftsprägenden Bildes eine wichtige Rolle. Darüber hinaus sind die wirtschaftlichen Vorteile zu benennen, welche einer Region durch diese selten gewordene Weinbauvariante genießt. Der Steillagenweinbau (Abb. 1) führt zu einer höheren Qualität des Weines als der Anbau auf ebenen Flächen. Da die Sonneneinstrahlung pro Tag von längerer Dauer ist, ist die Zuckerproduktion bei diesen Trauben höher. Trotz der hohen Qualität ist die Anbaufläche von Steillagen in den letzten Jahren rückläufig. Als Gründe hierfür sind die wesentlich höheren Anforderungen an die Maschinen und die daraus resultierenden beträchtlichen Kosten. Die Bearbeitungskosten werden ebenfalls durch den Beschaffungspreis sowie die Inspektionskosten der Maschinen in die Höhe getrieben. Da keine standardisierten Mechanisierungssysteme zur Verfügung stehen, müssen Mechanisierungssysteme entwickelt werden, die auf die speziellen Anforderungen des Steillagenweinbergs abgestimmt sind. Außer diesen Entwicklungs-, Wartungs- und Anschaffungskosten wird der Rückgang der Bewirtschaftungsfläche durch den hohen Zeitaufwand begünstigt. Zudem erweist sich der Arbeitseinsatz in den Steillagenweinbergen immer wieder als risikoreich und körperlich überaus anstrengend.



Abbildung 1: Steillagenweinberg Hochschule Geisenheim, Kaub (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S.34)

Die Lösung wäre ein kostengünstigeres und innovatives Mechanisierungskonzept, welches die Anschaffungs- und Inspektionskosten deutlich drücken würden. Außerdem bestünde die Möglichkeit, die Bearbeitungskosten durch den geringeren Arbeitszeitaufwand und die erhöhte Arbeitssicherheit zu senken. Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieses Projekts im Institut für Technik der Hochschule Geisenheim ein zwei- und ein dreiaxsiges Transport- und Antriebsfahrzeug sowie die dazugehörigen Arbeitsgeräte zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen in Steillagen entwickelt.

1.2 ZIELSETZUNG

Auf Basis dieser Informationen sollte das Institut für Technik der Hochschule Geisenheim einen Prototypen für die Steillagenbewirtschaftung entwickeln, herstellen und testen. Unter Berücksichtigung der beschriebenen Aspekte wurde folgende Zielsetzung formuliert:

1. Die Fahrzeuge müssen im seillosen Betrieb eine Steigung von mehr als 60% bewältigen können, um das Befahren einzelner Zeilen zu ermöglichen. Dieses Ziel kann nur erfüllt werden, wenn die zu konstruierende Maschine einen möglichst tiefen Schwerpunkt besitzt.
2. Aus Gründen der Sicherheit müssen die Fahrzeuge auch ohne einen Fahrer funktionstüchtig sein. Die Steuerung der Maschine soll durch GPS-gestützte oder durch überlagerte Funkfernsteuerung betrieben werden.
3. Die Maschinen müssen alle anfallenden Arbeiten im Steillagenweinbau durchführen können.
4. Die Produktionskosten müssen gering gehalten werden, sodass die Maschinen für kleinere Betriebe erschwinglich sind.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 WEINBAU IN STEILLAGEN

Nach Schätzungen der Internationale Organisation für Rebe und Wein (OIV) betrug die Anbaufläche von Wein zwischen 2010 und 2011 weltweit ca. 60-78 Mha. Ausgehend von dieser Schätzung kann man eine weltweite Weinproduktion von 269,8Mhl veranschlagen. Auf das deutsche Bundesgebiet entfielen im Jahr 2010, laut der Daten des

Statistischen Bundesamtes, 102.197 ha Rebenfläche. Lediglich 7-8% der Weinanbaufläche in Deutschland wird für den Steillagenweinbau genutzt. Die steil abfallenden Hänge an Flüssen und das hiesige Klima sind exzellent geeignet für den Anbau von Wein. Zudem stellen die Reben nur wenige Bodenansprüche und helfen die Bodenerosion zu mindern (BÖHME 2003, INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR REBE UND WEIN 2011, STATISTISCHES BUNDESAMT 2010, RÜHLING 2007).

2.1.1 Abgrenzung, Rückgang und Vermarktung des Steillagenweinbaus

Weinbausteillagen sind in Deutschland gesetzlich als Lagen mit einer Steigung von mindestens 30% definiert (WeinG, § 6(2)1., 1994). Die Obergrenze für Steillagenweinbau ist die gleiche Grenze, wie für die Bearbeitung mit dem Seilzugmechanisierungssystem (SMS)¹. Bei besten Voraussetzungen kann der Traktor noch bei einer Hangneigung von max. 60 % eingesetzt werden. Bei ungeeigneten Bedingungen (rutschiger und nasser Boden) ist diese Grenze auf 40% zu reduzieren (BÖHME 2003, WALG 2000).

Heute ist die Mechanisierung der Flachlagen besser als die der Steillagen. Hier wird mehr Handarbeit geleistet (Tab. 1). Diese Arbeit ist im Preis des Steillagenweins nicht enthalten. Wenn alle Arbeitszeitkosten in den Weinpreis einfließen würden, dann würden die Verkaufszahlen wegen des höheren Preises sinken. Die Winzer sind nicht in der Lage, diese anstrengende Handarbeit adäquat zu entlohnen. Somit müssen sie - oftmals unfreiwillig - auf die Arbeitskräfte verzichten. Dadurch stockt der Arbeitsprozess und verdirbt im schlechtesten Falle die Qualität des Produktes. Daraus folgt, dass sich ihr Produkt noch schwerer auf dem Markt halten kann. Um diesen Niedergang zu entgehen, senken die Weinbaubetriebe die Anbaufläche von Steillagenwein. Zwar entspricht es der Realität, dass die Qualität dieses Weins oftmals besser ist, doch wegen des hohen Preises ist dieser nicht wettbewerbsfähig. (BÖHME 2003, WALG 2000).

In Vollkostenrechnung betrachtet, liegen z.B. die Kosten der Weinerzeugung im Steillagengebiet Mosel doppelt so hoch als in den Direktzug-Anbaugebieten Rheinhessen oder Pfalz (WILLNER 1992).

¹ Im Weiteren wird das Seilzugmechanisierungssystem mit "SMS" abgekürzt.

Table 1: Arbeitszeitaufwand unterschiedlicher Bewirtschaftungsformen im Steillagenweinbau (nach BÖHME 2003 S. 7)

Australischer Weinbau (Minimalschnitt)	70 h/ha
Deutscher Weinbau in der Ebene (maschinelle Ernte)	300 h/ha
Weinbau in Hanglagen, unterhalb der Direktzuggrenze (Handlese)	600 h/ha
Steillagenweinbau mit Seilzug	1000 h/ha
Weinbau in terrassierten, unerschlossenen Steillagen	1400 h/ha

Die schlechten oder alten Methoden begünstigen das Defizit der Weinbausteillagen. Dieses wird noch durch die begrenzten Mechanisierungsmöglichkeiten begünstigt – wie oben bereits beschrieben – sowie die Grenzen in der Entwicklung neuer Methoden und Maschinen. Ein anderes Problem im Steillagenweinbau tritt auf, wenn sehr viele kleine Parzellen vorhanden sind, welche sehr teuer zu bearbeiten sind. Auf einer kleinen Parzelle muss viel Zeit investiert werden, bei wenig Ertrag, da sie weniger Trauben produzieren. Die Maschinen müssen mehr Leerfahrten unternehmen, da sie öfter drehen müssen. Zudem müssen sie unter Umständen längere Wege bewältigen, da es an Platz zum Drehen mangelt. Aus diesem Grund verbrauchen die Maschinen auch mehr Kraftstoff (RÜHLING 2007).

Ein weiteres Problem ist, dass die Rebsorten-Grundweine zu leicht über die Anbaugrenzen hinweg ausgetauscht werden können und der Verbraucher dadurch weniger Möglichkeiten hat Steillagenweine von Weinen die in der Ebene produziert worden sind zu unterscheiden. Somit ist es auch schwierig höhere Preise für Steillagenwein am Markt durchzusetzen (BÖHME 2003).

Durch die Mechanisierung kann man die Kosten für die Steillagen senken: PORTEN und SCHWARZ (2008) berechneten eine mögliche Arbeitszeiteinsparung von 1.000-2.500 h auf 400-600 h je Hektar durch eine Mechanisierung des Steillagenweinbaus.

Dadurch würde der Rückgang des Steillagenweinbaus verhindert werden. Bereits BECKER (1979) stellte fest, dass seit Mitte der 1950er Jahre wegen der schwierigen Bewirtschaftungsbedingungen ein Rückzug des Weinbaus aus traditionellen Steilhangflächen stattfindet.

Zwischen 1970 und 1980 betrug diese Abnahme etwa 20%. Laut dem Statistischen Bundesamt belief sich die Gesamtfläche des Steillagenweinbaus 1992 auf 15000 ha. Wenn man mit diesen Daten rechnet, errechnet sich heute eine Fläche von ca. 7000-8000 ha Steillagenweinbau in Deutschland (BÖHME 2003, MÜLLER et al. 1999).

Am Beispiel Rheinland-Pfalz zeigt sich, dass der Rückgang des Steillagenweinbaus unvermindert anhält: Von 1999 bis 2009 reduzierte sich die Steillagenfläche in diesem Bundesland von ca. 7.000 ha auf 5.200 ha (STATISTISCHES LANDESAMT RLP 2011).

Ein mittelbarer Negativeffekt der Flächenaufgabe ist eine zunehmende Bildung von Brachen (sog. Drieschen). Da hier kein Pflanzenschutz mehr durchgeführt wird, haben sie die Wirkung von Infektionsherden, von denen aus Pflanzenkrankheiten wie z.B. die Schwarzfäule (*Guignardia bidwellii*) sich ungehindert auf benachbarte Ertragsweinberge ausdehnen können (HOLZ 2003).

Die Ziele des Erhalts des Steillagenweinbaus sind das Bewahren des jahrhundertealten Kulturlandschaftsbildes, sowie die Ermöglichung des Lebensunterhaltes durch Steillagenweinbau und die Minderung der Auswanderung. Die teilweise vorherrschenden Terrassen prägen das Kulturlandschaftsbild der Steillagen. Die Erforschung der Mechanisierung steht der Erhaltung des Kulturlandschaftsbildes gegenüber (BÖHME 2003).

2.1.2 Kultivierung

Das Klima spielt in Bezug auf die spätere Weinqualität eine große Rolle. Die allgemeine Anbaugrenze von Wein wird durch die Temperatur und die Sonneneinstrahlung definiert. Mit zunehmender Höhe fällt auch die Lufttemperatur, wodurch die Qualität der Beeren sinkt. Jedoch besitzt der Steillagenweinbau einen einzigartigen Vorteil gegenüber dem Weinbau auf ebener Fläche: Durch die Neigung der Steillagenweinberge erreicht die Beeren auch bei tief stehender Sonne sehr viel Sonneneinstrahlung, wodurch die Beeren eine höhere Qualität erhalten. Daneben spielen Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung noch wichtige Rolle für die Qualität der Beeren (BÖHME 2003, MÜLLER et al. 1999).

Die Winzer unterscheiden zwei Systeme für das Anlegen eines Steillagenweinbergs. Entweder folgen die Reihen der Rebanlage der natürlichen Kontur des Hanges (Abb. 2), oder der Hang wird terrassiert (Abb. 3), um die Rebanlage eben oder mit kleinen steilen Flächen erhalten zu können. Die Anbaumethode der Terrassierung, welche in der Vergangenheit entstanden ist, verfügt über einen großen Vorteil. Man kann sich während der Bearbeitung der Reben mit der Hand auf einer ebenen Fläche bewegen. Somit entfällt der mühselige Anstieg während des Arbeitstages. Aber die mehrgliedrigen Rebanlagen haben auch einen großen Nachteil. Zwischen zwei Steillagen kann man mit einem Fahrzeug nicht durchfahren, da der Platz nicht ausreicht. Dies erweist sich dann als Problem für Pflanzung und für Lieferungen (BÖHME 2003, PORTEN UND TREIS ohne Jahreszeitangabe).



Abbildung 2: Die Reihen der Rebanlage der natürlichen Kontur des Hanges (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 3.)



Abbildung 3: Querterrassen Mosel (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 6)

Heute werden die Querterrassen in Italien und auch in einigen deutschen Bundesländern verwendet, wobei die Rebzeilen nicht auf der dem Hang zugewandten Terrassenseite gepflanzt werden. Die Terrassen (Abb. 3) sind so breit, dass ein Schmalspurtraktor oder eine schmale Raupe durchfahren kann. So ist es möglich, die Bearbeitung mit dem gleichen Mechanisierungssystem durchzuführen, welches auch auf ebenen Flächen zur Anwendung kommt. Dies ermöglicht die Senkung der Arbeitsstunden, sodass sie geringer sind, als für den Falllinienanbau. Aber man muss für den Ausbau der Terrassen großräumig Erde bewegen. Die Menge der bewegten Erde hängt von der Steigung des Hangs ab. Je steiler der Hang ist, desto mehr Erde muss bewegt werden. Diese bewegte Erdmenge ist begrenzt durch die Dicke der obersten Erdschicht. Bei ansteigender Hangneigung nimmt die Böschung immer mehr Platz, bei gleich bleibender Terrassenbreite, ein. Somit bleibt weniger Fläche für den Pflanzraum übrig. Obwohl die Böschungen meist begrünt sind, kann es passieren, dass diese trotzdem herabrutschen (BÖHME 2003, PORTEN UND TREIS ohne Jahreszeitangabe).

JÖRGER et al. (2008) sehen deshalb viele Nachteile in der Querterrassierung: Neben hohen Flächenverlusten, niedrigeren Pflanzdichten, steigenden Stockbelastungen und der Notwendigkeit einer Bewässerung steht vor allem die kostenintensive Umformung des Geländes (bis zu 22.000 € /ha) zur Debatte.

Die Rebanlage folgt der natürlichen Kontur des Hanges, sodass zwischen den Reihen ein Arbeitsgerät fahren kann. Diese Lösung sichert vielfältige Mechanisierungsmöglichkeiten. In wenigen Fällen sind die Reihen senkrecht auf die natürliche Kontur des

Hanges hin ausgerichtet. Auch in diesen Anlagen werden ausgedehnte Erdbauarbeiten zur Erschließung angewendet. Darüber hinaus sind die Errichtung der Wasserführung sowie der Wegebau Ziele der Winzer. Jedoch passen die in der Vergangenheit ausgebauten Wege und Stützmauern oftmals nicht mehr zu den Erfordernissen der modernen Mechanisierung bezüglich Zuwegungen und Vorgewende (BÖHME 2003).

Das Anbausystem definiert den äußerlichen Aufbau einer Rebanlage. Zum Anbausystem gehören „das Pflanzsystem, das Bodenpflegesystem und das Erziehungswesenssystem mit dem Unterstützungsgerüst“ (BÖHME 2003). Ein gutes Verhältnis von Ertrag und Qualität kann man innerhalb des Anbausystems durch das Verhältnis der Laub- und Traubenmenge sichern. Für eine gute Qualität braucht es ein günstiges Kleinklima während des Traubenwachstums. Dies wird mit der Nutzung der passenden Maschinen erreicht, wodurch die Arbeitszeit und der Arbeitsaufwand gesenkt werden (MÜLLER et al. 1999).

Die Rebanlage wird durch das Pflanzsystem und die genutzten Arbeitsmaschinen beeinflusst. Die Reihen- und Stockabstände werden durch das gewählte Pflanzsystem vorgegeben, der Reihenabstand durch die genutzten Zugmaschinen. Schmalspurschlepper und moderne Seilzuggeräte benötigen einen Reihenabstand von mindestens 1,6 m. In Rebanlagen mit einem Reihenabstand von 2,5-3 m können auch noch Normalspurschlepper eingesetzt werden. Die Wahl eines Reihenabstandes von mehr als 3 m wirkt sich ungünstig auf die Relation von Laub- und Traubenmenge aus, so dass die Rebstöcke überbeansprucht werden. Der Reihenabstand sollte mindestens 0,6 m breiter sein als der Traktor, da so eine gefahrlose Durchfahrt der Bearbeitungsmaschine ermöglicht wird (BÖHME 2003, MÜLLER et al. 1999, WALG 2000).

Die verschiedenen Varianten des Bodenpflanzsystems sind mechanischer Bodenbearbeitung, Bodenbegrünung, Bodenabdeckung und chemischer Bodenpflege. Wenn die Bodenbearbeitung weglassen wird, und stattdessen „die dauerhafte ganzflächige Bodenbedeckung durch eine eingebrachte Mulchschicht oder durch Mulchen einer Begrünung“ (BÖHME 2003) nutzt, ist es möglich die Infiltration steigern und die Erosion senken. Daneben erhöht sich die Menge des organischen Materials und die Bodenstruktur verbessert sich nachhaltig, wodurch Wasserspeichervermögen, Bodenleben und Bodengare begünstigt werden. Ein unbearbeiteter Boden ermöglicht die

Fahrt eines Traktors zwischen den Rebreihen auch bei einer großen Steigung (BÖHME 2003, MÜLLER et al. 1999).

Durch den unbearbeiteten Boden entstehen zwei Nachteile. Zum einen wird der Boden nicht gelockert, so dass die Bodendichte immer höher wird und die Luft im Boden reduziert wird. Der geringe Luftanteil im Boden wirkt sich schädlich auf das im Boden vorhandene Leben aus. Jedoch besitzt der gelockerte Boden ebenfalls eine negative Eigenschaft, da dieser, im Gegensatz zum unbearbeiteten Boden, dazu neigt zu verdichten (BÖHME 2003, MÜLLER et al. 1999).

Zum anderen benötigen die Pflanzen, welche zwischen die Zeilen gesetzt werden, auch Wasser und Nährstoffe. Dadurch können die Reben weniger Wasser und Nährstoffe aus dem Boden aufnehmen. Mit der Bodenbearbeitung wird diese Konkurrenz aufgelöst, „damit [wird] gleichzeitig die Mineralisierung organischer Substanz gefördert“ (BÖHME 2003), somit vermindert sich das Wasserspeichervermögen des Bodens. Der Wassermangel ist kein Fehler des modernen Bodenpflegesystems. Je größer eine Pflanze wächst, desto mehr Wasser benötigt sie. Die Nutzen eines herkömmlichen Bewässerungssystems wären sehr gering, da die zwischenzeiligen Pflanzen das Wasser aufnehmen, wodurch sie stärker und schneller wachsen würden als die Reben. Dafür kommt in den Weinbergen das druckkompensierte Tropfbewässerungssystem zum Einsatz. Hier erhalten nur die Reben Wasser. Der Wasserverbrauch der Begrünung kann durch das systematische Mähen begrenzt werden. Wenn das Mähen alleine nicht ausreicht, kann die Bewässerung begrenzt werden oder aber Herbizide kommen zum Einsatz. Laut dem Pflanzenschutzgesetz dürfen Herbizide nur genutzt werden, wenn sich andere kulturtechnische Methoden als erfolglos erwiesen haben. Heutzutage verwenden die Winzer eine Kombination aus Begrünung und mechanischer Bodenbearbeitung (BÖHME 2003, MÜLLER et al. 1999).

Um guten Wein herzustellen benötigt es einen regelmäßigen Ertrag, sowie eine sehr gute Qualität der Beeren. Hierfür muss ein Gleichgewicht zwischen dem vegetativen (Laubmasse) und generativen (Traubenbehang) Wachstum herrschen. Wenn die Laubmasse zu groß ist, muss die Rebe die Nährstoffe liefern um die Triebe am Leben zu erhalten. Der Grund hierfür liegt in der mangelnden Sonneneinstrahlung, wenn die Blätter die Trauben verdecken. Infolge dessen verlangsamt sich ihr Wachstum. Die Trauben

enthalten weniger Zucker, besitzen eine schlechtere Qualität und benötigen mehr Zeit für die Reife. Außerdem hat die Rebe zu wenig Blattfläche, deswegen kann sie sehr wenige Nährstoffe selbst herstellen, sodass die Trauben von minderwertiger Qualität sind. Das nötige Gleichgewicht zwischen dem vegetativen und generativen Wachstum wird durch das Erziehungssystem beeinflusst. Zum Erziehungssystem gehört der Schnitt des einjährigen Fruchtholzes im Winter, im Sommer das Zurückschneiden der Triebe und das Wegschneiden der Blätter, welche die Trauben verdecken. Dieses beeinflusst ebenfalls die Gestaltung und Form des Rebstocks, sowie die Möglichkeiten der Mechanisierung. Die Koexistenz mit dem Pflanzsystem beeinflusst dadurch das Kleinklima (BÖHME 2003, MÜLLER et al. 1999).

Junge Reben benötigen im Weinbau ein Unterstützungsgerüst, weil sie zu schwach sind, um allein stehen zu können. Das sichert die Festhaltungsmöglichkeit für die Ranken der Reben. Das Unterstützungsgerüst besitzt zwei unterschiedliche Varianten: die Spalieranlage, sowie den Einzelpfahl. Der Vorteil des Letzteren ist die Möglichkeit während der Handarbeit quer auf dem Hang zu gehen. Die Arbeit ist in dieser Richtung leichter. Der Nachteil besteht im sehr schmalen Reihenabstand. Aus diesem Grund ist die Mechanisierung kaum oder unmöglich, weshalb der Einzelpfahl im Weinbau immer weniger genutzt wird. In der Spalieranlage ist die Mechanisierung möglich, da die Pflanzung in den Reihen ausgeführt wird. In diesem Fall ist der Ausbau des Drahtrahmens mit den Drahtpaaren teuer und bedeutet viel Arbeit. Aber im Anschluss erfolgt weniger Handarbeit und durch die Mechanisierung sinken die Ausgaben (BÖHME 2003, MÜLLER et al. 1999).

In den modernen Steillagen ist die Pilzbekämpfung vor der Ernte diejenige Arbeit, welche am meisten Zeit verschlingt. Daneben ist jedoch der Ausgleich des Nährstoffhaushaltes besonders wichtig, welcher nicht viel Zeit in Anspruch nimmt. Lediglich der Verschnitt muss in den Weinbergen bleiben, und Trub und Pressrückstände der Trauben werden als Dünger verwertet. Die Nährstoffe können durch Auswaschung und Bodenabtrag schwinden. Die Auswirkungen dieses Prozesses werden durch die Teilzeitbegrünung oder die Teilflächenbegrünung minimiert. Die Bodenbearbeitung wird bergauf durchgeführt, um so den Auswirkungen der Bodenerosion entgegenzuwirken. Durch diese Methoden wird der Nährstoffhaushalt des Bodens gesichert (BÖHME 2003).

Eine vollständige Mechanisierung des Weinbaus ist möglich mit dem extensiven Erziehungssystem des Minimalschnitts. Dieses System wird im Ausland, z.B. Australien, bereits seit 20 Jahren erfolgreich und standardmäßig eingesetzt (SCHWAB und NÜSSLEIN 2005). Durch die reine mechanisierte Bearbeitung und den Wegfall umfangreicher Winterschnittmaßnahmen reduziert sich die notwendige Arbeitszeit enorm: Nach SCHULTZ et.al. (1997) sinkt der Jahresarbeitszeitbedarf dabei auf 50–70 h/ha (vgl. auch Tab. 1). Anfänglichen Bedenken der Weinbaupraxis zum Trotz ist bei diesem buschartigen Weinbausystem keine Beeinträchtigung der Weinqualität festzustellen (SCHULTZ et al. 1999). BÖHME (2003) stellte fest, dass der Minimalschnitt auch grundsätzlich für den Steilhang geeignet ist, da bei doppelter Zeilenbreite kein erhöhter Wasserbedarf im Vergleich zur konventionellen Spaliererziehung vorliegt.

Eine erfolgreiche Minimalschnittbewirtschaftung ist jedoch nur möglich durch eine vollmechanisierte Arbeitsweise, inklusive ertragsregulierender Maßnahmen und maschineller Ernteprozesse. Dafür ist die Entwicklung von steilhangtauglichen Trägersystemen – wie in dieser Arbeit dokumentiert – eine notwendige Voraussetzung.

2.1.3 Mechanisierung

Im ebenen Weinbau überwiegen die mechanisierten Arbeitsprozesse. Die Schnitтарbeiten sind eine der wenigen Ausnahmen, da sie teilmechanisiert durchgeführt wird. Das Vorschneiden der Reben und das Entfernen der abgeschnittenen Triebe aus dem Drahtrahmen geschehen mit Hilfe von Maschinen, das Zurückschneiden der Triebe ist reine Handarbeit. Die im Steillagenweinbau eingesetzten Maschinen müssen aufgrund der Hangneigung höhere Anforderungen erfüllen, als die Maschinen, die auf ebenen Flächen eingesetzt werden.

Im Folgenden werden die technischen Anforderungen aufgelistet, welche die Maschinen erfüllen müssen: (BÖHME 2003, WALG 2000):

- Die Maschinen müssen die Arbeit in Steillagen sachgerecht, bodenschonend und qualitativ hochwertig durchführen.
- Die Aufwendung der Arbeitszeit, sowie die Kosten werden durch die hohe Effizienz gesenkt. Zudem kann die Arbeit zum richtigen Zeitpunkt ausgeführt werden.
- Die Maschine darf nur ein geringes Gewicht besitzen, da so der Kraftverbrauch minimiert wird.
- Neben einem kleinen Abgasausstoß und einer niedrigen Lärmentwicklung dürfen die neuentwickelten Maschinen nur wenig Kraftstoff verbrauchen.
- Sie müssen den Geräteführer vor Gefahrstoffen und Lärmeinwirkung schützen und umsturz- und absturzsicher sein.
- Eine fortschrittliche Arbeitsplatzgestaltung bietet die Möglichkeit, das Arbeitsgerät im Sitzen zu bedienen.
- Durch die Herstellung von Zugmaschinen und Arbeitsgeräten auf Basis einer einheitlichen Norm, kann die Notwendigkeit individueller Anfertigungen und das Steigen der Preise umgangen werden.
- Wegen der hohen Stabilität müssen diese Maschinen einen tiefen Schwerpunkt besitzen (BÖHME 2003, WALG 2000).

In Steillagen kommen, in Abhängigkeit von der Hangneigung, verschiedene Maschinen zur Anwendung. Je steiler die Hangneigung wird, desto aufwändiger und schwerer ist die Bearbeitung, so dass mehr Handarbeit erforderlich ist. Dies veranschaulicht die Abbildung 4 (EIGENE ABSATZ):

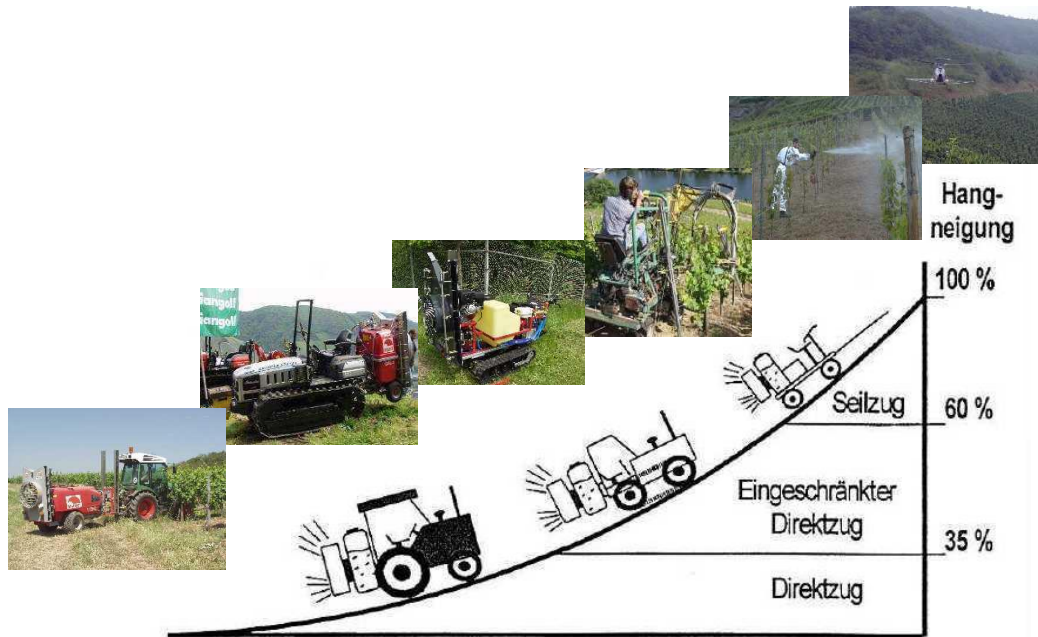


Abbildung 4: Mechanisierungsmöglichkeiten in Abhängigkeit von der Hangneigung (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 7)

2.1.3.1 Direktzug

Der Traktor ist die Grundmaschine für den ebenen Weinbau. Er trägt, zieht und treibt alle Arbeitsgeräte an, welche in der Weinbergarbeit eingesetzt werden. Außerdem wird er auch für Transportaufgaben eingesetzt (BÖHME 2003, WALG 2000).

Traktoren sind in Steillagen begrenzt nutzbar, da sie einen Teil ihres Gewichtes mitziehen wenn sie hang aufwärts fahren. Der Wert des Steigungsverlustes hängt von der Steigung des Hangs, der Momentangeschwindigkeit und dem Traktor- und Arbeitsgerätgewicht ab. Aus diesem Grund sinkt die Zugleistung des Traktors mit der Steigung. Darüber hinaus wirkt sich die Bodenbeschaffenheit auf die Steigfähigkeit aus. Außerdem besitzen sie einen hohen Gewichtspunkt, wodurch sie stark umsturzgefährdet sind (LAIB UND VAS 1998).

Bei rückläufiger Bodenhaftung kann der Traktor am Hang abrutschen, besonders wenn der Boden nass ist. Dadurch ist die Bearbeitung der steilen Regionen wetterabhängig. So ist vor allem dem nassen Boden geschuldet, dass es pro Jahr 3 Unfälle in Steillagen gibt, welche fast immer tödlich enden. In jeden Steillagentraktor wird ein Notbremssystem eingebaut. Dieses verhindert die Unfälle, indem sich nach dem Auslösen ein Zinken in den Boden bohrt. Der Schlepper wird zurückgehalten und Unfälle können vermieden werden (BÖHME 2003).

Die Schlepper können bei angemessen breitem Reihenabstand und trockenem Boden mit Begrünung genutzt werden. Dadurch werden die Räder am Abrutschen gehindert. Traktoren benötigen ausreichend Platz am Reihenende um sicher schwenken zu können und so ihre Lenkfähigkeit zu behalten. Daneben muss mit diesen Maschinen jede Rebasse nur einmal durchfahren werden (DIETRICH 1995).

Im Weinbau werden wegen der schmalen Reihenabstände im Allgemeinen Schmalspurschlepper mit einem Allradgetriebe eingesetzt. Hochschlepper werden äußerst selten als Überzeilenschlepper verwendet. Unter den Schmalspurschleppern haben sich die achsschenkelgelenkten Traktoren (Abb. 5) verbreitert. Dies erklärt sich vor allem durch die geringe Zeit, die es benötigt um sich an das Lenkverhalten des knickgelenkten Schleppers zu gewöhnen (DIETRICH 1995, WALG 2000). Die Grenzsteigung verschiedener Schlepperbauarten ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit und der Antriebsart der Anbaugeräte. Zum Einsatz in Steillagen eignen sich nach insbesondere Radschlepper mit Knicklenkung, vier gleich großen Reifen und permanentem Allradantrieb STEINMETZ (1985).



Abbildung 5: Achsschenkelgelenkte Schmalspurtraktor (SCHWARZ a 2012)

Achsschenkelgelenkter Traktor

Die achsschenkelgelenkten Traktoren besitzen den Vorteil, dass sie zwischen der Vor- und Hinterachse ein Gerät zur Unterstockbearbeitung montiert haben. Aber diese Traktoren sind nur bis 40% nutzbar, auf Grund „[der] nicht gleichmäßige Verteilung des Schleppergewichtes auf Vorder- und Hinterachse und [der] kleineren Vorderräder“ (DIETRICH 1995). Die Hinterachse trägt mehr Gewicht als die Vorderachse, weshalb die Räder bei einer größeren Steigung wegen des Steigungsverlustes durchdrehen können. Die achsschenkelgelenkten Traktoren konnten vorher bei der 40%igen Steigung nur mit Spezialbereifung und dem geeigneten Bodenverhältnissen fahren. Im Jahre 2009 hat die Firma Fendt ein Vario - Getriebe in ihren Schmalspurtraktor eingebaut. Dieses Getriebe ist stufenlos und unter Last schaltbar. Dieser veränderte Schlepper mit diesem Getriebe und einem angehängten Arbeitsgerät kann in Steillagen bei 40% Neigung problemlos mit einem günstigen Dieserverbrauch fahren. Diese Maschinentypen benötigen 1,8-2 m Reihenabstand (ANONYM 2010, BÖHME 2003, DIETRICH 1995, WALG 2000).

Knickgelenkter Radschlepper

Die Lenk – und Steigfähigkeit des achsschenkelgelenkten Traktors kann durch eine bessere Achsenlastverteilung gesteigert werden, wie die des knickgelenkten Radschleppers (Abb. 6), bei welchem die Achsenlastverteilung 2:1 (Vorderachse : Hinterachse) beträgt. Wenn dieser Schlepper mit dem Anbaugerät in Steillagen fährt, trägt die Vorderachse mehr Gewicht als die Hinterachse. Aus diesen Gründen sind diese im günstigsten Falle bis 60% nutzbar. Beim Schwenken des Traktors besteht die Gefahr, dass er kippt. Durch den Radlastausgleich kann beim modernen Schlepper diese Gefahr minimiert werden. Der Reihenabstand beträgt auch in diesem Fall 1,8-2 m (DIETRICH 1995, WALG 2000).



Abbildung 6: Knickgelenkter Radschlepper TIGRE 4400 F (ANTONIO CARRARO 2013 S.2)

Die unten stehende Tabelle erklärt die Abhängigkeit der Grenzsteigung zur Methode der Bodenpflege, zur Bodenfeuchte und zur Antriebsart der Anbaugeräte für diesen Traktor. Der knickgelenkte Traktor kann mit zapfwellenangetriebenen Anbaugeräte eine Hangneigung von bis zu 60 % bewältigen. Eine Hangneigung von bis zu 40 % kann dieser ohne zapfwellenangetriebene (Gruber, Pflug) Anbaugeräte in Steillagen bewältigen. (DIETRICH 1995).

Tabelle 2: "Grenzsteigungen für Mechanisierung mit hangtauglichen Radschlepperbauarten" (nach DIETRICH 1995 S. 18)

Fahrbahn	Fahrbahnzustand	Geräteart	Grenzsteigung [%]
Begrünt	trocken	Zapfwellenantrieb	60
	feucht	Zapfwellenantrieb	50-55
Strohauflage	trocken	Zapfwellenantrieb	55
	feucht	Zapfwellenantrieb	50
offen, scherfest (bindig)	trocken	Zapfwellenantrieb	45
	trocken	Pflug, Grubber	40
	feucht	Zapfwellenantrieb	40
offen, wenig scherfest (sandig)	feucht	Pflug, Grubber	35
	trocken	Zapfwellenantrieb	40
	feucht	Pflug, Grubber	40
offen, wenig scherfest (Schieferverwitterung)	trocken	Zapfwellenantrieb	40
	feucht	Zapfwellenantrieb	40
	trocken	Pflug, Grubber	30-35
	feucht	Pflug, Grubber	30-35

Die Firma Carraro hat an ihren knickgelenkten Traktor ein Kettenlaufwerk und einen drehbaren Sitz montiert (Abb.7). Mit den vier voneinander unabhängigen Gummiraupen und dem niedrigen Schwerpunkt wurden die Steigfähigkeit und die Stabilität des Traktors verbessert. Durch die vier Gummilaufwerke ist der Bodendruck kleiner als bei einem Radschlepper. Die Maschine kann sich den Bodenverhältnissen leichter anpassen als die Raupe mit ihrem längeren Gummilaufwerk. Aus diesem Grund kann der Carraro – Traktor eine größere Zugkraft aufwenden. Daneben ist sein Wendekreis sehr gering und seine Benutzung hängt nicht vom Wetter und den verschiedenen Bodenarten ab. Die höchste Geschwindigkeit, die der Schlepper erreichen kann, beträgt 40 km/h. So ist es auch möglich, mit diesem Fahrzeug auf der Straße zu fahren (ANONYM 2010, ANTONIO CARRARO 2012).



Abbildung 7: Knickgelenkter Traktor MACH 4 mit Gummilaufwerk (ANTONIO CARRARO 2012 S. 3)

Raupenschlepper

Die Steigfähigkeit kann mit einer größeren Aufstandsfläche erhöht werden. Bei großer Aufstandsfläche kann der Traktor nicht so tief im weichen Boden versinken und der Rollwiderstand reduziert sich. „Große Aufstandsflächen werden bei Radschleppern durch den Einsatz breiter Reifen, Zwillingsbereifung oder niedrigem Reifenluftdruck erzielt oder durch die Verwendung von Raupenschleppern“ (BÖHME 2003) (Abb. 8).



Abbildung 8: Geier Schmalspur – Raupenschlepper (SCHWARZ b 2013)

Der Schmalspur - Kettenschlepper ist in Italien entwickelt worden und danach nach Deutschland gelangt. Diese Maschinen werden vorwiegend in solchen Anlagen genutzt, die von Radschlappern wegen der Steigung, des Bodenpflegesystems, des Bodentyps und/oder des Grundgesteins nicht befahren werden können. Dessen Gewicht ist ungefähr so groß wie das des Radschleppers (DIETRICH 1995, WALG 2000).

Da die Aufstandsfläche relativ groß ist, ist die Verbindung zwischen Kette und Boden formschlüssig und bei einer größeren Steigung hat er noch Zugkraftreserven. “Nach DITZEN (1986) zieht z. B. eine 2795 kg schwere Raupe einen Grubber mit 9 Risserscharen bei 60% Hangneigung und 10 % Schlupf auf Schieferverwitterungsboden hoch.” (DIETRICH 1995) Die Kette des Kettentraktors verursacht beim Wenden Schäden im Beton und auf Asphaltwegen, deshalb werden Gummiketten verwendet. So kann der Traktor mit ungefähr 30 km/h auf Beton und Asphalt fahren, wobei sich die Gummiketten auf dem Beton und dem Asphalt abnutzen. Die neuen Raupen werden mit gefederten Laufwerken und beweglichen Laufrollen ausgestattet. Diese technische Neuerung, sowie die, auf die gummierten Ketten, aufgeschraubten Stahlprofile erhöhen die Steigfähigkeit der Raupe (ANONYM 2010, WALG 2000).

Die Wartungs- und Reperaturkosten des Kettentraktors sind höher als bei einem ähnlichen Radschlepper. Die Raupe benötigt zum An- und Abtransport einen Radschlepper mit Anhänger oder einen Lastwagen. Nach Aussagen von Betriebsleitern kann ein Kettenschlepper bis 50% Steigung einen Zeilenabstand von 1,6 - 1,7 m Breite bearbeiten. Jedoch ab einer Steigung über 50% nur noch einen Zeilenabstand von 1,8 m.

Durch die Anwendung dieses Traktors können 50 Arbeitsstunden pro ha gegenüber dem Seilzugverfahren gespart werden. Dieser Traktor ist eine wenig lohnende Investition für die Winzer, welche wenige Weinberge bewirtschaften, da sie sich nicht amortisieren wird. Deswegen können sich diese Maschinen im Steillagenweibau nicht etablieren (DIETRICH 1995, ANONYM 2010, WALG 2000).

In Steillagen sind noch spezielle Steillagenschlepper in Verwendung. Diese Traktoren können in Steillagen ganz gut genutzt werden. Wegen ihres sehr tiefen Gewichtpunktes und ihrer Breite können sie weniger leicht umkippen. Zur Benutzung im Steillagenweibau sind sie wegen ihrer Breite nicht geeignet (DIETRICH 1995).

2.1.3.2 Seilzugmechanisierung

Diese Bearbeitungsmethode wird dann in Steillagen verwendet, wenn die Geländegegebenheiten die Traktion der Räder während der Hoch- und Talfahrt in Steillagen nicht ermöglichen. Dies erweist sich als Grenze für die Anwendung des Direktzuges, da die Traktion zur Hoch- und Talfahrt in Steillagen von da an durch ein Seil gesichert wird (BÖHME 2003, DIETRICH 1995).

In Hanglinien laufende Rebreihen sind die Voraussetzung für die Verwendung aller Seilzugsysteme. Die Neigung und Fahrbahnverhältnisse müssen angemessen sein, weil der Antrieb - die Hangabtriebskraft- bei der Hangabfahrt der Arbeitsgeräte oder des Geräteträgers nicht funktionieren kann. Bei diesem Mechanieserungssystem muss jede Gasse zweimal befahren werden, deshalb bedarf es mindestens die doppelte Zeit zur Bearbeitung der Steillagen. Neben dieser Maschinenbearbeitung muss noch viel Handarbeit angewendet werden, wodurch die Lohnkosten steigen (BÖHME 2003, WALG 2000).

Bei den ersten Einsätze dieser Methode wurden zwei Mitarbeiter zu ihrer Durchführung benötigt. Ein Mitarbeiter bediente die Winde, der andere Mitarbeiter saß auf dem Arbeitsgerät, oder dem Geräteträger. In diesen Fällen war der Sichtkontakt zwischen den Mitarbeitern schlecht. Aus diesem Grund wurde später die Winde mit einer Fernsteuerung ausgerüstet, wodurch nur noch ein Mitarbeiter benötigt wurde (DIETRICH 1995, WALG 2000).

Dabei steht der Mitarbeiter beim Pflanzenschutz mit dem Pflanzenschutzmittel und der daraus entstehenden Kontamination in direktem Kontakt. Aus diesem Grund muss er Sicherheitskleidung anziehen. Vom Aspekt der Mitarbeitergesundheit her betrachtet ist eine luftdichte Traktorkabine mit Kontaminationsfilter notwendig.

Die Hangelwinde

Für den Seilzug wird eine Winde benötigt, um diesen hochzuziehen. Es gibt zwei verschiedene Windenbauarten. Zum einen die Hangelwinde (Abb. 9), hier wird die Winde an ein Direktzuggerät angebaut. Das Ende des Seiles wird mit einem Anker an einer Schiene befestigt. Diese Schiene wird an der Stützmauer oberhalb der Rebzeilen montiert. Das System funktioniert nur mit einem niedrigen Schwerpunkt des Direktzugfahrzeuges. Ohne Unterstützung durch die Winde mit elektronischer Zuglaststeuerung, den Windenantrieb und einem eigenen Antrieb kann sich die Maschine nicht sicher den Hang hinauf oder hinunter bewegen. Aus diesem Grund wird die Raupe verwendet, so können alle, für die Arbeit im Weinberg, relevanten Arbeitsgeräte genutzt werden, ohne dass neue Arbeitsgeräte hergestellt werden müssten. Diese Technologie schont das Seil, da es nicht über den Boden gezogen, sondern aufgewickelt wird (BÖHME 2003, WALG 2000).



Abbildung 9: Hangelwinde (SCHWARZ b 2013)

Die stehende Winde

Zum anderen gibt es die stehende Winde mit einem ca. 150 m lange Seil. In diesem Fall steht ein Anhänger oder ein Traktor mit angebaute Winde auf dem Weg am oberen Ende der Reihe. An den Anhänger wird eine Auffahrrampe angebaut, auf welche der Geräteträger zum Umsetzen auffahren kann. Die Auffahrrampe, mit ihrer hydraulischen

Anpassung der Neigung, kann zur allen Parzellenneigungen passen, so dass der Verschleiß des Seiles nicht so groß ist. Die Rampe hat ein geteiltes und klappbares Endblech. Dieses Blech kann die Bodenunebenheiten ausgleichen und sichert den Geräteträger beim Transport. Das Ende der Rampe erweitert sich, um das Umsetzen des Gerätesträgers in und aus schräg zulaufenden Spitzzeilen zu ermöglichen. Der Anhänger kann ausserdem noch Wasser zum Pflanzenschutz sowie Zusatzteile lagern. Es gibt zwei verschiedene Sorten von Anhängern. Diejenigen Anhänger, welche einen Traktor zum Umsetzen benötigen (Abb. 10), wodurch auch zwei Mitarbeiter für den Betrieb des SMS notwendig sind. Der Eine bedient die Winde und führt die Umsetzung durch, der Andere fährt die angehängte Arbeitmaschine auf den Geräteträger. Für diese Variation existiert noch eine Version. Im diesen Fall ist ein Lastwagen mit einer Auffahrrampe ausgestattet (Abb. 11) (DIETRICH 1995, RÜHLING 2007, WALG 2000).



Abbildung 10: Anhänger mit Traktor (DIETRICH 1995 S. 35)



Abbildung 11: Lastwagen mit Geräteträger (EIGENE AUFNAHME 2011)

Selbstfahrender Anhänger

Selbstfahrende Anhänger sind Anhänger, die einen Schlepper nur zum Transport benötigen (Abb. 12), nicht aber zum Umsetzen. In Steillagen wird der Anhänger mit seinem Rad gestützt und vom Traktor abgehängt. Bei der Umsetzung kann der Anhänger mit seinem eingebauten Motor weiterfahren und durch das Unterstützrad gelenkt werden. Mit Hilfe des eingebauten Motors wird der Geräteträger hochgezogen. Dieses System kann ein Mann betätigen. Er sitzt auf dem Geräteträger, wodurch er es lenken kann. Der Anhänger wird mit einer Fernsteuerung gesteuert. Der Fahrer muss nicht vom Geräteträger auf den Schlepper umsteigen, wodurch er viel Zeit sparen kann (RÜHLING 2007, WALG 2000).



Abbildung 12: Selbstfahrender Anhänger mit lenkbarem Unterstützrad (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 9)

Sitzpflug

Im Fall des Sitzpfluges wird eine Winde mit Zapfwellenantrieb und einer kleinen Auffahrrampe für die Arbeitsgeräte im Zwischenachsbereich des Traktors angebaut. Für dessen Betrieb werden zwei Mitarbeiter benötigt. Eine Person sitzt im Schlepper, bedient die Winde und führt die Umsetzung durch. Die andere Person fährt mit dem Sitzpflug herunter. Bei der Hangabfahrt ist der Antrieb gleich der Hangabtriebskraft. Die Winde wird ausgekuppelt und die Geschwindigkeit des Sitzpfluges kann mit einer mechanischen Bremse gesteuert werden. Der Arbeiter stellt den Sitzpflug in die Arbeitsposition und nach dem Einschalten der Winde fährt er hoch. Für die unterschiedliche Bodenarbeit können an den Sitzpflug gefederte oder starre Grubberzinken mit verschiedenen Scharen angebaut werden. Neben der Bodenarbeit können andere Arbeiten mit dem Sitzpflug durchgeführt werden. Daran können noch Schleuderdüngerstreuer, Kastendüngerstreuer,

Herbizidspritzeinrichtung für den Unterstockbereich und das Laubschneiden angebaut werden. Statt des Sitzpfluges können mit der Winde noch ein Mulcher, ein Pflanzenschutzgerät und ein Transportschlitten heruntergelassen und hoch gezogen werden (BÖHME 2003, DIETRICH 1995, WALG 2000).

Für dieses System existiert noch eine andere Variante, das Einmann – Arbeitsverfahren (Abb. 13). In diesen Fall ist das Arbeitsgerät selbst gelenkt. Es ist mit einem Lenkrahmen ausgestattet. Dieser Rahmen besteht aus einem Hydraulikzylinder und mehreren gebogenen Einzelrohrteilen. Die Einzelrohrteile werden mit den Gelenken verbunden, und mit einem lenkbaren Rad zusammengefügt. Die Lenkung wird durch den Kontakt des Rahmens mit Stöcken und Säulen durchgeführt. Wenn das Gerät links fährt, berührt der Rahmen die linke Rebreihe und wendet das lenkbare Rad nach rechts. Bei der Talfahrt ist der Rahmen geschlossen, und bei der Hochfahrt geöffnet. Das Öffnen und das Schließen werden mittels eines Hydraulikzylinders durchgeführt. Der Hydraulikzylinder bekommt die Flüssigkeit über einen Schlauch von der Pumpe. Dieser Schlauch ist ein speziell verstärkter Schlauch, an dem die Arbeitsgeräte hängen. Zum Lenken und Bremsen benötigen das Pflanzenschutzgerät und der Mulcher Flüssigkeitsdruck im Schlauch, der Traubentransportwagen hingegen nicht (DIETRICH 1995).



Abbildung 13: Selbstlenkender Geräteträger mit Transportfläche (DIETRICH 1995 S. 31)

Auf der Schlepperanbauwinde kann der Schlauch mit einer kontrollierten Geschwindigkeit auf- und abgewickelt werden. Für die Geräteumsetzung wird eine, für alle Geräte passende, Auffangvorrichtung an der Winde montiert. Die Pumpe mit dem Pflanzenschutzflüssigkeitsbehälter befindet sich am Heck des Traktors (DIETRICH 1995).

Die Gassenbreite muss immer gleich sein und die Reihe auf den oberen Weg senkrecht zulaufen. Das System kann durch einen Mitarbeiter betrieben werden. Für den Transport müssen das Arbeitsgerät und die Auffangvorrichtung abgebaut und mit einem Anhänger transportiert werden. In diesem System ist es wichtig, dass alle Rebstöcke einer Reihe vollständig vorhanden sind. Ein fehlender Rebstock beeinflusst die Lenkung, da die Maschine durch die Lücke das Signal zum Abbiegen erhalten würde (DIETRICH 1995).

Geräteträger mit vier Rädern

Durch die Hilfe des Geräteträgers (Abb. 14) ist die Bearbeitung der Steillagen mit verschiedenen Arbeitsgeräten möglich. Die Arbeitsmaschinen können durch ein U-Profil auf dem Geräteträger befestigt werden. Die lichte Innenbreite des Trägers beträgt mehr als 800 mm, so ist ein beidseitiges Vorbeifahren an Europaletten möglich. Dies vereinfacht die Umsetzung von Arbeitsgeräten, da diese ohne zusätzliche Werkzeuge in das U-Profil gezogen werden können und vom Mitarbeiter mit einem Kniehebel arretiert werden können. Ein Nachteil des Geräteträgers ist, dass alle Arbeitsgeräte speziell für dieses System hergestellt werden müssen, dies erhöht den Einkaufspreis (BÖHME 2003, DIETRICH 1995, RÜHLING 2007, WALG 2000).



Abbildung 14: Geräteträger mit Mulcher (DIETRICH 1995 S. 35)

Der Sitz mit dem Lenkstock des Geräteträgers kann um 180° gedreht werden, so dass der Fahrer immer in Fahrtrichtung schaut. Alle vier Räder des Geräteträgers sind lenkbar, aber der Mitarbeiter kann immer nur zwei gleichzeitig lenken. Diese beiden Räder befinden sich immer auf der gleichen Achse, und ändern sich je nach Fahrtrichtung. Die beiden Räder, welche nicht auf der Achse liegen, die die Fahrtrichtung anzeigt, sind dann

arretiert. Wenn sich der Sitz mit dem Lenkstock dreht, dann wechseln auch die gelenkten Räder. In diesem Fall werden die arretierten Räder lenkbar und die gelenkte Räder werden arretiert. Mit dieser Lösung werden eine hervorragende Lenkfähigkeit und eine Arbeitserleichterung bewirkt (BÖHME 2003, DIETRICH 1995, RÜHLING 2007, WALG 2000).

Aus Gründen der Sicherheit wird der Geräteträger mit einer seilwindenunabhängigen Notbremse ausgerüstet. Die Bremse wird bei einem Seilriß automatisch ausgelöst, aber auch der Mitarbeiter kann diese betätigen. Beim Auslösen werden die federbelasteten Fallspieße schnell in den Boden gebohrt, und das Fahrzeug wird abgebremst (BÖHME 2003, DIETRICH 1995, RÜHLING 2007, WALG 2000).

Der Geräteträger wird mit einem Viertaktmotor ausgerüstet. Dieser Motor liefert die Antriebsenergie für Laubschneider, Pflanzenschutzgerät und Mulcher. Der Laubschneider ist um 180° drehbar, so ist es möglich zwei Reihen einseitig zu bearbeiten. Die Leistung dieser Maschine ist fast so groß wie beim Direktzugverfahren. Das Pflanzenschutzgerät ist das gleiche Geräte, wie an der handgeführten Kleinraupe. Hier musste ein neuer Tragrahmen montiert werden. Mit Hilfe der exakten Lenkung des Geräteträgers wird die Mulchbearbeitung verbesserte. Im diesem Fall ist der unbearbeitete Bereich unter den Stöcke so breit, wie der Stöcke- und Säulendurchmesser. Diese Flächen können mit einer gezielten Applikation eines Herbizids bearbeitet werden. Eine Transportmulde gehört noch zum Gertäteträger, dadurch ist der Materialtransport und die Kompostausbringung möglich. Das Innenmaß beträgt 1100 x 1100 x 350 mm, deshalb kann sie bis zu zwölf Lese Kästen liefern (DIETRICH 1995, RÜHLING 2007).

RMS- System

Das Raupenmechanisierungssystem (RMS²) ist eine weiterentwickelte Version des SMS. In diesem Fall wird ein Raupe mit einer angebauten Hangelwinde an einem Seil befestigt. Für diese Raupe benötigt man einen Anhänger mit einer beidseitigen drehbaren Kipp- bzw. Klapppritsche und einem Zugschlepper mit einer Fernfahreinrichtung und einer Hangelwinde (Abb. 15). Die Konstruktion des Anhänger hängt von den Raupentypen ab.

² Im Weiteren wird das Raupenmechanisierungssystem mit "RMS" abgekürzt.

Die Maße und die Belastbarkeit dieses Anhängers sind größer als beim SMS, da diese an die Raupe angepasst werden müssen (PORTEN et.al. 2010, PORTEN 2009).



Abbildung 15: Raupenmechanisierungssystem (PORTEN et.al. 2010)

Die Nachteile dieses Systems sind zum einen das doppelte Stand der Zeilen. Zum anderen der sehr hohe Investitionspreis von ca. 165 000 € (Stand 2010), weil neben der Raupe noch der Anhänger, ein Zugtraktor und die Arbeitsgeräte gekauft werden müssen. Bei der Raupe sind Betriebsstoff-, Wartungs- und Reparaturkosten höher als beim Direktzugtraktor und die Nutzungsdauer der Raupe ist kürzer. Um die Investitionskosten von RMS-Raupen und deren Arbeitsgeräten für Unternehmer amortisieren zu können, benötigt man für dieses System mindestens 10 ha Steilhangfläche. Somit können nur Großbetriebe, Lohnunternehmer oder Maschinenringe dieses System nutzen. Die hohen Kosten werden durch die große Flächenleistung aufgewogen. Außerdem ist es mit dieser Raupe möglich, nicht seilzugmechanisierte Flächen zu bearbeiten. Die große Flächenleistung ist der hohen Arbeitgeschwindigkeit zu verdanken, welche bei der Talfahrt ca. 8 km/h ohne Bearbeitung beträgt, bei der Bergfahrt ca. 6 km/h mit Bearbeitung. Für einige Arbeiten, z. B. beim Pflanzenschutz und Laubschneiden mit einem Multifunktionsarm (Abb. 16) benötigt das RMS die gleiche Zeit zur Bearbeitung von einem ha, wie der Direktzug. Diese hohe Arbeitgeschwindigkeiten werden durch die Verbindung von gefederten Bandwerkclausen mit der Hangelwinde erreicht. Die Hangelwinde verhindert die Drift bei der Talfahrt und den Schlupf bei der Bergfahrt. So wird das exakte Einhalten der Fahrspur ermöglicht, ohne dass eine Vielzahl von Lenkbewegungen erforderlich wäre. Dies entlastet die Psyche des Fahrers erheblich. Mit der Verwendung der Hangelwinde und des gefederten Bandwerkclaus sind die

Erosionsschäden nach einem Starkregen weniger schwer, als bei der Direktzugraupen- und Seilzugbewirtschaftung. (ANONYM 2010, PORTEN et.al. 2010, PORTEN 2009)



Abbildung 16: RMS-Raupe mit Multifunktionsarm (ANONYM 2010 S. 29)

Mit dem Multifunktionsarm können der mechanische Vorschnitt, die maschinelle Entlaubung und das Laubschneiden rascher und genauer durchgeführt werden. Besonders geschwind geschieht das Ein- und Ausfahren in und aus den Zeilen. Darüber hinaus reduziert das RMS mit diesem Arm die Arbeitszeit der Laubspitzarbeiten in Steillagen im Sommer. Im Winter erleichtert dieses System ebenfalls die Arbeit des Schneidepersonals. Neben dieser Arbeit kann die RMS-Raupe alle andere Arbeit mit den Direktzugarbeitsgeräten durchführen. Dies ist möglich, da die Raupe eine Dreipunkt – Geräteaufnahme und eine zuschaltbare Zapfwelle besitzt. Das RMS kann mit leistungsfähigeren Maschinen arbeiten als das SMS. Mit dem RMS ist die Komposteinbringung und Pflanzung genauso möglich. Die Durchführung der Komposteinbringung ist vom SMS übernommen, die Pflanzung hingegen wird eine komplett neu entwickelte Maschine ausgeführt (ANONYM 2010, PORTEN et.al. 2010, KOMAR 2011).

Mit dem RMS können Weinberge bearbeitet werden, welche keine künstlich angelegten Zuwege besitzen, sondern lediglich eine große Freifläche umfassen. Um aber doch ein seilgezogenes System anwenden zu können, werden eine Schiene und eine Laufkatze installiert sowie ein 6 m breiter Platz für die Wendemanöver geschaffen. Obwohl diese Installationen teuer sind, nutzen sie den Winzern, da diese Weinberge später mit dem

RMS bearbeitet werden, anstatt wie bisher mit tragbaren Maschinen (PORTEN et.al. 2010).

Der Winzer, der weniger als 10 ha Steilhangweinberge besitzt, kann die Bearbeitung seines Weinbergs an ein Lohnunternehmen abgeben. So muss er keine schweren Steillagenarbeiten durchführen, die Dokumentation wird ebenfalls durch den Lohnunternehmer ausgeführt. Daraus folgt, dass die Lohnarbeit die Arbeitszeit des Steilhangweinbergs beim Winzer freisetzt. Diese Zeit kann der Winzer in Weinherstellung und – verkauf investieren (PORTEN et.al. 2010, PORTEN 2009)

Uni-Trak

Der Uni- Trak (Abb.17) ist ein selbstfahrender Geräteträger mit aufgebauter Winde. Diese Maschine wurde vom gleichen Konstrukteur entwickelt wie auch das SMS. Die Maschine beinhaltet ein hydrostatisches Getriebe, Knicklenkung, Zapfwelleantrieb, einen drehbaren Sitz, breite und bodenschonende Bereifung. Die universelle Aufnahmemöglichkeit für die Arbeitsgeräte erfüllt die Rolle des Krafthebers und des drehbaren Multifunktionsarms. Ohne die Winde kann der Uni-Trak mit seiner ausgeglichenen Gewichtsverteilung die gleiche Hangneigung bewältigen wie ein Steilhang – Schmalspurschlepper. Mit diesem Gerät ist es auch möglich, alle Direktzugarbeitsgeräte zu nutzen. Im Vergleich zu den Gummiketten des RMS ist der niedrige Verschleiß der Breitreifen als Vorteil zu werten. (WALG 2009, ANONYM 2010).



Abbildung 17: Uni-Trak Geräteträger (ANONYM 2010 S. 29)

2.2 VORSTELLUNG DES BRIELMAIER MOTORMÄHERS

Als Grundlage für den Antrieb der Maschinen bot sich der Antrieb des Brielmaier Q1 (Abb. 18) Motormähers an. Dieser Motormäher ist eine gemeinsame Entwicklung von Brielmaier und Iovel Elektronik, welche dem Benutzer die Arbeit mit dieser Maschine so leicht wie möglich gestalten sollte. Aus diesem Grund wurden die Bedienelemente der Lenkung und der Fahrgeschwindigkeit mit berührungsloser Sensorik versehen, diese „liegen im Griffbereich des Fahrers, sind [...] leicht zu bedienen“ (BUNDESANSTALT FÜR LANDTECHNIK 2012). Daneben ist die Fahrgeschwindigkeit von 0 bis 8 km/h regulierbar. Das Steuerungssystem des Q1 ist mit dem CAN - Bus - System ausgestattet, welches neben der Ferndiagnose, der Fernwartung, der Qualitätssicherung und der Dokumentation den Einbau eines GPS - Moduls ermöglicht. Durch das GPS - Modul ist der Mäher fernsteuerbar. Die Funksteuerung ist nicht nur über GPS einsetzbar, sondern ebenfalls über eine Steuerfernbedienung mit einer Reichweite von bis zu 300 m. Mit Hilfe der Steuerfernbedienung ist der Q1 bequem und einfach steuerbar (BRIELMAIER PROSPEKT 2012a).



Abbildung 18: Brielmaier Q1 Motormäher (SCHWARZ UND KEICHER 2010 S. 18)

Neben dem gut ausgebauten Elektrosystem besitzt der Mäher eine gut ausgebaute Antriebskette und einen Tragrahmen. Im neu entwickelten Walzenkorb wurden ein Benzinmotor und ein Hydrauliksystem eingebaut, so erhöht sich die Hangtauglichkeit und der Schwerpunkt der Maschine wird gesenkt. Die Firma Brielmaier montiert die Walzantriebe mit einem 11 kW Kohler Motor, oder die Version mit 20 kW. Die Motoren laufen mit Benzin, da Dieselmotoren ca. doppelt so schwer und so teuer sind. Der hohe Preis des Dieselmotors sorgt dafür, dass sich, trotz des Verbrauchsvorteils, die Kosten des Mähers nie amortisieren. Der Benzinmotor treibt drei Hydropumpen an. Diese versorgen alle Hydromotoren für den Rad- sowie den Mähwerksantrieb mit Öl, ohne dabei auf ein Getriebe oder eine Kupplung zurück zu greifen. Mit Hilfe der elektrohydraulischen Steuerungsventile ist es möglich, die Fahrrichtungen zu wechseln, unter Last die Gänge zu schalten, zu lenken und zu bremsen. Durch das gegensätzliche Steuern der Walzen (eine Walze steuert vorwärts, die andere rückwärts) entsteht eine Turn-around-Lenkung, welche das Wendeverhalten stark verbessert. Die Antriebshydromotoren sind „in allen Schaltlagen durch den Ölfluss zwangsgesteuert“ (BUNDESANSTALT FÜR LANDTECHNIK 2012), wodurch der Antrieb beim Einziehen des Bremshebels mittels der Steuerventile unterbrochen wird. Mit dieser Lösung wird ein Zurückrollen am Hang verhindert (BUNDESANSTALT FÜR LANDTECHNIK 2012, BRIELMAIER PROSPEKT 2012a, BRIELMAIER PROSPEKT 2012b).

Ein Grund für die gute Hangtauglichkeit der Maschine (Hänge mit über 60 Prozent Neigung) ist nach Meinung der Bundesanstalt für Landtechnik, der extrem tiefe Schwerpunkt (Abb. 19). Durch den tiefen Schwerpunkt kann der Benutzer den Lenkholm

leichter bedienen als bei einem herkömmlichen Mäher. Dies zählt ebenfalls zur Arbeitserleichterung für den Anwender. Zudem erhöhen die Stachelwalzen die Bodengriffigkeit, die Walzen werden mit auswechselbaren Spitzen aus beliebigen Werkstoffen ausgestattet. So kann sich der Mäher an allen Bodensorten anpassen. Neben der Erhöhung der Hangtauglichkeit verhindern die Spitzen das Zurückrutschen der Maschine an der Grasnarbe und zugleich bewahren sie die (BUNDESANSTALT FÜR LANDTECHNIK 2012, BRIELMAIER PROSPEKT 2012a).

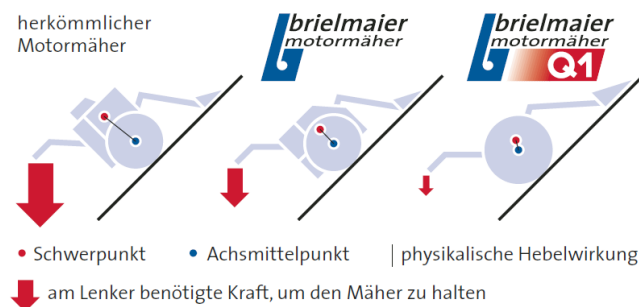


Abbildung 19: Schwerpunkt und Bedienung des Lenkholmes bei verschiedenen Motormähern

(BRIELMAIER PROSPEKT 2012 a S. 2)

Mit dieser Maschine ist auf Grund der Schnittbreite von 3,5m eine Flächenleistung von 2 ha/h erreichbar. Außer mit dem Mäherwerk kann der Walzenantrieb mit Hill-Rake, Heuschieber, Bandrechen, Schlegelmäher, Schneefräse und Schneeräumer verbunden werden (BRIELMAIER PROSPEKT 2012b).

2.3 PRODUKTPLANUNG

Man unterscheidet zwei verschiedene Arten von Produkten. Einmal die Verbrauchsgüter³ und die Gebrauchsgüter⁴. Die entwickelten Maschinen werden zur zweiten Gruppe gezählt. Diese Maschinen sind lediglich für die Steilhangbesitzer von Interesse. Die Intention war es, zwei bisher noch nicht existierende Maschinen herzustellen. Vor der Herstellung der Maschine wird eine Produktplanung benötigt. Diese Produktplanung muss vor der Maschinenplanung und – herstellung stattfinden, um die Zielsetzung festzulegen. Die Fachliteratur nennt drei verschiedene Varianten der Produktpolitik. An erster Stelle nennt sie die Produktinnovation, die die Herstellung eines völlig neuen Produktes beleuchtet, oder aber dem Marktprodukt durch neue Innovationen eine oder mehrere neue Eigenschaften hinzufügen. Dieses Produkt oder diese Produkteigenschaft(en) sind „für den Markt und/oder das Unternehmen vollkommen neuartig“ (BRUHN 2010). Wenn eine oder mehrere Eigenschaften eines Marktproduktes verbessert werden, oder die Verbesserung wegen des Kundenbedarfs benötigen werden, wird dies als Produktverbesserung bezeichnet. Während der Produktdifferenzierung wird an einem Marktprodukt eine Merkmalsmodifikation im Hinblick auf die Verkaufssparte durchgeführt. So kann ein Produkt die Bedürfnisse unterschiedlicher Kundengruppen befriedigen. Von diesen beschriebenen Varianten trifft die Produktinnovation auf dieses Projekt zu. Diese läuft nach der im Folgenden beschriebenen Produktplanung ab (Abb. 20). (ALBERS UND HERRMANN 2007, HUSTI 2001, PAHL et al. 2005)

Bei der klassischen Form der Produktinnovation geht die Innovation immer vom Hersteller aus. Das neue Produkt wird durch die Kunden getestet und am Ende des Prozesses steht das neuartige Produkt (Abb. 20). Bei der modernen Produktinnovation sind die Konsumenten auch aktiv. Die Verbesserungsideen werden von den Kunden hervorgebracht. „[D]er Hersteller kann darauf reagieren“ (HERRMANN UND HUBER 2009) und ein weiter entwickeltes Produkt herstellen. Natürlich kann dieses Produkt leichter verkauft werden, weil es auf den Konsumentenbedarf ausgerichtet ist.

³ Als Verbrauchsgüter werden diejenigen Güter bezeichnet, welche im täglichen Leben verbraucht werden (z. B. Nahrungsmittel, Deo, Kfz).

⁴ Als Gebrauchsgüter werden diejenigen Güter bezeichnet, die während eines Produktionsprozesses genutzt werden (z. B. Maschinen, Werkzeuge, Gebäude).

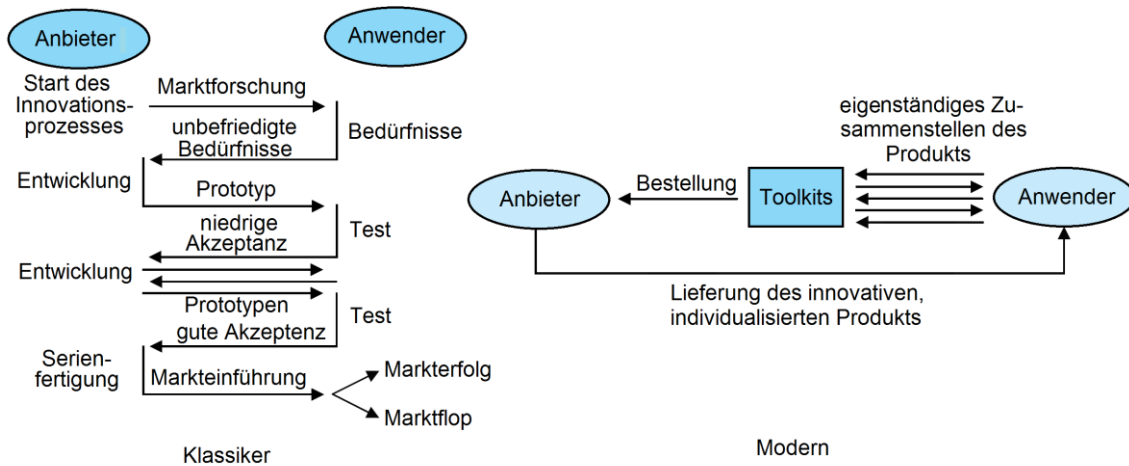


Abbildung 20: Die klassische und moderne Produktinnovation (nach HERRMANN UND HUBER 2009 S. 124 - 125)

Die Voraussetzungen für eine Produktinnovation sind entweder die Entstehung einer gänzlich neuen Idee oder entstandene Verbesserungsvorschläge für ein bestehendes Produkt. Diese Ideen können das Unternehmen selbstständig entwickeln bzw. Vorschläge sammeln, so kann es entweder ein Marktprodukt mit neuen Eigenschaften versehen, oder ein vollständig neues Produkt entwickeln. Dieses Vorgehen kann auch von Seiten des Wirtschaftsmarktes angeregt werden. Hier werden Wünsche und Anregungen von Verbrauchern an das Unternehmen herangetragen. Diese herangetragenene Produktideen können auf Grund des nicht mehr wettbewerbsfähigen Produktes oder der veränderten Kundenbedürfnisse oder der bestehenden Kundenzufriedenheit entstehen. Diese Ideen kann das Unternehmen auf verschiedenen Wegen bekommen (Tab.4). (BRUHN 2010, ALBERS UND HERRMANN 2007, PAHL et al. 2005)

Tabelle 3: Quellen der Unternehmensideen (nach HERRMANN UND HUBER 2009 S. 126)

Unternehmensinterne Quellen:	Unternehmensexterne Quellen:
Kundendienst/Außendienst	Lead-User-Analyse
Betriebliches Vorschlagswesen	Fokusgruppen
Anreize durch Entlohnung	Tiefeninterviews
Scouting Time	Toolkits
Skunkworks	Beschwerdeanalyse
Innovationsworkshops	Innovationszirkel
	Camping Out (Anthropologischer Ansatz)
	Kauf von Ideen
	Trendanalyse
	Messebesuche und Patentanalyse
	Konkurrenzforschung

Im nächsten Schritt muss das Unternehmen die Anzahl der Ideen durch eine Grobauswahl reduzieren, hierfür stehen verschiedene Prozesse zur Verfügung. Die neuen Ideen werden nach verschiedenen Kriterien bewertet. Die Bewertung der Ideen erfolgt durch mehrere Personen, um so eine Befangenheit in der Meinungsbildung zu verhindern. Ideen, die einen Misserfolg für das Unternehmen durch ihre Weiterentwicklung und Markteinführung bedeuten könnten, werden direkt aussortiert. Dabei kann es auch passieren, dass ein Unternehmen gewinnträchtige und erfolgversprechende Ideen verwirft, und somit auf hypothetische Gewinne verzichtet. (BRUHN 2010, HERRMANN UND HUBER 2009, PAHL et al. 2005)

Nach der Reduzierung der Ideenzahl bleiben einige Produktideen übrig, die das Unternehmen weiterentwickelt und später am Markt einführt. Für diese Phase muss ein genauer Produktvorschlag für das Produkt ausgearbeitet werden. Der Produktvorschlag besteht aus „der angestrebten Positionierung, der Kennzeichnung der Vorteile gegenüber anderen Produkten, der Identifizierung anvisierter Kundensegmente und der Verwendungssituationen“ (BRUHN 2010). Im Produktvorschlag müssen die beschriebenen Produkthanforderungen den Kundenbedürfnissen entsprechen. Auf Basis dieser Anforderungen wird der Artikel im Folgenden geplant, getestet und hergestellt. Das Unternehmen führt eine Befragung der Kunden durch, die deren Ansprüche an ein neues Produkt erfragt. In diesem Fall ist die simple direkte Befragung nicht die beste Methode, da der Kunde keinen Wareneinkauf tätigt. Dieser aber stellt die Grundlage für eine interessen geleitete Befragung dar. Dieses Desinteresse würde die Produkthanforderungen verzerren. Eine Verzerrung kann vermieden werden, indem zeitgleich verschiedene Befragungsmethoden und Analyseverfahren eingesetzt werden (BRUHN 2010, HERRMANN UND HUBER 2009, PAHL et al. 2005).

Vor der Einführung auf dem Markt durchläuft das neu entwickelte Produkt eine Wirtschaftlichkeitsanalyse, welche eine Einschätzung der Kosten und des zukünftigen Umsatzes erbringt. In die Kostenaufstellung fließen die Herstellungs- und Entwicklungskosten mit ein, sowie der finanzielle Aufwand für die Vermarktung der Idee. Der Umsatz von Gebrauchsgütern errechnet sich auf Basis des erzielten Gewinns im Erstverkauf, sowie des Bedarfs an Ersatzteilen. Im Anschluss an diese Berechnung entscheidet das Unternehmen über die Einstufung des Produktes als lohnenswert oder zu

riskant. Nach der Einschätzung folgen in den meisten Fällen weitere Tests, die dem Hersteller Informationen über die Produkteigenschaften, sowie die Resonanz von Seiten des Marktes liefern. Die Tests beziehen sich zumeist auf ausgewählte Testpersonen, welche die Produkte nach einer begrenzten Anzahl von Kriterien bewerten. Diese Marktstudien geben ebenfalls Hinweise auf den zu erwartenden Marktanteil (BRUHN 2010, HERRMANN UND HUBER 2009).

Die Markteinführung des neuen Produkts stellt die letzte Phase der Produktplanung dar. An dieser Stelle muss das Unternehmen über den Zeitpunkt und das Vorgehen der Einführung, sowie über die Zielführung entscheiden. Die Einführung am ausgewählten Markt kann nur stattfinden, wenn die Produktion bereits angelaufen ist und eine entsprechende Anzahl vorhanden ist, um vorerst die Bedürfnisse des Marktes zu befriedigen. Während der Einführung muss der Konsument über das neue Produkt informiert werden. Der Zeitpunkt der Produkteinführung ist mit Blick auf den Markterfolg überaus wichtig. Für die Einführungszeit müssen die Marktverhältnisse berücksichtigt werden. Die aktuellen und auch zukünftigen Marktverhältnisse haben große Auswirkungen auf den Erfolg des Produktes, im negativen wie auch positiven Sinne. Daneben kann die Konkurrenz das Produkt reproduzieren, verbessern und später mit der eigenen Markteinführung einen großen Umsatz erwirtschaften. Das Unternehmen hat die Möglichkeit, das neue Produkt auf allen Weltmärkten gleichzeitig einzuführen, wodurch ein Marktflop das gesamte Unternehmen zerstören könnte. Eine zweite, risikolosere Möglichkeit besteht in der etappenweisen Einführung des Produktes auf den verschiedenen Märkten. Dies zieht einen geringeren Umsatz des Unternehmen nach sich. (BRUHN 2010, ALBERS UND HERRMANN 2007, HERRMANN UND HUBER 2009)

2.4 WERKSTOFFKUNDE

Für die Planung und Fertigung einer Maschine sind detaillierte Kenntnisse über die Werkstoffeigenschaften aller möglichen verwendbaren Werkstoffe von Nöten. In der Planung definieren der Verwendungsbereich und die Anforderungen an das Ersatzteil die Werkstoffeigenschaften. Die Werkstoffeigenschaften determinieren die Werkstoffgruppe, woraus der Konstrukteur denjenigen Werkstoff auswählen kann, der für die Anforderungen des Werkstückes am besten geeignet ist. Im Folgend werden die für das Projekt verwendeten Werkstoffe und ihre Eigenschaften vorgestellt.

2.4.1 Unlegierter Baustahl

In der Weltstahlproduktion entfällt der größte Anteil des produzierten Stahles auf Baustähle. Diese besitzen viele positive Eigenschaften für den Maschinenbau. Der unlegierte Baustahl verfügt über eine niedrige und mittlere Belastung, eine mittlerer Streckgrenze und Zugfestigkeit. Während der Verarbeitung wirken sich die Zähigkeit, Zerspanbarkeit, Umformbarkeit und Schweißbeignung positiv auf den Arbeitsprozess aus. Demgegenüber fällt diese Stahlsorte durch seine niedrige Korrosions- und Verschleißfestigkeit negativ auf. Zudem ist die Methode der Wärmebehandlung unzureichend, trotzdem wird auf Normalglühen, Weichglühen und Spannungsarmglühen zurückgegriffen. Die Herstellung verschiedener Profile kann mittels des Blankzuges, des Warm- oder Kaltwalzens durchgeführt werden, wodurch sich dessen Einsatz weit verbreitet. Die Kennzeichnung des unlegierten Baustahles zeigt die Abbildung 21 (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, DILLINGER et al. 2010, KAMMER et al. 2012, PEK et al. 2000).

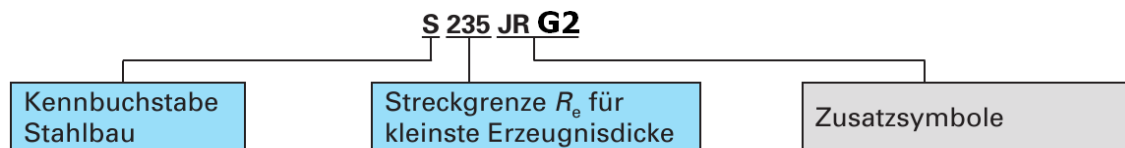


Abbildung 21: Die Kennzeichnung des unlegierten Baustahles (FISCHER et al. 2011 S. 119)

Der Baustahl wird dort verwendet, da die mechanischen oder physikalischen Eigenschaften vom Gesichtspunkt der Benutzung her bedeutsam sind. Wenn die Stahlkennzeichnung mit dem Buchstaben S beginnt, zeigt dies die Zuordnung zum Baustahl an (PEK et al. 2000).

Die Streckgrenze ist der Spannungszustand, der das Ende der elastischen Verformung anzeigt. Hier beginnt die plastische Verformung des Werkstoffes. Der Spannungszustand der Konstruktionsteile darf die Streckgrenze nicht überschreiten. Diese Grenze wird durch den Zugversuch festgestellt. Während des Zugversuchs ist die Zugfestigkeit die größte Spannung. (PEK et al. 2000, CSIZMADIA et al. 2004).

Die Bezeichnung von Stählen wird mittels verschiedener Kombinationen von Ziffern und Buchstaben durchgeführt. Hierbei bestimmt die Stellung des Buchstabens bzw. der

Ziffer, welche Eigenschaft des Stahls beschrieben wird. Die Zusatzsymbole verteilen sich auf die verschiedenen Eigenschaftsbeschreibungen (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008).

Die erste Gruppe der Zusatzsymbole zeigt die Zähigkeit des Stahls an. Sie besteht aus zwei Buchstaben oder einem Buchstaben und einer Zahl. Diese zeigen die Höhe der Kerbschlagarbeit und der dazugehörigen Temperatur an. Diese Werte sind in der Normtabelle zu finden. Je größer die Kerbschlagarbeit ist, desto zäher ist der Stahl bei der gegebenen Temperatur (im Allgemein Minustemperaturen). So kann der Konstrukteur bei Minusgraden den Spröbruch des Stahls vermeiden. In der zweiten Gruppe der Beruhigungsgrad des Stahls durch den Buchstaben "G" und die Zahlen 1 bis 4 angegeben. Der geschmolzene Stahl wird während des Gusses mit Sauerstoff angereichert. Der Sauerstoff löst den Kohlenstoff im Stahl und bildet Kohlenstoffdioxid. Dieses Kohlenstoffdioxid kann nicht aus dem geschmolzenen Stahl entweichen und verbleibt als Blase im Stahl, wodurch sich die Belastbarkeit des Stahls reduziert. Die Größe der Blase wird durch den Beruhigungsgrad angezeigt, je niedriger die Zahl, desto größer ist die Blase. +C weist darauf hin, dass der Stahlstab mittels des gezogenen Prozesses hergestellt wurde. Der Buchstabe H zeigt das Hohlprofil an (bei den Rohren ist es Hoch- und Tieftemperatur) (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, DILLINGER et al. 2010, FRISCHHERZ et al. 1997, FRISCHER et al. 2011, KAMMER et al. 2012, PEK et al. 2000)

2.4.2 Kaltgewalzter Feinkornblechstahl

Unter die Bezeichnung „Feinkornblechstahl“ werden alle Blechsorten gefasst, die weniger als 3 mm dick sind. Hier gelingt die plastische Verformung sehr effizient, daher können diese Bleche ohne Radius gebogen werden. Auf Grund des sehr weichen Stahls zeigt sich eine gute Bruchdehnung. Neben der Bruchdehnung ist die Zugfestigkeit die andere wichtige Eigenschaft. Durch die Kenntnisse dieser Eigenschaften kann die Verformungstechnologie geplant und die Verformungswerkzeuge können bemessen werden. Das bedeutet, dass diese Flacherzeugnisse zum Kaltformen eingesetzt werden können. Überdies ist die Stahlsorte auch schweißbar. Für diese Konstruktion wird das mit DC01 A gekennzeichnetes Blechprodukt verwendet. Der Buchstabe C zeigt kaltgewalzte Herstellungsverfahren an. Die Ziffern 01 bis 07 kennzeichnen die mechanischen Eigenschaften dieser Bleche. Je größer diese Zahl ist, desto größer ist die Bruchdehnung. Der Buchstabe A weist auf die Oberflächenqualität hin. „Fehler, z. B. Poren, Riefen

dürfen Umformbarkeit und die Haftung von Oberflächenbezügen nicht beeinträchtigen“ (FRISCHER et al. 2011). „Eine Blechseite muss soweit fehlerfrei sein, dass das Aussehen einer Qualitätslackierung nicht beeinträchtigt wird“ (FRISCHER et al. 2011), wenn sie mit dem Buchstabe B gekennzeichnet sind, (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, DILLINGER et al. 2010, FRISCHER et al. 2011, PEK et al. 2000).

2.4.3 Automatenstahl

Diese Stahlprodukte werden für die spanende Massenfertigung verwendet, in der die größerer Produktivität und die länger Lebensdauer des Werkzeugs wichtig sind. Die Haupteigenschaften sind eine gute Spanbarkeit, das Entstehen kurzbrüchiger Späne und die geringe Schnittkraft beim Zerspanen. Aus diesem Grund ist die Werkzeugstandzeit länger. Durch das Fertigungsverfahren wird ein Werkstück mit einer hohen Oberflächengüte hergestellt. Die gute Spanbarkeit wird durch die Legierungselemente Schwefel und das Mangan erreicht. Diese bilden Mangansulfid, welches für die kurzbrüchigen Späne verantwortlich ist. Daneben enthält der Automatenstahl noch Legierungselemente zur Erleichterung des Zerspanes (Blei, Tellur, Selen oder Wismut). Die gute Spanbarkeit vermindert die Zähigkeit und die Umformbarkeit. Man unterscheidet drei verschiedene Automatenstahlsorten. Die Automatenweichstähle werden in der allgemeinen Produktion verwendet. Zur Vergütung dienen die Automatenvergütungsstähle. Die dritte Gruppe der Automatenstähle wird dann verwendet, wenn große Festigkeit und Zähigkeit verlangt wird. (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, DILLINGER et al. 2010, KAMMER et al. 2012, PEK et al. 2000).

Die chemische Zusammensetzung wird in Hinblick auf die Spanbarkeit durch die Kennzeichnung der Legierungselemente ausgewiesen. Der mit 11SMn30+C (alte Kennzeichnung: 9SMn28K) gekennzeichneten Stahl wird für das zwei- und dreiachsige Fahrzeug verwendet. 11 signalisiert den „100-facher Wert des mittleren prozentualen Kohlenstoffgehalts des vorgeschriebenen Bereichs“ (KAMMER et al. 2012). Die nachfolgenden Bezeichnungen weisen die chemischen Symbole der Hauptlegierungselemente aus. Die letzte Zahl (oder auch die letzten Zahlen) zeigt das Verhältnis der Legierungselemente an. In diesem Fall symbolisiert die Zahl 30 den 30%igen Anteil von Schwefel in diesem Stahlprodukt. Ein anderes Hauptlegierungselement ist Mangan, dessen Verhältnis nicht durch die Kennzeichnung

deutlich wird. Darüber hinaus enthält der Stahl noch mehr Legierungselemente, welche aber nicht ausgewiesen werden. Diese nicht bezeichneten zusätzlichen Legierungselemente und deren Verhältnisse können im Werkstoffdatenblatt nachgeschaut werden. Der Automatenstahl ist unlegiert, weil der Legierungsgehalt weniger als 5 % beträgt. +C weist darauf hin, dass der Stahlstab mittels des gezogenen Prozesses hergestellt wurde (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, KAMMER et al. 2012, PEK et al. 2000).

2.4.4 Vergütungsstahl

Der Vergütungsstahl wird für die Welle des Mulcherschneideteils verwendet. Der für diesen Zweck eingesetzte Vergütungsstahl besitzt eine hohe Festigkeit, Zähigkeit, Streckgrenze, Zugfestigkeit und eine gute Härbarkeit. Durch einen Vergütungsprozess können diese physischen Eigenschaften verbessert werden. Der Kohlenstoffgehalt legt die statischen Eigenschaften weitgehend fest. Aber die Legierungselemente verbessern auch die Festigkeit und Zähigkeit, so wie die Härbarkeit und die Abriebfestigkeit (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, KAMMER et al. 2012, PEK et al. 2000).

Der mit C45+C gekennzeichnete unlegierte Vergütungsstahl stellt das Grundmaterial der Welle des Mulcherschneideteils. C bedeutet, dass der Stahl zur unlegierten Vergütungsstahlsorte gehört. 45 ist der „100-fache Wert des mittleren prozentualen Kohlenstoffgehalts des vorgeschriebenen Bereichs“ (KAMMER et al. 2012). Die Bezeichnung +C wurde bereits erklärt (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, PEK et al. 2000).

2.4.5 Federstahl

In das dreiachsige Gerät wird eine Feder aus Federstahl eingebaut. Der Federstahl ist ein Qualitätsstahl, welcher mit hohen Belastungen zurechtkommt. Sie können durch ihre elastische Verformung eine große Menge der Energie speichern. Diese entsteht durch eine statische oder stoßartige oder wiederholende Belastung. Aus diesen Gründen wird diesem Stahlprodukt eine hohe Elastizitätsgrenze, Bruchdehnung, und Streckgrenze mit einer günstigen Zeitschwing- und Dauerfestigkeit zugesprochen. Für diese Feder wird der mit 51CrMoV4 gekennzeichnete niedriglegierte Federstahl genommen. 51 kennzeichnet 51% des mittleren Kohlenstoffgehalts. Neben Kohle befinden sich noch Chrom, Molybdän und Vanadium als Hauptlegierungselemente in diesem. Die Ziffer Vier zeigt die Menge des Chroms Molybdäns und Vanadiums an (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, KAMMER et al. 2012, PEK et al. 2000).

2.4.6 Knetlegiertes Aluminium

Das reine Aluminium ist so weich, dass es für Konstruktionsanwendung nicht eingesetzt werden kann. Aus diesem Grund muss seine Festigkeit verbessert werden. Das ist durch die kalte Gefügeänderung, die Legierungselemente und die vergütende Wärmebehandlung möglich. Der Rahmen und der äußere Walzenteil des Stachelwalzenantriebs wurden aus dem EN AW AlMg3 Werkstoff hergestellt. Dieses Aluminiumprodukt ist unvergütet, seine Festigkeit wird durch Magnesium erreicht oder mit der kalten Gefügeänderung verbessert. Hier ist die plastische Verformbarkeit sehr wichtig. Daneben besitzt dieser Werkstoff eine hohe Festigkeit, gute Korrosionsbeständigkeit und Verarbeitungsfähigkeit. EN bedeutet Europäische Norm. AW zeigt, dass dieses Aluminium eine Aluminium - Knetlegierung ist. Die Basis ist das Aluminium. Mg weist auf Magnesium als Hauptlegierungselement hin. Die Zahl 3 kennzeichnet den Anteil an Magnesium in der Legierung (in diesem Fall 3%) (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, DILLINGER et al. 2010, KAMMER et al. 2012, PEK et al. 2000).

2.4.7 Gleitlagerbronze

Ein Gleitlager wird bei den beiden Konstruktionen in allen Rahmengelenkspunkten eingebaut. Der Werkstoff des Gleitlagers wird aus den Kupfer-Zinn-Legierungen ausgewählt. Diese Werkstoffgruppe ist sehr verschleißfest, korrosionsfest und zähhart. Daneben ist die Gleiteigenschaft auch sehr gut. Mit dem erhöhten Zinngehalt von bis zu zwölf Prozent, verbessern sich Festigkeit und Härte. Bei einem höheren Zinngehalt sinkt die Festigkeit, aber der Werkstoff wird härter. Die eingebauten Gleitlager werden aus CuSn12-C Werkstoff hergestellt, die Materialbasis ist Kupfer. Dieser Werkstoff besitzt als Hauptlegierungselement Zinn, welches mit bis zu 12 Prozent beinhaltet ist. Dargestellt wird dies durch die Zahl 12, welche auf die Buchstaben folgt. – C bedeutet, dass diese Bronze Gussbronze ist (BAGYINSZKI UND KOVACS 2008, DILLINGER et al. 2010, KAMMER et al. 2012, PEK et al. 2000, CUSN12 DATENBLATT).

2.4.8 Befestigungselementwerkstoff

Die Konstruktion kann nicht nur ausschließlich aus den aneinander geschweißten Teilen bestehen, weil die Bauteile beweglich sein müssen und einige auch montierbar. Aus diesen Gründen müssen Befestigungselemente verwendet werden, welche auch in der Konstruktion eingesetzt wurden. Im Folgenden wird durch eine Schraubenkennzeichnung die Kennzeichnung des Befestigungselementes vorgestellt: DIN 931 M10x70 8.8 vz. Die Befestigungselemente werden nach der Normnummer identifiziert. Gelegentlich wird eine zusätzliche Ziffer im Anschluss an diese Nummer eingefügt, welche innerhalb der gleichen Sorte die spezifische Form des Befestigungselements darstellt (hier wurde keine eingefügt). Die folgenden werden die Innen- und Außendurchmesser angegeben sowie die Länge. Der Buchstabe M zeigt das metrische Gewinde des Befestigungselementes an. Besitzt das Befestigungselement ein Feingewinde, so wird dies nach dem Durchmesser und vor der Länge angezeigt. 8.8 bezeichnet die Eigenschaften der Werkstoffsorte. Diese Kennzeichnung wird nur für Schrauben verwendet. Das Hundertfache der ersten Zahl zeigt die Zugfestigkeit des Materials an. Das Produkt der beiden Zahlen mal zehn ist äquivalent mit der Streckgrenze des Werkstoffs. Die Streckgrenze der Mutter zeigt ihre Festigkeitsklasse an, welche eine vorgeschriebene Spannung beinhaltet. Diese Spannung kann das Material vertragen. In anderen Fällen kann an dieser Stelle auch St. stehen (das

Kürzel für Stahl). vz. (verzinkt) kennzeichnet die Qualität der Oberfläche (ADORJAN UND JAKAB 1988, FRISCHHERZ et al. 1997, FRISCHER et al. 2011, HOISCHEN 1982).

2.5 FERTIGUNGSTECHNOLOGIE

In diesem Kapitel werden die Fertigungstechnologien und ihre Hauptgruppen vorgestellt. Des Weiteren werden alle Untergruppen mit ihren jeweiligen Fertigungsverfahren erläutert, welche zur Herstellung der Maschinen in diesem Projekt benutzt wurden.

Fertigungstechnologien dienen der Herstellung von Produkten oder Gütern, welche den Bedarf der Sozial- und Privatsphären befriedigen. Produkte mit bestimmter fester Geometrie werden in den technischen und wirtschaftlichen Prozessen der Produktionstechnik mit unterschiedlichen Verfahren aus den verschiedenen Werkstoffen oder Halbfertigprodukten (im Allgemeinen metallurgische Endprodukte) mit differierender Qualität hergestellt. Innerhalb der Fertigungstechnologie werden sechs Hauptgruppen eingeteilt (DUDAS 2000a, DIN 8580, WITT et al. 2006):

1. Urformen: In diesem Fertigungsverfahren wird aus einem formlosen, festen oder gasförmigen Grundstoff ein Werkstück hergestellt, und so der Zusammenhalt der Stoffteilchen ermöglicht. Das Urformen ist „aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand, aus dem flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Zustand, aus dem festen (körnigen oder pulvrigen) Zustand“ und durch „Gießen, Sintern und elektrolytische Abscheidung“ (DIN 8580) möglich (DILLINGER et al. 2010, WITT et al. 2006).
2. Umformen: In diesem Fall wird die Form des Rohrteils mittels der wirkenden Kräfte des Werkzeuges umgewandelt, dabei ändert sich das Volumen des Teils nicht. Nach diesem Verfahren erhält das Werkstück seine eigentliche Form (DILLINGER et al. 2010, DIN 8580, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).
3. Trennen: In diesem Verfahren wird aus dem festen Werkstoff durch das Ausheben des örtlichen Zusammenhalts die geometrisch bestimmte Form des festen Werkstücks gestaltet (DILLINGER et al. 2010, DIN 8580, DUDAS 2000a, WITT et al. 2006).
4. Fügen: In diesem Verfahren werden zwei oder mehr Werkstücke aus einer geometrisch feste Form oder einem formlosen Stoff zusammengebracht. Die lösbare oder auch unlösbare Verbindung wird auf befristete oder unbefristete Zeit

geschaffen, um so die geforderte Geometrie zu erhalten. Das Ziel dieses Verfahrens ist die Schaffung und Vermehrung des örtlichen Zusammenhalts (BÖGE et al. 1969, DILLINGER et al. 2010, DIN 8580, FRITZ et al. 2010).

5. Beschichten: In diesem Verfahren wird an das Werkstück ein formenloser und fest haftender Stoff aufgebracht, um so den verschiedenen Wiedereinflüssen trotzen zu können. So kann der Nutzwert des Stücks erhöht oder das ästhetische Aussehen verbessert werden. Hierzu gehören: Lackieren, Galvanisieren, Pulverbeschichten, Feuerverzinken, Eloxieren etc. (DILLINGER et al. 2010, DIN 8580).

6. Stoffeigenschaften ändern: Mit diesem Verfahren kann die innere Materialstruktur geändert werden. Durch die Änderung der inneren Materialstruktur können eine oder mehrere mechanische und physikalische Eigenschaften des Stoffes modifiziert werden. So kann ein Werkstück härter, milder, zäher, verschleißfester etc. werden. Durch den Prozess der Wärmebehandlung können einem Werkstück vorteilhafte Eigenschaften hinzugefügt werden (DILLINGER et al. 2010, DIN 8580, PEK et al. 2000).

2.5.1 Trennverfahren (Zerspanen oder Spanen)

Die Einteilung des Verfahrens zeigt Abbildung 22. Aus den Verfertigungsgruppen wurde das Spanen oder Zerspanen zur Herstellung der Maschinen in diesem Projekt verwendet.

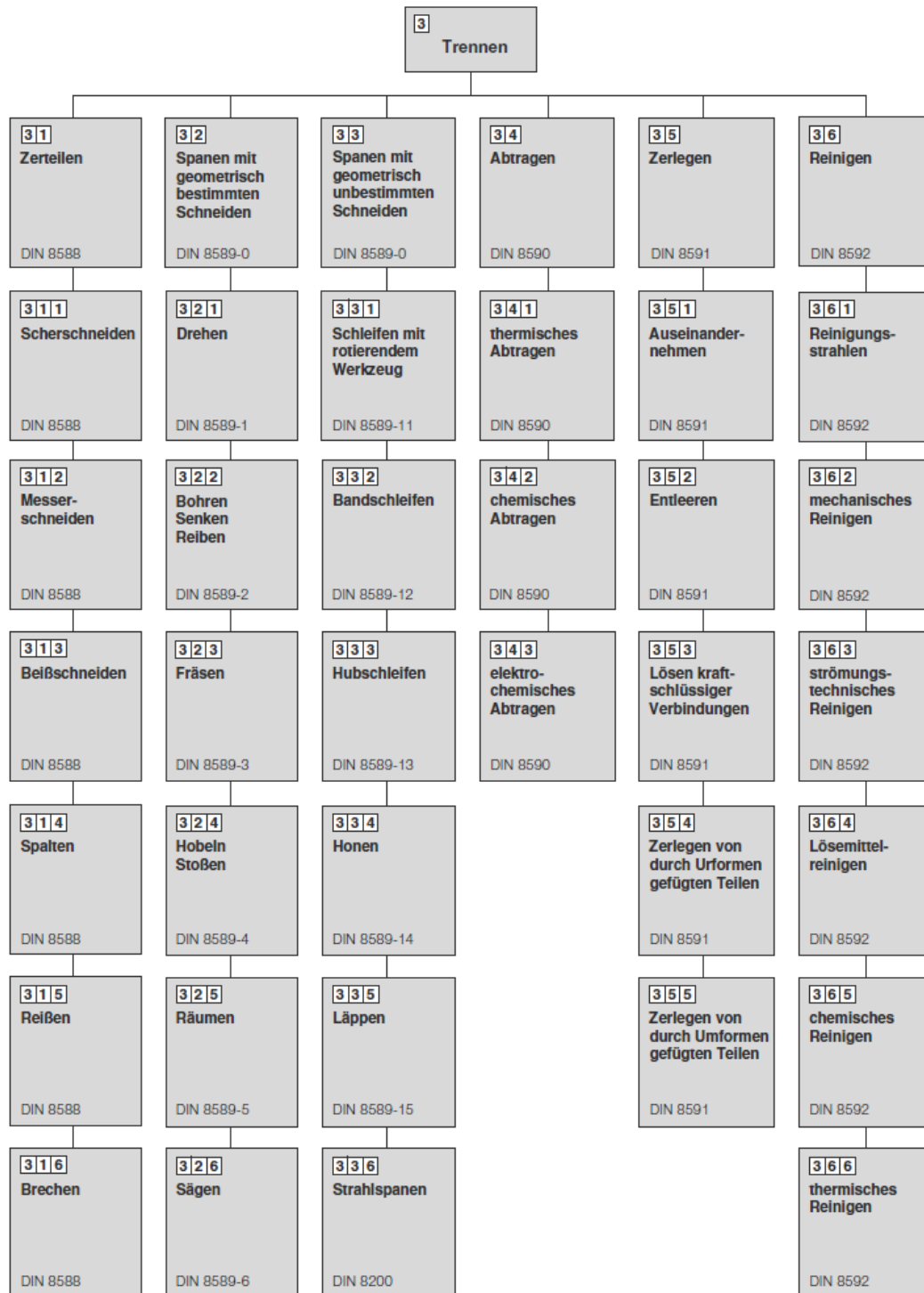


Abbildung 22: Untergruppen des Trennverfahrens (FRITZ et al.2010 S. 238)

Zerspanen oder Spanen „bezeichnet in der Technologie alle mechanischen Bearbeitungsverfahren, bei denen das Material in die gewünschte Form gebracht wird, indem überflüssiges Material in Form von Spänen abgetragen wird.“ (DIN 8580) Das Spanen wird durch die Bewegungen des Werkstoffs und/oder Werkzeugs ausgeführt. Eine keilförmige Werkzeugschneide dringt in die Oberfläche des Werkstücks ein und spaltet in der Bewegung eine dünne Materialschicht ab. Beim Spanen kann nicht nur die gewünschte Form mit den richtigen Maßen, sondern auch die vorgeschriebene Oberflächen hergestellt werden. Man unterscheidet drei verschiedene Spansorten nach der abgetrennten Spandicke: grobe, schlichte und feine Späne (DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

Jedoch führen Werkstoffe und Werkzeuge bei den verschiedenen Zerspanverfahren nicht immer die gleiche Bewegung aus (z. B. Fräsen, Drehen oder Schleifen). Das Zerspanen findet mittels zweier Bewegungsarten statt: zum einen gehört zum Zerspanen die Bewegung, welche zum Abnehmen des Spans führt (Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung), zum anderen die Bewegung, welche nicht zum Zerspanen führt (Anstell-, Nachstell-, oder Zustellbewegung). „Alle Bewegungen sind auf das ruhend gedachte Werkstück bezogen“ (BÖGE et al. 1969), unabhängig davon, wie die tatsächliche Bewegung stattfindet (DUDAS 2000a, DIN 8580, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2010).

Diese Bewegungen werden wie folgt beschrieben (Abb. 23):

- Die Schnittbewegung ist die Hauptbewegung, mit welcher unter einer Umdrehung oder einem Hub des Werkstoffs oder Werkzeugs der Span abgelöst werden kann. Zur stetigen Spanabnahme benötigt es neben der Schnittbewegung eine Vorschubbewegung. Die Schnittbewegung kann eine runde, gerade und kurvige Bewegung sein (BÖGE et al. 1969, DUDAS 2000a, DIN 8580, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).
- Die Vorschubbewegung führt mit der Schnittbewegung eine schrittweise oder stetige Materialabnahme durch. Es ist auch möglich, dass sie aus mehreren Komponenten besteht. Die Linie der Vorschubbewegung ist rund, gerade und in Kurven möglich (BÖGE et al. 1969, DUDAS 2000a, DIN 8580, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

- Die Wirkbewegung resultiert aus der Vorschub- und Schnittbewegung (BÖGE et al. 1969, DUDAS 2000a, DIN 8580, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2010).
- Durch die Anstellbewegung kann das Werkzeug am Werkstück justiert werden (BÖGE et al. 1969, DUDAS 2000a, DIN 8580, FRITZ et al. 2010).
- Durch die Zustellbewegung kann die Dicke der abzunehmenden Werkstoffschicht eingestellt werden (BÖGE et al. 1969, DUDAS 2000a, DIN 8580, FRITZ et al. 2010).
- Die Nachstellbewegung ist eine Korrekturbewegung zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug (BÖGE et al. 1969, DUDAS 2000a, DIN 8580, FRITZ et al. 2010).

Die Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegungen besitzen eine Schnitt (v_c)-, Vorschub (v_f) - und Wirkgeschwindigkeit (v_e). Diese Geschwindigkeiten sind in Schnitt-, Vorschub- und Wirkrichtung eines Schneidepunktes zu erkennen. (Abb. 21) (BÖGE et al. 1969, DUDAS 2010a, FRITZ et al. 2010).

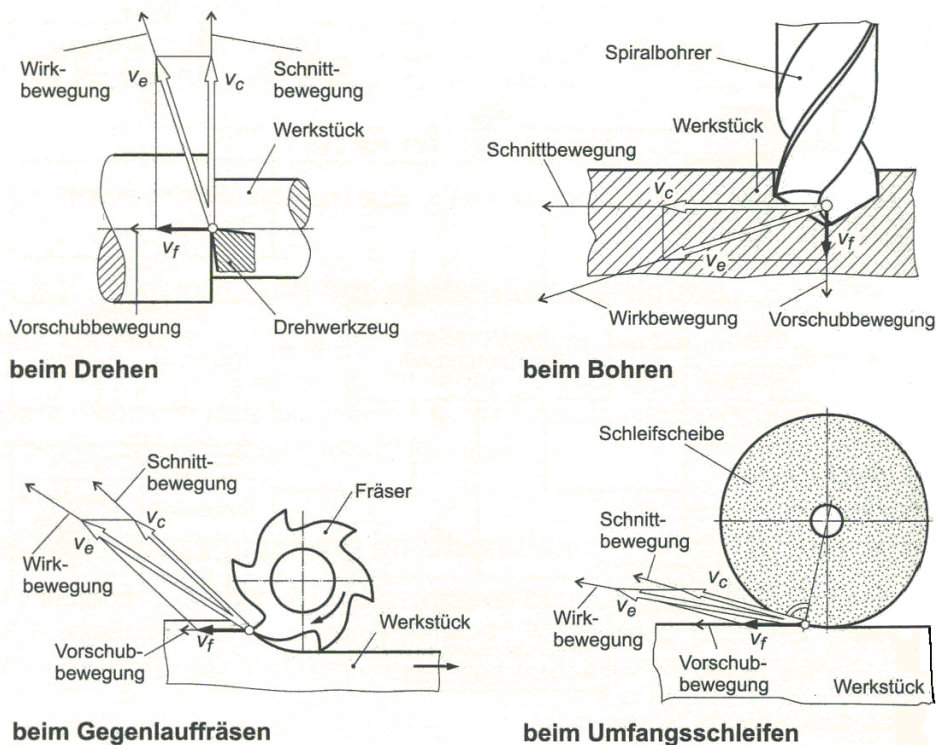


Abbildung 23: Bewegungen und Geschwindigkeiten des Spanverfahrens (WITT et al. 2006 S. 108)

Ob das Werkstück oder das Werkzeug die Bewegung durchführt, ist vom Gesichtspunkt des Hergangs des Spanprozesses aus unwesentlich. Aber ausgehend vom

Werkmaschinenaufbau ist es sehr wichtig, welche Bewegung das Werkstück und welche das Werkzeug ausführt (FRITZ et al. 2010).

Das Spanen ist aus wirtschaftlicher Sicht bedeutsam. Mit dem Spanverfahren ist es möglich, die verschiedenen Formelemente herzustellen und die Werkzeuge während des Zerspanvorgangs nachzustellen. Daneben können diese Verfahren sehr genau die Form-, Maß- und Lagetoleranz und die Oberflächengüte halten sowie eine „nahezu geometrisch unbegrenzte[...] Bearbeitungsmöglichkeit und hohe[...] auftrags- und stückzahlbezogene[...] Fertigungsflexibilität“ (WITT et al. 2006) garantieren. Die oben genannten Bewegungen sind automatisiert und die Automatisierung wird mit „werkstattnahe[n] und wissensbasierte[n] Programmiertechnologien“ (WITT et al. 2006) möglich gemacht. Die Spanwerkzeuge besitzen eine hohe Standzeit. Dadurch ist die komplette Werkstückbearbeitung in einer Aufspannung möglich. Die Kühlung des Werkzeuges erfordert nur wenig Kühl- oder Schmiermittel und in einigen Fällen kann eine Trockenbearbeitung durchgeführt werden (FRITZ et al. 2010).

Die Nachteile des Spanens liegen im deutlich höheren Werkstoffverbrauch, der relativ niedrigen Produktivität und der veränderten Festigkeitseigenschaft des Werkstücks nach der Bearbeitung. Zudem schädigen die Kühl- oder Schmiermittel die Umwelt (WITT et al. 2006).

Spanwerkzeuge

Das Spanen wird in geometrisch bestimmte und unbestimmte Varianten des Schneidens eingeteilt, ebenso unterscheidet man die geometrisch bestimmten und unbestimmten Werkzeuge. Die Werkstoffe und die strukturelle Gestaltung der beiden Gruppen sind unterschiedlich. Im Folgenden werden die geometrisch bestimmten Werkzeuge vorgestellt, um so die hier definierten Begriffe auch auf die geometrisch unbestimmten Werkzeugen aussagekräftig zu übertragen. Die geometrisch bestimmten Werkzeuge bestehen aus drei Teile: Schneidteil, Werkzeuggrundkörper und Aufnehmer. Diese Teile werden aus einem oder zwei Werkstoffen hergestellt. In letztem Fall ist der Werkstoff des Schneidteils ein anderer Werkstoff als der Rest des Werkzeuges (Abb. 24) (DUDAS 2000a).

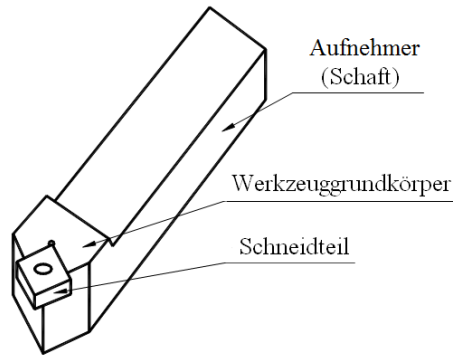


Abbildung 24: Hauptteil des Drehmeißels (DUDAS 2000a S. 172)

Die Teile und die Winkel des Werkzeuges

Das Werkzeug wird am Schaft im Werkzeughalter befestigt. Der Werkzeuggrundkörper sichert die Verbindung zwischen dem Schneidteil und dem Schaft. Aus dem Schneidteil werden der Schneidkeil oder die Plätze für das Einsatzmesser und die Hartmetallplatte geformt. Der Schneidteil verrichtet die Spanarbeit und beinhaltet den Schneidkeil oder das Einsatzmesser und die Hartmetallplatte mit seinen Schneiden, Flächen und Winkel. Wenn der Schneidteil des Werkzeuges aus mehreren Zähnen besteht, besitzt jeder Zahn ein Schneidteil. Der Schneidkeil trennt die Späne vom Werkstoff ab (DUDAS 2000b, WITT et al. 2006).

Im Schneidkeil vereinigen sich drei verschiedene Flächenarten: Span-, Frei- und Nebenfleiflächen. Auf der Spanfläche läuft der Span ab. Die Frei- und Nebenfleiflächen sind den gespannten Werkstoffflächen zugekehrt. Manchmal bestehen die Span- und Nebenfleiflächen auf Grund der besseren Festigkeit, Spanbrechung und Schärfung aus zwei oder drei Flächen (Abb. 25) (BÖGE et al. 1969, DUDAS 2000a, DUDAS 2000b, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

Die Span-, Nebenflei- und Freiflächen bilden die Haupt- und Nebenschneide. Der Hauptschneider fängt am Schneidenpunkt mit einem Einstellwinkel von Null an. Dieser Schneidepunkt ist der letzte Berührungspunkt mit der Werkstofffläche während des Schnittes. Der Hauptschneider weist während des Spanens in die Vorschubrichtung. Der Nebenschneider fängt am Schneidenpunkt an, wobei der Einstellwinkel Null beträgt. Er befindet sich gegenüber des Hauptschneiders. Während des Spanens ist keine Aufgabe des Nebenschneiders. Der Treffpunkt der Haupt- und Nebenschneide ist die

Schneidenecke. Sie ist aus beruflichen Gründen oft abgerundet oder abgebrochen (Abb. 25) (BÖGE et al. 1969, DUDAS 2000b, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

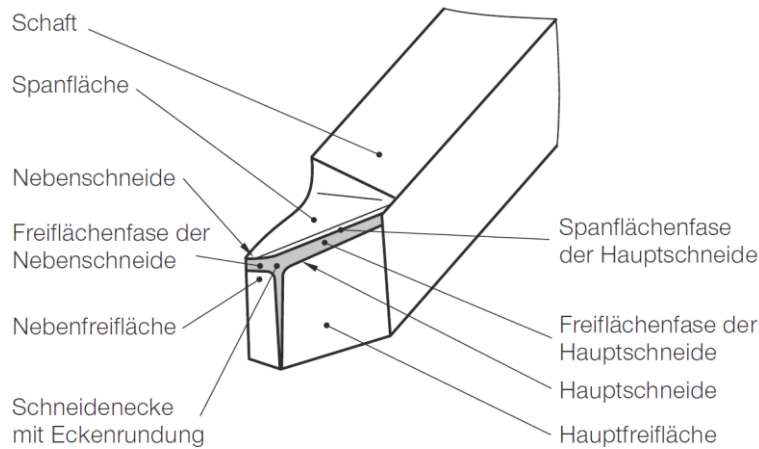


Abbildung 25: Flächen und Winkel des Drehmeißels (FRITZ et al. 2010 S. 248)

Ein Werkzeug- und ein Wirkbezugssystem sind vonnöten, um den Werkzeugwinkel zu definieren. Beide Bezugssysteme setzen sich aus drei senkrecht aufeinander stehenden Ebenen zusammen. Die Ebenen beider Bezugssysteme treffen sich in einem einzigen Punkt, welcher als Schneidpunkt bezeichnet wird (in Abb. 26 als "betrachteter Schneidpunkt" gekennzeichnet). Die Schnittrichtung im Werkzeugbezugssystem befindet sich in Richtung der Hauptachse. Durch dieses Bezugssystem können die Werkzeugwinkel definiert werden, welche für die Herstellung und Instandhaltung des Werkzeugs wichtig sind. Die Hauptachse definiert die Wirkrichtung im Wirkbezugssystem, durch welches die Wirkwinkel ebenfalls festgelegt werden. Diese Winkel hängen „von der Stellung [des] Schneidwerkzeug[s] zu[m] Werkstück, von den Schnittgrößen und von der geometrischen Form des Werkzeugs“ (BÖGE et al. 1969 S. 801) ab (Abb. 26). Sie sind „für die Darstellung des Zerspanungsvorgangs von Bedeutung“ (FRITZ et al. 2010).

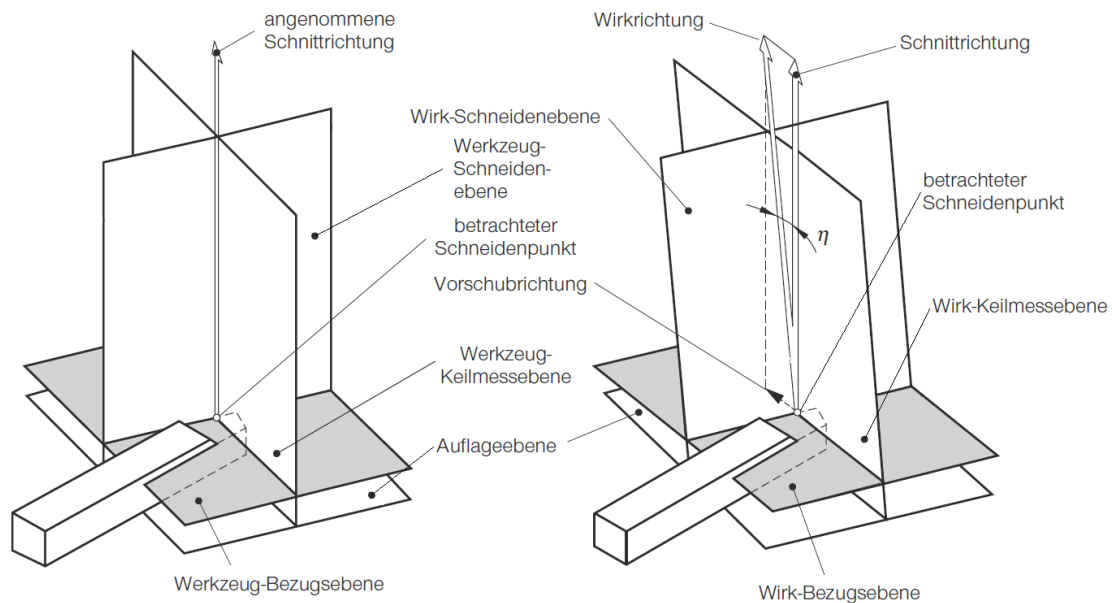


Abbildung 26: Werkzeug- und Wirkbezugssystem (FRITZ et al. 2010 S. 249)

Man unterscheidet drei verschiedene Winkel des Werkzeugbezugssystems (Abb. 27). Der erste Winkel ist der Spanwinkel γ , welcher durch die Spanfläche und eine Werkzeugbezugsebene gebildet wird. Er kann positiv wie negativ sein. Durch die Änderung dieses Winkels verändern sich die Zerspankraft, der Spanablauf und die Spanbildung. Die Größe des Spanwinkels reicht von $+30^\circ$ bis zu -5° . Zwischen Span- und Freiflächen befindet sich der Keilwinkel β . Die Schneidfähigkeit der Werkzeugschneide hängt von der Größe dieses Winkels ab. Ein geringer Keilwinkel impliziert eine größere Schneidfähigkeit. Daneben beeinflusst die Größe des Keilwinkels die Wärmeabfuhr an der Schneide und die Stabilität der Werkzeugschneide. Die Winkelgröße bewegt sich zwischen 40° - 85° . Der Freiwinkel α befindet sich zwischen der Werkzeugschneidenebene und der Freifläche. Die Reibung zwischen Schnittfläche am Werkstück und Freifläche am Werkzeug hängt von der Winkelgröße des Freiwinkels ab. Eine kleine Winkelgröße sorgt für eine erhebliche Reibung, einen großen Freiflächenverschleiß und eine geringe Ausbrechwahrscheinlichkeit der Schneidkante. Dieser pendelt zwischen 4° - 12° . Die Summe aus den Winkeln $\alpha + \beta + \gamma$ beträgt immer 90° (BÖGE et al. 1969, DILLINGER et al. 2010, DUDAS 2000a, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

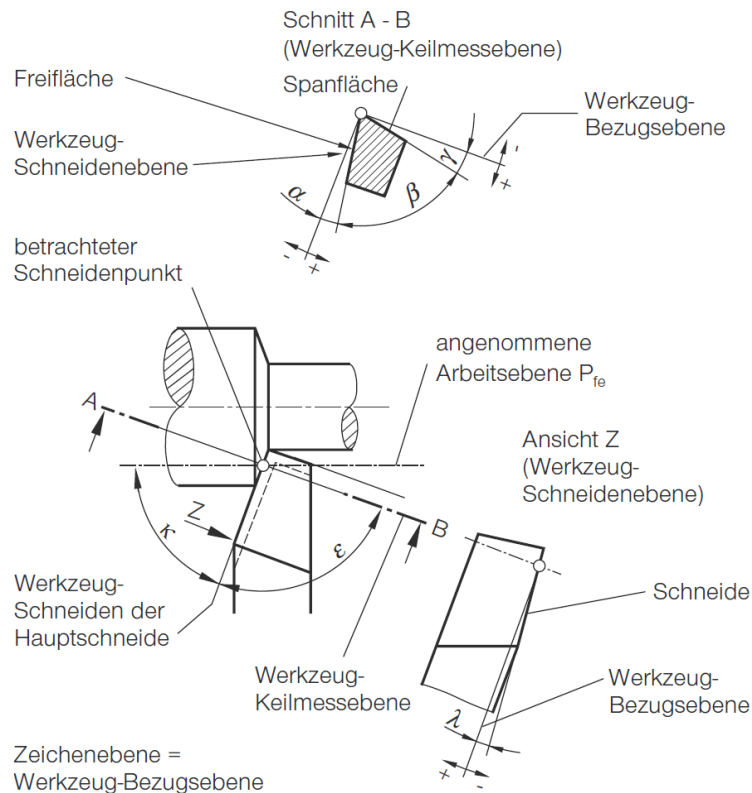


Abbildung 27: Werkzeugwinkel (FRITZ et al. 2010 S. 250)

Das Wirkbezugssystem besteht aus drei verschiedenen Winkeln. Der Einstellwinkel κ wird durch die Werkzeugschneideebene und die Arbeitsebene gebildet. Er spielt eine wichtige Rolle in der Verteilung der Zerspankraft, der Bildung der Spanform und der Standzeit. Seine Größe pendelt zwischen $30^\circ - 90^\circ$. Zwischen den zusammenhörigen Haupt- und Nebenschneiden befindet sich der Eckenwinkel ϵ . Dieser ist für die Wärmeabfuhr ebenso wichtig wie der Keilwinkel. Aus diesem Grund beeinflusst er die Schneiderstandzeit. Er beträgt 90° oder mehr. Der Neigungswinkel λ sitzt zwischen dem Hauptschneide und der Werkzeugbezugsebene. Außerdem wirkt er sich auf die Standzeit und den Spanablauf aus. Er kann positiv und negativ sein, $\lambda = 0^\circ - \pm 10^\circ$ (BÖGE et al. 1969, DILLINGER et al. 2010, DUDAS 2000a, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007, FRITZ et al. 2010).

2.5.1.1 Spanbildung

Die Spanbildung findet bei der Metallzerspannung mit einer geometrisch bestimmten Schneide wie im Folgenden beschrieben statt: Der Werkzeugkeil dringt im ersten Schritt in den Werkstoff ein und der Werkstoff erfährt eine elastische Verformung. Nachdem der Keil weiter in den Werkstoff eindringt, wird aus der elastischen Verformung eine plastische Verformung. Wenn die Spannung bei der elastischen Verformung die

Schubspannungsgrenze des Werkstoffs überschreitet, wird ein Span abgetrennt. Die Schubebene, welche den Schub ermöglicht, nennt sich Scherebene (Abb. 29). Die Scherebene schließt mit der Schnittrichtung den Scherwinkel Φ ein. Zuerst bewegt sich der Span mit der weiteren Bewegung des Keils auf die Stirnfläche des Werkzeugs zu. Im nächsten Schritt entsteht das kontinuierliche Spanblech. Diesen Vorgang zeigt Abbildung 28 (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, DUDAS 2010b, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

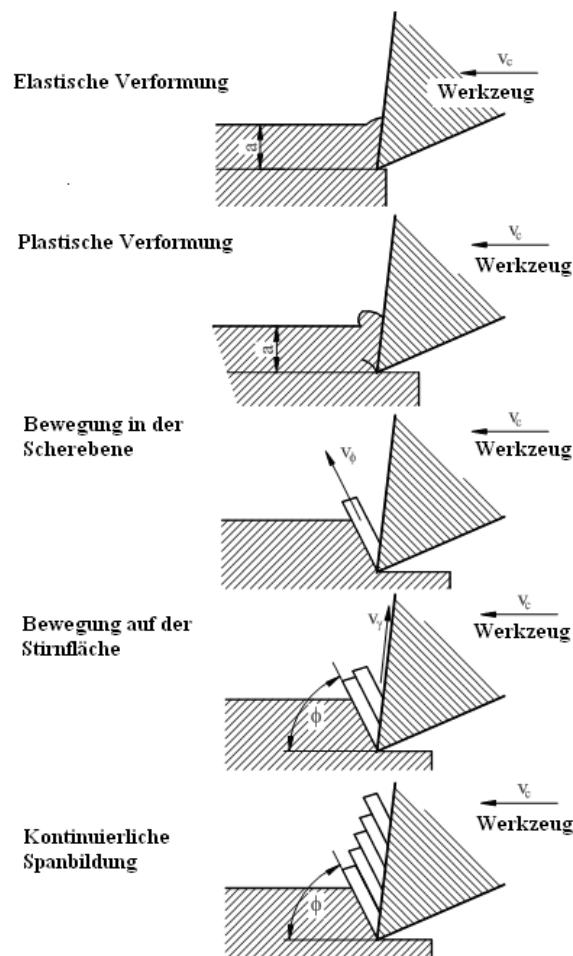


Abbildung 28: Vorgang der Spanbildung (a : Spandicke, v_c : Schnittgeschwindigkeit, Φ : Scherwinkel, v_ϕ : Schergeschwindigkeit, v_γ : Stirnflächengeschwindigkeit) (DUDAS 2000a S. 184)

Die Spanbildung während der Zerspanung von Metall mit einer geometrisch unbestimmten Schneide ist nicht die absolut gleiche Spanbildung wie während der

Zerspanung mit einer geometrisch bestimmten Schneide. Sie unterscheiden sich dahingehend, dass die Keile über die Werkstückoberfläche gleiten. Gleichzeitig spanen mehrere Keile mit unregelmäßiger Form sehr kleine Späne in verschiedener Schnitttiefe ab. So benötigen die Späne wenig Platz und ihr Abtransport ist leicht. Diese Spanbildung kann durch Brechen oder Umleiten des Spans mit Spanleitstufen und Spanleitplatten beeinflusst werden (DUDAS 2000a, DUDAS 2000b, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

Neben dem oben definierten Scherwinkel Φ existieren noch zwei weitere Winkel für die Spanbildung (Abb. 29). Der Strukturwinkel η wird von den Strukturlinien und der Scherebene eingeschlossen. Diese Strukturlinien weist man im Bereich der Scherebene anhand von Spanwurzel aufnahmen nach. Der zweite Winkel wird durch die Strukturlinien und die Spanfläche gebildet, er wird als Fließwinkel Ψ bezeichnet. Darüber hinaus werden durch Abbildung 29 noch folgende Bezeichnungen erläutert: h : Spanungsdicke, h_c : Spandicke, γ : Spanwinkel und α : Freiwinkel (FRITZ et al. 2010).

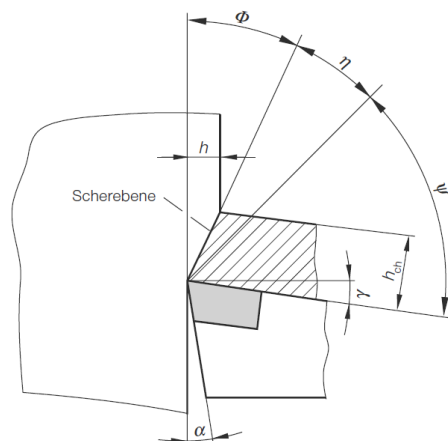


Abbildung 29: Spanbildungsmodell (FRITZ et al. 2010 S. 252)

Spanarten

Die Eigenschaften des Werkstückmaterials, die Winkel und der Werkstoff des Werkzeugs, die Schnittgeschwindigkeit und die Zerspantemperatur beeinflussen die Spanbildung. Die Spanarten (Abb. 30) werden in drei verschiedene Gruppen gegliedert (DUDAS 2000b, WITT et al. 2006):

1. Im Fall des Reißspans entstehen die Späne nicht mit der plastischen Verformung, sondern sie reißen oder brechen schon während der elastischen Verformung aus dem Werkstoff aus. Aus diesem Grund lösen sich die Späne ohne plastische Verformung ab. In diesem Fall besitzt das Werkstück im Allgemeinen eine raue Oberfläche. Diese Spansorte bildet sich beim Spanen des spröden Werkstoffes mit großer Schnitttiefe, mit niedriger Schnittgeschwindigkeit und mit kleinem bis negativem Spanwinkel. Hier ist die kontinuierliche Spanbildung nicht möglich, deshalb wirkt eine unkontinuierliche Spankraft auf das Werkzeug ein und sorgt für eine starke Beanspruchung (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, DUDAS 2000, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).
2. Die Spanteile verschweißen beim Scherspan nach der elastischen Verformung mit dem Kaltpressschweißen in der Scherebene. Die schuppenförmigen Späne sind leicht brechbar und die Schuppenteile sind mit bloßem Auge wahrnehmbar. Diese Spanart entsteht beim Spanen eines zähen Werkstoffes mit hohem Vorschub, mit niedriger oder steigender Schnittgeschwindigkeit und mit negativem Spanwinkel (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, DUDAS 2000b, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).
3. Der Fließspan ist die gewünschte Spanart. Hier sind die Spanlamellen mit bloßem Auge nicht mehr wahrnehmbar. In diesem Fall beginnt der Span schon in der Scherzone kontinuierlich zu fließen. Wegen des kontinuierlichen Spans wirkt die Spankraft stetig, deshalb ist die Beanspruchung des Werkzeugs fließend. Diese Spanart bildet sich beim Spanen des duktilen Werkstoffes oder Werkstoffes mit der feinkörnigen Struktur, langen Spanen, positiven Spanwinkel und hoher Schnittgeschwindigkeit. Mit dieser Spanart kann eine sehr gute Werkstückoberflächengüte hergestellt werden (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, DUDAS 2000b, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

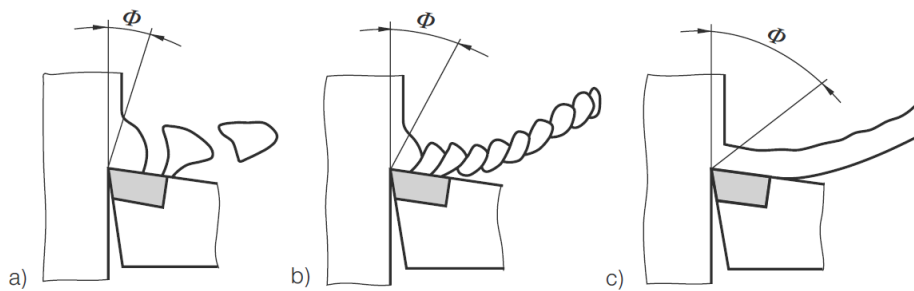

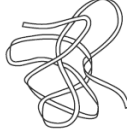






Abbildung 30: Spanarten: a) Reißspan, b) Scherspan, c) Fließspan (Φ : Scherwinkel)(FRITZ et al. 2010 S. 253)

Spanform

Durch die zunehmende Automatisierung der Fertigung im Zusammenspiel mit der gesteigerten Schnittgeschwindigkeit erlangt die Fertigkeit der Spanformbildung eine hohe Bedeutsamkeit. Die Spanform ist für die Spanentsorgung wichtig. Die ungünstig geformten Späne können schwer entsorgt werden und beeinflussen die Qualität der Werkstückoberfläche. Die nicht entsorgten Späne können das Werkzeug und die Werkmaschine beschädigen sowie deren Abtransport über die Spanentsorgungsanlage bedeutend stören. Durch diese Störungen kann der Ablauf des Fertigungsverfahrens blockiert werden. Aus diesem Grund existieren günstige und ungünstige Spanformen. Im Fall der ungünstigen Spanform benötigen die Späne mehr Raum als das ursprüngliche Volumen der Späne. Das Verhältnis des effektiven Spanraumbedarfs und des ursprünglichen Spanvolumens zeigt die Spanraumzahl R an. Wenn diese Zahl größer als 90 ist, ist diese Spanformart ungünstig. Wenn diese zwischen 25 und 8 liegt, ist diese Spanformart günstig. Die Tabelle 5 zeigt die verschiedenen Spanformarten und die Raumzahl der Spanformen (DILLINGER et al. 2010, DUDAS 2000a, DUDAS 2000b, FRITZ et al. 2010).

Tabelle 4: Spanformarten (FRITZ et al. 2010 S. 255)

Spanform		Spanraum- zahl R	Beurteilung
Bandspäne			
Wirrspäne		≥ 90	ungünstig
Wendelspäne	lang 	≥ 50	brauchbar
	kurz 	≥ 25	
Spiralspäne		≥ 8	gut
Spanbruch- stücke		≥ 3	brauchbar

Die Ausbildung der Spanform beeinflusst die kinetische Spanbrechung neben dem spanenden Werkstoff mit seinen spanformbeeinflussenden Legierungselementen. Die Beeinflussung ist auch durch die Anwendung der Spanformstufen möglich. Die Spanformstufe ist diejenige Spanform, die durch die Werkzeuggeometrie und Maschineneinstellbedingungen durchgeführt wird (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, DUDAS 2000b, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

2.5.1.2 Die entstehende Wärme beim Spanen und seine Kühlung

Die während des Spanens entstehende Wärme sorgt für die Verformungs- und Reibungsvorgänge. Beinahe die ganze eingesetzte Spanenergie wandelt sich in Wärme um. Diese Wärme entsteht in der Scherzone und zwischen Freifläche und gefertigter Werkstückfläche bzw. Spanfläche und Spanunterseite. Das Ausmaß dieser Wärme hängt von der Schnittgeschwindigkeit, der Spanbreite und -dicke, dem Material des Werkstücks und der Geometrie des Werkzeugs ab. Den größeren Teil der Wärme nimmt der Span (Q_{Sp}) auf. Die Menge, die durch das Werkstück (Q_{Ws}) abgeführten Wärme hängt von der Wärmeleitfähigkeit des Werkstückmaterials ab. Das Werkzeug nimmt nur wenig Wärme (Q_{Wz}) auf. Die Wärme des Spanens beeinflusst die Oberflächenqualität des

Werkstücks, die Standzeit des Werkzeugs, die Schnittgeschwindigkeit und das Zerspanungsvolumen. Die kann mit Kühlschmierstoffen vermindert werden. Aus gesundheits- und umweltbedingten Gründen geht der Trend von der Verwendung der Kühlschmierstoffe zur Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung. Aus diesem Grund wird nur natürliches Material zur Kühlung verwendet. Die Abbildung 31 zeigt die Wärmeverteilung während des Spanens und die wichtigen Energieumwandlungsstellen, welche vorhanden sind: **a** die Scherebene, **b** Trenngebiet, **c** Reibungszone der Werkzeugfreifläche und **d** Reibungszone der Werkzeugspanfläche (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, DUDAS 2000b, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

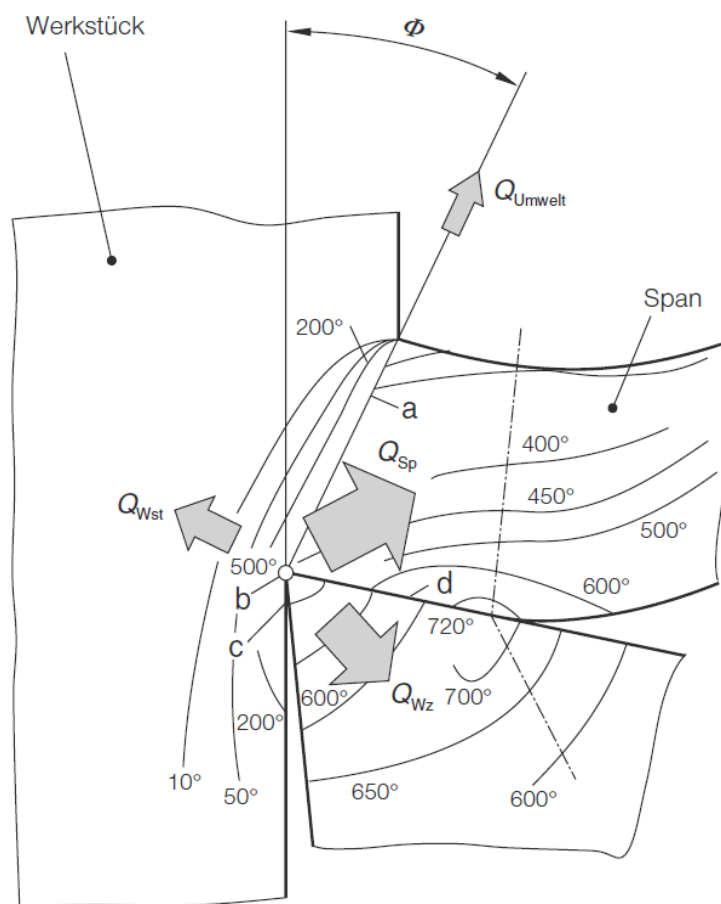


Abbildung 31: Die Wärmeverteilung während des Spanens und die wichtigen Energieumwandlungsstellen (Q_{Umwelt} : Die im Umwelt oder im Kühlschmierstoffe gewendelte Wärmeenergiemenge, Φ : Scherwinkel)(FRITZ et al. 2010 S. 256)

2.5.1.3 Drehen

Im Fall dieses spanenden Fertigungsverfahrens ist die Schnittbewegung kreisförmig und wird meistens vom Werkstück ausgeführt. Ein geometrisch bestimmter einschneidiger Drehmeißel führt das Spanen bei der Drehmaschine (Abb. 32) durch. Die Vorschubbewegung des Werkzeugs ist senkrecht zur Schnittrichtung. „Die Drehachse der Schnittbewegung ist werkstückgebunden, d. h., sie behält ihre Lage zum Werkstück unabhängig von der Vorschubbewegung bei“ (FRITZ et.al 2010). Das Drehen erzeugt durch die kontinuierliche Abtrennung des Spans einen Rotationskörper. Man unterscheidet sechs verschiedene Drehverfahren (DILLINGER et al. 2010, DUDAS 2000a, WITT et al. 2006).

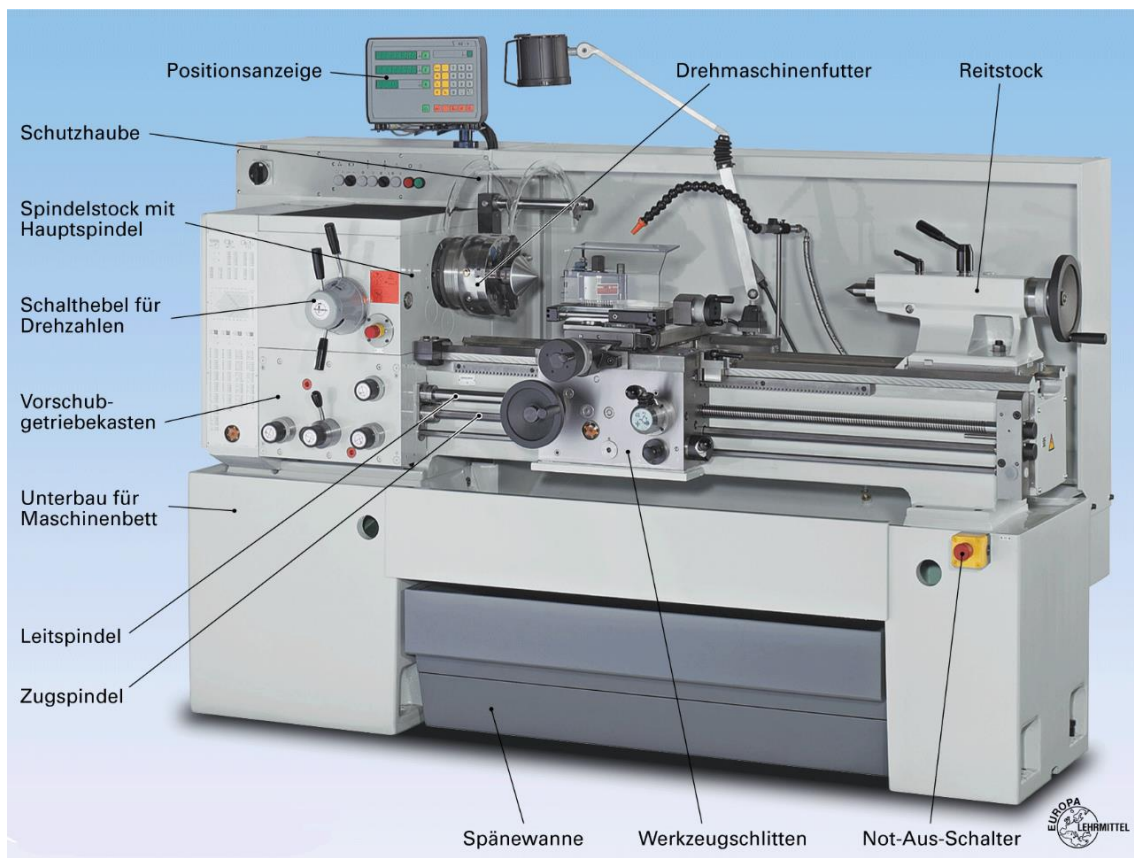


Abbildung 32: Drehmaschine mit ihren Teilen (DILLINGER et al. 2010 S. 152)

Das erste Verfahren ist das Plandrehen. In diesem Fall liegt die gespannte ebene Fläche senkrecht zur Drehachse. Für das Plandrehen existieren drei mögliche Wege zur Durchführung, dies zeigt Abbildung 33 (DILLINGER et al. 2010, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

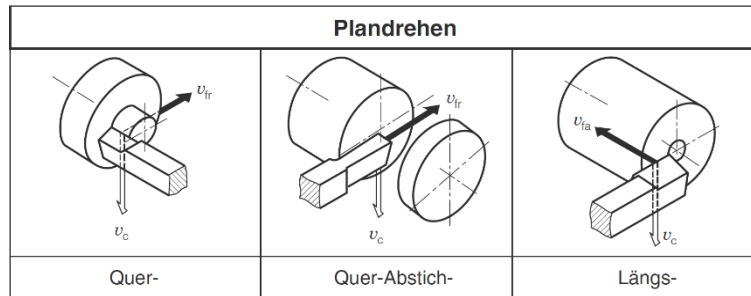


Abbildung 33: Plandrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. S. 272)

Das Runddrehen erzeugt eine kreiszylindrische Fläche. Die Achse der kreiszylindrischen Fläche ist gleich der Drehachse des Werkstücks. Die unterschiedlichen Runddrehverfahren zeigt Abbildung 34 (DILLINGER et al. 2010, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

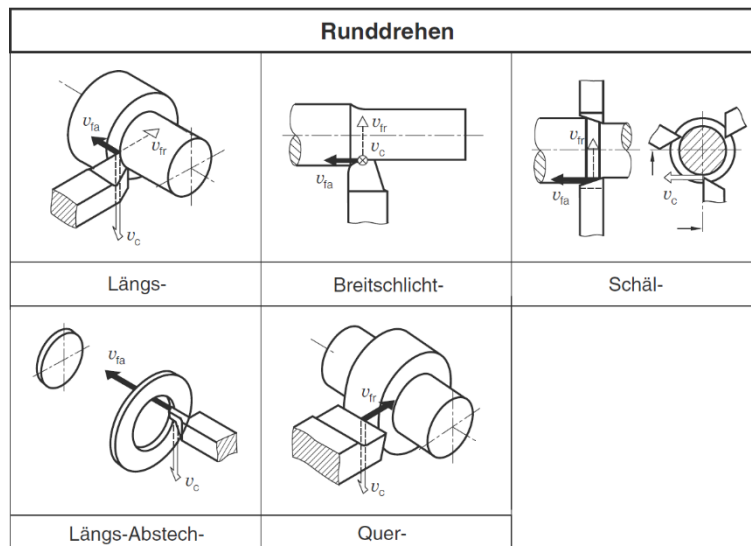


Abbildung 34: Runddrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 272)

Eine weitere Variante des Drehens ist das Schraubendrehen. Hier wird eine schraubenförmige Fläche mit Profilwerkzeugen hergestellt. Die Größe des Vorschubs ist wertentsprechend der Steigung der Schraube. Abbildung 35 zeigt die Varianten des Schraubendrehens (DILLINGER et al. 2010, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

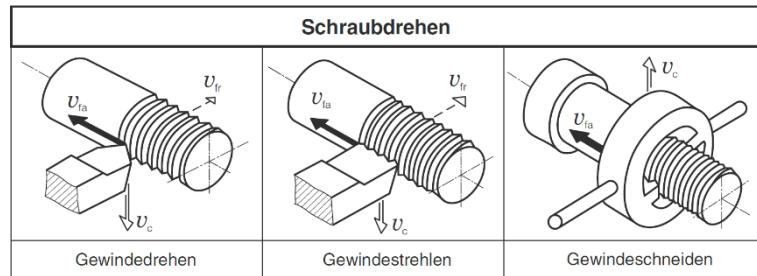


Abbildung 35: Schraubendrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 273)

Durch das Wälzdrehen ist es möglich, eine drehsymmetrisch gewalzte Fläche herzustellen. Hier führt das Werkzeug nicht nur die Vorschubbewegung durch, sondern auch die abwälzende Bewegung (Abb. 36) (DUDAS 2000a).

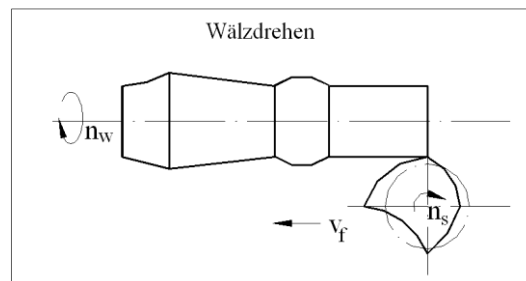


Abbildung 36: Wälzdrehen (n_w : Werkstückdrehzahl, n_s : Werkzeugdrehzahl, v_f : Vorschubgeschwindigkeit) (DUDAS 2000a S. 235)

Das Verfahren, welches das Profil des Werkzeugs auf die Fläche des Werkstücks abbildet, wird Profildrehen genannt (Abb. 37) (DILLINGER et al. 2010, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

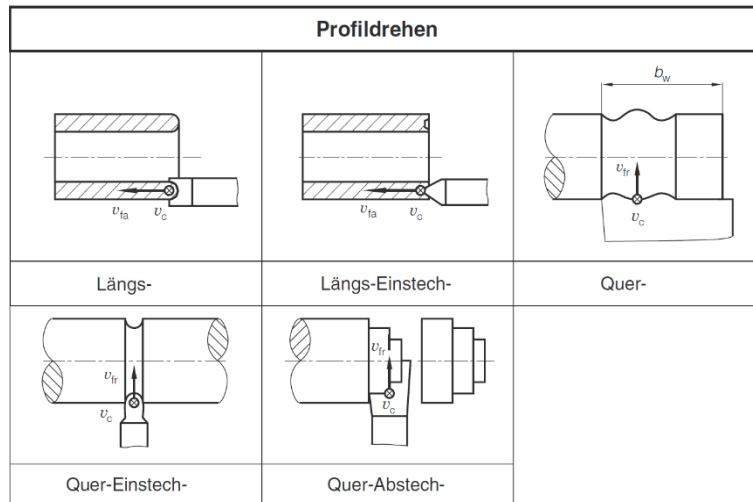


Abbildung 37: Profildrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 274)

Wenn eine neue Form durch die Steuerung der Vorschub- und Schnittbewegung mit Hilfe des Spanwerkzeugs auf Werkstück prägt, wird dies als Formdrehverfahren bezeichnet. (Abb. 38) (DILLINGER et al. 2010, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

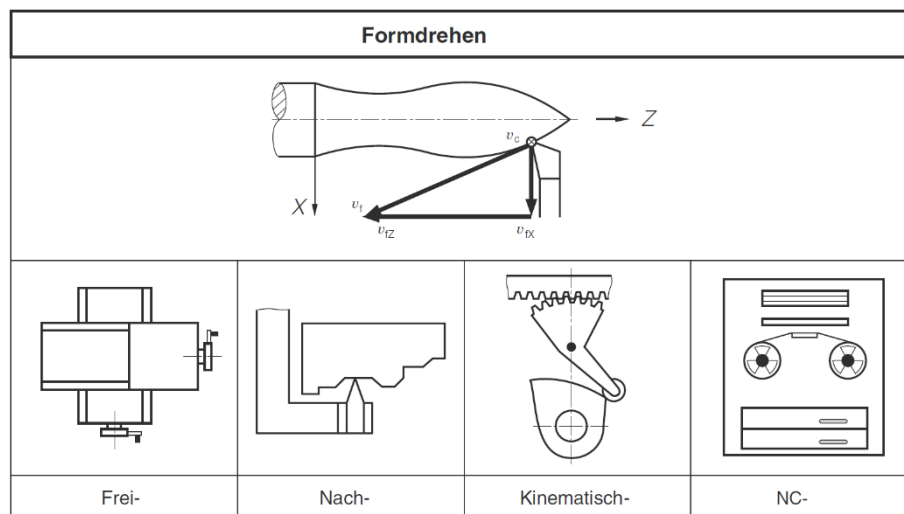


Abbildung 38: Formdrehen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_f : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 275)

Drehmeißel

Der Drehmeißel kann nach mehreren Aspekten unterschieden werden:

- Nach dem Schneidteil: Wenn der Schneidteil durch das Schleifen aus dem Meißelschaft geformt wird. Das Auflöten von Schneidplatten besitzt gegenüber der vorher geschilderten Variante die Vorteile, dass die Hartmetallplatten abriebfester und hitzebeständiger sind. Trotzdem werden sie heute seltener

verwendet, da die Rissgefahr wegen der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten des Platten- und des Werkzeugmaterials zu hoch ist. Heutzutage werden die drehbaren und austauschbaren Hartmetallplatten verwendet, sie werden durch ein Klemmbefestigungssystem am Schaft befestigt.

- Nach der Schnitttrichtung ist es möglich linksgerichtet (L), rechtsgerichtet (R) oder zweigerichtet (N) Drehmeißel zu unterscheiden (Abb. 39).
- Nach der Form des Drehmeißelschaftes, welcher gerade (7), gebogen (4) oder gekröpft (12) sein kann. (Abb. 39).
- Nach der Art der Bearbeitung unterscheidet man Außen- und Innenbearbeitungsmeißel (Abb. 39).
- In Abbildung 39 werden die Drehmeißel anhand der Bearbeitungsaufgaben unterschieden.
- Zum Formdrehen werden die Formdrehmeißel verwendet. Man unterscheidet drei verschiedene Sorten: den einfachen Formmeißel, den Prismameißel einer prismaförmigen Freifläche (Abb. 40) und den Kreismeißel mit einer kreisförmigen Freifläche (Abb. 40) (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007, FRITZ et al. 2010).

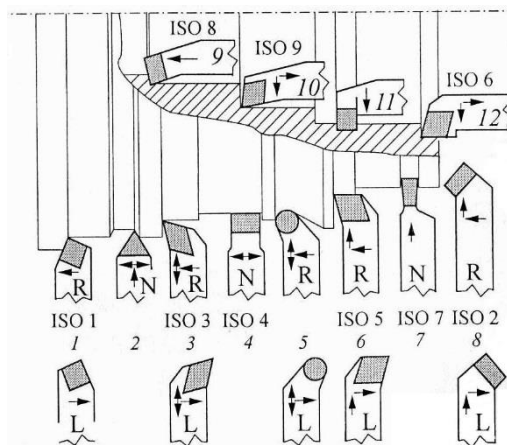


Abbildung 39: verschiedene Drehmeißel: 1 Gerader Lang-, 2 Gerader Schlich-, 3 Gebogener Schlich-, 4 Breiter Schlich-, 5 Radialer Schlich-, 6 Stirnschneid- 7 Abgesetzter-, 8 Gebogener Langdrehmeißel, 9 Ausdrehmeißel für die Durchgangsbohrung, 10 Ausdrehmeißel für die Sackbohrung, 11 bohrungsabgesetzter Drehmeißel und 12 Seitenschneider Drehmeißel, L linksgerichtet, R rechtsgerichtet, und N zweigerichtet (DUCSAI 2008 S. 53)

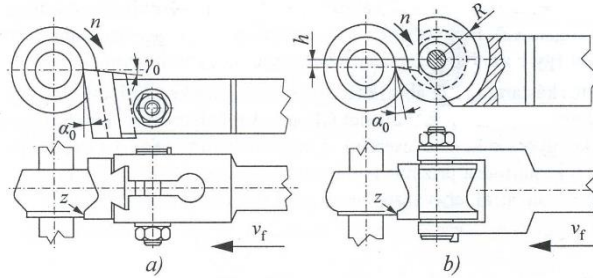


Abbildung 40: Prisma (a) - und Kreismeißel (b), n : Werkstückdrehzahl, α_0 : Freiwinkel beim z Punkt der Schneide, γ_0 : Spanwinkel, v_f : Vorschubgeschwindigkeit, h : Abstand zwischen dem Werkstück- und dem Kreisschneidemittelpunkt (DUCSAI 2008 S. 55)

2.5.1.4 Bohren, Senken, Reiben

Durch das Bohrverfahren ist es möglich walzenförmige oder ähnliche Innenflächen herzustellen. Das Bohrmaschinenwerkzeug (Abb. 42) erzeugt eine kreisförmige Schnittbewegung. So ist die Achse der Schnitttrichtung und des Werkzeugs gleich. Die Vorschubrichtung ist identisch mit dieser Achse, sie wird ebenfalls vom Werkzeug ausgeführt. Die Schnitttiefe hängt vom Durchmesser des Werkzeugs ab. In außergewöhnlichen Fällen (z B. bei Drehmaschine) vollbringt das Werkstück eine oder beide Bewegungen. Die Bewegungsrichtungen zeigt Abb. 41 an (BÖGE et al. 1969, DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

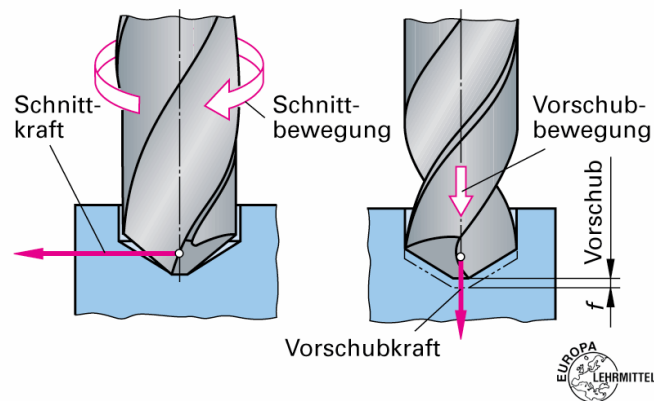


Abbildung 41: Bewegung beim Bohrverfahren (DILLINGER et al. 2010 S. 122)

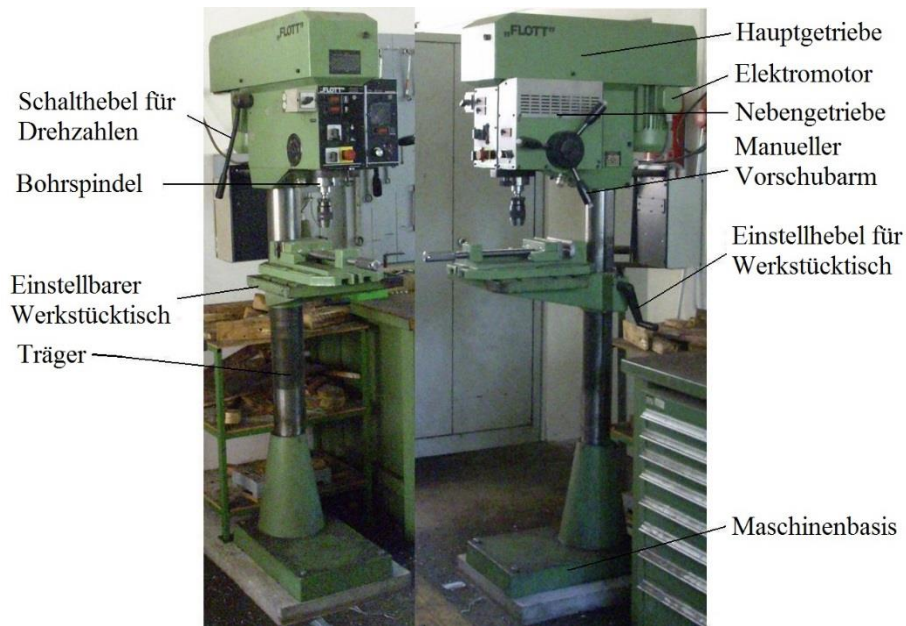
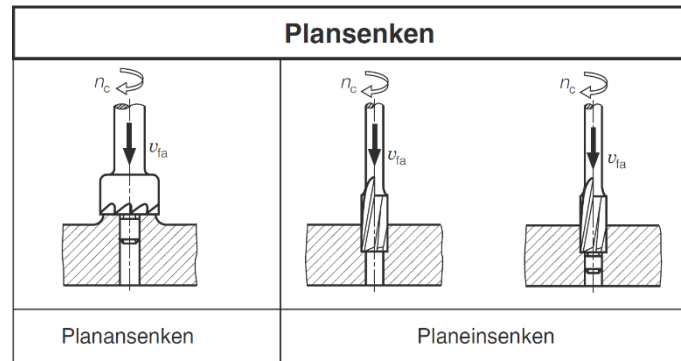


Abbildung 42: Bohrmaschine mit ihren Teilen (EGENE AUFNAHME)

Durch den Prozess des Senkens können senkrechte zur Drehachse liegende Planflächen mit zylindrischen Innenflächen, aber auch ohne diese hergestellt werden; außerdem auch noch symmetrisch zur Drehachse liegende Kugelflächen. Dadurch besteht die Möglichkeit, Schraubenköpfe plan in das Werkstück hineinzuverensenken, so dass eine ebene Werkstückfläche entsteht (Abb. 43) (DUCSAI 2008, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

Das Reiben ermöglicht die Schlichtarbeit während der Bohrung, um die Oberflächengüte zu erhöhen (Abb. 44) (DUCSAI 2008, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

Es können fünf verschiedene Bohrverfahren unterschieden werden. Das erste Verfahren ist das Plansenken (Abb. 43), welches das Planansenken und das Planeinsenken ermöglicht. Durch das Planansenken kann die hervorstehende Fläche des Werkstücks um das erforderliche Maß abgespant werden. Durch das Planeinsenken kann im Werkstück mit einer ebenen Fläche gleichzeitig eine kreiszylindrische Fläche gefertigt werden (FRITZ et al. 2010).



*Abbildung 43: Planbohren (n_c : Schnittdrehzahl, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung)
(FRITZ et al. 2010 S. 278)*

Die Herstellung einer kreiszylindrischen Fläche im Werkstück geschieht mittels des Rundbohrverfahrens. Die Bohrung ins Volle wird verwendet, wenn eine Bohrung in ein volles Werkstück gebohrt wird. Im Fall des großen Bohrungsdurchmessers wird das Kernbohrverfahren verwendet. Hier ist das Werkzeug rohrförmig. Das Ende des Rohrs ist die Schneide, welche aus dem Werkstück eine Walze ausschneidet. Durch dieses Werkzeug wird die Reibung während des Einsatzes eines großen Bohrungsdurchmessers gesenkt. Nach der durchgehenden Bohrung fällt der Kern heraus, nach der Sackbohrung hingegen wird der Kern mit einem Ausstechwerkzeug entfernt. Wenn der Durchmesser der Bohrung größer sein soll, wird das Aufbohrverfahren verwendet. Durch das Reiben wird die gegebene Qualität der Bohrungsoberflächengüte, die Maß- und Formgenauigkeit erreicht (Abb. 44) (DUCSAI 2008, FRITZ et al. 2010).

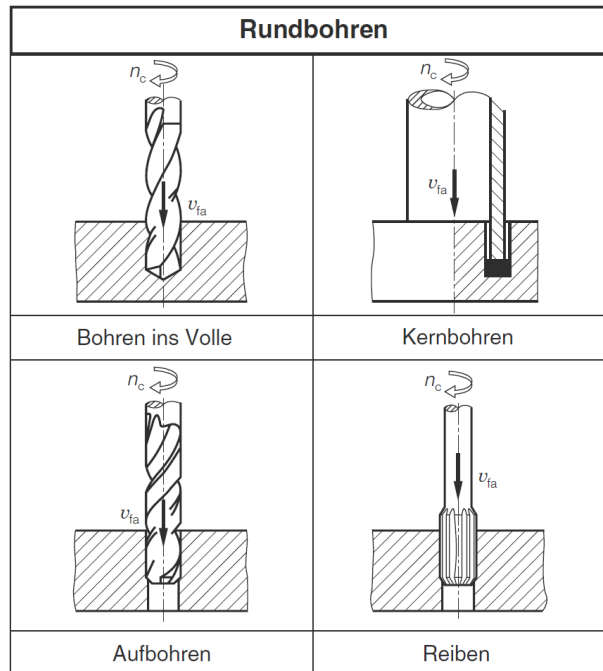


Abbildung 44: Rundbohren (n_c : Schnittdrehzahl, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung)
(FRITZ et al. 2010 S. 278)

Durch das Profilbohren (Abb. 45) werden rotationssymmetrische Innenprofile hergestellt. Das Profil der Bohrung ist beim Profilbohren ins Volle immer identisch mit dem Hauptschneidenprofil des Bohrwerkzeugs. Außerdem unterscheidet man noch Profilaufbohren, Profilsenken und Profilreiben (FRITZ et al. 2010).

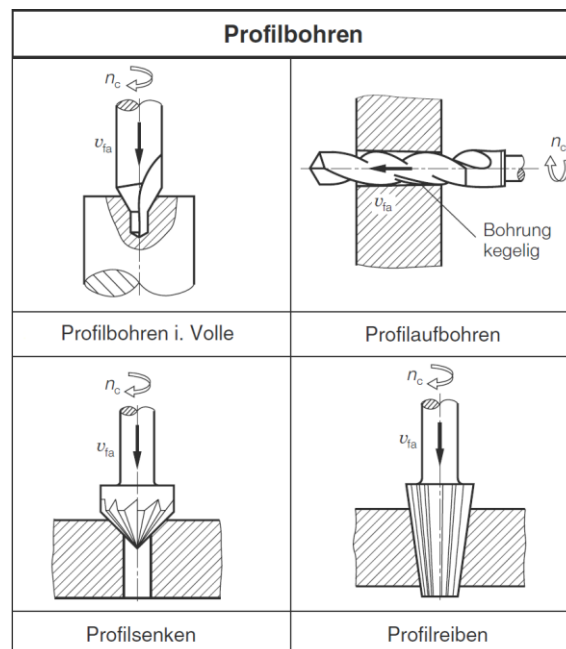


Abbildung 45: Profilbohren (n_c : Schnittdrehzahl, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung)
(FRITZ et al. 2010 S. 279)

Durch das Schraubenbohrverfahren (Abb. 46) wird in eine vorhandene bzw. vorgebohrte Bohrung mit einem Schraubprofilwerkzeug eine Innenschraubfläche hergestellt. Neben dem Schraubenbohren ist es möglich durch die gesteuerte Schnitt- bzw. Vorschubbewegung das Formbohren (Abb. 46) durchzuführen. Hier ist die erzeugte Innenfläche nicht kreisförmig (FRITZ et al. 2010).

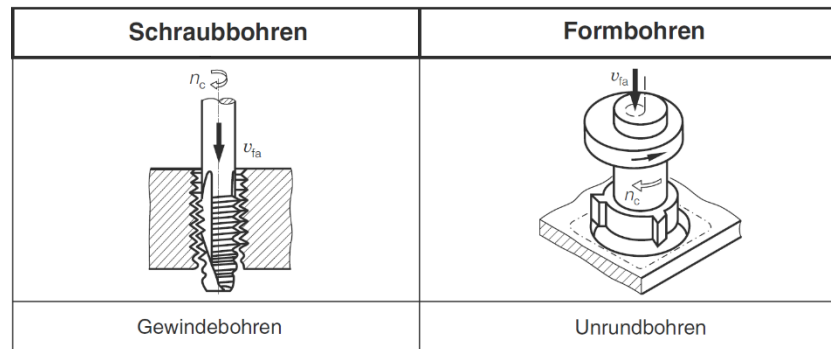


Abbildung 46: Schrauben- und Formbohren (n_c : Schnittdrehzahl, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung) (FRITZ et al. 2010 S. 279)

Bohrwerkzeuge

Die Geometrie der Bohrwerkzeuge (Abb. 47) hängt von den vielfältigen Bohrverfahren ab. Die Bohrwerkzeuge besitzen mindestens zwei geometrisch bestimmte Schneiden. Aus diesem Grund sind die vorher beschriebenen Begriffe ebenfalls für die Bohrwerkzeuge gültig. Die Werkstoffe der Bohrwerkzeuge sind Schnellarbeitsstahl und Hartmetall. Zur Befestigung der Bohrwerkzeuge werden kegel- und kreisförmige Schäfte verwendet (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010).

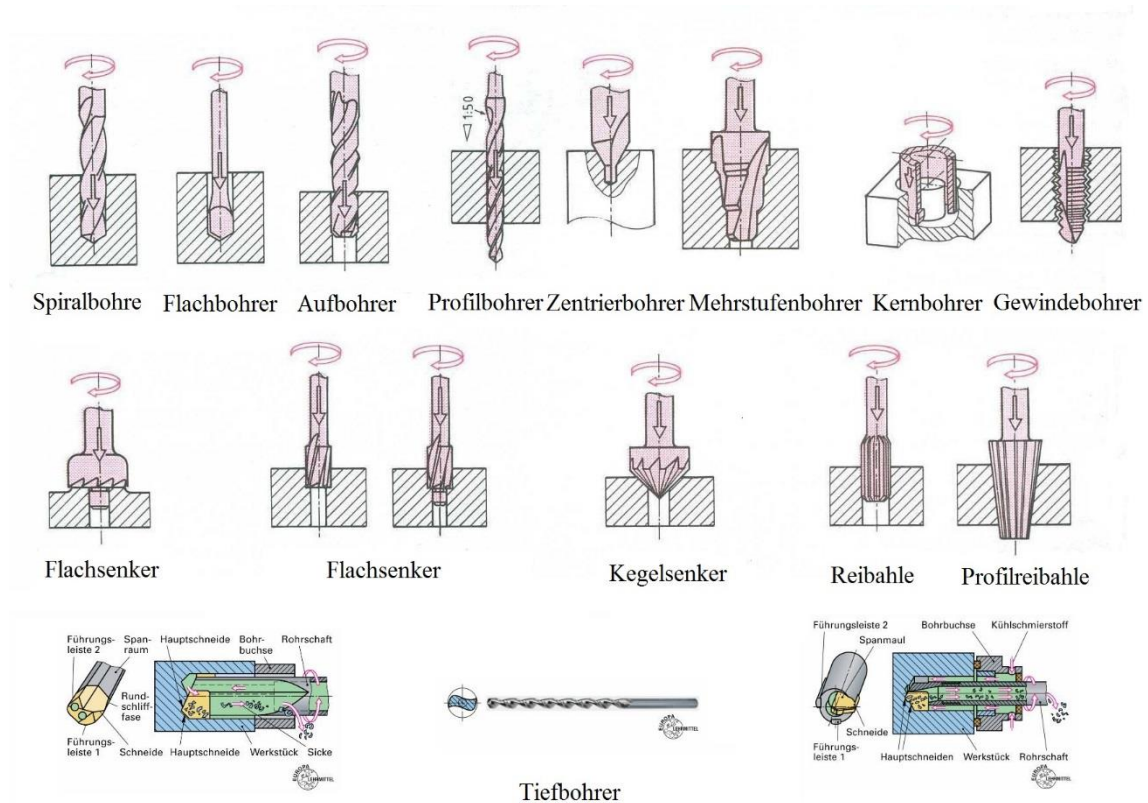


Abbildung 47: Bohrwerkzeuge (DILLINGER et al. 2010 S. 128, FRISCHHERZ et al. 2010 S. 46)

2.5.1.5 Fräsen

Die Fräsmaschine (Abb. 48) kann mit dem Fräswerkzeug ebene Flächen und/oder Konturen aus dem Werkstück ausspanen. Hier führen die Werkzeuge kreisförmige Schnittbewegungen durch (Abb. 49). Die Vorschubrichtung (Abb. 49) ist senkrecht oder schräg zur Werkzeugachse. Das Fräswerkzeug verfügt über eine Vielzahl an Zähnen; jeder dieser Zähne besitzt eine bestimmte Schneidgeometrie. Wegen der nicht konstanten Spanabnahme und des kommaförmigen Spanes variieren die Spandicke, die Schnittkraft sowie die Temperatur des Werkstückes (BÖGE et al. 1969, DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

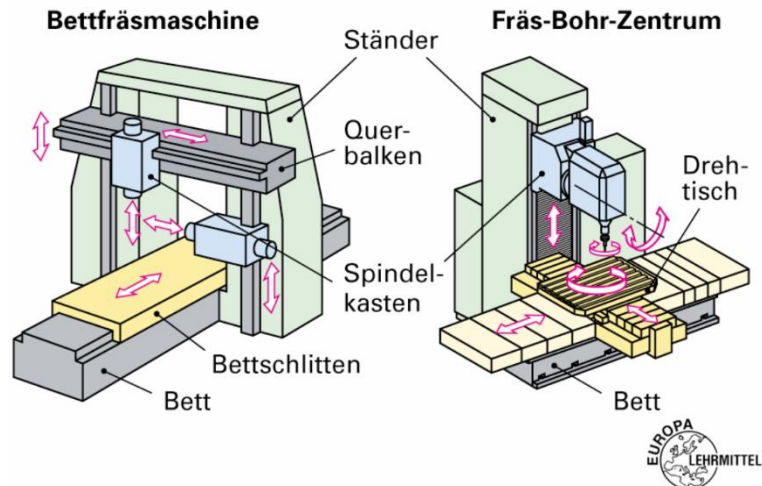


Abbildung 48: Fräsmaschine mit ihren Teilen (DILLINGER et al. 2010 S. 169)

Die Fräsverfahren können nach drei Gesichtspunkten gruppiert werden: nach dem Werkzeugeingriff, nach der Richtung der Schnitt- und der Vorschubbewegung und nach den hergestellten Flächen (DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007, FRITZ et al. 2010).

Auf Grund des Werkzeugeingriffes unterscheidet man drei verschiedene Verfahren (Abb. 50-51). Eines ist das Umfangfräsen, hier liegt die zu bearbeitende Fläche parallel zur Werkzeugachse. Die Bearbeitung wird durch die am Umfang liegenden Hauptschneiden erzeugt. Das Ergebnis ist eine kontinuierliche Oberfläche. Es entstehen die kommaförmigen Späne, wodurch die Belastung des Werkzeugs und der Fräsmaschine nicht gleichmäßig ist. Die Oberfläche ist wellig. Mit Verwendung des drallgenuteten Fräasers kann diese ungleichmäßige Belastung ausgeglichen werden (DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007, FRITZ et al. 2010).

Das Stirnfräsen (Abb. 50-51), ist daran zu erkennen, dass die Werkzeugachse senkrecht zu der zu bearbeitenden Fläche steht. Hier entsteht ebenfalls eine kontinuierliche Oberfläche. In diesem Fall ändert sich auch die Dicke des Spans, jedoch nicht im gleichen Maße wie während des UmfangfräSENS. Aus diesem Grund ist die Belastung des Werkzeugs und der Fräsmaschine gleichmäßiger. Die Form des Werkstücks wird durch die am Umfang liegenden Hauptschneiden und die an der Stirnseite des Fräswerkzeuges liegenden Nebenschneide gespannt (DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007, FRITZ et al. 2010).

Die zu bearbeitende Fläche (Abb. 50-51) liegt beim Stirn- und Umfangfräsen gleichzeitig senkrecht und parallel zur Werkzeugachse. Die entstandene Oberfläche ist treppenartig. In diesem Fall sind die Spandicke, die Belastung des Werkzeugs und der Fräsmaschine und die werktätigen Schneiden äquivalent zum Stirnfräsen (DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010).

Nach den Richtungen der Schnitt- und der Vorschubbewegung unterscheidet man zusätzlich zwei verschiedene Fräsmethode. Eine ist das Gegenlaufräsen (Abb. 49), wobei die Richtung des Vorschubs und die Schnitttrichtung des Werkzeugs entgegengerichtet sind. Dieses Verfahren kann an allen Fräsmaschinen verwendet werden. Durch dieses Verfahren entstehen auch kommaförmige Späne. Die Schnittkraft wächst hier vom Eintrittspunkt bis zum Austrittspunkt der Schneide. Zudem gleitet die Schneide vor ihrem Eintreten in den Werkstoff hinein, sodass die Flächenstruktur als wellig aber glatt zu beschreiben ist. Wegen des Gleitvorgangs der Schneide vergrößert sich der Werkzeugverschleiß, die Standzeit verringert sich und das Werkzeug hebt das Werkstück vom Aufspanntisch ab. (DILLINGER et al. 2010, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007, FRITZ et al. 2010).

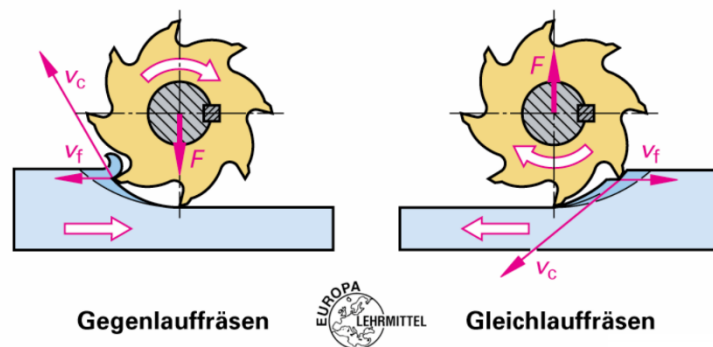


Abbildung 49: Gegen- und Gleichlaufräsen (F : Schnittkraft, v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_f : Vorschubgeschwindigkeit) (DILLINGER et al. 2010 S. 161)

Eine weitere Variante wird Gleichlaufräsen genannt (Abb. 49), hier sind die Richtung des Vorschubs und die Schnitttrichtung des Werkzeugs gleichgerichtet. Dieses Verfahren erweist sich nur bei harten verschleißenden Werkstücken als vorteilhaft. In diesem Fall verringern sich die Spannungsdicke (Kommaspan) und die Schnittkraft vom Eintrittspunkt bis zum Austrittspunkt der Schneide. Auf diese Weise kann eine bessere Qualität der zu bearbeitenden Oberfläche gewährleistet werden. Während der Bearbeitung des

Werkstückes ist die Schnittkraft gegen den Maschinentisch gerichtet, weshalb der Vorschubantrieb spielfrei sein muss, da die Werkzeugzähne den Maschinentisch in Richtung des Vorschubs zerren können (DILLINGER et al. 2010, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007, FRITZ et al. 2010).

Auf Grund der hergestellten Fläche unterscheidet man fünf verschiedene Varianten des FräSENS. Eine wird als PlanfräSEN (Abb. 50) bezeichnet, welche einer gradlinigen Vorschubbewegung eine ebene Fläche erzeugt (FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

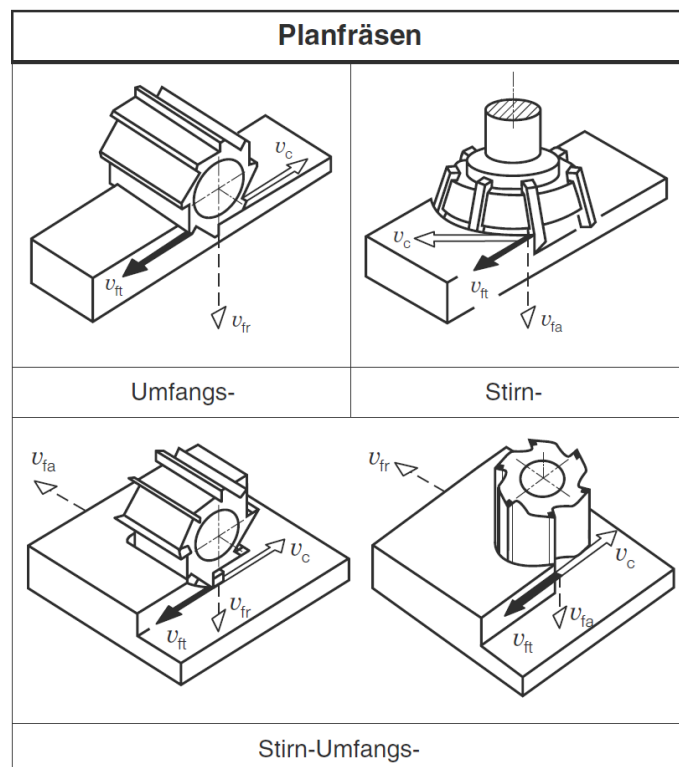


Abbildung 50: PlanfräSEN (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_f : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 283)

Das RundfräSEN (Abb. 51.) erzeugt durch seine kreisförmige Vorschubbewegung eine kreiszylindrische Fläche. Die Werkstück- und Werkzeugachse liegen parallel oder senkrecht zueinander. Im Falle einer senkrechten Achse spricht man vom sogenannten DrehfräSEN, dies ist eine wirtschaftliche Alternative zum Runddrehen. Das DrehfräSEN besitzt mehrere Vorteile, wie etwa die niedrigere thermische Belastung, die einfachere Spanentsorgung und die minimalere Verwendung von Kühlschmiermittel, welche bei Runddrehen um ein Vielfaches höher ist. Insbesondere in der Herstellung von Exzenter kommt dieses Verfahren zur Anwendung (FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

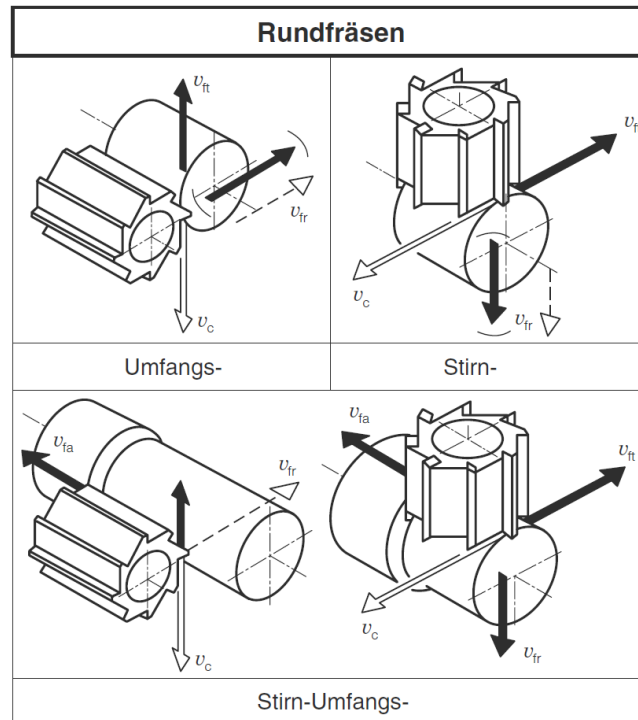


Abbildung 51: Rundfräsen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{ft} : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 283)

Das Schraubenfräsen (Abb. 52) hingegen erzeugt mittels der wendelförmigen Vorschubbewegung eine schraubenförmige Fläche auf dem Werkstück. Man unterscheidet zwei verschiedenen Varianten des SchraubenfräSENS. Eine ist das Langgewindefräsen, hier neigt sich die Achse des einprofiligen Werkzeugs in Richtung der Gewindesteigung und die Vorschubbewegung richtet sich nach der Gewindesteigung. Die zweite Variante ist das Kurzgewindefräsen, wobei die Achse dieses mehrprofiligen Werkzeugs zur Werkstückachse parallel liegt. Der Werkzeugvorschub entspricht der Gewindesteigung. „Zur Herstellung des Gewindes ist dabei etwas mehr als eine Werkstückumdrehung erforderlich“ (FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

Das Wälzfräsen (Abb. 52) ermöglicht durch ein Bezugsprofilfräs Werkzeug die Herstellung der Verzahnungen. Das Werkzeug besitzt Ähnlichkeiten zu einem Schneckenrad. Werkstück und Werkzeug bewegen sich wie die Teile eines Schneckenradgetriebes, so kann das Werkstück gleichzeitig mit der Vorschubbewegung eine Wälzbewegung ausführen (FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

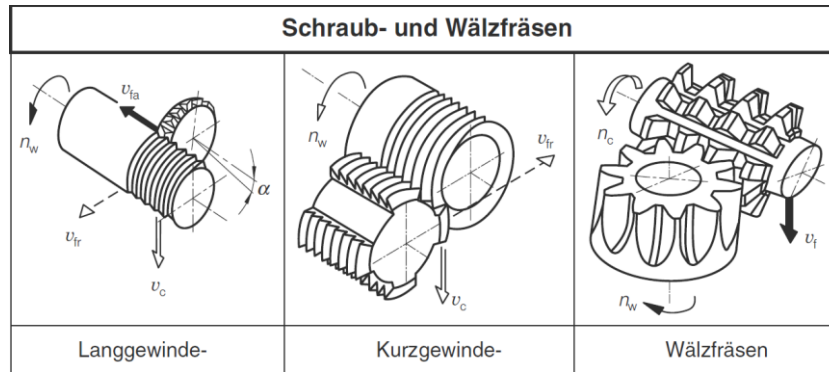


Abbildung 52: Schraub- und Wälzfräsen (n_w : Werkstückdrehzahl, v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_f : Vorschubgeschwindigkeit, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fi} : Vorschubgeschwindigkeit α : Winkel zwischen den Werkstück- und Werkzeugachsen) (FRITZ et al. S. 284)

Das Profilfräsen (Abb. 53) bildet das Profil des Werkzeuges auf der Fläche des Werkstückes ab. Durch dieses Verfahren besteht die Möglichkeit, eine beliebige Profilfläche aus einer geraden oder rotationssymmetrischen Fläche auszufräsen (FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

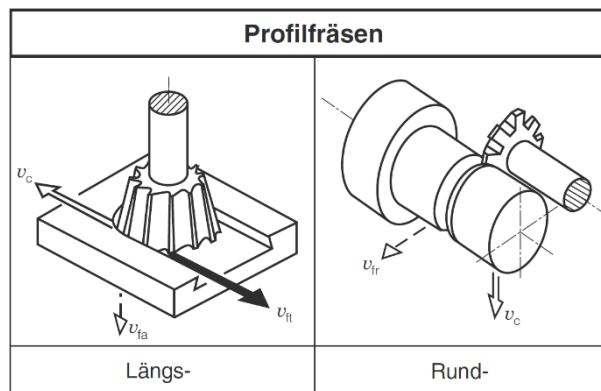


Abbildung 53: Profilfräsen (v_c : Schnittgeschwindigkeit, v_{fa} : Vorschubgeschwindigkeit in der Axialrichtung, v_{fr} : Vorschubgeschwindigkeit in der Radialrichtung, v_{fi} : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 284)

Durch das Formfräsen (Abb. 54) wird mit dem Fräswerkzeug die gewünschte Werkstückoberfläche durch eine gesteuerte Vorschubbewegung gestaltet. Die verschiedenen Formfräsvarianten werden in die Abbildung 54 dargestellt (FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

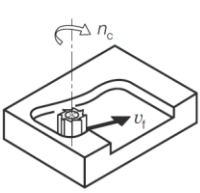
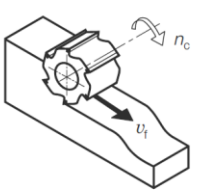
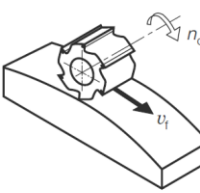
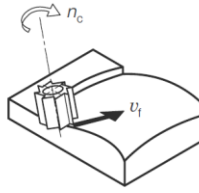
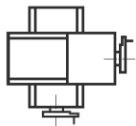
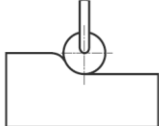
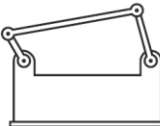
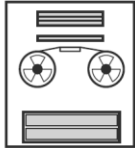
3	2	3	6	Formfräsen			
							
							
3.2.3.6.1 Frei-	3.2.3.6.2 Nach-	3.2.3.6.3 Kinematisch-	3.2.3.6.4 NC-				

Abbildung 54: Formfräsen (n_c : Schnittdrehzahl, v_f : Vorschubgeschwindigkeit) (FRITZ et al. 2010 S. 284)

Fräswerkzeug

Die Geometrie der Fräswerkzeuge (Abb. 52-55) kann vielfältig sein. Auf Basis der Befestigungsmöglichkeit unterscheidet man Aufsteck- und Schaftfräser. Der Aufsteckfräser ermöglicht die Verwendung mehrerer Fräser auf einer Welle, um so die axiale Belastung dieser Welle zu senken, da hier eine treppenartige Fläche hergestellt wird. Die Fräswerkzeuge werden aus unterschiedlichen Werkstoffen produziert. Neben dem Schnellarbeitsstahlfräser erlangen die Hartmetallschneidplatte und die Hartmetallbezüge immer mehr Bedeutung. Außerdem kommen Mischkeramiksorten und polykristalline Diamanten in der Herstellung von Schneidplatten zum Einsatz. Natürlich sind diese auch neben dem Hartmetall als Wendeschneidplatten benutzbar (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010).

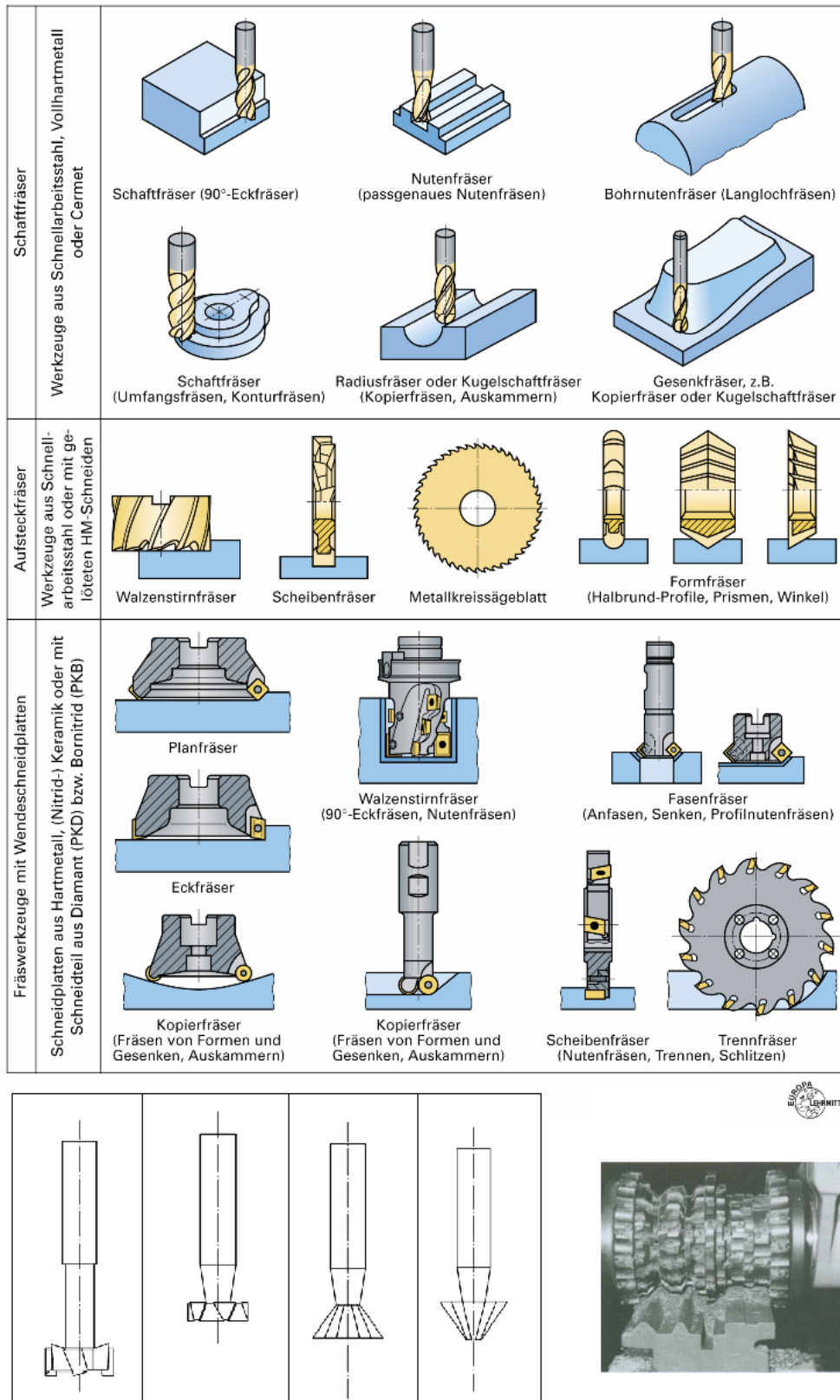


Abbildung 55: Fräswerkzeuge (DILLINGER et al. 2010 S. 156, DUDAS 2000a S. 274, FRISCHHERZ UND PIEGLER 2007 S. 52)

2.5.1.6 Sägen

Das Sägen ermöglicht die Zerstückelung von Stangen- und Rohrmaterial, das Ausschneiden von geraden Werkstückkonturlinien und die Gestaltung von Nuten oder Schlitzten. Die Schnittbewegung des Sägens hängt von den Sägewerkzeugen ab. Kreissägen führen eine kreisförmige und diskontinuierliche Bewegung aus. Die Sägeblätter bewegen sich alternierend, wodurch das Sägen diskontinuierlich wird. Die Schnittbewegung der Sägebänder ist gradlinig, wodurch ein kontinuierliches Sägen möglich ist. Diese drei verschiedenen Werkzeugsorten (Abb. 56) werden beim Sägen verwendet (DILLINGER et al. 2010, DIN 8580, DUCSAI 2008).

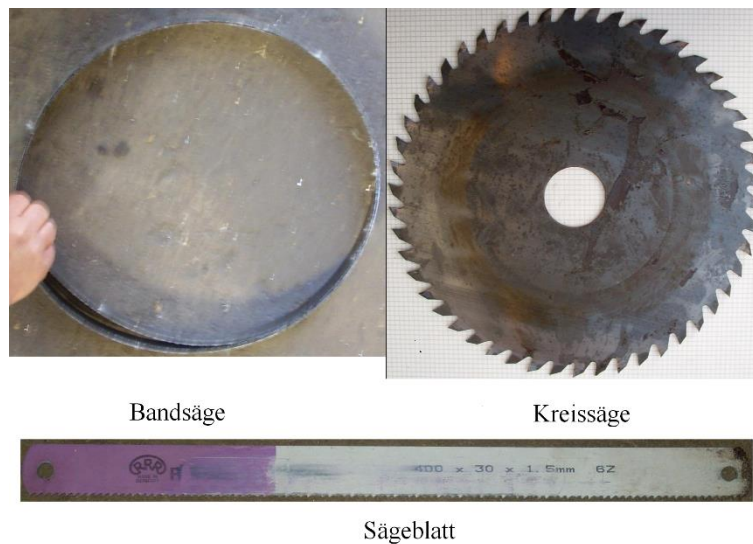


Abbildung 56: Sägewerkzeuge (EIGENE AUFNAHME)

Ein Charakteristikum dieser Werkzeuge sind die zahlreichen meißelartigen Zähne. Die Anzahl der Zähne auf einem Zoll (Zahnteilung) richtet sich nach den Eigenschaften des zu bearbeitenden Werkstücks. Die Anzahl der Zähne definiert die Größe des Spanraums. Der Spanraum muss so groß sein, dass er die entstehenden Späne ohne Pressung aufnehmen kann. Der durch das Sägewerkzeug ausgesägte Schlitz muss breiter sein als das Sägewerkzeug. In diesem Fall kann sich das Werkzeug nicht im Schlitz verklemmen, zudem wird die Reibung reduziert. So erzeugen die Zähne entweder Wellenlinien oder aber sie sind abwechselnd nach rechts und links gebogen (Abb. 57) (DILLINGER et al. 2010, DIN 8580, DUCSAI 2008).

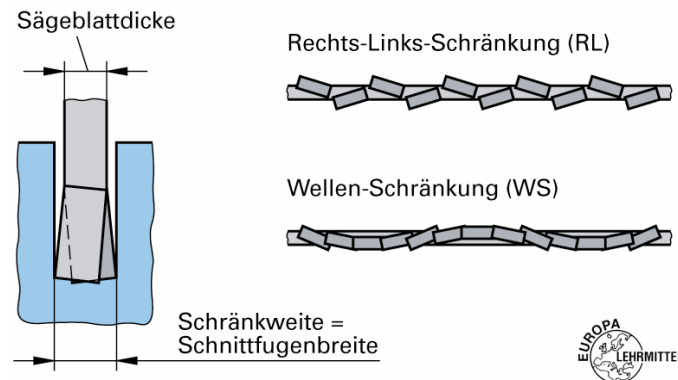


Abbildung 57: Ausgestaltung der Sägezähne (DILLINGER et al. 2010 S. 120)

Heute werden auch Sägezähne aus Hartmetall verwendet, diese sind breiter als das Sägeblatt. Die verschiedenen vorhandenen Werkzeugtypen benötigen verschiedene Sägemaschinen. Es können insgesamt vier Maschinensorten unterschieden werden: Handsäge, Bügelsägemaschine, Bandsägemaschine und Kreissägemaschine (Abb. 58) (DILLINGER et al. 2010, DIN 8580, DUCSAI 2008).

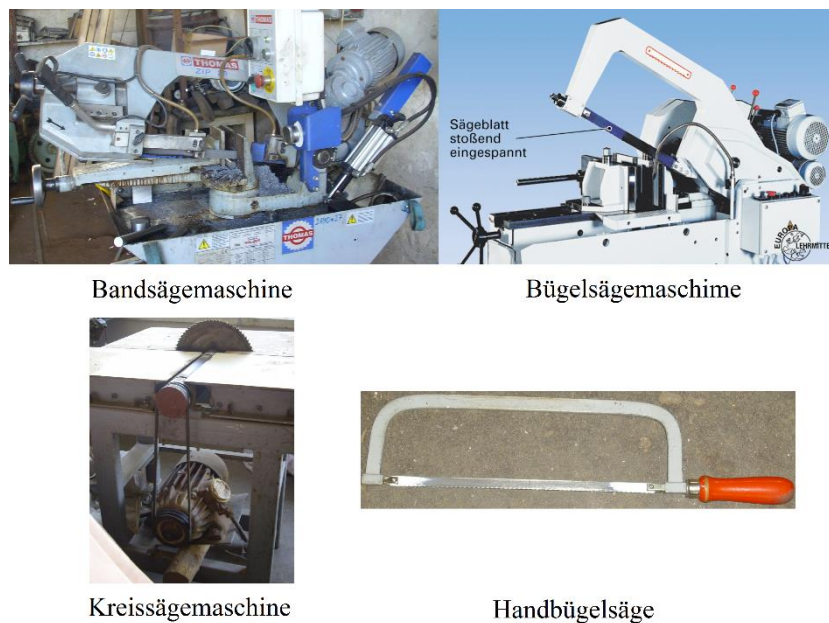


Abbildung 58: Verschiedene Sägemaschinen (Bügel-sägemaschine von DILLINGER et al. 2010 S. 121, EIGENE AUFNEHMEN)

2.5.1.7 Schneiden mit dem Laserstrahl

Der Laserstrahl wird mit Hilfe eines Festkörperlaser (Kristallen) oder eines Gaslaser (Gasen) erzeugt. Dieser Laserstrahl kann mit dem Optiksistem nach Belieben gesteuert werden. Das Linsensystem erzeugt den, zum Schneiden benötigten, kleinen Laserstrahldurchmesser sowie die entsprechend große Laserstrahlenergiedichte. Wenn

der Laserstrahl mit der Oberfläche des Werkstücks in Berührung kommt, verwandelt dieser sich in Wärme. Durch die entstehende Wärme schmilzt das Werkstück und bläst während dieses Vorgangs einen Gasstrahl aus der Schnittfuge (Abb.59). Der daraus resultierende Laserstrahl wird zum Schweißen der verschiedenen Werkstoffe, für die Oberflächenbearbeitung (Härten, Legieren, Beschichten, Mikrobearbeitung), für Messungen und für Gravuren und Beschriftungen verwendet. Dabei ist der Laserstrahl ein verschleißfreies und richtungsunabhängiges Werkzeug. Man unterscheidet vier verschiedene Laserstrahlarten: CO₂ - Glaser, Nd: Yag – Festkörper, Diodenlaser und Excimerlaser (DILLINGER et al. 2010, DUCSAI 2008, DUDAS 2000a, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

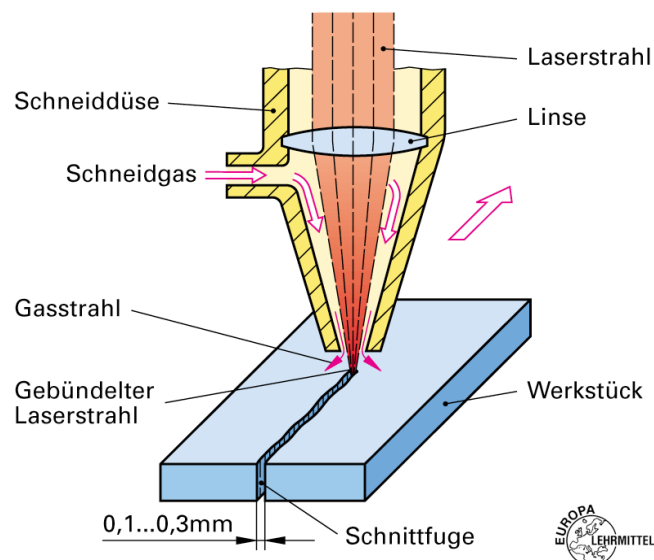


Abbildung 59: Schneiden mit Laserstrahl (DILLINGER et al. 2010 S. 110)

Das Laserstrahlschneiden besticht durch seine vielen Vorteile, unter anderem durch die exzellente Handhabung, die hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit, die brillante Bearbeitungsqualität, die Präzision und die reduzierte Nachbearbeitung. Darüber hinaus kann dieses Verfahren flexibel eingesetzt werden, da es automatisiert und mit anderen Verfahren (Biegen) kombinierbar ist. Die Arbeit geschieht mittels der Hitze, nicht durch mechanische Kraft. Diese Hitze entsteht während des Schneides an den Wänden der Schnittfuge, wodurch die geschnittene Kontur eine absolute Härte aufweist. Dies kann sich als Nachteil erwiesen, wenn das Werkstück mittels des Spanens nachbearbeitet werden muss. Ein ebensolcher Nachteil entsteht durch den hohen Investitionspreis und

der reduzierten Schnittkraft, da nur Stahl von maximal 20 bis 25 mm Dicke bearbeitet werden kann (WITT et al. 2006).

Insgesamt können drei verschiedene Verfahren des Laserstrahlschneidens eingesetzt werden. Eines ist das Laserstrahl – Brennschneiden. Hier erwärmt der Laserstrahl das Werkstück auf Zündtemperatur „bei Stahl etwa 1150°C“ (WITT et al. 2006). Der Werkstoff wird durch den Schneidsauerstoff in der Schnittfuge verbrannt und die zurückgebliebene Schlacke wird durch die kinetische Energie des Sauerstoffes ausgetrieben. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit ist in diesem Fall, neben der niedrigen Laserleistung, relativ hoch. Dieser Prozess ist für Stahlsorten mit einem Kohlenstoffgehalt von 1,5% verwendbar. Nach dem Schneiden bleibt eine sehr dünne Oxidschicht zurück. Diese Oxidschicht erweist sich als Problem, wenn das Werkstück im nächsten Arbeitsgang geschweißt oder lackiert werden soll (DILLINGER et al. 2010).

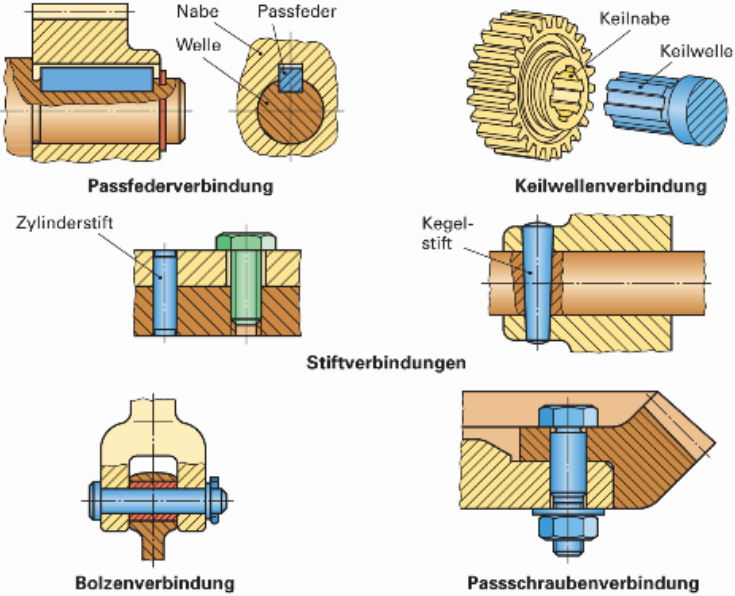
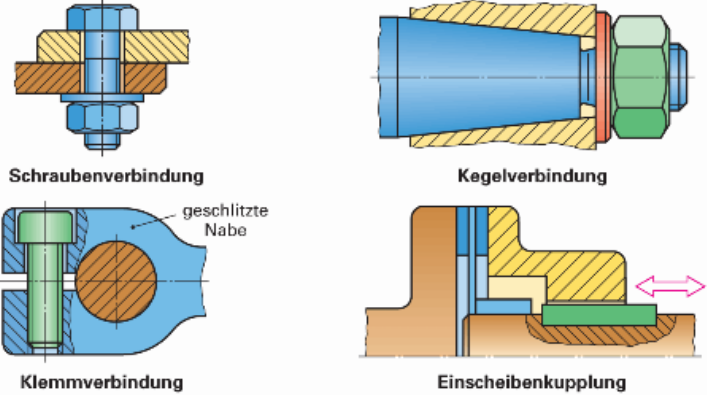
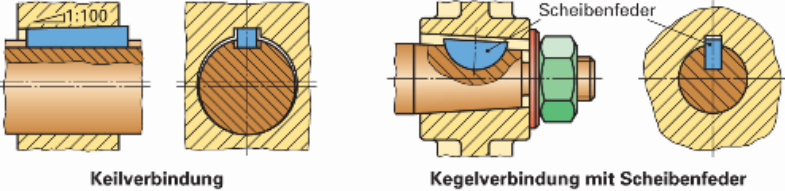
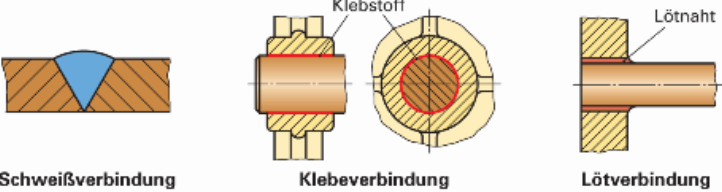
Ein anderes Verfahren ist das sogenannte Laserstrahl – Schmelzschnneiden, hier wird der weggeschmolzene Werkstoff durch ein inertes Gas, meistens Stickstoff oder Argon, aus den Schnittfugen geblasen. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit ist weitaus geringer als während des Brennschneidens, aber weit höher als während des Sublimierschneidens. Zumeist werden hochlegierten Stähle, Glas und Kunststoff durch dieses Verfahren behandelt (DILLINGER et al. 2010 S. 110, WITT et al. 2006).

Die letzte Variante ist das Laserstrahl – Sublimierschneiden. Das Werkstück wird in der Schnittfuge durch den Laserstrahl verdampft. Der Dampfdruck und das reaktionsträge Schneidgas, meistens Argon oder Stickstoff, transportieren das verdampfte Material aus der Schnittfuge heraus. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit ist gering, jedoch ist die Oberflächengüte die höchste innerhalb der Laserschneideverfahren. Mit diesem Verfahren ist es möglich Kunststoff, Holz, Papier und Keramik zu schneiden (WITT et al. 2006).

2.5.2 Fügeverfahren

Tabelle 5 schlüsselt die vier verschiedenen Fügeverfahren auf Grundlage ihrer Wirkungsweise auf.

Tabelle 5: Die wichtigsten Fügeverfahren (DILLINGER et al. 2010 S. 206)

<p>Formschlüssiges Fügen durch ineinander passende Formen</p>	 <p>Passfederverbindung</p> <p>Keilwellenverbindung</p> <p>Stiftverbindungen</p> <p>Bolzenverbindung</p> <p>Passschraubenverbindung</p>
<p>Kraftschlüssiges Fügen durch Reibungskräfte</p>	 <p>Schraubverbindung</p> <p>Kegolverbindung</p> <p>Klemmverbindung</p> <p>Einscheibenkupplung</p>
<p>Vorgespannt formschlüssiges Fügen durch Kraft- und Formschluss</p>	 <p>Keilverbindung</p> <p>Kegolverbindung mit Scheibenfeder</p>
<p>Stoffschlüssiges Fügen durch Kohäsions- und Adhäsionskräfte</p>	 <p>Schweißverbindung</p> <p>Klebeverbindung</p> <p>Lötverbindung</p>



2.5.2.1 Schraubenverbindung

Für die zwei- und dreiachsigen Geräte wurden zwei Fügeverfahren verwendet. Das eine Verfahren trägt die Bezeichnung Schraubenverbindung. Dieses zählt zu den kraftschlüssigen Verfahren, welches auch wieder lösbar ist. Für das Zusammenfügen der Bauteile wird Reibungskraft eingesetzt. Diese Kraft entsteht zwischen den Gewinden der Schraube und der Mutter, so ermöglicht sie die Auflösung der Schraubenverbindung. Nach der Überwindung der Reibungskraft wird die Schraubenverbindung gelöst. Durch dieses Verfahren ist es möglich, die Bauteile mehrmals zu montieren und wieder zu demontieren (DILLINGER et al. 2010, SZENDRÖ 1987).

2.5.2.2 Schweißen

Das zweite Verfahren nennt sich Schweißen. Hier wird eine stoffschlüssige Verbindung hergestellt, die jedoch unlösbar ist. Die Schweißverbindung kann nur mit der Zerstörung der Fügeteile gelöst werden. Durch das Schweißen werden „gleiche[...] oder gleichartige[...] Werkstoffe unter Anwendung von Wärme oder Druck oder von beiden“ (BÖGE et al. 1969) zusammengefügt. Das Schweißen kann im Allgemeinen mit Schweißhilfsstoffen durchgeführt werden. Außerdem wirkt sich das Schweißen negativ auf die Festigkeit der Bauteile aus, da diese sich durch das Schweißen verringert. Ein zusätzlicher Nachteil könnte auftreten, da sich die Bauteile nach dem Schweißen verziehen könnten oder gar schrumpfen könnten. Dieses Verfahren kann nicht eingesetzt werden, um verschiedene Werkstoffe zusammenzuschweißen. Obwohl die Schweißtechnik heute sehr weit entwickelt ist, existieren nicht schweißbare Werkstoffe. Das Schweißen besitzt den außerordentlichen Nutzen der unbegrenzten Form- und Gestaltungsvielfalt. Obwohl sich, wie bereits dargestellt, das Schweißen auch negativ auf die Festigkeit der Bauteile auswirken kann, wirkt es sich überaus positiv auf die Beständigkeit der zusammengefügten Bauteile aus. Durch Bohrungen und den Einsatz von Schrauben kann das Werkstück geschwächt werden, auch wenn Schweißnähte ein minimales zusätzliches Gewicht bedeuten. Dabei ist die Festigkeit der Schweißnähte in den allermeisten Fällen höher als die Festigkeit der zusammengefügten Teile. In einigen Fällen ist neben der dichten Verbindung auch die Unlösbarkeit ein Vorteil, aus diesem Grund werden die Behälterteile miteinander verschweißt (DILLINGER et al. 2010, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

Zuerst müssen die verschiedenen Begrifflichkeiten erläutert werden, die zur Beschreibung und Darstellung der Schweißnähte verwendet werden. Erst dann können die unterschiedlichen Schweißverfahren näher beschrieben werden. Die erläuterten Begrifflichkeiten stimmen mit den, in den Herstellungszeichnungen des Projekts verwendeten Begrifflichkeiten, überein. Diese sind die Schweißnähte, welche ein spezifisches Sinnbild (Tab. 6) besitzen. Dieses wird wie folgt „gelesen“.

Tabelle 6: Sinnbilder der Schweißnähte (FRISCHER et al. 2011 S. 88-89)

vgl. DIN EN 22553 (1997-03)							
Nahtart/ Sinnbild	Darstellung			Nahtart/ Sinnbild	Darstellung		
	bildlich	sinnbildlich			bildlich	sinnbildlich	
I-Naht 				V-Naht ∇			
Bördelnaht 				HV-Naht ∇			
Lochnaht 							
Stirnflachnaht 				Y-Naht Y			
Steiflanken-naht ∇				HY-Naht Y			
Auftragung 				U-Naht Y			
Falznaht 				HU-Naht Y			
ringsum verlaufend				Punktnaht ○			
Kehlnaht ∇				Liniennaht 			
Baustellen-naht mit 3 mm Nahtdicke				Flächennaht =			

Die Nahtsinnbilder werden immer mit einem Pfeil (Abb. 60) dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Pfeillinie des Bezugs – Volllinie mit dem Stoß verbindet. Die Bezugslinie besteht aus zwei parallel verlaufenden Linien, die untere gestrichelte Linie heißt Strichlinie, die obere Linie Volllinie. Das Nahtsinnbild erklärt, an welchem Punkt geschweißt werden muss. Steht das Nahtsinnbild auf der Volllinie, muss an der Stelle geschweißt werden, auf die der Pfeil weist. Liegt das Nahtsinnbild kopfüber auf der Strichlinie, muss auf der gegenüberliegenden Seite des Pfeils geschweißt werden. Neben der Gabel werden Angaben bezüglich des Verfahrens bzw. angewendeten Prozesses, der Bewertungsgruppe, der Arbeitsposition und der Zusatzwerkstoffe vorgeschrieben. Der Stoß benennt die Stelle, an der die beiden Teile zusammen geschweißt wurden. (FRISCHER et al. 2011, FRISCHHERZ et al.1997).

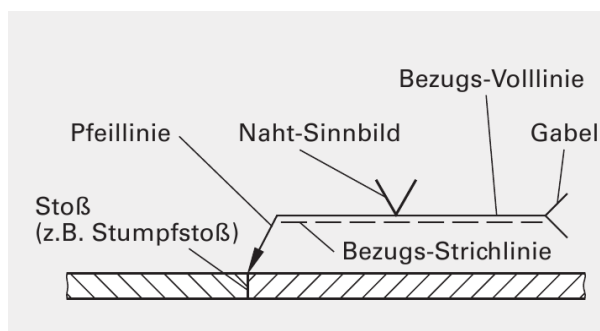


Abbildung 60: Pfeil für die Nahtart (FRISCHER et al. 2011 S. 88)

Die Nahtdicke wird immer vor dem Nahtsinnbild vermerkt. Befindet sich vor dem Nahtsinnbild kein Vermerk, dann ist die Naht so stark wie das Werkstück. Die Dicke der Kehlnaht wird immer mit einer Ziffer angegeben, oftmals steht vor der Ziffer ein Buchstabe. Hier zeigt z. B. der Buchstabe a die Nahtdicke an; hingegen der Buchstabe z die Schenkellänge der Kehlnaht (vgl. in Tab. 6). Es gilt jedoch immer zu beachten, dass das Ergänzungssinnbild (Abb. 61) auf dem Pfeil und das Zusatzsinnbild (Abb. 61) auf dem Nahtsinnbild vermerkt sein können (FRISCHER et al. 2011, FRISCHHERZ 1997).








vgl. DIN EN 22553 (1997-03)			
	ringsum verlaufende Naht		Nahtoberfläche: hohl (konkav)
	Baustellennaht (Naht wird auf der Baustelle gefertigt)		Nahtoberfläche: flach (eben)
			Nahtoberfläche: gewölbt (konvex)
	Angabe des Schweißprozesses in der Gabel		Nahtoberfläche: kerbfrei

Abbildung 61: Ergänzungs- und Zusatzsinnbild (FRISCHER et al. 2011 S. 88)

Nach der Vorstellung der Schweißbezeichnungen und -informationen werden die Schweißverfahren vorgestellt. Die Schweißverfahren werden nach zwei Gesichtspunkt gruppiert. Erstens nach dem Zweck: das Verbindungs- oder Auftragsschweißen. Zweitens nach den physikalischen Verfahren: das Schmelz- oder Pressschweißen. Tabelle 7 zeigt die Einteilung der verschiedenen Varianten des Schweißverfahrens nach DIN 4063 (DILLINGER et al. 2010, BÖGE et al. 1969, WITT et al. 2006).

Tabelle 7: Varianten des Schweißverfahrens (DILLINGER et al. 2010 S. 217)

Lichtbogenschweißen
• Lichtbogenhandschweißen
• Unterpulverschweißen
• Wolfram-Schutzgasschweißen
• Plasmaschweißen
Widerstandsschweißen
• Punktschweißen
• Rollennahtschweißen
• Buckelschweißen
Gasschmelzschweißen
• Autogenschweißen
Pressschweißen
• Ultraschallschweißen
• Reibschweißen
Strahlschweißen
• Elektronenstrahlschweißen
• Laserstrahlschweißen
Andere Schweißverfahren
• Bolzenschweißen



Das Verbindungsschweißen fügt zwei oder mehrere Werkstücke zu einer unlösbaren Verbindung zusammen. Durch das Auftragsschweißen können die Stoffeigenschaften geändert werden oder die Maße des Werkstücks vergrößert werden. Dieses Verfahren wird bei der Reparatur eines verschlissenen Werkstückes verwendet (BÖGE et al. 1969, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

Man spricht vom Schmelzschweißen, wenn die zu verbindenden Bauteile ohne oder mit Zusatzwerkstoff aufgeschmolzen werden. Nach der Abkühlung entsteht eine stoffschlüssige Verbindung zwischen den Werkstücken. Das Schmelzschweißen wird ohne Kraftanwendung durchgeführt. Das Schweißverfahren, welches die zu verbindenden Werkstücke durch eine ausreichend große äußere Kraft zusammenfügt, nennt sich Pressschweißen. Hierfür werden weder Hitze noch Schweißzusatzstoffe benötigt. (BÖGE et al. 1969, FRITZ et al. 2010, WITT et al. 2006).

Im Folgenden werden die Schweißverfahren detailliert vorgestellt, welche für die Herstellung des zwei- und dreiachsigen Fahrzeuges und deren Arbeitsgeräte benötigt waren.

Lichtbogenhandschweißen (Abb. 62)

Die notwendige Energie zum Schweißen wird durch eine Stromquelle geliefert. Eine moderne elektrische Schweißstromquelle besteht aus zwei Gleichrichtern, einem Wechselrichter, einem Transformator, und einer Drossel. Dieses Verfahren beruht auf dem Verschmelzen der Kanten der zu fügenden Werkstücke mit der Stabelektrode sowie deren Umhüllung. Die Naht entsteht aus den flüssigen Werkstoffen des Werkstücks und dem Elektrodekerndraht der Stabelektrode (BÖGE et al. 1969, DILLINGER et al. 2010, FRITZ et al. 2010, KOVACS 2011, WITT et al. 2006).

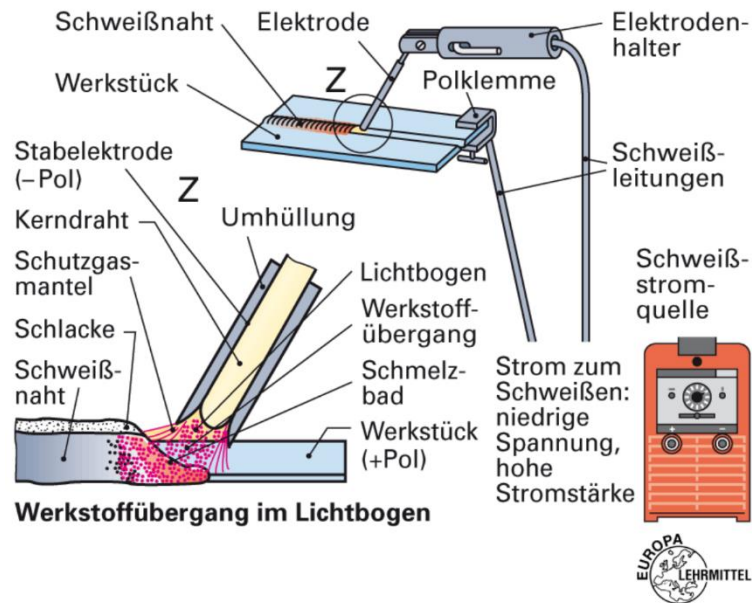


Abbildung 62: Lichtbogenhandschweißen (DILLINGER et al. 2010 S. 219)

Die Stabelektrode besteht aus dem Kerndraht und der darum gepressten Umhüllung. Der Kerndraht schmilzt während des Schweißverfahrens und erstellt einen Teil der Naht. Der Werkstoff des Kerndrahtes hängt von den zu schweißenden Werkstoffen ab. Er kann Stahl, Kupfer, Gusseisen, Aluminium und Nickel sein. Der Durchmesser der Elektrode ist gleich dem Durchmesser des Kerndrahtes. Die Länge der Elektrode ändert sich umgekehrt proportional zu ihrer Wärmeleitfähigkeit. Die Umhüllung ermöglicht das Zünden des Schweißlichtbogens, der sich daraus entwickelnde Schutzgasmantel stabilisiert den Schweißlichtbogen und beschützt „den flüssigen Werkstoffübergang und das Schmelzbad gegen die Umgebungsluft“ (DILLINGER et al. 2010). Die dabei entstehende Schlacke verhindert die Verzunderung und das zu schnelle Abkühlen der Schweißnaht. Durch die langsamere Abkühlung reduziert sich die Schrumpfspannung und Aufhärtung im Bereich der Schweißnaht. Durch die Legierungselemente können die Festigkeit und Zähigkeit der Schweißnaht verbessert werden (FRITZ et al. 2010, KOVACS 2011, WITT et al. 2006).

Das Lichtbogenschweißen ist für alle schweißbaren Eisenwerkstoffe anwendbar. Seine Vorteile sind sein geringer apparativer Aufwand und seine einfache Handhabung. Dieses Verfahren kann mit Netzstrom und mit Aggregatstrom durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist das Lichtbogenschweißen mobil. Daneben sind „hohe Nahtqualität, keine Bindefehler, ausgezeichnete Zähigkeitseigenschaften, und niedrige Rissgefahr“ (WITT et al. 2006) ebenfalls wichtige Vorteile. Heute wird es dann angewendet, wenn das Hochleistungsverfahren aus wirtschaftlichen oder anderen Gründen nicht anwendbar ist (FRITZ et al. 2010).

MIG (Metall-Inertgas) MAG (Metall-Aktivgas) – Schweißen⁵ (Abb. 63)

Eine Gaswolke schützt den Lichtbogen in diesem Fall vor der Umgebungsluft. Hier liefert auch eine Stromquelle den benötigten Strom zum Schweißen. Der Lichtbogen schmilzt an der Schweißstelle die Kanten der zu fügenden Werkstücke und die Stabelektrode. Diese abschmelzende Stabelektrode ist endlos auf eine Spule aufgewickelt. Mit Hilfe einer Drahtvorschubeinrichtung wird die Elektrode durch das mehrere Meter lange Schlauchpaket und den Brenner bis zur Schweißstelle durchgeführt. Die Drahtvorschubeinrichtung wickelt die Elektrode von der Spule ab und schiebt sie gleichzeitig in das Schlauchpaket. Im Schlauchpaket gibt es ein flexibles Rohr zur Führung der Elektrode. Durch das Schlauchpaket werden nicht nur die endlose Elektrode, sondern auch das Schutzgas, das Kühlwasser und der Strom durchgeführt. Mit dem Kühlwasser werden das Kontaktrohr und die Gasdüse gekühlt. Diese Teile werden von der Strahlungswärme des Lichtbogens erhitzt. Den Strom erhält die Elektrode im Brenner durch das Kontaktrohr. Während des Schweißens muss die Schweißspannung und der Drahtvorschub eingestellt werden. Beide hängen vom Werkstoff, den Schutzgassorten, der Werkstückdicke und dem Drahtdurchmesser ab. Heute können die modernen Schweißgeräte mittels einiger eingegebener Daten diese zwei Parameter ausrechnen und selbst einstellen. Diese Schweißverfahren sind ab einer Werkstoffstärke von 2 mm verwendbar (DILLINGER et al. 2010, FRITZ et al. 2010, KOVACS 2011, WITT et al. 2006).

⁵ Im Weiteren werden Metall-Inertgas MIG und Metall-Aktivgas MAG abgekürzt.



Abbildung 63: Metall-Inter- und Metal-Aktivgas Schweißgerät (DILLINGER et al. 2010 S. 222)

Der Werkstoffübergang im Lichtbogen, die Einbrandtiefe, die Nahtform, die Spritzerbildung und die zu schweißende Werkstoffen sind vom gewählten Schutzgas abhängig. Im MIG-Schweißverfahren finden Argon, Helium oder „deren Gemische Anwendung“ (WITT et al. 2006). Diese Gase schützen nur das Schmelzbad, jedoch findet keine chemische Reaktion zwischen dem Gas und dem Schmelzbad statt. Das MIG – Schweißen erzeugt einen tiefen Einbrand bei hoher Stromdichte und Schweißgeschwindigkeit neben geringen Spritzerverlust. „[D]ie Nahtoberfläche ist meistens glatt und kerbenfrei“ (FRITZ et al. 2010). Im Fall des MIG - Schweißens ist der Lichtbogen ein Sprühlichtbogen. Dieses Verfahren kann für das Schweißen von Aluminium-, Kupfer-, deren Legierungen-, hochlegierten Stählen-, Nickel- und Titanverbindungen verwendet werden. Das MAG - Schweißen wird durch die chemischen und metallurgischen Vorgänge während des Schweißverfahrens initiiert. Hierfür stehen zumeist zwei Gassorten zur Verfügung. CO_2 ist das billigere der beiden Gase. Hier ist der Spritzerverlust groß, das Zünden des Schweißlichtbogens ist unsicher. Aus diesen Gründen wird CO_2 mit Argon- und Sauerstoffgasen gemischt. Das Argon sichert das Zünden des Schweißlichtbogens und vermindert den Spritzerverlust. Mit diesen Gasen können unlegierte und legierte Stählen bearbeitet werden. Der Abbrand der Legierungselemente bei legierten Stählen muss genau kontrolliert werden. Durch entsprechende Auswahl der Zusatzwerkstoffe kann dem Abbrand dieser entgegen gewirkt werden. Neben dieser Gasmischung existieren andere Mischungen, deren teure Herstellung sie für die Praxis jedoch nicht verwendbar machen (DILLINGER et al. 2010, KOVACS 2011).

Die endlosen Stabelektroden ermöglichen das unterbrechungsfreie Schweißen. Hier muss die Stabelektrode nicht wie beim Lichtbogenhandschweißen ausgetauscht werden. Durch dieses Verfahren kann die Zeit für den Elektrodenaustausch gespart werden. Daneben befindet sich die Elektrode näher am Elektrodenhalter (Handgriff), weshalb das Ende der Elektrode nicht wackeln kann. Zu Beginn des Schweißens kann das Ende der Elektrode beim Lichtbogenhandschweißen durch ihre Länge von 250 mm (oder auch bis zu 450 mm) leicht bewegt werden. Diese Bewegung erschwert das Schweißen.

Die endlosen Elektroden sind handelsüblich in drei verschiedene Typen erhältlich. Die Massivdrahtelektrode verfügt meistens über eine Kupferschicht. Diese Schicht verbessert die Gleiteigenschaften und den Kontakt zwischen dem Draht und dem stromführenden Kontaktrohr. Die Fülldrahtelektroden mit Schutzgashülle „bestehen aus einer metallischen, rohrförmigen Umhüllung und einer pulverförmigen Füllung“ (WITT et al. 2006) Diese verbessert den Ablauf des Schweißens, den Nahtaufbau und die Eigenschaften der Naht. Die letzte sind die selbstschützenden Drahtelektroden. Diese Elektroden benötigt kein Schutzgas. Die Füllung enthält Stoffe zur Gas- und Schlackenbildung, welche das Schweißbad „vor dem Zutritt der atmosphärischen Gase“ (FRITZ et al. 2010) schützen. Natürlich sind diese beiden Sorten der Fülldrahtelektroden teurer als die Massivdrahtelektroden. Der Durchmesser dieser Elektroden bewegt sich zwischen 0,8 und 1,6 mm (KOVACS 2008, WITT et al. 2006).

Wolfram – Inertgasschweißen (WIG)⁶

In der Praxis wird das Wolfram – Inertgasschweißen durch das Brennen des Lichtbogens zwischen der nicht abschmelzenden Wolframelektrode und den damit verbundenen Teilen erkennbar. Bisweilen wird das Schweißen mit einem Zusatzwerkstoff durchgeführt. Der Zusatzwerkstoff ist ein Schweißstab, der meistens mit der Hand zum Lichtbogen geführt wird. Das Schmelzbad wird durch das Schutzgas vor atmosphärischen Gasen geschützt. Die Wolframelektrode darf nicht an einer chemischen Reaktion teilnehmen, weshalb nur Edelgase als Schutzgas (Argon, Helium, Wasserstoff und Argon-Helium-Gemische) beim WIG Schweißverfahren (Abb. 64) verwendet werden können. In der Praxis zeigt sich das Argonschutzgas als effektiv und deshalb als weit

⁶Im Weiteren wird das Wolfram-Inertgas mit WIG abgekürzt.

verbreitet, da es bei der Zündung des Lichtbogens hilft „und [...]einen flachen, mitteltiefen Einbrand“ verursacht (WITT et al. 2006 S. 182). Die Gefahr einer zu starken Porenbildung besteht bei der Verwendung von Wasserstoff (DILLINGER et al. 2010, FRITZ et al. 2010, KOVACS 2011, WITT et al. 2006).

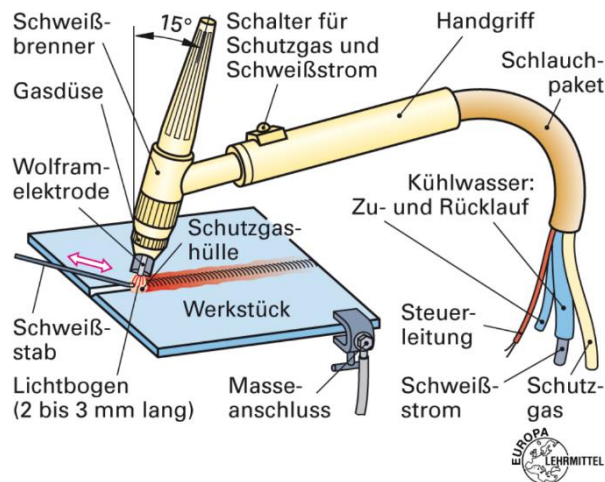


Abbildung 64: Wolfram – Inertgasschweißen (DILLINGER et al. 2010 S. 223)

Der Schweißbrenner wird über das Schlauchpaket mit dem benötigten Gleich- oder Wechselstrom versorgt. Zudem verlaufen die Steuerleitung, die Schutzgasschläuche und der Zu- und Rücklauf des Kühlwassers über diesen Weg. Die Kühlung des Schweißbrenners kann zusätzlich durch die Zuführung von Kühlwasser unterstützt werden, jedoch kann dieser bei der geringen vorhandenen Stromstärke gasgekühlt werden. Die Wolframelektrode ist im Schweißbrenner gespannt. Die Wolframelektrode kann aus reinem Wolfram oder aus Wolfram mit Oxidzusätzen hergestellt werden. Durch die Nutzung von Wolframelektroden mit Oxidzusätzen wird die Elektronenemission reduziert und der Lichtbogen wird damit leichter entzündbar. Die Form der Elektrode hängt vom Stromtyp, der Polung und der thermischen Belastung ab. Eine konische Elektrodenform wird beim Schweißen unter Gleichstrom mit einer negativ polierten Elektrode eingesetzt. In diesem Fall ist Argon das verwendete Schutzgas. Die Elektrode ist walzförmig, wenn das Schweißen mit Wechselstrom oder mit Gleichstrom mit einer positiven polierten Elektrode durchgeführt wird. In diesem Fall ist Wasserstoff das verwendete Schutzgas. Dies ist aus den folgenden Gründen notwendig: Die thermische Belastung der Elektrode ist beim Wechselstrom und beim Gleichstrom mit einer positiv polierten Elektrode größer als beim Gleichstrom mit einer negativ polierten Elektrode.

Elektroden, die eine Spitze besitzen, können schneller erhitzt und abgeschmolzen werden als diejenigen ohne Spitze. Die abgeschmolzenen Teile der Elektrode verschmutzen das Schmelzbad und erzeugen einen Nahtfehler. Der Lichtbogen muss berührungslos gezündet werden, da die Elektrode durch Kontakt mit dem Werkstück sehr leicht beschädigt werden kann (DILLINGER et al. 2010, FRITZ et al. 2010, KOVACS 2008, WITT et al. 2006).

Für die Praxis gelten zwei verschiedene Möglichkeiten der Anwendung. Zum einen die Verwendung von Gleichstrom mit einer negativ polierten Elektrode. Zum anderen die Verwendung von Wechselstrom (Abb. 65). Im ersten Fall entfallen auf die Elektrode ein Drittel der entstehenden Hitze, auf den Werkstoff zwei Drittel. Diese Technik zeichnet sich durch einen stabil brennenden Lichtbogen und einen schmalen aber tiefen Einbrand aus. Die Hitzeverhältnisse gestalten sich konträr beim Gleichstrom mit einer positiv polierten Elektrode, weshalb die Elektroden schneller abnutzen. Zudem reißt die hochschmelzende Oxidschicht des Leichtmetalls in diesen Fall auf. Wechselstrom eignet sich daher besser, da durch den Polwechsel die Elektrode weniger erhitzt und die Oxidschicht aufgerissen wird (DILLINGER et al. 2010, KOVACS 2008).

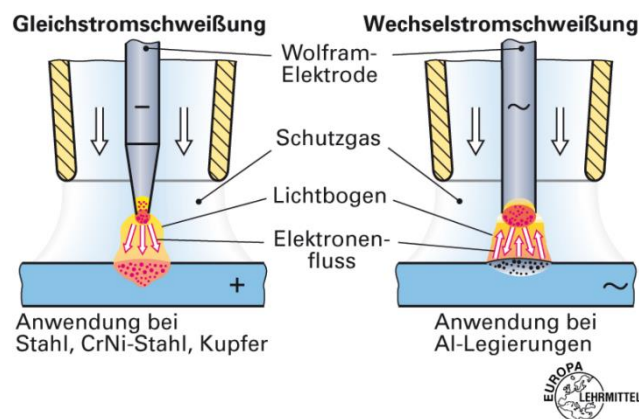


Abbildung 65: Gleich- und Wechselstromschweißen (DILLINGER et al. 2010 S. 223)

Es ist sehr wichtig, dass die zu schweißenden Teile sauber sind. Während des Schweißens muss der Brenner etwa im 15° Winkel zur Schweißrichtung ausgerichtet sein. Das Ende der Elektrode muss 2 – 3 mm von der Schweißstelle entfernt sein. Der Zusatzwerkstoff

wird in einem 10-20° Winkel zum Lichtbogen mit tuffenden Bewegungen ausgeführt. Zum Ende der Schweißnaht hin muss der Schweißstrom vermindert werden, damit die Herausbildung von Endkrater und Rissen minimalisiert werden. Nach dem Abschalten des Schweißstroms muss das Schmelzbad mit dem Schutzgas erkalten (DILLINGER et al. 2010, KOVACS 2008).

Mit diesem Schweißverfahren ist es möglich dünne Bleche sowie dünne hochlegierte Bleche, Aluminium, Magnesium und hochreaktiven Werkstoffen zu verbinden (DILLINGER et al. 2010, FRITZ et al. 2010).

3 MATERIAL UND METHODE

3.1 DIE VERWENDETE COMPUTERSOFTWARE

Die Konstruktionspläne der geplanten Fahrzeuge wurden mit dem Programm SolidWorks 2011 SP 5.0 (Abb. 66) gefertigt. Dieses Programm ermöglicht die Herstellung von 2-D- und auch 3-D-Zeichnungen der einzelnen Bauelemente und auch der vollständigen Maschine. Das Programm besteht aus 3 Hauptmodulen. Diese Module basieren auf dem Ablaufmodell der Planungsmethode. Das erste Modul ermöglicht die Darstellung der Bauform einzelner Teile durch das 3-D-Zeichnungswerkzeug. In das Programm sind die Werkstoffe mit ihren Eigenschaften eingespeichert, diese sind alle im Handel käuflich zu erwerben. Durch den Werkstoffdatenspeicher kann das Programm das Gewicht der einzelnen Bauteile und Baugruppen eigenständig errechnen. Im Anschluss daran erfolgt die "Finite Element Methode", welche die Belastungsgrenze durch die entstehende Spannung, Verschiebung und Dehnung einzelner Bauteile, sowie der gesamten Konstruktion, simuliert. Zur Berechnung der Spannung benötigt das Programm die Werte für die Zugfestigkeit und für die Streckgrenze. Für die Berechnung der Verschiebung und Dehnung hingegen das Elastizitätsmodul sowie die Poisson - Zahl. Die Definitionen der Streckgrenze und der Zugfestigkeit wurden bereits im Kapitel „Unlegierter Baustahl“ beschrieben. Das Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert, er beschreibt den Zusammenhang von Spannung und Dehnung der gleichen Richtung. Sein Wert beträgt 200-210 GPa für Stahl. Der Poisson - Faktor ist ein Quotient der Dehnungen in der Quer- und Längsrichtung. Der Faktor für Stahl beträgt 0,3 (BÖGE et al. 1969 , CSIZMADIA et al. 1999, CSIZMADIA et al. 2004).

Das Programm überzieht der Bauteil oder die Baugruppe mit einem Netz (Abb. 66) und berechnet im Anschluss die Spannung, die Verschiebung und die Dehnung der Schnittpunkte. Mit der Änderung der Netzdichte ist es möglich, ein genaueres Ergebnis zu erzielen, welches die Realität exakt abbildet. Jede Baugruppe, mit allen ihren Teilen, kann mittels der verschiedenen Netzdichten berechnet werden (Abb. 67). Die Änderung der Netzdichte muss in den Fällen durchgeführt werden, in denen das Programm wegen der Geometrie des Bauteils oder der Baugruppe kein Netz auf diese legen kann. Hier muss die Netzdichte so dicht eingestellt werden, dass das Programm auch für die kleinste Ecke

ein Netzpunkt erstellen kann. Durch dieses Verfahren kann jeder Bauteil, das einen Schwachpunkt hat, näher betrachtet werden.

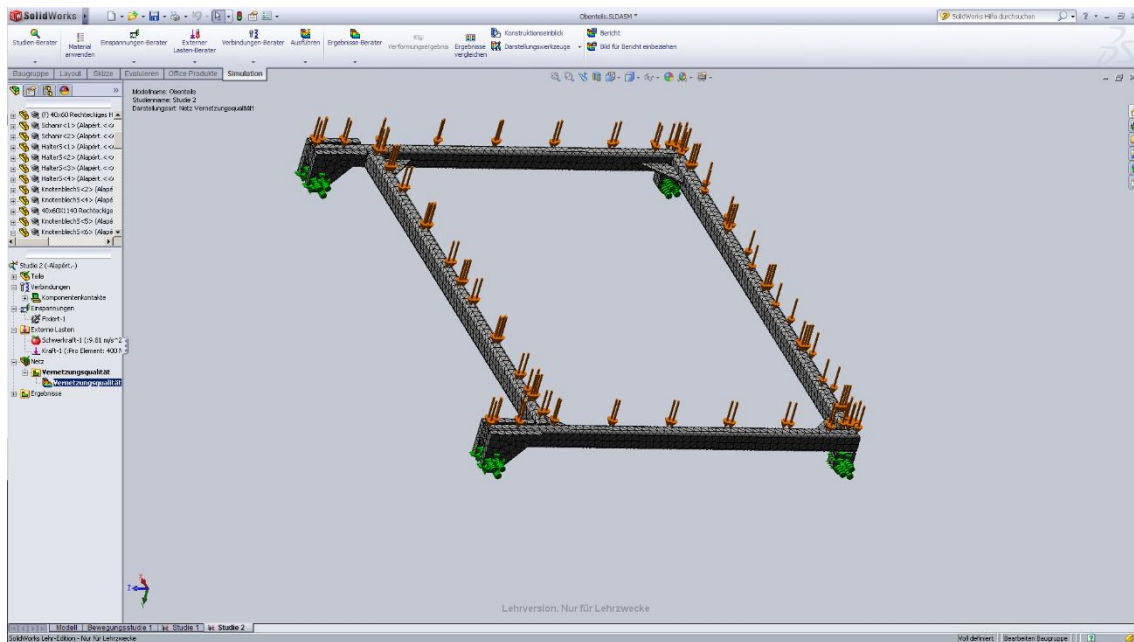


Abbildung 66: Netz der Finiten Element Methode (im SolidWorks Programm) (Größer Darstellung im Anhang)

Um diese Methode anwenden zu können, müssen der Einspannungsplatz (grüne Pfeile), der Belastungsplatz (lila bzw. rote Pfeile) und die Belastungsgröße eingegeben werden. Danach beginnt das Programm seine Berechnungen. Die unterschiedlich starke Spannung stellt das Programm mittels verschiedener Farben dar (Abb. 67). Dies geschieht ebenso bei der Verschiebung und Dehnung.

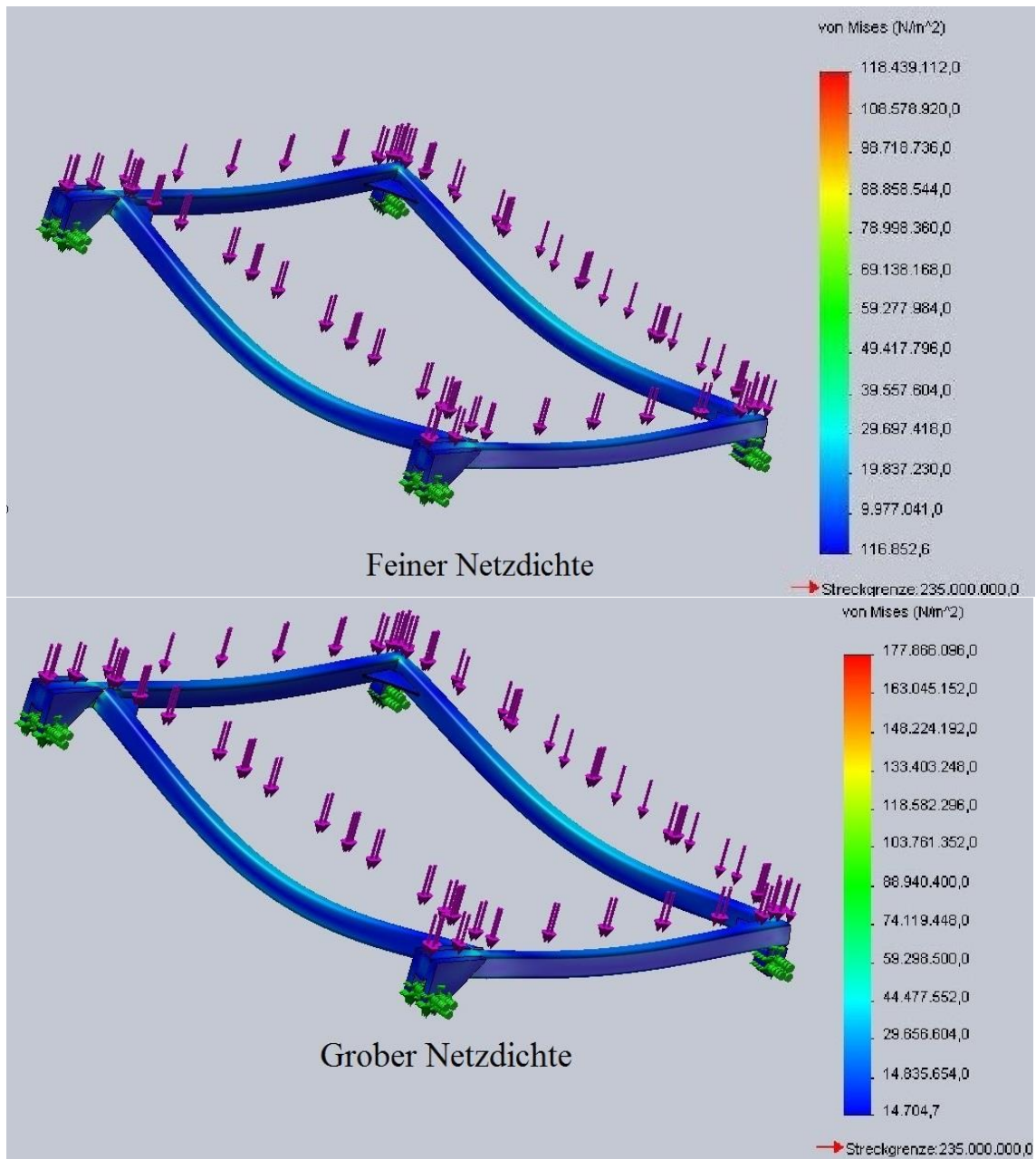


Abbildung 67: Finite Element Methode mit verschiedenen Netzichten.

Innerhalb einer Baugruppe können die Bauteile und die kleineren Baugruppen durch verschiedene Verknüpfungen verbunden werden. Nach der Zusammensetzung der Bauteile werden die Fehler sichtbar, die der Maschinenbauingenieur während der Teilplanung noch nicht erkennen konnte. Die Teile, welche sich auch in der Realität bewegen, können hier ebenfalls bewegt werden. Durch die Simulation der Bewegungen ist es dem Konstrukteur möglich, nachzuschauen, ob die Bewegungen in der Realität durchführbar sind. Blockiert ein Bauteil ein anderes in seiner Bewegung, muss dieser Teil angepasst werden.

Nachdem die 3-D-Zeichnung vollständig ist, wandelt das Zeichnungsmodul diese in eine 2-D-Herstellungszeichnung um. Die Zeichnungsherstellung beginnt mit der Fertigung von Montagezeichnungen. Der erste Schritt zur Herstellung einer 3-D-Zeichnung der Konstruktion ist die Ausgestaltung der einzelnen Bauteile, so dass diese im Anschluss zu einer vollständigen Baugruppe zusammengefügt werden können. Die Herstellung der 2-D-Zeichnungen (Herstellungszeichnung) der Konstruktion verläuft in der umgekehrten Reihenfolge. Die Herstellungszeichnungen werden durch das Programm auf das Zeichenblatt übertragen. Hierbei werden die verschiedenen Zeichenblätter von DIN A4 bis DIN A0 verwendet. Eines der Schriftfelder erläutert die Baugruppenherstellung, das zweite Schriftfeld die Bauteileherstellung. Im Folgenden werden die verwendeten Schriftfelder für die Montage- und Fertigungszeichnungen vorgestellt (Abb. 68-69).

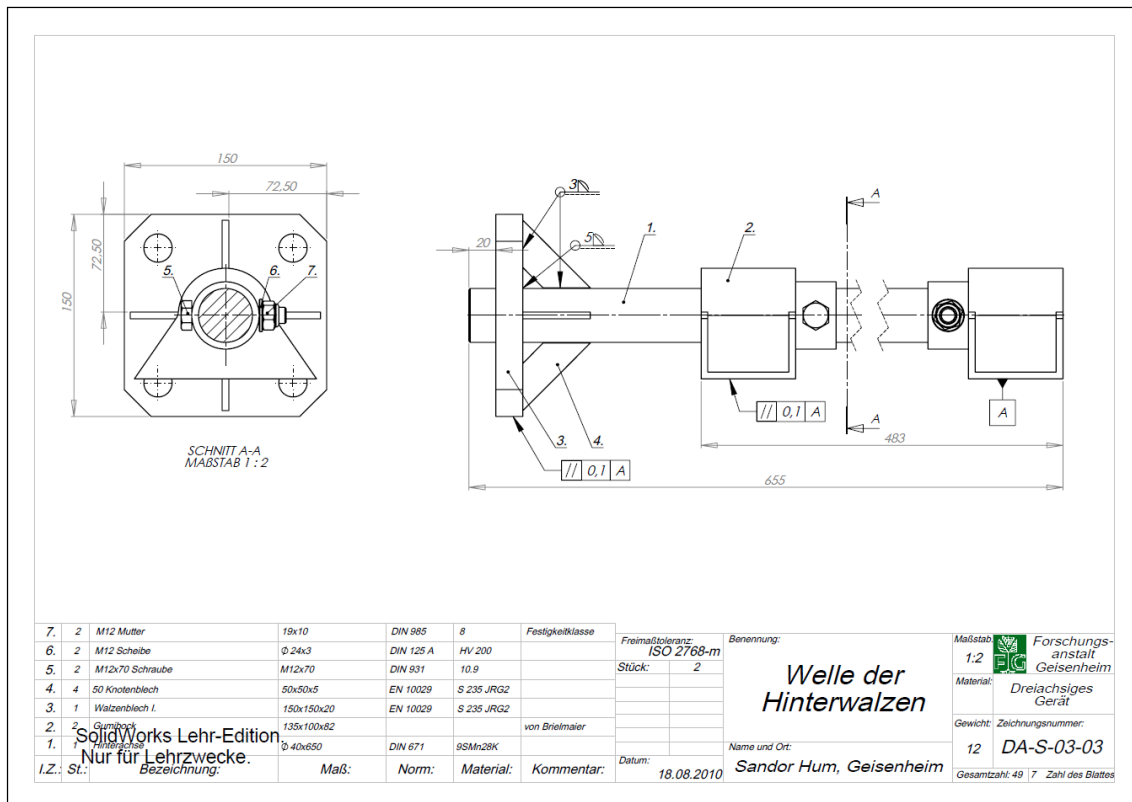


Abbildung 68: Montagezeichnung der Welle der Hinterwalze (Größer Darstellung im Anhang)

Eine Baugruppe kann aus Bauteilen und/oder kleineren Baugruppen bestehen. Die Verwendung der allgemeinen Bezeichnung „die Bauteile“ dient der Vereinfachung und bezeichnet alle Bauteile, sowie die kleineren Baugruppen einer Baugruppe. Für den Zusammenbau der Konstruktion benötigt der Mechaniker eine Montagezeichnung (Abb. 68). Die in der Montagezeichnung beinhalteten Ansichten, Schnitte, Ausbrüche und

Details wurden mit SolidWorks gezeichnet. SolidWorks benötigt genaue Angaben über die Position und die Größe von Schnitten, Ausbrüche und Details, um diese in der Zeichnung vermerken zu können. Jeder hierzu gehörende Bauteil wird mit einer Ziffer versehen, diese zeigt im Schriftfeld die Position des Bauteils an. Die Positionsnummer befindet sich in der ersten Säule. Danach wird die Stückzahl der Bauteile angegeben. Diese zeigen, wie groß die Anzahl der für eine Baugruppe notwendigen einzelnen Bauteile ist. Die Säule mit der Benennung gibt den Namen des Bauteils an, welcher mit seinem Filename übereinstimmt. Die Maßangaben der einzelnen Teile beziehen sich immer auf die Außenmaße. Die Angabe der Norm bezieht sich auf die Herstellungsnorm der Stabstähle und Formröhren, bei den Verbindungselementen hingegen bezieht sich die Normnummer auf die Form derjenigen. Im Anschluss erfolgt die Bezeichnung des Werkstoffes der einzelnen Bauteile. Im Kommentar ist es möglich, zusätzliche Informationen zum Bauteil aufzulisten. Bei der Freimaßtoleranz wird die Toleranz jener Maße, die während der Herstellung entstehen ohne Toleranzmaß angegeben. Die Toleranz (siehe Abb. 69 Ø 60 H7), die ein Maß besitzen kann, ist immer kleiner als die zu diesem Maß gehörende Freimaßtoleranz. Die Stückzahl gibt an, wie oft ein bestimmter Bauteil für eine Baugruppe benötigt wird. Das Datum weist den Tag der Herstellung der Zeichnung aus. In der nächsten Zelle befindet sich der Name der Baugruppe oder der Konstruktion. Darunter ist der Name desjenigen zu lesen, der die Zeichnung hergestellt hat; sowie den Ort, an dem sie hergestellt wurde. Daneben stehen Maßstab und Baugruppengewicht. Darauf folgt der Name der Herstellerfirma und ihr Logo. Im Anschluss ist die Bezeichnung des Gerätes, zu dem die Konstruktion gehört, zu lesen. Die Zeichnungsnummer ist für die Identifikation der Konstruktion sehr wichtig. Diese Nummer wird während des Herstellungsprozesses benutzt, nicht der Name des Bauteils. Die Gesamtzahl zeigt an, wie viele Zeichnungen die Konstruktion umfassen. Die Seitenzahl gibt einen Überblick über den Seitenumfang der Zeichnung. Für die Herstellung der Konstruktion müssen alle benötigten Maße, die Maßtoleranzen die Form- und Lagertoleranzen, Schweißnähte und die Position der Verbindungselemente angegeben werden.

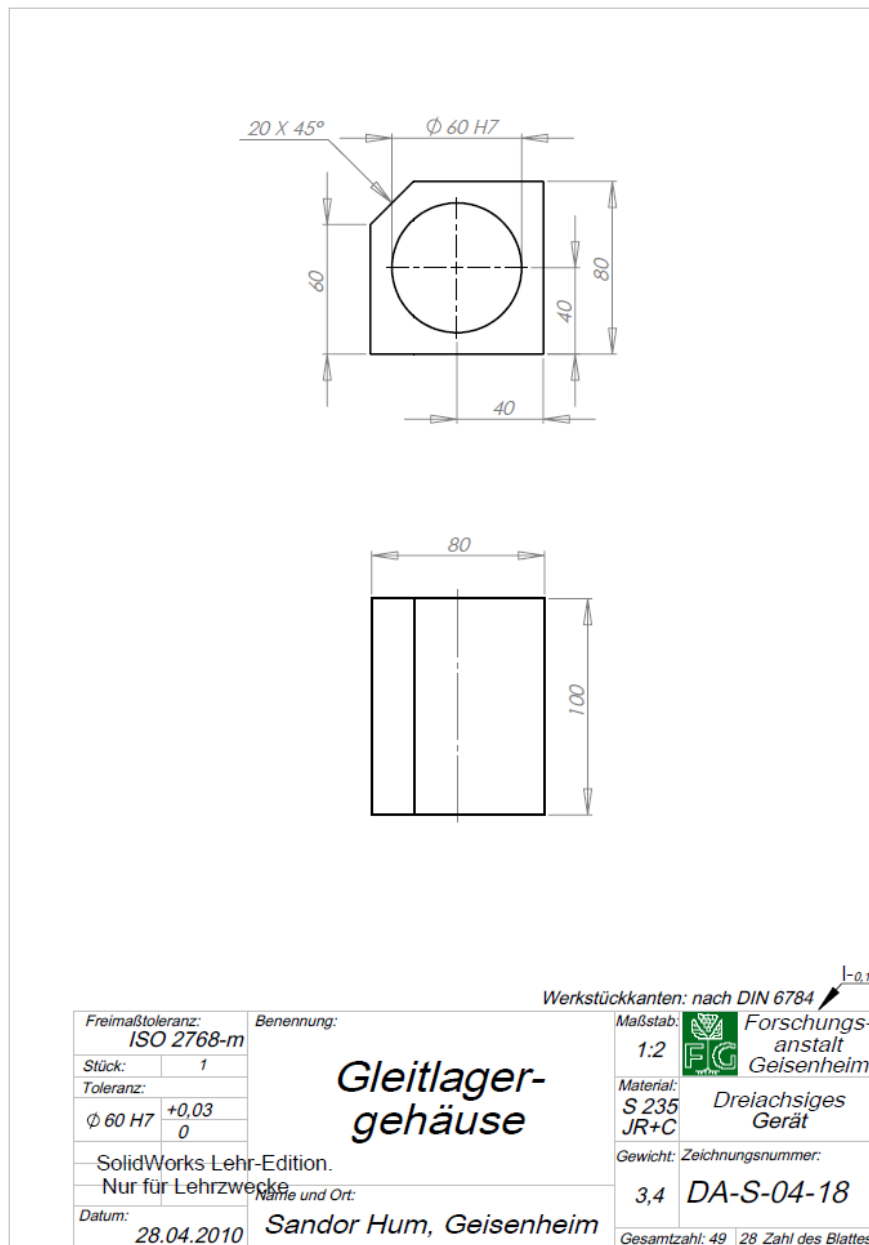


Abbildung 69: Bauteilzeichnung des Gleitlagergehäuses

Die Bauzeichnung (Abb. 69) muss ebenfalls Ansichten, Schnitte und Details enthalten, so dass diese durch das Hinzufügen von Maßen, Maßtoleranzen, sowie der Form- und Lagertoleranzen herzustellen ist. „Werkstückkanten: nach DIN 6784 (auf dem Pfeil) -0,1“ bedeutet, dass die Grate der Werkstückkante nach der Herstellung auf eine 0,1mm gratfreie Kante gebracht werden müssen. Die Gratentfernung ist wegen der Arbeitssicherheit wichtig, da die remanenten Grate Beschädigung erzeugen können. Im Fall der Toleranz werden das obere und untere Abmaßen des Paßmaßes (Abb. 70) angegeben. Die Angabe eines Maßes geschieht entweder durch ein Toleranzfeld (H7),

oder mittels Zahlen. Die Toleranzfelder befinden sich in der Norm. Wenn die Toleranz mittels eines Zahlenwertes angegeben wird, wird das Maß durch die oberen und unteren Abmaße beschrieben (Abb. 70). Für das Material wird die Werkstoffsorte des Bauteils ausgewiesen. Die anderen Felder wurden bereits bei der Montagezeichnung erörtert (DILLINGER et al. 2010, HOISCHEN 1982, FRISCHHERZ et al. 1997).

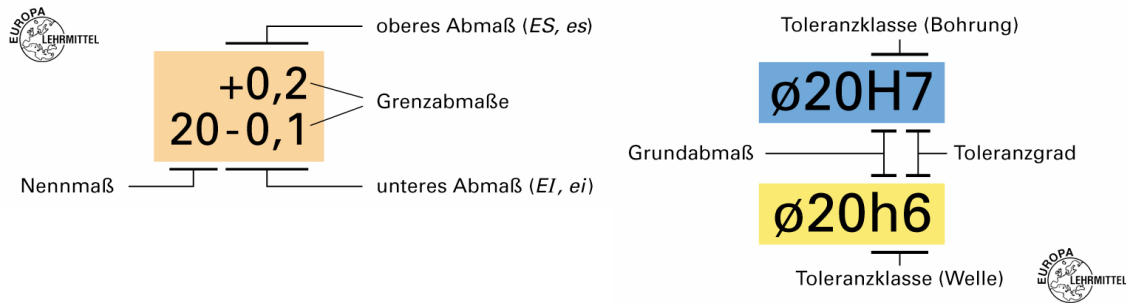


Abbildung 70: Toleranzangabemöglichkeit (DILLINGER et al. 2010 S. 40)

Die Planung der Feder, welche in das dreiachsige Gerät eingeplant wurde, wurde mit dem MDESING Roloff/ Matek Edition Programm (Abb. 71) durchgeführt. Die Ausgangsdaten mussten in dieses Programm eingegeben werden, damit es die geometrischen Maße der Feder und die Federeigenschaften berechnen konnte.

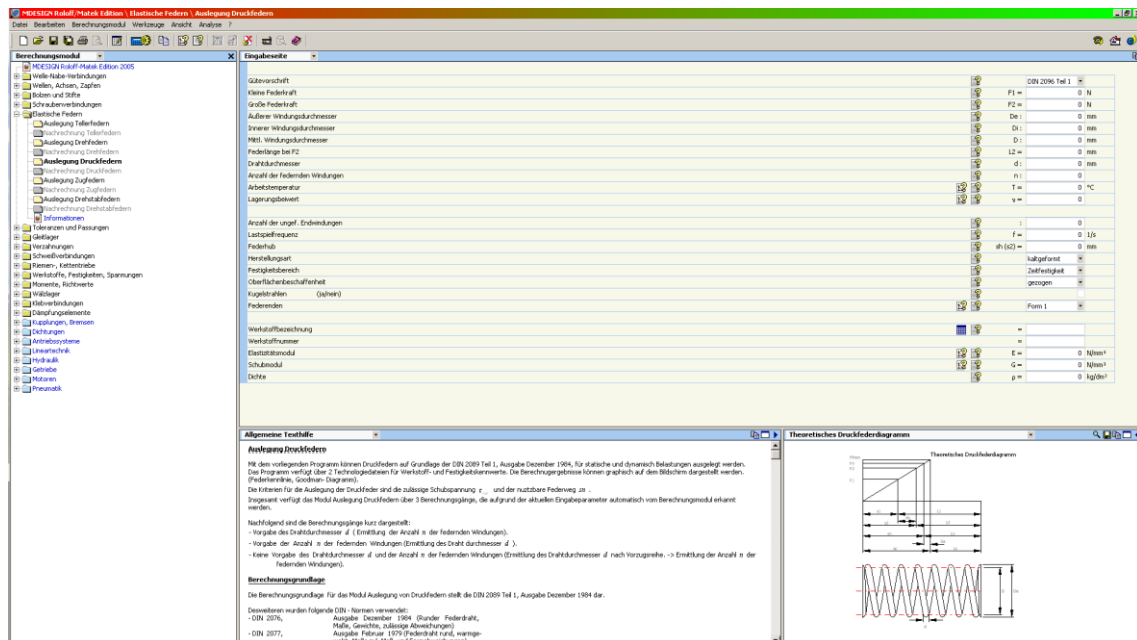


Abbildung 71: MDESING Roloff/ Matek Edition Programm (Größere Darstellung im Anhang)

Nach der Anfertigung der Herstellungszeichnungen mussten die benötigten Werkstoffsorten und die Werkstoffmaße der Bauteile eingegeben werden. Diese Aufgabe

wird in einer Exceltabelle (Abb. 72) zusammengefasst. Die Bauteile wurden in drei Gruppen aufgeteilt. Die erste Gruppe ist die Gruppe des Zuschnitts. Diese Gruppe beinhaltet diejenigen Bauteile, welche aus Blech ausgeschnitten werden müssen. Diese Teile werden durch eine Laserzuschnittfirma anhand der Fertigungszeichnung zugeschnitten. Der Name der Fertigungszeichnung wird durch die Spalten Benennung, Zeichnungsnummer und Stückzahl näher bestimmt. Der Werkstoff des Werkstücks befindet sich auf der Fertigungszeichnung. Als Nächstes wird die Gruppe der Stabstähle und Formröhren näher bezeichnet. Für diese Gruppe werden das Maß und die Form des Durchschnittees (z. B.: qF: quadratisches Formrohr) und der verwendete Werkstoff angegeben. Mittels der, unter DIN, angegebenen Zahlen wird die Herstellungsmethode des Werkstoffes bestimmt. Für die Angabe der benötigten Länge des Stabstahls oder Formrohres muss die Schnittbreite (die Breite des Sägeblattes) mit eingerechnet werden; diese beträgt im Allgemeinen 5 mm. Wenn die Schnittbreite nicht mit eingerechnet wird, bleibt zu wenig vom Werkstoff übrig, um diesen korrekt verarbeiten zu können. Solch eine Situation führt zur Verlangsamung des Herstellungsprozesses bzw. zum Stillstand, wodurch der Firma Verluste entstehen. Als letztes wird die Gruppe der Verbindungselemente dargestellt. Hier werden die benötigten Stückzahlen, die Werkstoffsorte und die Normnummern ersichtlich. In diese Gruppe werden auch sonstige Elemente eingefügt, wie z. B. die Hydraulikzylinder. Anhand dieser Tabelle wird ein Preisangebot von den Werkstoffhersteller-, und Verbindungselementhersteller- und Laserzuschnittfirmen angefordert, so dass im Folgenden Werkstoffe, Verbindungselemente und Zuschnitteile bestellt werden können.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Benennung:	Zeichnungs Nr.	Stück	Material	DIN	Länge (m):	Bemerkung:
2	Zuschnitt						
3	30 Endblech	M-04-07	6	Zuschnitt			
4	Blech I.	M-04-09	2	Zuschnitt			
5	Blech II.	M-04-20	4	Zuschnitt			
6	M6 Scheibe	M-04-21	4	Zuschnitt			
7	M 10 Scheibe I.	M-04-22	8	Zuschnitt			
8	Plane	M-04-18	2				
9							
10	Stabstahl und Formrohr						
11				30x30x2 gF S 235 JR		15,17	
12				40x40x2 gR S 235 JR		1,3	
13				40x80x3 S 235 JR		0,76	
14				FI 10x5 S 235 JR+C		0,3	
15				FI 30x8 S 235 JR+C		0,88	
16				Rd 16 C 45 +C	671	0,75	
17				Rd 25 C 45 +C	671	0,6	
18				Rd 28 C 45 +C	671	0,25	
19				Rd 5 S 235 JR	671	0,42	
20							
21	Befestigungselement						
22	M6x25 Schraube		22	M6x25 8.8	931		
23	M10x40 Schraube		8	M10x40 8.8	931		
24	M10 Scheibe II.		8	M10 St.	125 A		
25	M10 Mutter		8	M10 8 (Festigkeitsklasse)	985		
26	M8x50 Schraube		35	M8x50 8.8	931		
27	M8 Scheibe I.		35	M8 St. (Dm 30x1,5)	522 A		
28	M8 Scheibe II.		35	M8 St (Dm 17x1,5)	125 A		
29	M8 Mutter		35	M8 8 (Festigkeitsklasse)	985		
30	M6 Scheibe		18	M6 St.	125 A		
31	Dm 4x32 Splint		22	Dm 4x32 St.	94		
32	Federstecker		4	Dm 4x60 Draht	11024 E		
33	Zylinder		1				Von Chapel
34	Schneidmesser		8				Von Class
35							

Abbildung 72: Tabelle der Zuschnitteile, Werkstoffe und Verbindungselemente

Für die Zuschnittzeichnungen war das AutoCAD 2007 2-D Zeichnungsprogramm (Abb. 73) unerlässlich, da Laserschnittmaschinen mit CNC Steuerung mit dem gleichen Datenformat arbeiten. Das Zeichnen wurde, wie bereits erwähnt, im Programm SolidWorks durchgeführt, im AutoCAD 2007 wurde lediglich der Maßstab kontrolliert. Zudem mussten die verwendeten Hilfslinien gelöscht werden, da die Zuschnittmaschine diese nicht von anderen Konturlinien unterscheiden kann. So würde die Zuschnittmaschine diese Linien ebenfalls ausschneiden.

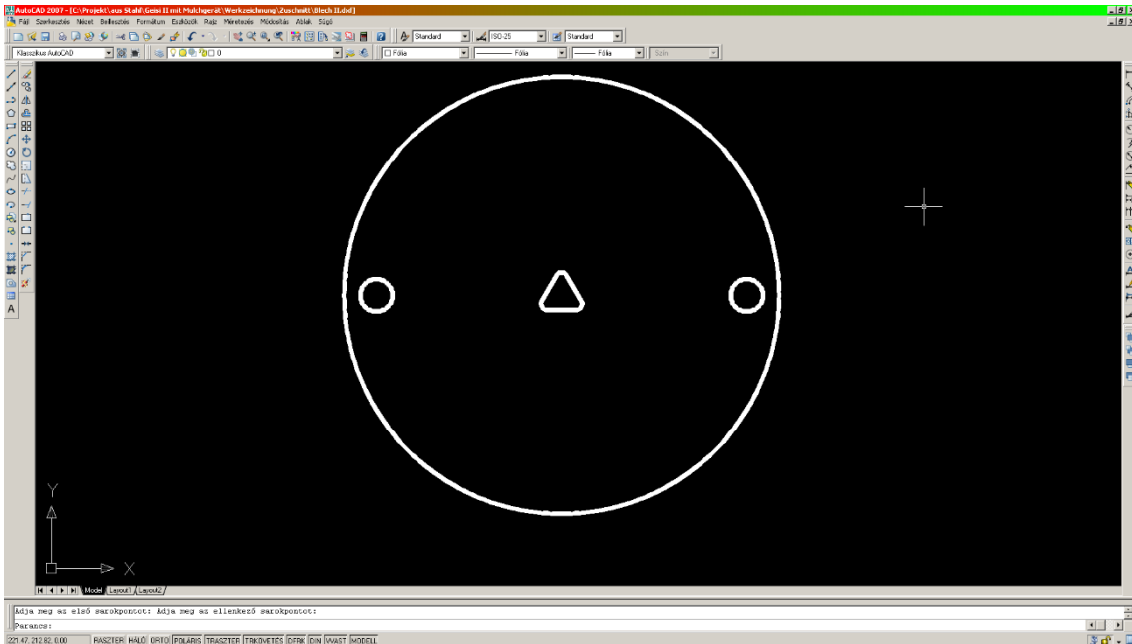


Abbildung 73: Beispielzeichnung mit dem AutoCAD 2007 2-D-Zeichnungsprogramm (Größere Darstellung im Anhang)

Die Hydraulikkreissimulation der Maschinen während der Lenkung, der Fahrt vorwärts und rückwärts wurde in der Demoversion des FluidSIM Hydraulik 4.2 Programms (Abb. 74) durchgeführt. Mit diesem Programm ist es möglich, einen Hydraulikkreis zu bauen. Im Programm befinden sich alle Bauteilzeichnungen für den Hydraulikkreis. Das Programm ermöglicht das Drehen und Spiegeln dieser Zeichnungen, dadurch wird die einfachste Verbindung der Teile erkennbar. Zudem besteht die Möglichkeit, Eigenschaften einzelner Teile manuell einzustellen, z. B. den möglichen Betriebsdruck, die Fördermenge und die interne Leckage des Antriebsaggregats,... Für die Herstellung eines Hydraulikreises müssen nur die gewünschten Bauteilzeichnungen in die Arbeitsfläche hineingezogen werden, und in der gewünschten Reihenfolge verbunden werden. Das Programm simuliert die Funktionsweise des Hydraulikreises. Vor dem Start der Simulation werden alle gefundenen Fehler angezeigt, wie z. B. ein fehlender Schlauch oder zwei aufeinander liegende Schläuche. So können diese Fehler schon während der Planung korrigiert werden. Während der laufenden Simulation werden alle Schläuche rot markiert, die unter Druck stehen. Je größer der Druck wird, desto dicker erscheinen die Linien. Eine rosa angezeigte Linie weist auf einen Fehler im geschlossenen Hydraulikkreis hin, z. B. ein Vakuum. Dieses Problem kann durch den Einbau eines anderen Teiles oder aber durch die Veränderung des Hydraulikreises gelöst werden.

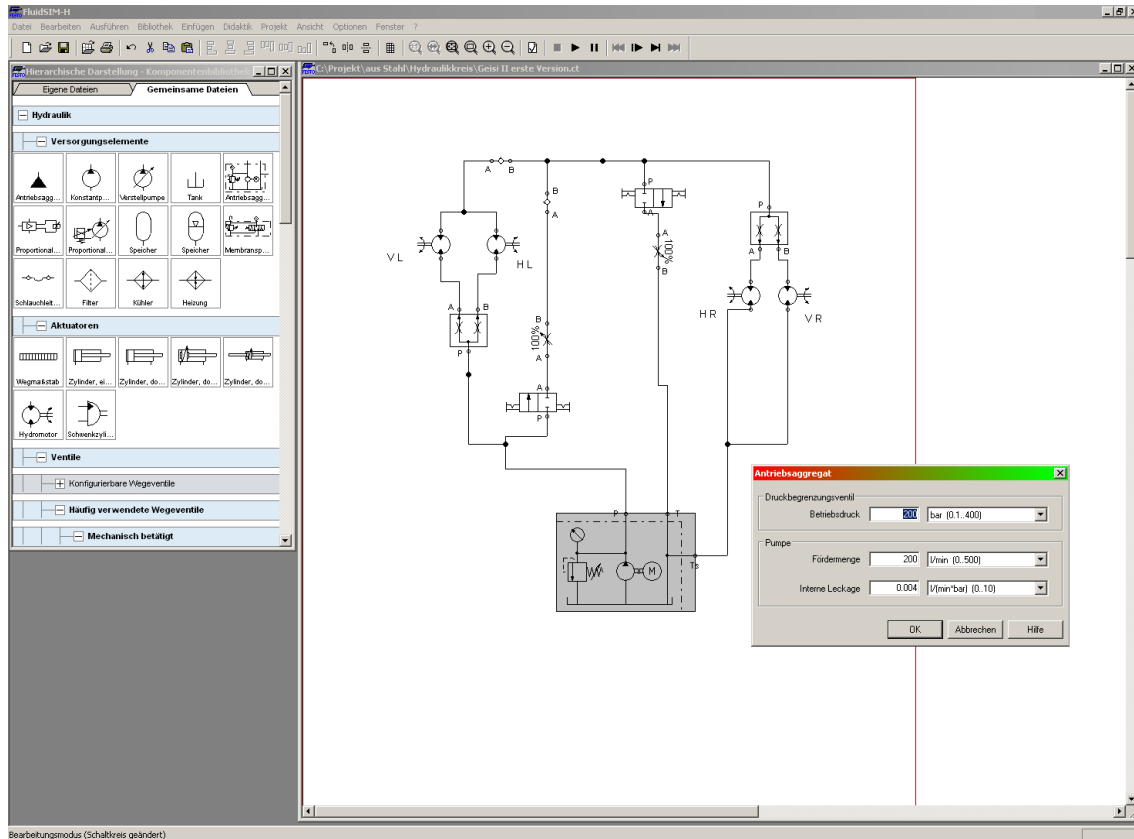


Abbildung 74: FluidSIM Hydraulik 4.2 Demoverision (Größere Darstellung im Anhang)

Die in dieser Arbeit dargestellten Hydraulikkreise dienen nun für die Funktionserklärung. Sie sind nicht die gleichen, die in die Maschine eingebaut wurden. In dieser Arbeit wurden alle Teile in den Hydraulikkreis eingebaut, die für die Simulation notwendig waren. Die Steuerung der Wegeventile ist eine mechanische Steuerung, nicht so wie in der Maschine. Die genannten Gründe erleichterten das Zeichnen des Hydraulikkreises, daneben sind sie für den Laien leichter verständlich.

3.2 VERWENDETE MASCHINEN

Die Zerteilung des Werkstoffes in Einzelteile der passenden Größe wurde mit der Bügelsägemaschinen Klaeger 5b/400 und Klaeger Plus 215 durchgeführt. Die Drehbearbeitung wurde mit der Drehmaschine DL 18 der Fritz Werner Werkzeugmaschinen GmbH angefertigt. Die Werkstücke wurden mit der ODESSA Universal-Werkfräsmaschine Modell: 675 gefräst und die Bohrungen mit der Bohrmaschine Flott 25 VE 320 Elektronik durchgeführt. Für die Schweißarbeiten wurden mit den Lorch T 220 und MIG 350 Schweißgeräten durchgeführt. Das Lorch T 220 ist ein doppeltwirkendes Schweißgerät, welches als Lichtbogenhandschweißgerät oder als

WIG – Schweißgerät verwendbar ist. In diesem Fall wurde dieses als WIG- Schweißgerät genutzt, um Aluminium mit einem AlMg5 Schweißstab und UN 1006 gekennzeichnetem Argongas zu schweißen. Mit dem anderen Gerät werden die Stahlkonstruktionen mit dem verkupferten, lagengespulten G422CG3Si1 Schutzgasschweißdraht und der UN 1956 gekennzeichnete Argon und Kohlendioxid Gasmischung hergestellt. Für die Bearbeitung der Schweißnähte und für den Schnitt wurden die BOSCH GWS 580 Professional und die BOSCH GWS 7-115 E Professional eingesetzt.

3.3 FÜR DIE MESSUNG EINGESETZTES MESSGERÄT

Die Verbindungswellen zwischen dem Rahmen und der Walze können als Schwachpunkte der Konstruktionen betrachtet werden. Es sollte geprüft werden, wie groß die Spannung in diesen Wellen während des Kurvenfahrens und beim Beladen ist. Aus diesem Grund wurden vier T – Rosette Dehnungsmessstreifen⁷ (Abb. 76) pro Walze aufgebracht. Durch diese Streifen ist es möglich die Dehnung an der Oberfläche des Werkstücks zu messen. Aus der Dehnung kann die entstehende Spannung berechnet werden. Die DMS (Abb. 75) müssen zur Dehnung der Werkstoffsorte passen, da die Messung sonst ungenau ist. Die DMS wird bei einem kritischen Durchmesser durch einen Spezialkleber auf das Werkstück aufgebracht.

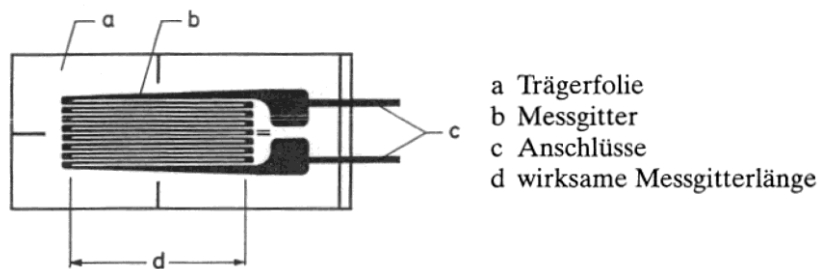


Abbildung 75: Dehnungsmessstreifenteile (HOFFMANN 1987 S. 7)

⁷ Im Weiteren werden Dehnungsmessstreife DMS abgekürzt.

Dieser Messsensor ist eine Spindel aus Draht, welche sich mit dem Werkstoff dehnt. Der Spindeldraht ist auf eine Trägerfolie aufgeklebt und besitzt noch zwei Anschlüsse, welche die Verbindung mit dem Stromkreis sichern. Von der wirksamen Messgitterlänge hängen die Maße der DMS und die Größe der zu messenden Oberfläche ab. Die DMS können die parallele Dehnung mit der wirksamen Messgitterlänge messen. Die wirksame Messgitterlänge liegt zwischen 0,6 mm und 150 mm. Wenn die Dehnung nicht parallel ist, können die DMS die in die wirksame Messgitterlänge fallende Dehnungskomponente messen. Aus diesem Grund muss ein zusätzlicher DMS mit dem Stromkreis verbunden werden. Aus den dargestellten Gründen wurden die T – Rosette DMS (Abb. 76) auf die Welle aufgeklebt (HOFFMANN 1987).

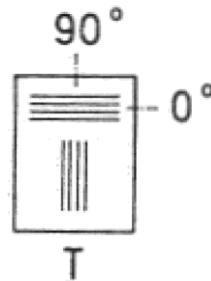


Abbildung 76: T – Rosette (HOFFMANN 1987 S. 51)

Das Anbringen der DMS muss in einer staubfreien Umgebung durchgeführt werden. Wenn die DMS mit Staub in Berührung kommen, sind sie unbrauchbar. Im Fall der T – Rosette sind zwei DMS auf eine Trägerfolie aufgeklebt. Zwei Rosetten werden auf den Messpunkt aufgebracht und in eine Wheatstone`sche Maßbrücke (Abb. 77) eingefügt, um eine Messung durchführen zu können. Die Widerstände R_2 und R_3 stimmen mit den zwei DMS der T-Rosette überein. Die Widerstände R_1 und R_4 werden als Signalverstärker eingesetzt, deren einzelner Widerstand ist einstellbar. Diese Widerstände müssen beim Messen so eingestellt sein, dass die Spannung bei der Brückenausgangsspannung (U_A) 0 V ist. In diesem Fall müssen die Widerstände von R_1 und R_3 und R_2 und R_4 identisch sein. Die Speisespannung wird durch die Bezeichnung (U_B) dargestellt, hier beträgt sie 5V. In den Stromkreis der Brücke fließt der Strom über den zweiten Punkt hinein. Von dort aus fließt der Strom gleichzeitig über die Widerstände R_1 und R_4 . Auf Grundlage des zweiten Kirchhoffschen Gesetzes ist bekannt, dass Strom, der in Richtung des Uhrzeigers fließt, positiv ist. Hingegen ist er negativ, wenn er entgegen des Uhrzeigers fließt. Wie in

Abbildung 77 dargestellt, werden R_1 , R_2 und R_3 , R_4 in einer Reihe miteinander verbunden. Aus diesem Grund und wegen ihres identischen Widerstandes ist der Absolutwert von $R_1 + R_2$ und $R_3 + R_4$ äquivalent. Auf Grund des zweiten Kirchhoffschen Gesetzes ist der Ergebnis von $R_3 + R_4$ negativ. R_1 , R_2 und R_3 , R_4 sind parallel miteinander verbunden.

Daraus folgt, dass
$$R_{ges} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{-1}{R_3 + R_4} = 0 \Omega$$
, und so $U_A = R_{ges} \cdot I_{ges} = 0 \cdot I_{ges} = 0 \text{ V}$.

Dieser Zustand existiert im Ruhezustand. Wenn das Werkstück belastet wird, dehnt es sich aus. Die DMS dehnen sich mit dem Werkstoff, dadurch vergrößert sich die Länge und der Durchmesser der DMS verringert sich. Durch den kleineren Durchmesser können die Elektronen langsamer durchfließen als durch den größeren Durchmesser. Aus diesem Grund wächst der Widerstand der DMS und es ist möglich für U_A eine Spannung zu messen. Die, durch die Dehnung des Werkstoffes entstehende, geometrische Änderung der DMS ist direkt proportional zu ihrer Widerstandsänderung, sowie die Widerstandsänderung zur Spannungsänderung. Die messbare Spannung pendelt sich bei U_A von -2 bis 2 mV/V ein. Das negative Ergebnis entsteht, wenn der Werkstoff schwindet. Hier werden die Länge geringer und der Durchmesser der DMS vergrößert sich. Durch den größeren Durchmesser können die Elektronen schneller durchfließen als durch den Kleineren. In diesem Fall verringert sich der Widerstand der DMS und für U_A ist es möglich eine negative Spannung zu messen (HOFFMANN 1987 S. 144-146, GIMES 2001 S. 139-140).

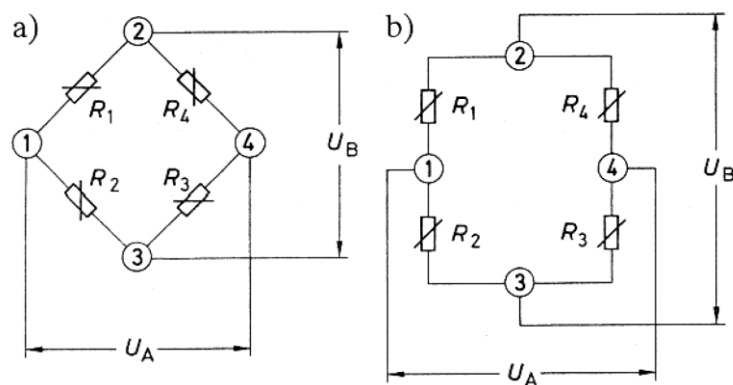


Abbildung 77: Zwei Aufbaumöglichkeiten einer Wheatstone'sche Maßbrücke (HOFFMANN 1987 S. 146)

4 ERGEBNISSE

4.1 PLANBESCHREIBUNG

Die übertragene Aufgabe bestand in der Planung und der Herstellung zweier selbstfahrender, seilzugloser Transport- und Antriebsfahrzeuge für den Steillagenweinbau. Folgende Kriterien galt es einzuhalten:

1. Die Maschinen sollten für die „Übernahme physisch anspruchsvoller Tätigkeiten, wie z. B. Abtransport des Leseguts bei der Traubenernte oder Pflanzenschutzmitteltransport bei der PSM – Applikation“ (KEICHER 2009).
2. Sie sollen geeignet sein, einfache Aufgabenbereiche wie die Laubarbeiten selbständig zu bewältigen.

Vor allem die seilzuglose Verwendung nahm die Reduzierung der Arbeitszeit und der Produktionskosten der Steillagenweine in Angriff. Eine zweite Verbesserung sollte der Einsatz eines optischen und satellitengestützten Lenksystems sein, wodurch die Maschine im Weinberg ohne Fahrer vollautomatisch navigierbar werden sollte. Daneben müssen die innovativen Fahrwerkskonzepte leichte, universell einsetzbare Maschinen mit hoher Nutzlast bei exzellenter Steigfähigkeit hervorbringen (KEICHER 2009).

Die Stachelwalzen des Einachsmähers von Brielmaier (wurde bereits vorgestellt), diente als Vorbild für den Antrieb, da Motor, Hydrauliksystem und CAN-Bus in die Walze eingebaut sind. Das elektronisch gesteuerte Hydrauliksystem, die Fernsteuerung und das GPS-Modul sollen durch CAN-Bus miteinander verbunden werden, zudem ermöglicht dies die Abfrage von Servicedaten über das Internet. Diese Methode erspart einen großen Teil an Zeit- und Fahrtkosten des Servicepersonals. Zur Unterstützung des Vor- und Rückwärtsfahrens und der Lenkung muss die Drehrichtung der äußeren Walzenteile bei den zwei bzw. drei Walzen durch ein elektronisch gesteuertes Hydrauliksystem abgestimmt werden. Die Lenkung des Zweiachsers soll „durch eine sogenannte „Panzerlenkung“ realisiert werden“ (KEICHER 2009). Lenkmanöver der Maschine geschehen über „das Abbremsen oder rückwärts Drehen der kurveninneren Walzen“ (KEICHER 2009). Daneben soll noch eine Walze in der Querrichtung bewegbar sein, um eventuelle querlaufende Unebenheiten des Bodens auszugleichen. Der Dreiachser soll über die Vorderachse gelenkt werden, daneben sollen zwei Walzen auch in der

Querrichtung bewegbar sein. Die Walzen werden durch einen Rahmen verbunden. Dieser Verbindungsrahmen soll sich in beiden Fällen zwischen zwei Walzen befinden, im Fall des Dreiachsers zwischen der ersten und zweiten Walze (KEICHER 2009).

Beide Maschinen sollen neue Arbeitsgeräte erhalten, die aber den Schwerpunkt des Maschinenkomplexes nur wenig bis kaum erhöhen dürfen. Wenn der Einbau zwischen zwei Walzen nicht möglich ist, wird lediglich ein Teil der Arbeitsgeräte darauf gebaut. Für den Transport benötigen sie eine Plattform, die konstant waagrecht stehen muss, da nur so das vorhandene Volumen vollständig ausgenutzt wird. Aus diesem Grund erfordert es ein hydraulisches Hangausgleichssystem. Im Fall des Mulchgeräts soll ein elektrischer Antrieb eingebaut werden. Hier ist es sehr wichtig, dass die Schneidmesser nicht zusammenstoßen. Der Laubschneider soll ein beidseitiges Arbeitsgerät mit elektrischem Antrieb sein und so wie beim SMS auf einen Mähbalken aufgebaut sein. Dadurch kann die Maschine die Reihen abwechselnd bergauf und bergab bearbeiten. Für das Pflanzenschutzgerät soll auch ein elektrischer Antrieb verwendet werden. Daneben sollen Pflanzenschutzflüssigkeitsdruck, -menge, sowie Luftdruck, -menge und -geschwindigkeit einstellbar sein. Das Gewicht des Pflanzenschutzgeräts mit vollem Tank soll so gering wie möglich ausfallen, so dass die Geräte damit noch einen Hang hinauffahren können (KEICHER 2009).

4.2 ANTRIEB

Wie aus der Planbeschreibung ersichtlich wird, wird der Antrieb des Brielmaier Q1 Motormähers (Abb. 18) verwendet. Dieser Antrieb musste angepasst werden. Zuerst wurden der Lenkholm und der Mähwerkhalter demontiert. Danach wurde die Breite der Walzen reduziert, da mit der Originalbreite die Rebereihen nicht zu befahren sind. Die Originalbreite betrug 1990 mm, durch die Reduzierung (Abb. 78) minimierte sich diese auf 1800 mm.

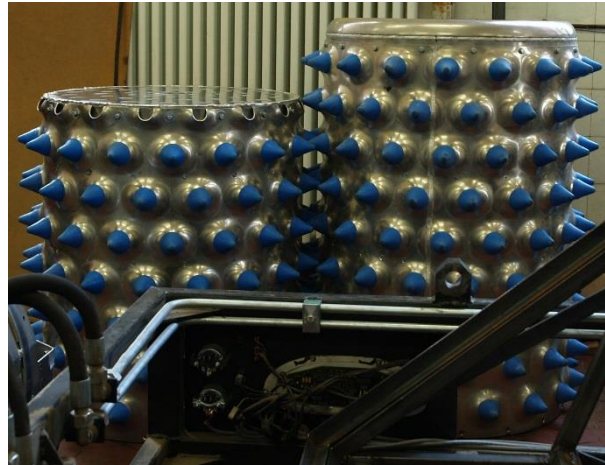
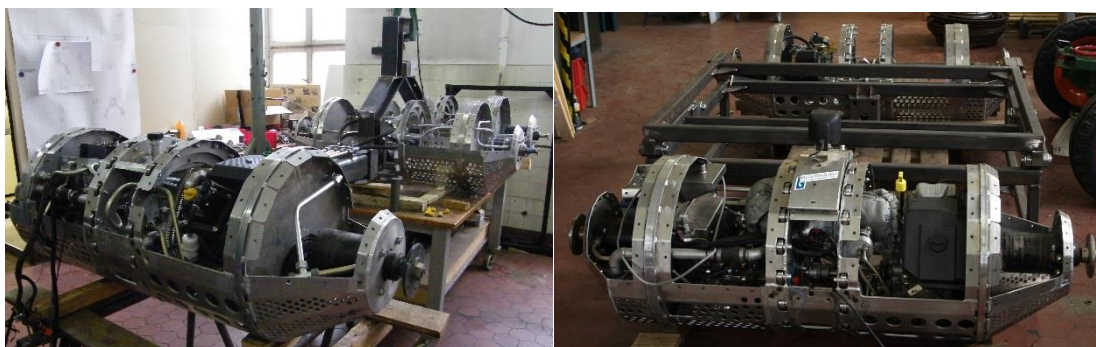


Abbildung 78: Kurze und lange Walzen

Das zweiachsige Gerät (Abb. 79) verfügt über einen Motor und ein Hydrauliksystem, welche in die erste Walze eingebaut wurden. In Fahrtrichtung links ist ein Verbrennungsmotor mit 20,4 kW (15 PS) montiert. In Fahrtrichtung rechts sind die Hydraulikpumpe und die Steuerventile angebracht. An beiden Enden des Walzenkorbs ist ein Hydromotor befestigt. In der zweiten Walze lagern zwei Hydromotoren und ein Generator mit einem Verbrennungsmotor. Der Generator liefert den Strom, welcher die Arbeitsgeräte antreibt. Die Hydromotoren werden über die Steuerventile der ersten Walze mit Öl versorgt. In die erste Walze des dreiachsigen Gerätes, wie auch des zweiachsigen Gerätes, sind ein Verbrennungsmotor mit 36,72 kW (27 PS) und das Hydrauliksystem eingebaut. In der zweiten Walze befindet sich ein Generator mit Verbrennungsmotor. Die letzten zwei Walzen sind mit den Hydromotoren bestückt. Diese Hydromotoren werden ebenfalls über die erste Walze mit Öl versorgt.



Dreiachser

Zweiachser

Abbildung 79: Einzelne Teile der Fahrzeuge

4.3 ZWEIACHSER

4.3.1 Die Verbindungswelle des zweiachsigen Geräts

Der Mährwerkhalter wird über zwei Gummiböcke durch Schrauben mit dem Walzenkorb verbunden. Für diese Konstruktion werden diese Verbindungspunkte ebenfalls verwendet. Im Fall des zweiachsigen Geräts wird eine Walze durch Gummiböcke mit dem Rahmen verbunden. Diese sind auf eine Welle aufgezogen und durch Verschraubungen am Walzenkorb befestigt (Abb. 80). In Anschluss wird ein Blech auf die Welle geschweißt. Dieses Blech wird zusätzlich durch vier M20x150 Schrauben mit dem Rahmen verbunden. Durch die Gummiböcke kann die eine Walze pendeln, während die zweite Walze über ein Stahllager (Abb. 80) mit dem Rahmen verbunden ist. Diese Lösung ermöglicht es dem Zweiachser die eventuell querlaufenden Unebenheiten des Bodens auszugleichen.

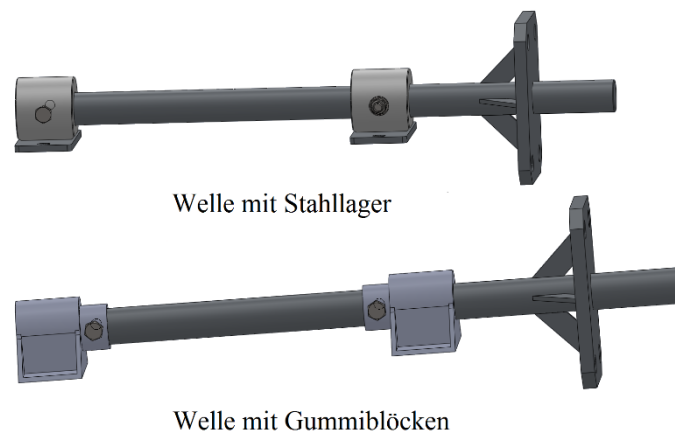


Abbildung 80: Verbindungswelle des Zweiachsers

Mittels der Finiten Element Methode werden (Abb. 81) die Wellen auf ihre Belastbarkeit hin überprüft. Der Prüfwert des Belastungstest ergibt sich aus dem Eigenmasse des Rahmens von 175 kg und seiner zusätzlichen Ladungsmasse von 400 kg. Daraus folgt, dass eine Welle während der Fahrt auf der wagenrechten Ebene 287,5 kg Masse aushalten muss. Die Methode wird für beide Wellen unter identischen Voraussetzungen durchgeführt. Der linke Befestigungspunkt wird mit einer fixierten Einspannung angegeben. Dies verdeutlichen die grünen Pfeile, von denen einige nach oben und einige nach links weisen. Der andere Befestigungspunkt wird mit einer Rolleinspannung befestigt, weshalb die grünen Pfeile nur nach oben weisen. Als Belastungsorte werden die Bohrungen des Walzenblechs und das Ende der Verbindungswelle angegeben. Wie

bereits beschrieben, wird ein Masse, von 287,5 kg (2875 N pro Teile 575 N), angegeben (lila Pfeile). Das Programm gibt das Ergebnis in Pa an. In beiden Fällen beträgt die Größe der maximalen Spannungen (σ_{\max}) zirka 76,31 MPa. Diese Spannung entsteht dort, wo sich die Konstruktion rot verfärbt. Der Werkstoff der Wellen ist 11SMn30 + C. Die, zu diesem Werkstoff gehörende, Streckgrenze beträgt 440MPa, welche auch die zulässige Spannung (σ_{zul}) ist. Aus diesen zwei Werten kann der Sicherheitswert berechnet werden. Der Sicherheitswert (n) zeigt an, wie hoch die statische Belastung auf die Konstruktion

sein darf, ohne dass diese Schaden nimmt
$$n = \frac{\sigma_{\text{zul}}}{\sigma_{\max}} = \frac{440 \text{ MPa}}{76,31 \text{ MPa}} = 5,76$$
. Die M20x150 Schrauben bestehen aus dem Material 8.8, wodurch sie auch diese Belastung tragen können. Daher ergibt sich 640 MPa als maximale Streckgrenze und zulässige Spannung.

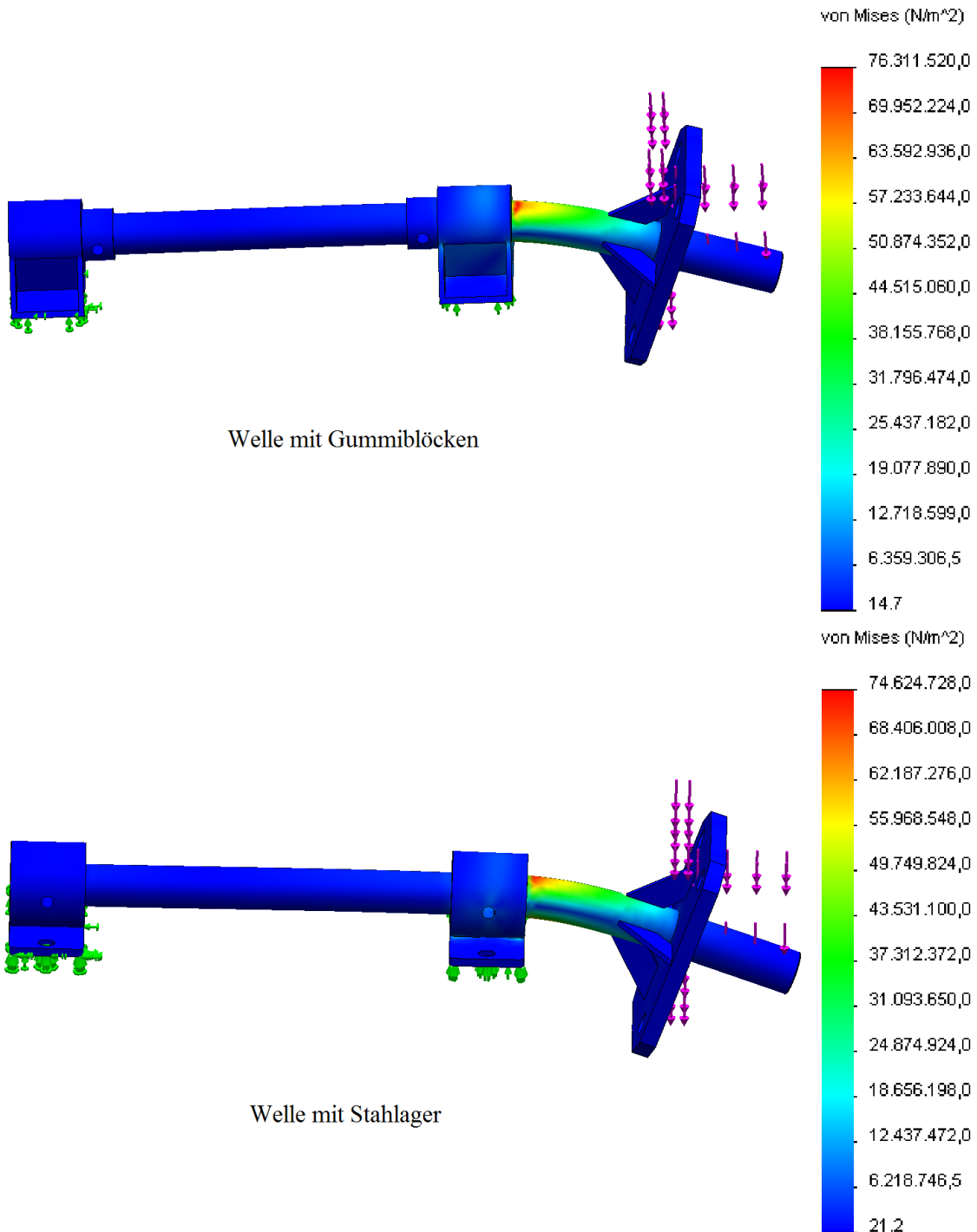


Abbildung 81: Die entstehende Spannung bei den Verbindungswellen des Zewiachsers

Wenn die Maschine in einen Hang fährt, wandelt sich ein Teil der vertikalen Belastung der Verbindungswelle in eine horizontale Belastung. Das bedeutet, dass das Drehmoment aus der vertikalen Belastung kleiner wird und eine Hangabtriebskraft entsteht. Diese Kraft übt eine Zugkraft auf die Vorderwalze aus und eine Druckkraft auf die Verbindungswelle der Hinterwalze. Durch die Neigung des Hangs wird die Hangabtriebskraft erhöht, so

dass das Drehmoment aus der vertikalen Belastung gesenkt wird. Die entstehende Spannung aus der Hangabtriebskraft ist nicht so groß wie die entstehende Spannung aus dem Differenzdrehmoment. Das Differenzdrehmoment ergibt sich aus der Differenz von Drehmoment auf der Ebene und Drehmoment im Hang. Aus diesem Grund wird dieser Zustand hier nicht anhand der Finiten Element Methode vorgestellt.

4.3.2 Erste Konstruktion

Auf Grundlage der Planbeschreibung sollen die Walzen des Zweiachsers ohne Gelenkpunkt am Rahmen befestigt werden. Außerdem darf der Rahmen ebenfalls keine Gelenkpunkt enthalten. Aus diesen Gründen wurde ein rechteckiger Rahmen (Abb. 82) geplant. Die Verbindungswellen sollen durch zwei 150x100x200 mm rechteckige Formrohre mit dem Rahmen verbunden werden. Diese Formrohre befinden sich in der Mitte des Rahmens, sie haben fünf Bohrungen. In die mittlere Bohrung rastet der Welleschenkel der Verbindungswelle ein. Durch die anderen Bohrungen wird der Rahmen mit der Verbindungswelle durch 4 M20x150-er Schrauben befestigt.



Abbildung 82: Erster Rahmen des Zweiachsers

Durch die Finite Element Methode wird überprüft, ob der Rahmen einer Ladungsmasse von 400kg Stand hält (Abb. 84-85). Die Prüfung durch das Programm konnte nur erfolgen, nachdem der Rahmen in vier Teile aufgeteilt wurde und ein Blech auf der Plattform befestigt wurde. Dieses Blech dient nur der Berechnung innerhalb des Programms, ist in der Realität aber nicht auf das Gerät montiert worden. Das Programm kann so errechnen, ob die Formrohre der Belastung Stand halten können. Dieser Fall stimmt nicht mit der Realität überein. Durch dieses Blech wird die 4000 N Belastung auf alle Formrohre verteilt. Die Verbindungspunkte der Plattform wurden im Programm alleine für die Berechnung über eine fixierte Einspannung unbeweglich dargestellt, um so die Belastung zu berechnen. Das Programm hat nach der Eingabe der Daten eine ca. 32,7 MPa (Abb. 84) hohe Spannung errechnet. Als Werkstoff wird S 235 JR verwendet, weshalb die zulässige Spannung (σ_{zul}) 235 MPa hoch ist. Aus diesen Werten wird der Sicherheitswert $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{32,7 \text{ MPa}} = 7,19$ berechnet. Im Idealfall wird sich die Masse

gleichmäßig verteilen. Dann leiten die Verbindungspunkt der Plattform einen 1118 N hohen Druckkraft auf die anderen Teile, den Grundrahmen und den Hebelarm ab. Die zu dieser Konstruktion gehörende Plattform kann mechanisch auf 35,06; 29,21; 22,9 und 0° eingestellt werden. Wie bereits beschrieben, wirkt bei einer Einstellung von 35,06° die größte Belastung auf den Hebelarm, bei 0° jedoch keine. Die Größe der wirkenden Kraft im Hebelarm musste errechnet werden, um die Finite Element Methode durchzuführen. Um diese Simulation durchführen zu können, musste die Richtung der wirkenden Kraft eingegeben werden. Als Grundlage für diese Berechnung dient eine Skizze (Abb. 83), in die ein senkrecht Dreieck eingezeichnet ist. Eine Hypotenuse ist durch die wirkende Kraft von 1118 N gegeben, die Kathete muss für die Berechnung der Kraft F_1 errechnet werden. Die Kraft F_1 wird durch eine Sinusfunktion errechnet.

$$\sin 25,6^\circ = \frac{F_1}{1118 \text{ N}} \Rightarrow F_1 = \sin 25,6^\circ \cdot 1118 \text{ N} = 483,07 \text{ N} \approx 483 \text{ N}$$

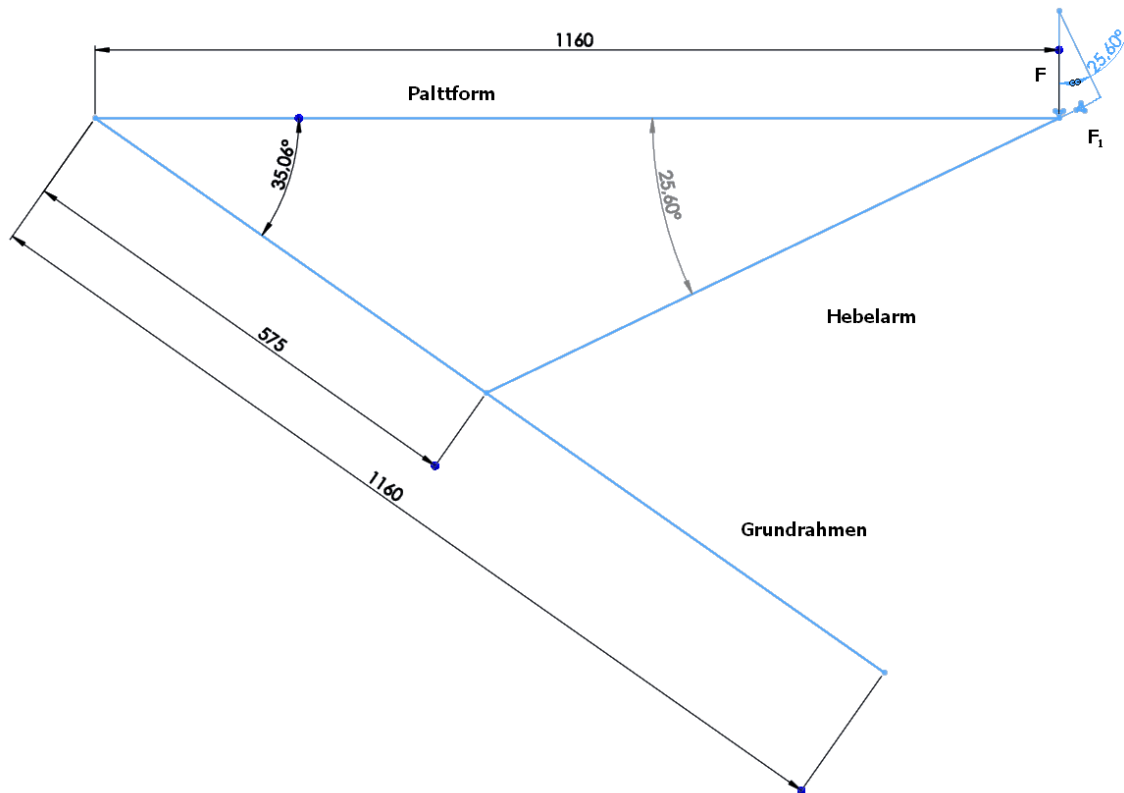


Abbildung 83: Skizze des Rahmens

Am Hebelarm musste für dessen unteren Verbindungspunkt ebenfalls eine fixierte Einspannung eingegeben werden. Die Einzelkraft von 483 N wird auf den oberen Verbindungspunkt platziert, pro Scharnier 241,5 N. Für diesen Teil wurde die Werkstoffsorte S 235 JR verwendet. So ergibt sich eine maximale Spannung von ca. 2,6 MPa (Abb. 84) und der dazugehörige Sicherheitswert beträgt

$$n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{2,6 \text{ MPa}} = 90,38.$$

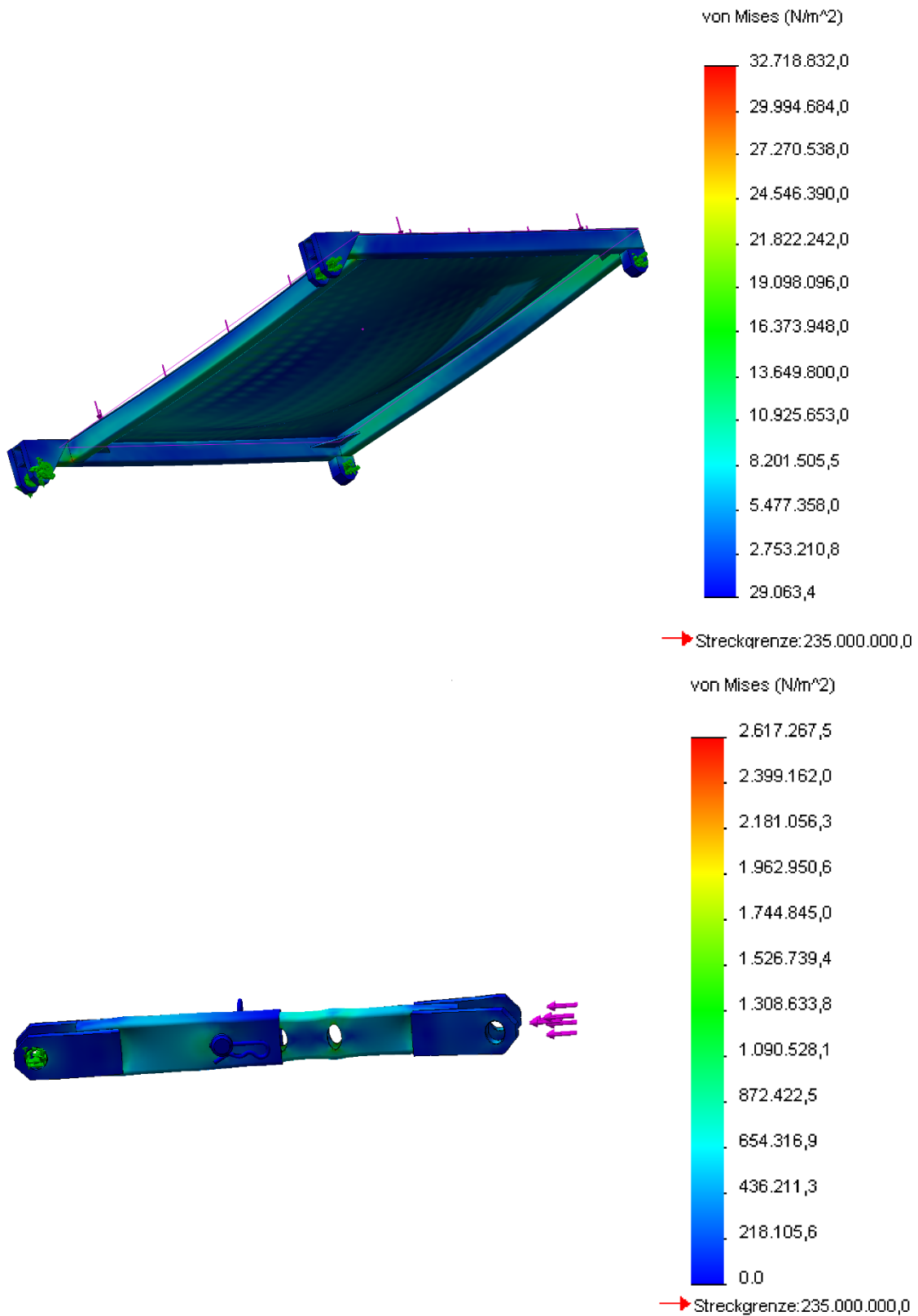


Abbildung 84: Finite Element Methode der Plattform und des Hebelarms (erste Version)

Der Verbindungsbolzen, der den Grundrahmen und die Plattform miteinander verbindet, muss ebenso einer Prüfung unterzogen werden. Am Kopf des Bolzens werden eine fixierte Einspannung sowie ein Einrollenlager eingegeben. Die zweite Einspannung befindet sich an der Bohrung am Ende des Bolzens. Auf den Deckmantel des Bolzens wird 1118 N Belastung platziert (Abb. 85). In diesem Fall steht die Maschine auf der waagerechten Ebene. Das Ergebnis beträgt 14,05 MPa. Der Werkstoff des Bolzens ist

11SMn30+C. So ergibt sich ein Sicherheitswert von $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{440 \text{ MPa}}{14,05 \text{ MPa}} = 31,32$. Der

Grundrahmen trägt die größte Belastung bei einer Plattformeinstellung von 0°. Für die Finite Element Methode des Grundrahmens (Abb. 85) werden zwei Scharniere auf dem Grundrahmen platziert. Durch diese Scharniere stützt sich die Plattform auf den Rahmen. Diese Scharniere und die, in Fahrtrichtung, ersten Scharniere werden mit 1118 N belastet. Für die Frontoberfläche der Formrohre, welche in den Grundrahmen eingefügt sind, werden erneut eine fixierte und ein Einrollenlager eingegeben. Nach der Durchführung der Finiten Element Methode ist die höchstmögliche Spannung 40,47 MPa. Alle Teile bestehen aus S 235 JR als Werkstoffsorte, so beträgt für alle Teile der Sicherheitswert

$n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{40,47 \text{ MPa}} = 5,81$. Aus diesen Ergebnissen folgt, dass die Konstruktion sicher

die Ladungsmasse von 400 kg sicher tragen kann.

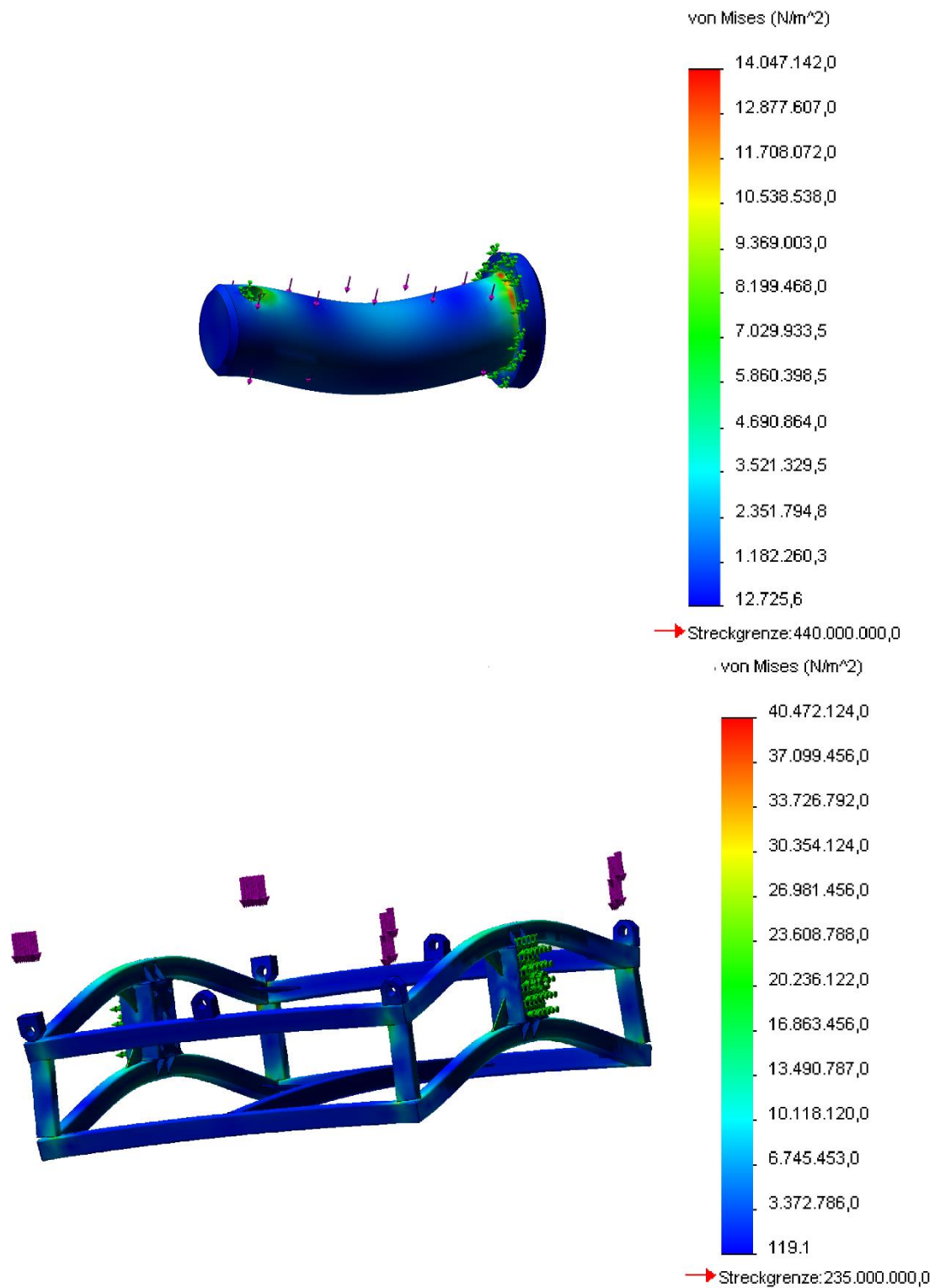


Abbildung 85: Finite Element Methode der Verbindungsbolzen und des Rahmens (erste Version)

Wie vorher schon beschrieben, kann die Plattform nur mechanisch eingestellt werden. Doch die Planbeschreibung sieht eine stufenlose Plattformeinstellung vor. Aus diesem Grund werden zwei Hydraulikzylinder statt der Hebelarme eingebaut (Abb. 86). Diese Lösung stellte sich ebenfalls als problematisch heraus, da eine voll beladene Kiste auf der Plattform dafür sorgt, dass sich der Schwerpunkt der Maschine erhöht. So wird die Konstruktion der Maschine in ihrer Querrichtung instabiler werden. Aus diesem Grund wurde eine Plattform (Abb. 86) gebaut, die man im Rahmen einklappen kann, so dass der Schwerpunkt niedriger als bei der ersten Konstruktion liegt.

Außerdem wurde ein Kistenhalter mit zwei Kisten (Abb. 86 unteres Bild) geplant, der auf der ersten Walze platziert werden sollte. Zuerst befanden sich in diesen Kisten die DMS – Verstärker und die elektronischen Messgeräte, welche zur DMS - Messung benötigt werden. Später befanden sich die Steuerungselemente für die elektronische Lenkung und zum Anlassen der Maschine darin. Durch diese Kisten werden die elektrischen Geräte vor Staub und Feuchtigkeit geschützt (Abb. 87).

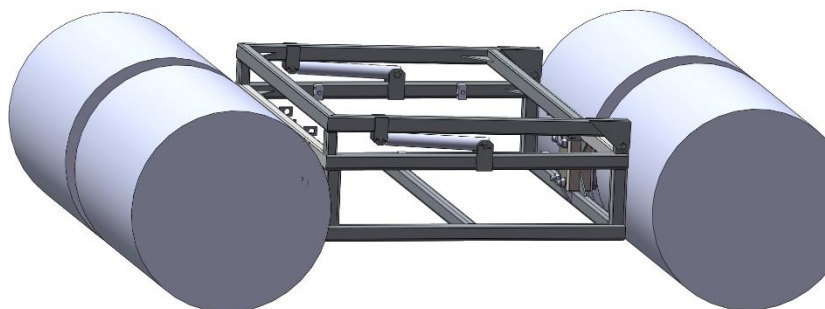


Abbildung 86: Plattformversionen



Abbildung 87: Kiste mit den elektronischen Steuerteilen

Lenkung

Die Lenkung des Motormähers wird durch ein elektrohydraulisches System gesteuert, dass die elektronische Steuerung von Wege - und Drosselventile ermöglicht. Für die Lenkung des Zweiachsers mussten noch zwei Hydromotoren und zwei Stromteilerventile im Hydraulikkreis des Motormähers eingebaut werden. In diesem Hydraulikkreis werden die Hydromotoren in einer Reihenschaltung miteinander verbunden. So ist der Förderstrom im ganzen Kreis immer gleichbleibend groß, dadurch ist die gleiche Drehzahl für alle Hydromotoren gesichert. Die Drehzahl der Hydromotoren ist direkt proportional zur Größe des Förderstroms. Der Druck ist in diesem Fall aber nicht gleichmäßig. Er fällt mit jedem weiteren Verbraucher weiter ab. Das abgebende Drehmoment des Hydromotors hängt vom Druck des Hydraulikkreises ab. Wenn die Hydromotoren nacheinander eingebaut würde, dann wäre der Druck am letzten Hydromotor vier Mal kleiner, als am ersten Hydromotor. Aus diesem Grund wurde ein Stromteilerventil für die zwei Hydromotoren benötigt (Abb. 88). So ist es möglich, dass die Maschine pro Hydromotor, also pro äußeres Stahlwalzenteil, ein gleichmäßig großes Drehmoment abgeben kann. Das Stromteilerventil verteilt den durch die Pumpe laufenden Förderstrom und den Druck. Der Förderstrom fließt lediglich hinter und vor den Hydromotoren gleichmäßig, so ist der Druck nach den Hydromotoren geringer als vor ihnen. Dieser Druckabfall ist gleich mit dem Druck, der das Drehmoment für die Maschinenbewegung ermöglicht. Dieser darf für die ersten zwei Hydromotoren nicht mehr als 100 bar betragen, da der größte Druck innerhalb des Hydraulikkreises 200 bar beträgt. Wenn dieser Druck höher wäre, könnten die letzten zwei Hydromotoren weniger Drehmoment abgeben. Dies wird durch ein Druckbegrenzungsventil gesichert.

Der Zweiachser musste einen ähnlichen Lenkungsmechanismus besitzen wie ein Panzer. Aus diesem Grund wurden die Hydromotoren (VL, HL), welche an der linken Seite der

Maschine platziert wurden, mit einem Stromteilerventil verbunden und die anderen zwei (VR, HR) mit einem anderen Stromteilerventil (Abb. 88). Die Stromteilerventile werden vor den Wegeventilen eingebaut, welche die Fahrt vorwärts und rückwärts steuern. Im Hydraulikkreis der Maschine befinden sich noch die Wege - und Drosselventile. Durch diese Wegeventile und die dazugehörenden Drosselventile ist es möglich, während des Biegens die Drehzahl der Hydromotoren zu regeln (Abb. 89-90). Während der Fahrt geradeaus (Abb. 88) sind beide Wege - und Drosselventile geschlossen. Wenn die Maschine nach links abbiegt, öffnet das Steuerungssystem das linke Wegeventil. Durch das Drosselventil dieses Wegeventils kann das Steuerungssystem den Lenkungsradius steuern. Wenn es offen ist, drehen die linken Hydromotoren nicht. Wenn es nicht vollständig offen ist, drehen die linken Hydromotoren, aber nicht mit der vollen Drehzahl. Die Größe der Drehzahl hängt von der Öffnung des Drosselventils ab (Abb. 89-90). Für die andere Seite ändert sich die Drehzahl der Hydromotoren nicht, da sich die Größe des Förderstroms auch nicht ändert. Dies gilt ebenfalls für die rechte Seite, mit den rechtsseitigen Komponenten.

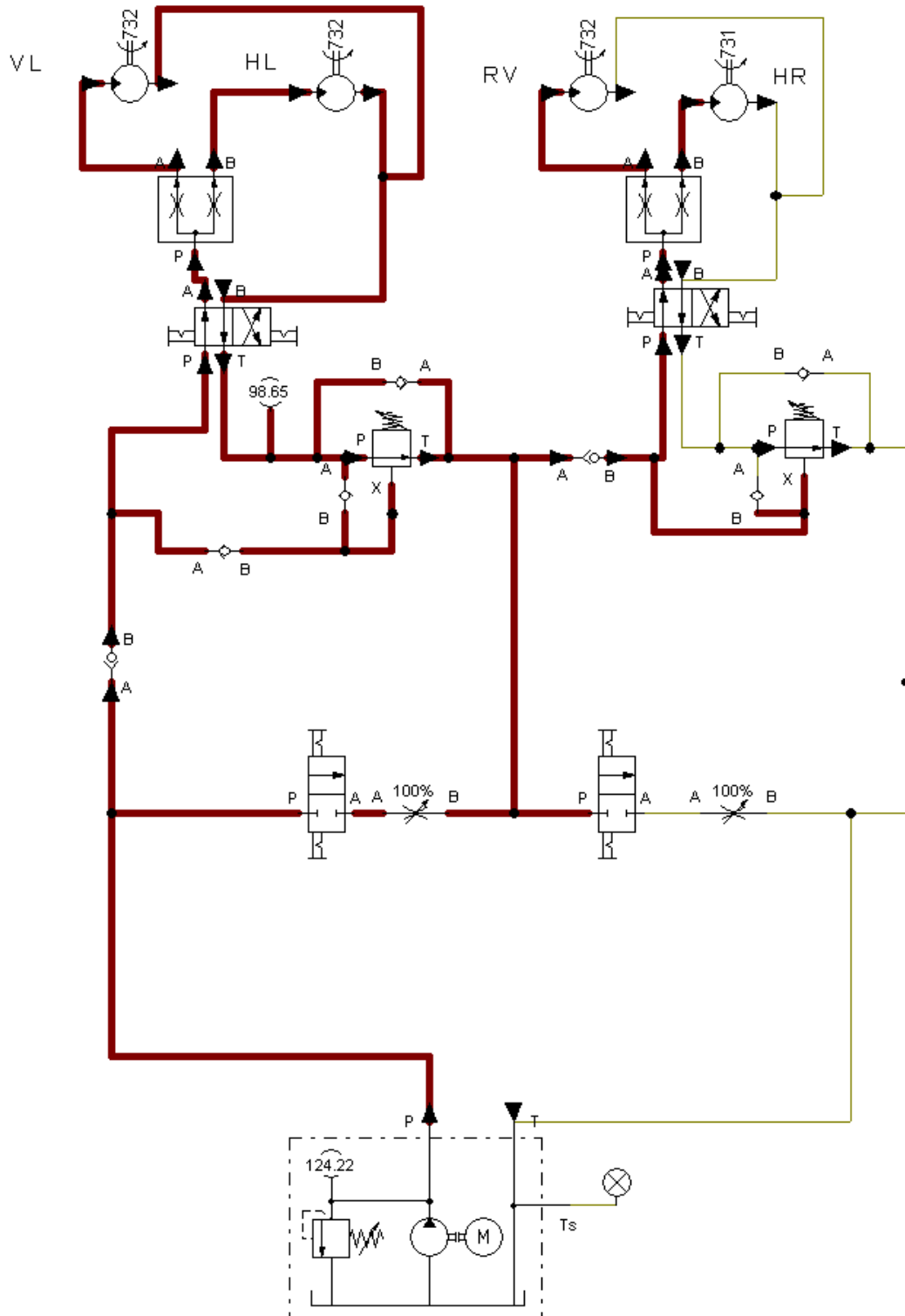


Abbildung 88: Hydraulikkreis des Zweiachters bei Geradefahrt

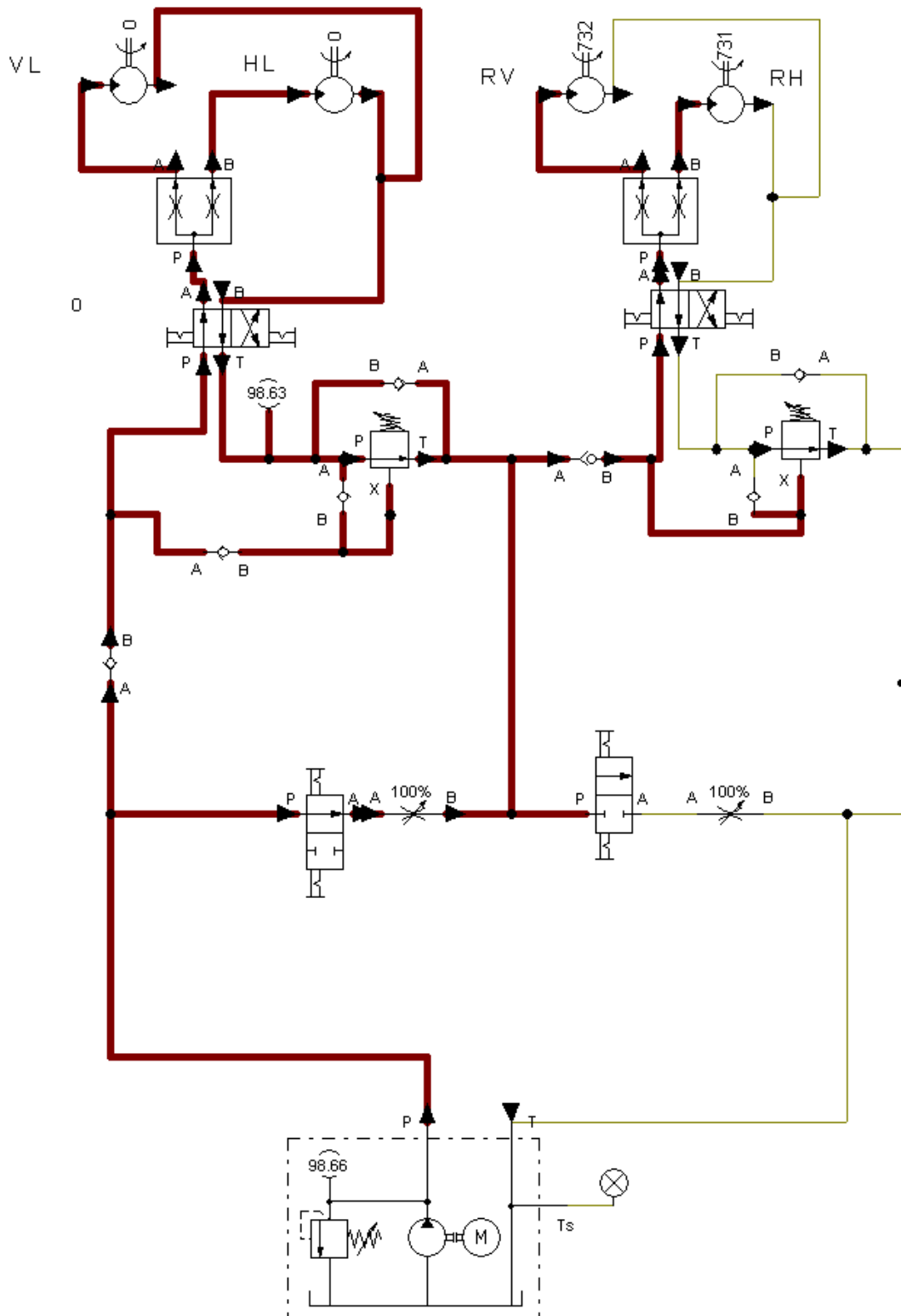


Abbildung 89: Hydraulikkreis des Zweiachsers während der Lenkung nach links mit 50% Drosselventilöffnung

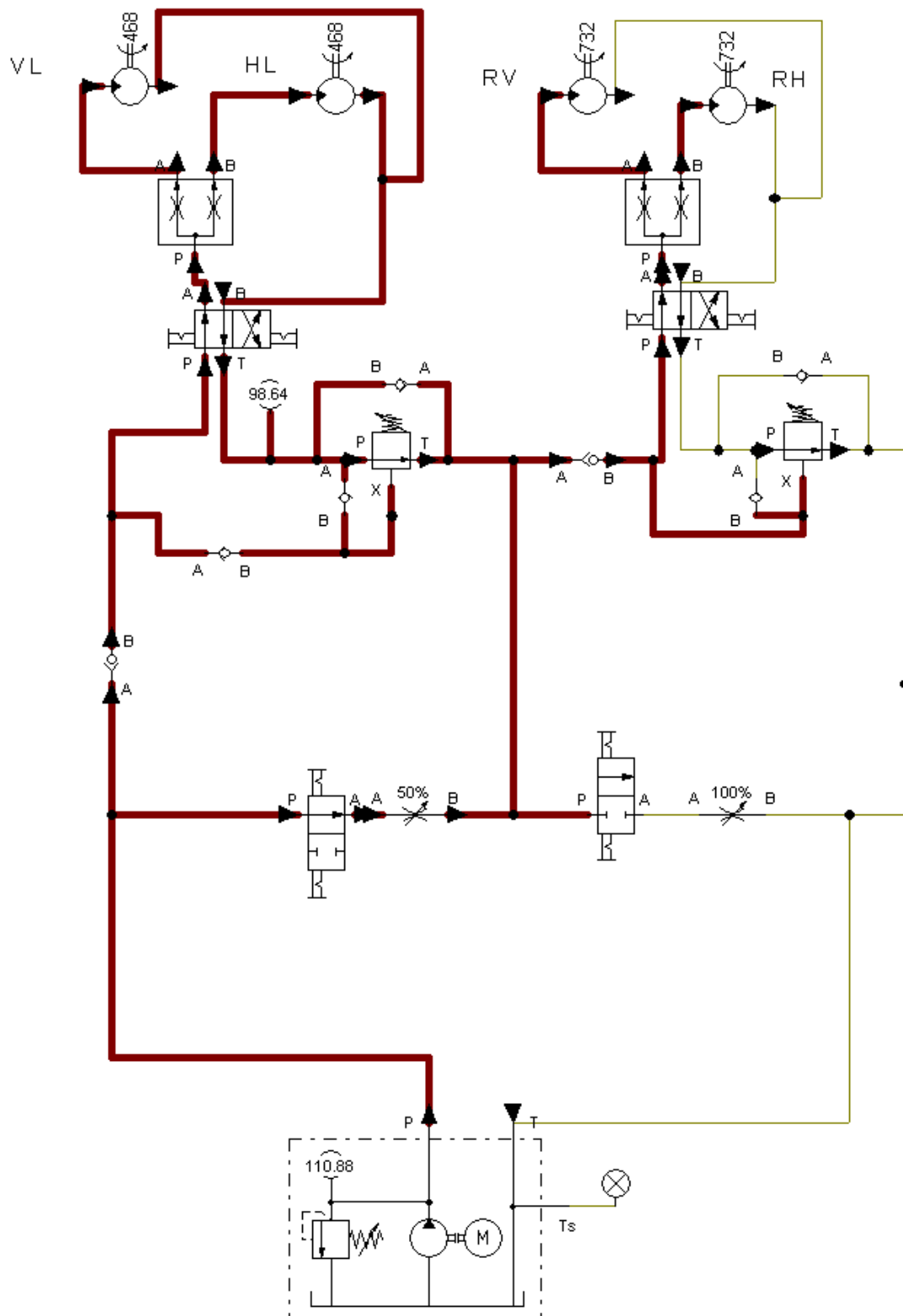


Abbildung 90: Hydraulikkreis des Zweiachlers während der Lenkung nach links mit 100% Drosselventilöffnung

Wenn die Maschine rückwärtsfährt, dann fließt das Hydrauliköl nicht durch ein Stromverteilterventil, sondern direkt in die Hydromotoren. In diesem Fall ist ein gleichmäßiger Druck und Förderstrom für beide Hydromotoren nicht gesichert. Aus diesem Grund dreht der Hydromotor mit der doppelten Drehzahl des Normalfalls, wenn das dazugehörige Walzenteil in der Luft steht, während das andere Walzenteil stehen bleibt. Daraus folgt, dass das Hydrauliköl in diesem Fall immer in Richtung des kleineren Widerstands fließt (Abb. 91).

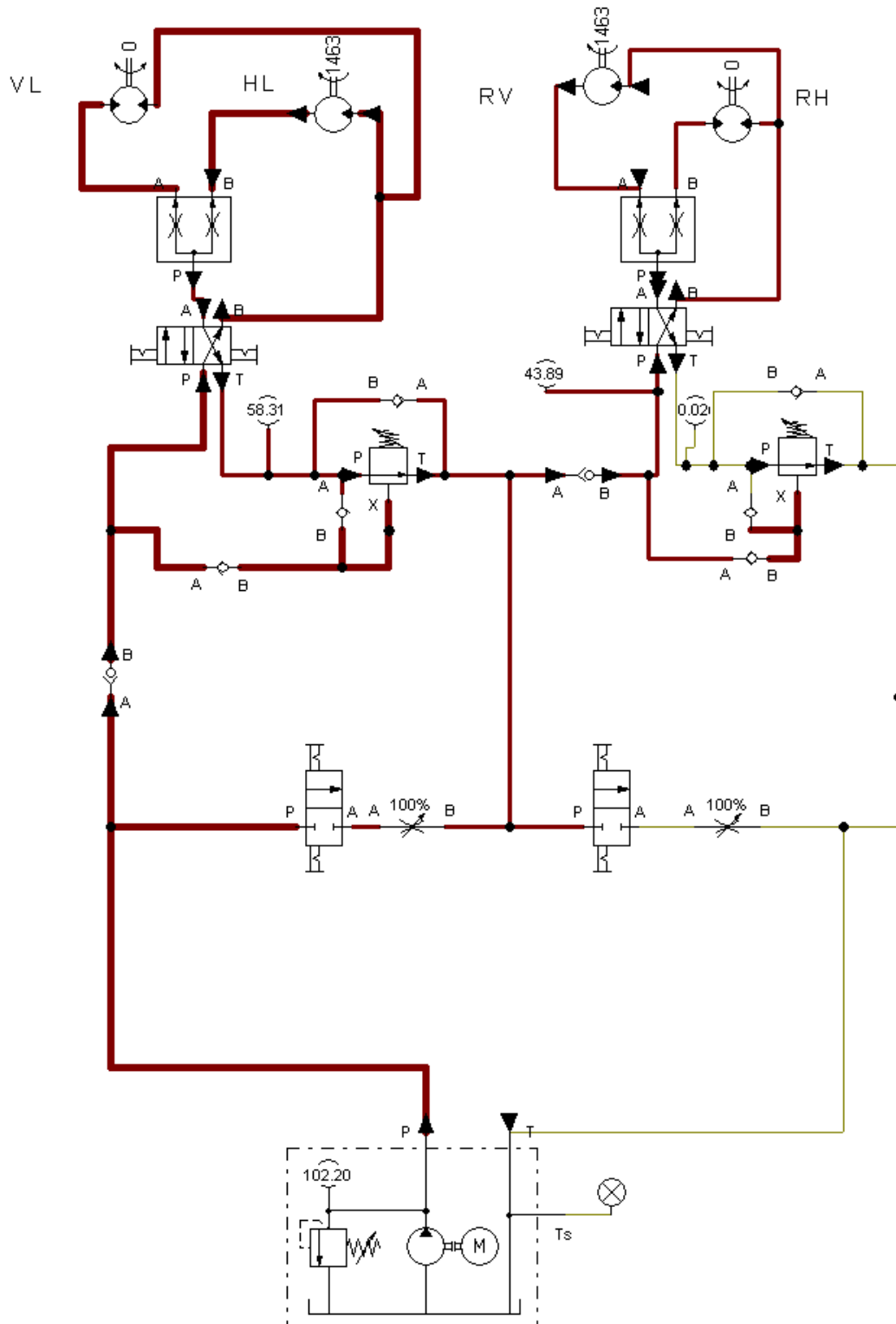


Abbildung 91: Hydraulikkreis des Zweiachsers bei der Rückwärtsfahrt

Die Lenkung der Maschine funktioniert so wie die eines Panzers. In diesem Fall kann sich die Maschine nicht um den eigenen Mittelpunkt drehen. Die erste Version des Rahmens erwies sich in der Praxis als problematisch. Dieser ermöglichte eine präzise Fahrt geradeaus, aber das Abbiegen war nur schwer möglich. Ein äußerer Walzenteil ist 825 mm lang. Zum Abbiegen müssten die Walzenteile rutschen können, dies ist aufgrund der aufmontierten Spitzen und der sehr großen Auflagefläche zwischen den Walzen und dem Boden unmöglich. Daneben ist der Abstand zwischen den äußeren Walzenteilen, im Gegensatz zu den Zwischenräumen zwischen den Ketten eines Panzers, sehr klein. So besitzt die Maschine eine sehr schlechte Navigationsfähigkeit, weshalb für das Abbiegen um 180° viel Platz notwendig war.

Wie bereits beschrieben wurden pro Verbindungswelle vier T – Rosetten (DMS) aufgebracht. Diese DMS ermöglichen die Messung der Wellendehnung, welche während des Lenkvorgangs sehr hoch war. Außerdem stellte sich heraus, dass der tatsächliche Schlupf um ein Vielfaches größer war als der berechnete Schlupf des Idealfalles (Abb. 92). Die Modifizierung des Rahmens würde für eine bessere Lenkfähigkeit, die Reduzierung des Schlupfs und der Dehnung der Verbindungswellen sorgen. Im Mittelpunkt dieser Änderung lag die Manövrierfähigkeit. Daneben musste noch die Belastung der Verbindungswellen reduziert werden. Daher fiel das Votum auf die Knicklenkung.

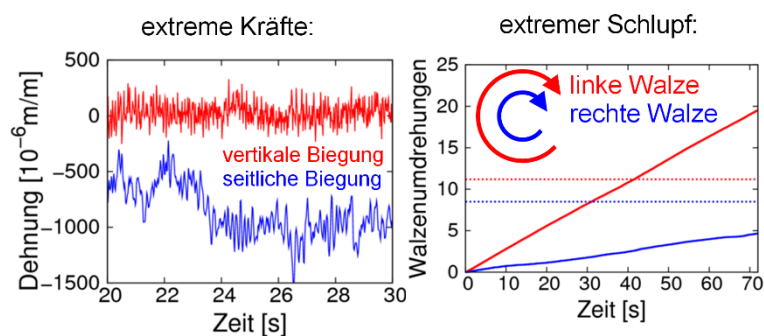


Abbildung 92: Dehnung und Schlupf (Die Punktlinien sind die berechneten Daten, die fließende Linien sind die gemessenen Daten) (Brunner 2012 S. 22-23)

4.3.3 Zweite Konstruktion

Da sich Probleme bezüglich des Gelenkpunkts zeigten, musste der Rahmen der zweiten Konstruktion (Abb. 93) erneut geplant bzw. modifiziert werden. Dies führte dazu, dass die Konstruktion um ein Vielfaches vereinfacht und die Manövrierfähigkeit verbessert wurde. Im Nachhinein zeigten sich Probleme während der Fahrt geradeaus. Die Maschine schwenkte bei lockerem Boden unter einem Außenwalzenteil auch in die Richtung des lockeren Bodens. Zudem zeigten sich Verzögerungen in der Reaktionszeit des Fernsteuerungsgeräts dahingehend, dass die Maschine nicht reagierte, wenn der Steuerhebel bei einer Richtungskorrektur zu sachte bewegt wurde. Der Steuerhebel musste stark bewegt werden, damit die Maschine reagierte. Jedoch setzte die Maschine diese starke Hebelbewegung mit einer sehr starken Bewegung um, sodass direkt nachgesteuert werden musste. Dieses Reaktionsproblem sorgte dafür, dass die Maschine in den Reihen nicht geradeaus fahren konnte. Der Einbau eines Winkelsensors bot sich an, um dieses Problem zu lösen, denn dieser erkennt die Lenkbewegungen der Maschine. Im nächsten Schritt wurde die Empfindlichkeit des Fernsteuerhebels nachjustiert werden. Der Lenkradius dieses Rahmens beträgt 2,5 m.

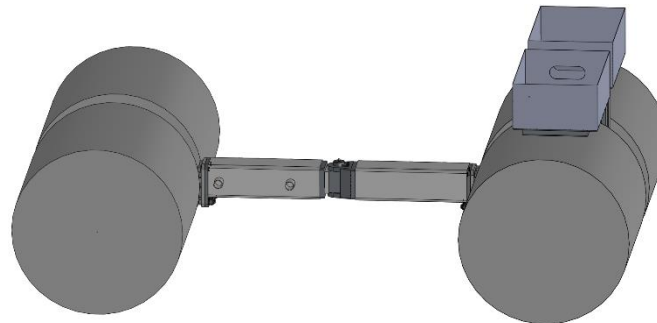


Abbildung 93: Zweite Konstruktion des Rahmens

Für diesen Rahmen werden dieselben Verbindungswellen (Abb. 80 und 81) wie bei der ersten Konstruktion verwendet. Wegen der leichteren Rahmenmasse (ca. 70 kg) werden diese Teile nicht so belastet, wie bei der ersten Version der Konstruktion. Daraus folgt, dass in diesem Fall auch die Verbindungswellen ihre Belastung ohne Beschädigung standhalten können. Der Rahmen wird mit den Verbindungswellen durch das Endblech des Quadratrohrs verknüpft. Dieses Endblech besitzt, wie das Blech der Verbindungswelle auch, fünf Bohrungen. Jedoch liegen für die oberen zwei Bohrungen Gewindebohrungen vor, da das beidseitig zugeschweißte Quadratrohr des Rahmens das

Aufschrauben der Mutter auf die Schrauben verhindert. Die zweite Neuerung wird durch die vier Rohre erkennbar, welche auf die Seiten des Quadratrohrs geschweißt wurden. Sie dienen als Verbindungspunkt für die Arbeitsgeräte. Die Konstruktion wird auch daraufhin überprüft, ob sie der vorgeschriebenen Belastung standhalten kann. Aus diesem Grund werden in der Finiten Element Methode 1000 N Belastung auf diesen Rohren platziert. Die Oberfläche des Endblechs des Quadratrohrs wird als ein Einspannungsort mit der fixierten Einspannung angegeben. Die verwendete Werkstoffsorte der Formrohre und der Flachstähle ist S 235 JR. Der Bolzen im Gelenkpunkt besteht aus 11SMn30 + C und das Gleitlager aus CuSn12. Die verwendeten Schrauben sind aus dem Werkstoff 8.8 und 4.6 gefertigt und die Muttern gehören der achten Festigkeitsklasse an. Nach der Berechnung der Finiten Element Methode (Abb. 94) ist die maximale Spannung ca. 7,3 MPa hoch. Aus diesem Ergebnis resultiert der errechnete Sicherheitswert von

$$n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{7,3 \text{ MPa}} = 32,2$$

. Durch diesen Rahmen wird auch die Belastbarkeit verbessert.

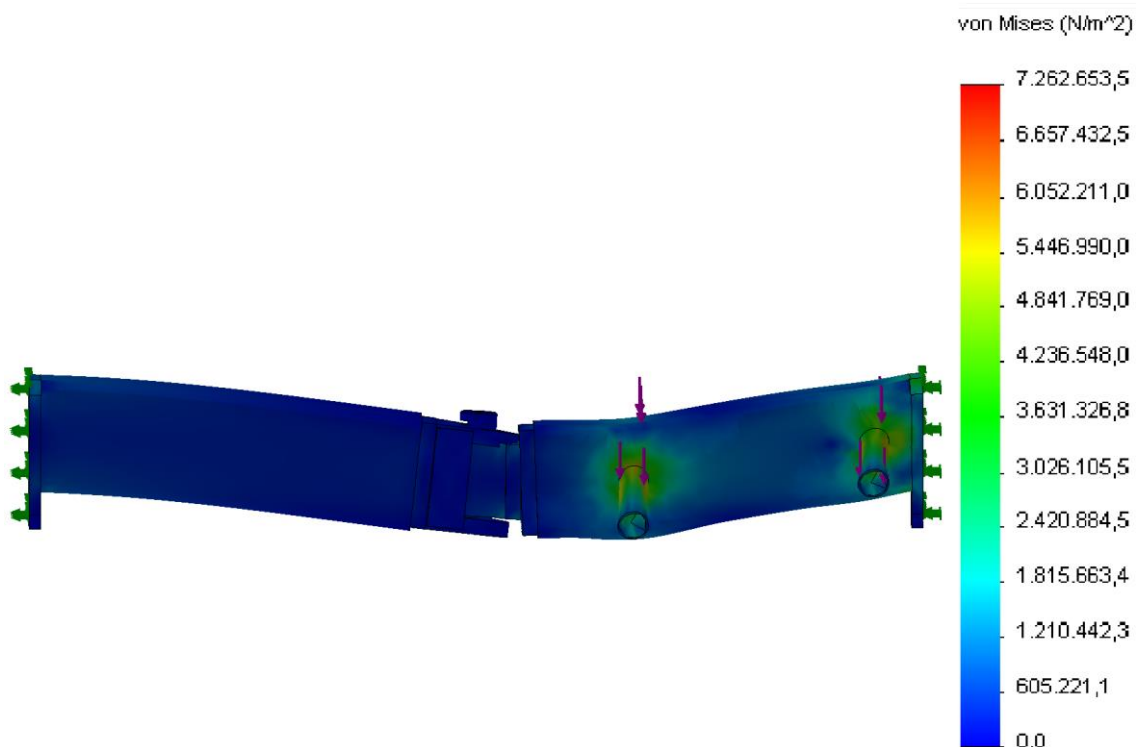


Abbildung 94: Finite Element Methode der zweiten Konstruktion

4.3.3.1 Lenkung

Für die Knicklenkung musste auch das Hydrauliksystem verändert werden. In diesem Fall werden die diagonalen Hydromotoren miteinander verbunden (VL mit HR und VR mit HL) (Abb. 95). Wenn das Fahrzeug nach links abbiegt und das Drosselventil vollständig geöffnet ist, bleiben der vordere linke Hydromotor und der hintere rechte Hydromotor stehen. Die anderen zwei Hydromotoren drehen weiter. Aus diesem Grund wird der Rahmen am Knickpunkt nach rechts bewegt, so dass sich die Enden des Rahmens nach links zusammenstauchen. Hier wird die Steuerung des Lenkradius durch die Drosselventile ermöglicht. Während der Fahrt rückwärts fließt das Hydrauliköl hier auch nicht durch ein Stromverteilerventil. So funktionieren die Hydromotoren genauso, wie bei der ersten Konstruktion.

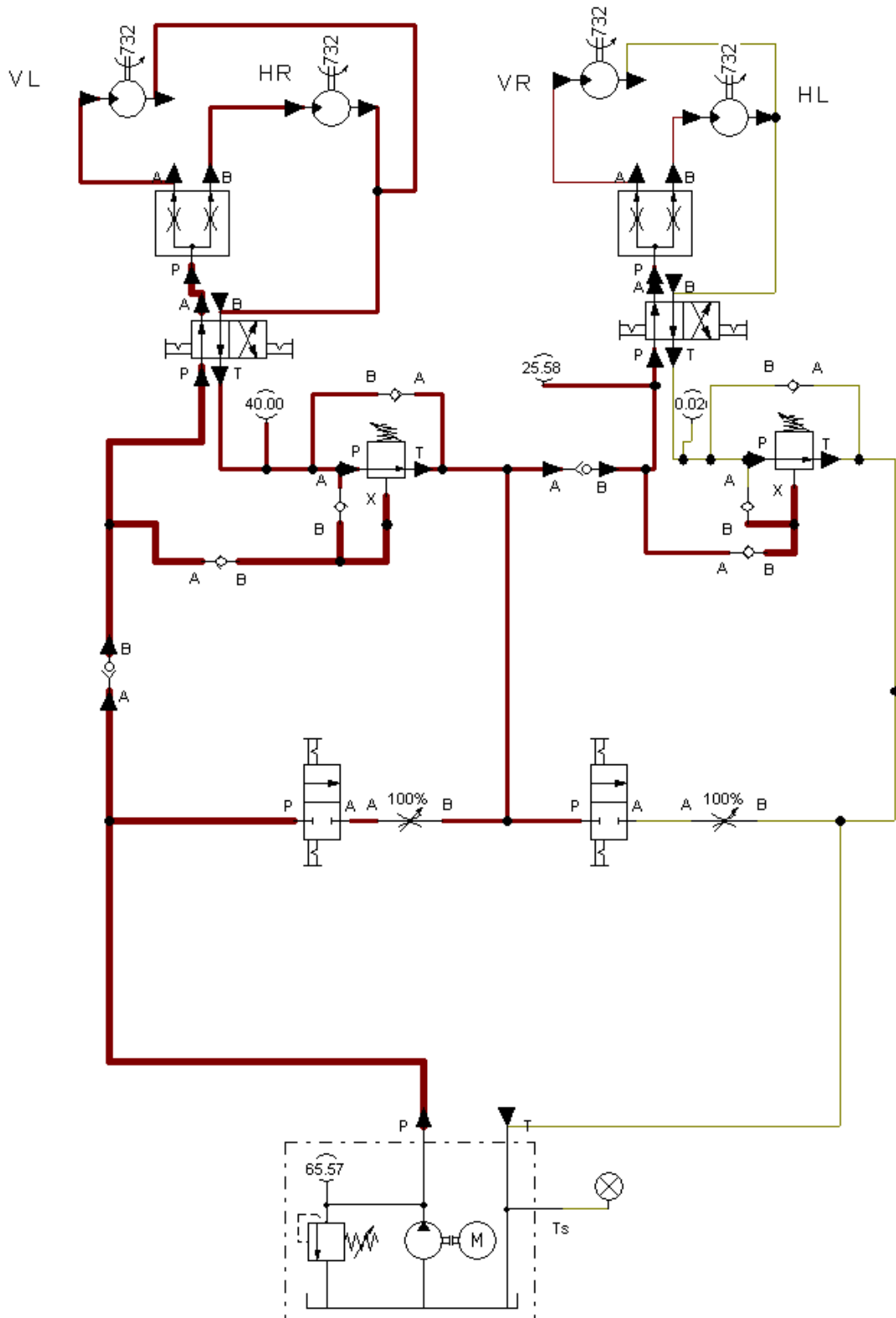


Abbildung 95: Hydraulikkreis der Knicklenkung (Bei gerader Fahrt)

Durch die Knicklenkung wird der Schlupf und die Belastung auf die Verbindungswelle reduziert. Der Schlupf ist in diesem Fall gleich dem berechneten Schlupf (Abb. 96).

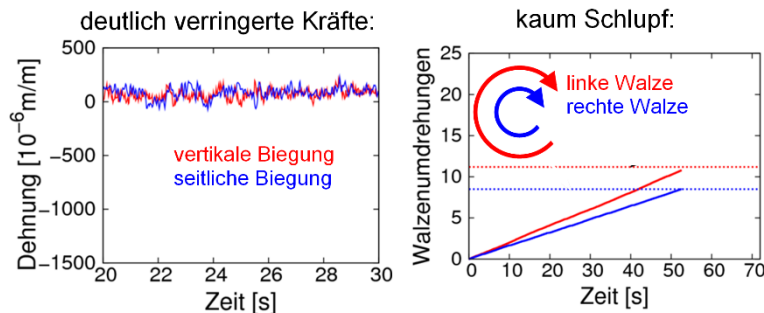
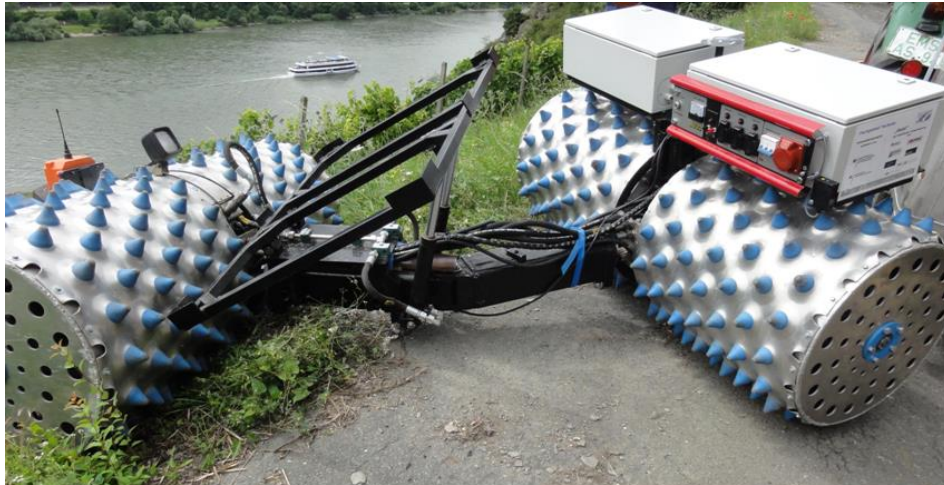


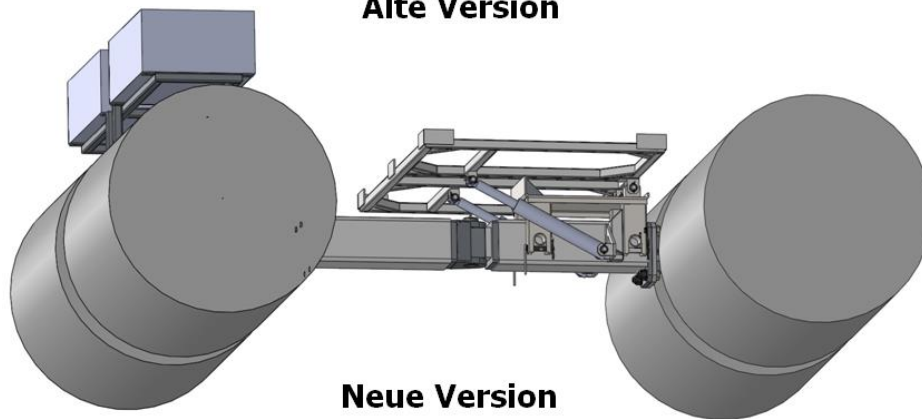
Abbildung 96: Dehnung und Schlupf für die Knicklenkung (Die Punktlinien sind die berechneten Daten, die fließende Linien sind die gemessenen Daten) (BRUNNER 2012 S. 22-23)

4.3.3.2 Plattform

Für den Rahmen wurde eine abnehmbare Plattform konstruiert. Die höchst mögliche Neigung dieser Plattform beträgt auf Grund der Konstruktionsgeometrie $26,11^\circ$. Die Plattformneigung ist durch die Hydraulikzylinder stufenlos einstellbar. Hier (Abb. 97) ist ein Konstruktionsfehler unterlaufen. An dieser Stelle wird der Gelenkpunkt nicht berücksichtigt. Dadurch haben die Hydraulikzylinder das Lenkverhalten beeinträchtigt. Wenn die Plattform abgelassen wurde, befanden sich die Zylinder neben dem Gelenkpunkt. Das Abbiegen der Maschine war zwar möglich, aber nicht so effektiv, wie mit einer angehobenen Plattform. Aus diesem Grund werden die Zylinder neben den Grundrahmen der Plattform platziert. Zudem wird das Blech des Grundrahmens durch das Anbringen von vier Laschen verstärkt (Abb. 97).



Alte Version



Neue Version

Abbildung 97: Die Versionen der Plattform

Die Arbeitsgeräte werden durch einen Grundrahmen mit dem Rahmen zusammengefügt. Der Grundrahmen wird durch die rechteckigen Formrohre und die Bolzen mit den Rohren des Rahmens verbunden. Die Bolzen halten die Fallbewegung des Grundrahmens auf und befestigen Arbeitsgerät und Zugmaschine miteinander. Die verwendete Werkstoffsorte ist S 235 JR. Der Ausnahmefall sind die Bolzen, sie bestehen aus der Werkstoffsorte C45 + C. Natürlich wird die Finite Element Methode auch in diesem Fall durchgeführt (Abb. 100-102). So wie bei erster Konstruktion musste auch diese Konstruktion in vier Teile aufgeteilt werden und ein Blech auf der Plattform aufgebracht werden. Zuerst wird die Methode beim Plattformteil durchgeführt. In diesem Fall wird Belastung durch 400 kg Ladungsmasse auf das Blech platziert und die fixierte Einspannungen an den Verbindungspunkten eingegeben. Das Programm hat ca. 104 MPa (Abb. 100) als höchste

Spannung berechnet. Der berechnete Sicherheitswert beträgt demnach

$$n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{104 \text{ MPa}} = 2,26.$$

Danach mussten Richtung und Größe der wirkenden Kräfte für die Verbindungspunkte des Grundrahmens definiert werden. Zuerst mussten die Tragkräfte der Verbindungspunkte der Plattform berechnet werden, aus diesem Grund wurde die Plattform mit ihren Verbindungspunkten (A und B) modelliert (Abb. 98). Im Idealfall wird die Masse der Ladung und der Plattform gleichmäßig verteilt. Das bedeutet, dass beide Seiten mit der gleichen Masse von 207,5 kg belastet werden. Am Punkt B ist der Träger aufgeteilt. Aus diesem Grund musste es berechnen, wie viel Belastung auf der Plattform rechts des Punktes B und links des Punktes B liegen. Durch einen Prozentrechnung wird errechnet, dass 550 mm 68,32% von 805 mm sind. Auf die Strecke zwischen den Verbindungspunkten des Trägers entfallen 68% von 215 kg, daraus ergibt sich $207,5 \cdot 0,6832 = 141,76 \text{ kg} \approx 142 \text{ kg}$. Dies ist identisch mit der Kraft 1420 N. Auf den anderen Teil lasten 730 N. Nachfolgend werden die Auflagerkräfte durch die Gleichgewichtsgleichungen berechnet. Die Momentengleichgewichtsgleichung wird für den Punkt A darstellen.

$$\begin{aligned} \sum F_i &= 0 \text{ N} & \text{und} & & \sum M_{iA} &= 0 \text{ Nm} \\ F_A + F_B - F_1 - F_2 &= 0 \text{ N} & & & -F_1 \cdot 285 \text{ mm} + F_B \cdot 550 \text{ mm} - F_2 \cdot (550 \text{ mm} + 117,5 \text{ mm}) &= 0 \text{ Nm} \\ F_A + F_B - 1420 \text{ N} - 730 \text{ N} &= 0 \text{ N} & & & -1420 \text{ N} \cdot 285 \text{ mm} + F_B \cdot 550 \text{ mm} - 730 \text{ N} \cdot 667,5 \text{ mm} &= 0 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Nach den Regeln der Gleichungen:

$$\begin{aligned} F_A + F_B &= 2150 \text{ N} & F_B &= \frac{1420 \text{ N} \cdot 285 \text{ mm} + 730 \text{ N} \cdot 667,5 \text{ mm}}{550 \text{ mm}} = 1621,77 \text{ N} \approx \\ & & & & \approx 1622 \text{ N} \Rightarrow F_A + 1622 \text{ N} = 2150 \text{ N} \Rightarrow F_A = 2150 \text{ N} - 1622 \text{ N} = 528 \text{ N} \end{aligned}$$

Beide Auflagerkräfte sind positiv, deswegen zeigen sie nach oben.

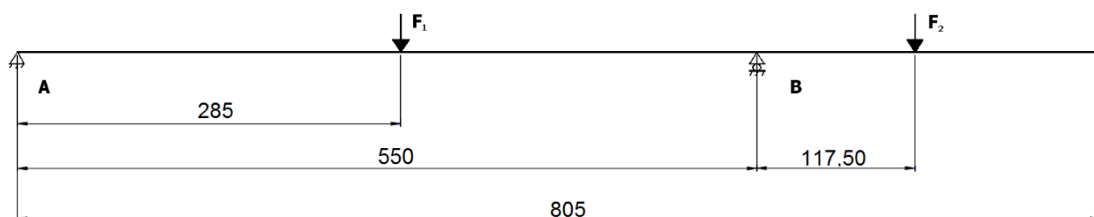


Abbildung 98: Skizze der Plattform (zweite Version)

Es musste berechnet werden, wie hoch die Spannung im Hydraulikzylinderbolzen unter 400 kg Ladungsmasse ist. Weshalb die Summe der, in der Richtung des Hydraulikzylinders fallende, Komponenten der Kraft F_B und der Eigenmasse (G_H) des Hydraulikzylinders berechnet werden. Der Hydraulikzylinder ist 4 kg schwer. So ist $F_{\Sigma} = G_H + F_B = 1622 \text{ N} + 40 \text{ N} = 1662 \text{ N}$. Die Komponente der Summenkraft wird mit $F_{\Sigma K}$ gekennzeichnet. Diese Kraft wird für die Finite Element Methode des Zylinderbolzens und des Grundrahmens benötigt und durch eine Sinusfunktion berechnet. Für diese Berechnung wird auch eine Skizze (Abb. 99) gezeichnet.

$$\sin 27,45^\circ = \frac{F_{\Sigma K}}{F_{\Sigma}} \Rightarrow F_{\Sigma K} = \sin 27,45^\circ \cdot F_{\Sigma} = \sin 27,45^\circ \cdot 1662 = 766,14 \text{ N} \approx 766 \text{ N}$$

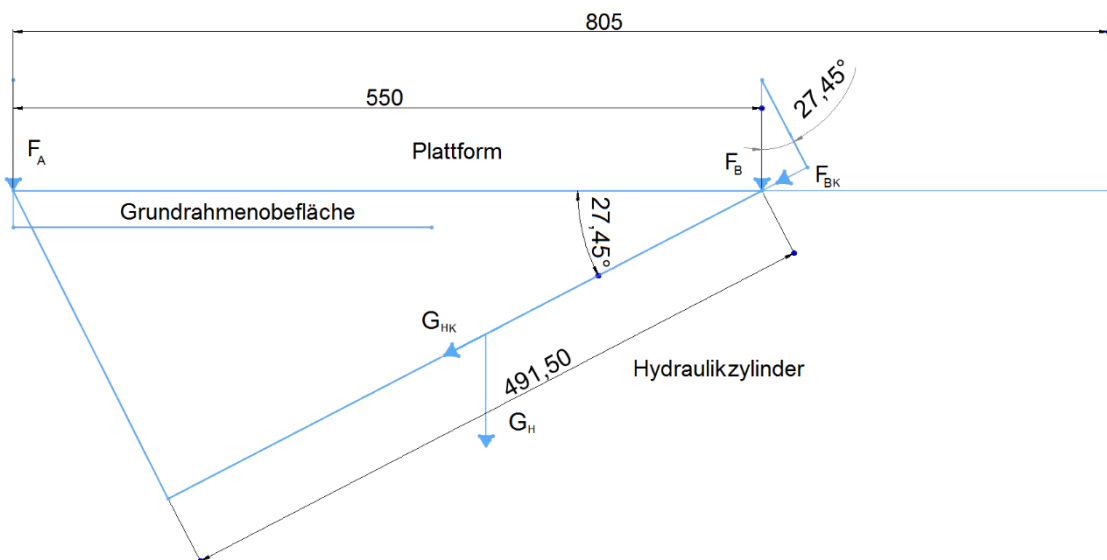


Abbildung 99: Skizze der Plattform (Version der Knicklenkung)

Nach dieser Berechnung wird die Finite Element Methode für den längsten Hydraulikzylinderbolzen angewendet (Abb. 100). Eine Bohrung des Bolzens wird als fixierte Einspannung angegeben, die andere als eine Einrollenlagereinspannung. Auf den Deckmantel des Bolzens wird eine Belastung von 766 N platziert. Aus der maximalen

Spannung von 18,48 MPa wurde der Sicherheitswert $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{480 \text{ MPa}}{18,48 \text{ MPa}} = 25,97$

berechnet.

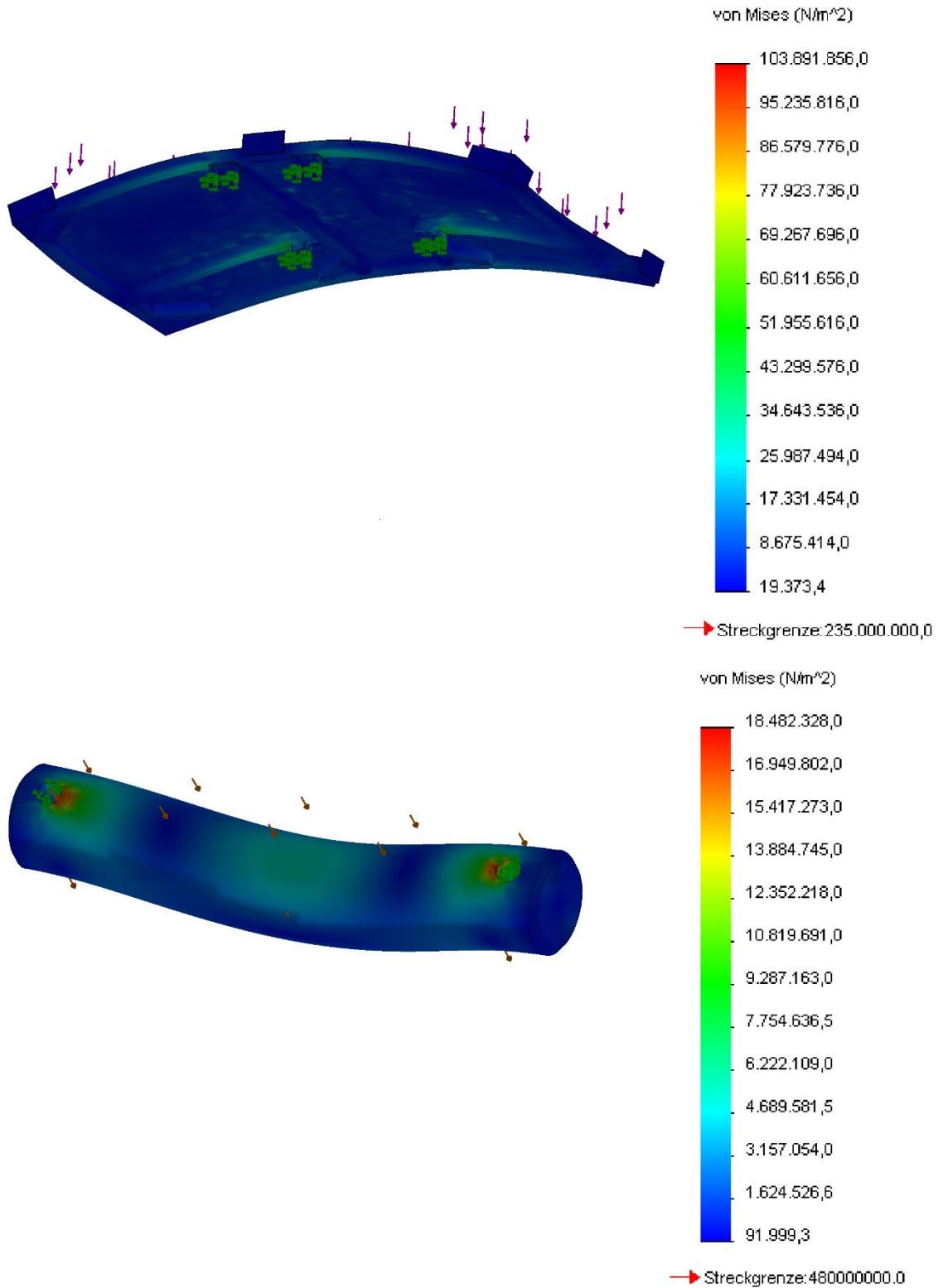


Abbildung 100: Finite Element Methode – Plattform und Hydraulikzylinderbolzen der zweiten Version der Knicklenkung

Für den Grundrahmen wird in beiden kritischsten Fällen die Finite Element Methode durchgeführt (Abb. 102). Der erste kritische Fall tritt auf, wenn die Plattform auf den Grundrahmen gelegt wird. Der Zweite tritt auf, wenn die Hydraulikzylinder beginnen die Plattform zu heben. Im ersten Fall ist das Belastungssystem nicht das gleiche, wie im zweiten Fall. Das Belastungssystem des zweiten Falles wurde früher bereits berechnet, hier sind die Auflagerkräfte $F_A = 528 \text{ N}$ und $F_B = 1622 \text{ N}$ (Abb. 98). Für die Berechnung des Belastungssystem des erstens Fall wird eine Skizze (Abb. 101) gezeichnet. Die Berechnung wird nach der Berechnung des Belastungssystem des zweitens Fall durchgeführt.

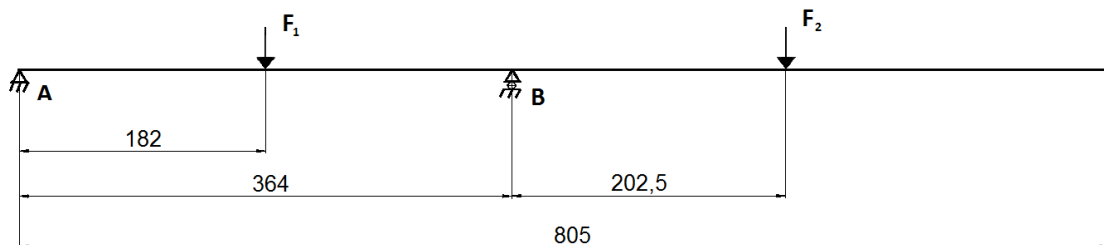


Abbildung 101: Skizze für die Berechnung des Belastungssystems des ersten kritischen Falls

$$\frac{364}{805} \cdot 100 = 45,22\% \quad F_1 = 2075 \text{ N} \cdot 0,4522 = 938,32 \text{ N} \approx 938 \text{ N}, \quad F_2 = 2075 \text{ N} - 938 \text{ N} = 1137 \text{ N}$$

$$\sum F_i = 0 \text{ N} \quad \text{und} \quad \sum M_{iA} = 0 \text{ Nm}$$

$$F_A + F_B - F_1 - F_2 = 0 \text{ N} \quad -F_1 \cdot 182 \text{ mm} + F_B \cdot 364 \text{ mm} - F_2 \cdot (364 \text{ mm} + 202,5 \text{ mm}) = 0 \text{ Nm}$$

$$F_A + F_B - 938 \text{ N} - 1137 \text{ N} = 0 \text{ N} \quad -938 \text{ N} \cdot 182 \text{ mm} + F_B \cdot 364 \text{ mm} - 1137 \text{ N} \cdot 566,5 \text{ mm} = 0 \text{ Nm}$$

Berechnung der Gleichungen:

$$F_A + F_B = 2075 \text{ N} \quad F_B = \frac{938 \text{ N} \cdot 182 \text{ mm} + 1137 \text{ N} \cdot 566,5 \text{ mm}}{364 \text{ mm}} = 2238,53 \text{ N} \approx$$

$$\approx 2239 \text{ N} \Rightarrow F_A + 2239 \text{ N} = 2075 \text{ N} \Rightarrow F_A = 2075 \text{ N} - 2239 \text{ N} = -164 \text{ N}$$

Die F_A Auflagerkraft ist negativ, daher weist der Pfeil nach unten. Die F_B Auflagerkraft ist positiv, daher weist der Pfeil nach oben. Im ersten Fall wird eine Belastung von -164 N für die Verbindungspunkte, die die Plattform mit dem Rahmen verbinden, eingegeben. Für die Platzierung der Belastung der Kraft F_B werden zwei Rechtecke auf das Grundrahmenblech gezeichnet. Diese Rechtecke sind so groß, wie die Kontaktfläche zwischen dem Grundrahmenblech und der Plattform. Zudem sind diese Rechtecke 0,5 mm groß. Dieses Maß ist so klein, dass es die Berechnung kaum beeinflusst. Eine

Belastung von 2239 N wird auf die Oberfläche dieser Rechtecke platziert. Als fixierte Einspannung werden die Bolzenbohrungen des Grundrahmens angenommen und als zweiwertige Lagereinspannung die Verbindungspunkten des Grundrahmens, durch diese wird der Grundrahmen mit dem Maschinenrahmen verbunden. Die höchste berechnete Spannung beträgt 44,98 MPa. Im zweiten Fall wird eine 528 N groß Belastung F_A für die Verbindungspunkte, die die Plattform mit dem Rahmen verbinden, eingegeben. Pro Seite wird eine $F_{\Sigma K}$ 766 N groß Belastung auf den Verbindungspunkt des Hydraulikzylinders platziert. Das bedeutet 383 N Belastung pro Zylinderhalter. Die fixierte Einspannung wird hier auch auf den Verbindungspunkten des Rahmens platziert. Hier ist die maximale Spannung 45,02 MPa hoch. Der berechnete Sicherheitswert

$$n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{45,02 \text{ MPa}} = 5,22 \text{ beträgt, auf Grund der größeren Spannung. Der vierte Teil}$$

ist der Hydraulikzylinder. Dieser Hydraulikzylinder kann bei 200 bar Druck 1,4 t Masse anheben. Aus diesen Ergebnissen folgt, dass die Konstruktion 400 kg ohne Schaden tragen kann.

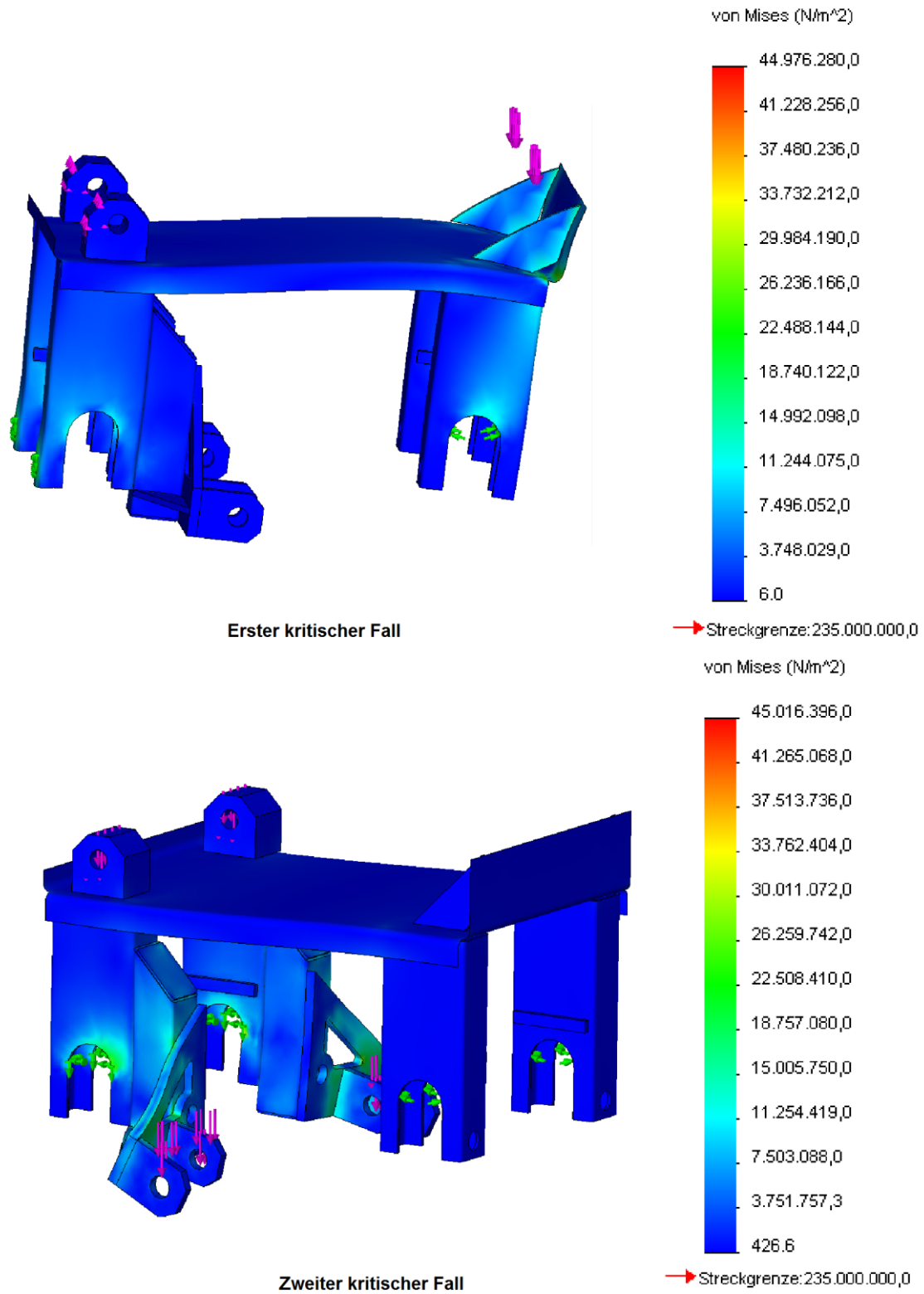


Abbildung 102: Finite Element Methode – Grundrahmen der zweite Version der Knicklenkung

4.3.3.3 Mulchgerät

Nach der Planung der Plattform wurde ein Mulchgerät (Abb. 104) für diesen Tragrahmen geplant. Die Schneideteile werden, wie in der Planbeschreibung dargestellt, durch Elektromotoren angetrieben. In Anlehnung an die Befestigung der Plattform an der Maschine, ist das Mulchgerät ebenfalls durch einen Grundrahmen mit dem Rahmen der Maschine verbunden. Für diesen Grundrahmen wird kein Blech verwendet, sondern der Rahmen besteht aus mehreren verschiedenen Formrohren. Der Hydraulikzylinder würde sich in der Mitte des Rahmens befinden, wenn statt der Formrohre Blech für die Konstruktion verwendet worden wäre. In diesem Fall würde der Hydraulikzylinder während der Hebebewegung Druck auf das Blech ausüben. Unter diesem Druck könnte das Blech deformieren. Daraus ergibt sich, dass ein mit Laschen verstärktes Blech ebenfalls zu schwach ist, um diesem Druck standhalten zu können. Aus diesen Gründen wurden Formrohre verwendet. Für die Steuerung und das elektronische Zubehör der Elektromotoren wurde eine Kiste auf den Grundrahmen gebaut (Abb. 103).

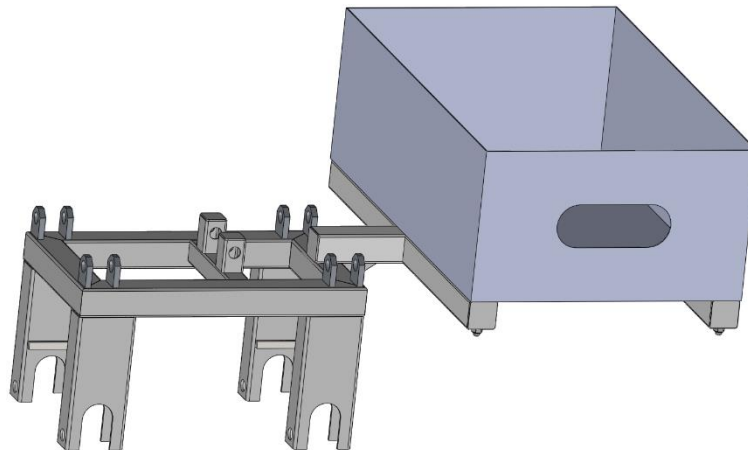


Abbildung 103: Grundrahmen des Mulchers

Das Mulchgerät benötigte einen Mechanismus, der dieses in zwei Teile auseinanderkippen konnte (Abb. 104). Hierfür sind die folgenden zwei Gründe zu nennen. Zum einen kann der Mulcher nur im ausgekippten Zustand auf den Tragrahmen aufgebaut und wieder vom Rahmen entwerft werden. Zum anderen würde der fehlende Klappmechanismus das Fahrverhalten des Mulchers beeinträchtigen. Der Mulcher könnte Bodenkanten beim Übergang vom Anstieg auf eine gerade Strecke nicht ohne Schaden bewältigen, da der Abstand zwischen Mulcher und Boden nicht ausreichen würde.

Besteht aber die Möglichkeit, diesen zu kippen, können diese Hindernisse ohne Schaden bewältigt werden.

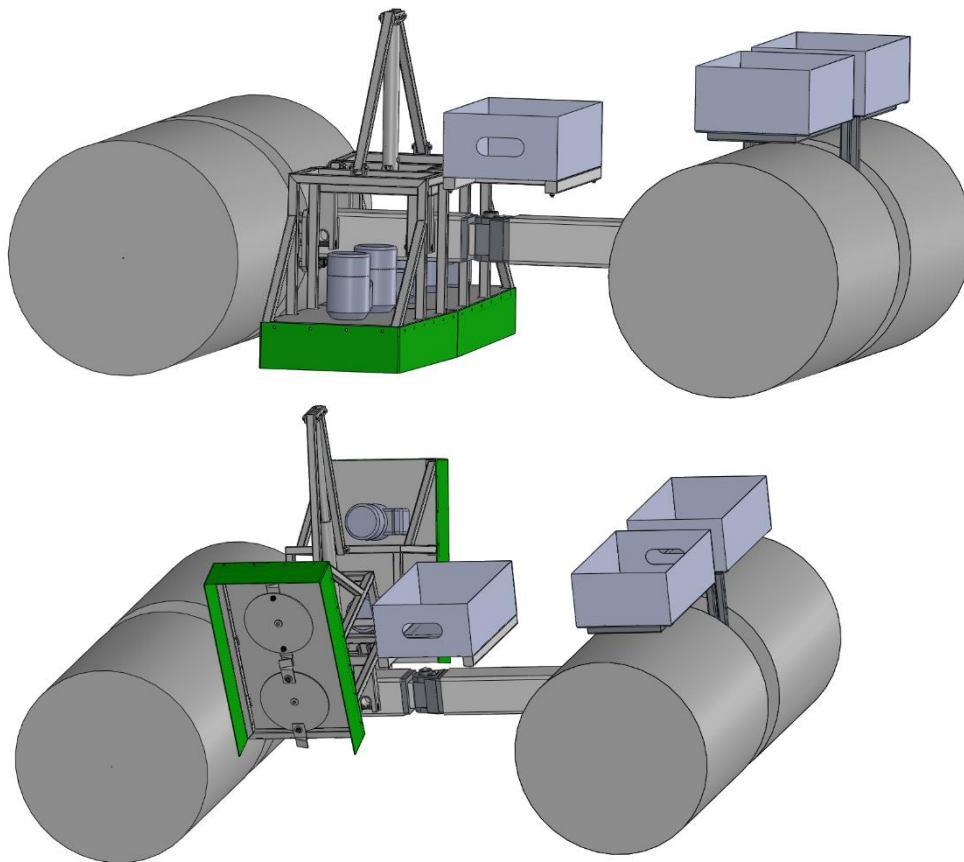


Abbildung 104: Zweiachsiges Gerät mit kippbarem Mulchgerät

Die Schneidmesser des herkömmlichen Mulcher können wegen des mechanischen Antriebs auf einer Ebene liegen. Durch die Einstellung der Messerpositionen wird der Zusammenstoß der Messer vermieden. Die auf dem Schneidteil befestigten Messer stehen im Winkel von 90° zueinander. Die Messerposition kann entweder durch die Kegelzahnräder oder die Zahnräder oder die Ketten und die Kettenräder eingestellt werden. Diese Einstellmöglichkeit fällt bei diesem Mulcher wegen des Elektroantriebs aus, deshalb waren die Messerpositionen nicht mehr einstellbar. Aus diesem Grund werden die Messer oben auf eine Haltescheibe und unten auf eine zweite montiert. So stoßen die Messer nicht zusammen (Abb.105). Das Schneidbild ist auf Grund dieser Lösung kammförmig. Außerdem werden die gedrehten Messer verwendet, welche wie ein axiales Gebläse während ihrer Rotation funktionieren. Der dadurch entstehende Luftstrom sorgt für eine Aufstellung des durch die erste Walze umgelegten Grases, sodass die Messer diese abschneiden können.

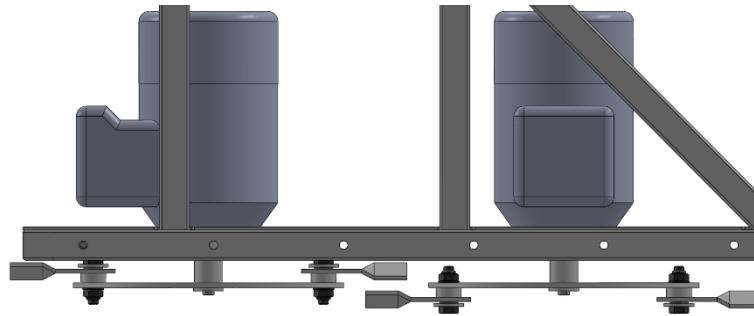


Abbildung 105: Messerposition

Nachdem der Mulcher hergestellt wurde und mit dem Zweiachser zusammengebaut war, zeigte sich, dass der Mulcher auf den Boden aufsetzte. Das Planungsprogramm hat, entgegen der Realität, eine Differenz von Boden und Maschine von 90 mm ermittelt. Dieses Problem ist wohl deshalb entstanden, weil die Spitzen auf dem Deckmantel walzenförmig gezeichnet wurden. Daraus ergab sich eine tiefer liegende Mittellinie der Walze, wodurch der Mulcher aufsetzen konnte. Die Vergrößerung der Schneidhöhe stellte die einzige Problemlösemöglichkeit dar, zudem musste noch eine Einstellmöglichkeit der Schneidhöhe in der Maschine eingefügt werden. So musste der Grundrahmen überarbeitet werden (Abb. 106). Die Schneidhöhe wird durch den neuen Grundrahmen um 50 mm erhöht. In der Theorie bedeutet dies, dass der Mulcher eine Schneidhöhe von 50 mm besitzt. Außerdem ist die Schneidhöhe des Mulchers von 50 mm bis 100 mm einstellbar. Diese Einstellmöglichkeiten werden durch eine Schraubenverbindung ermöglicht. Die Aufgabe der Schraube ist es, den oberen Rahmenteil auf der eingestellten Höhe zu halten. Die drei Bolzen sind für die Führung des oberen Rahmenteils verantwortlich, dabei ermöglichen die Bolzen nur die vertikale Bewegung für den oberen Rahmenteil.

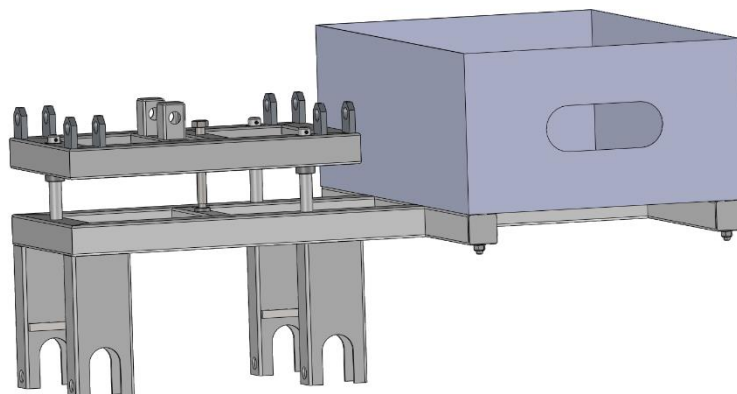


Abbildung 106: Der neue Grundrahmen

Es wurde berechnet, wie groß der Kerndurchmesser des Schraubengewindes für den Mulcher sein muss. Die Berechnung wurde nach dem Beispiel 2.6 aus dem Buch "Maschinenbauelemente Planungslehrbchelfes I." (ADORJAN UND JAKAB 1988). durchgeführt. Auf diese Schraube wirken 84 kg (also 840 N), denn sie sorgt dafür, dass diese Masse in der gewünschten Höhe gehalten wird. Als Gewinde wird ein metrisches Gewinde gewählt, $\mu = 0,16$ (Reibungszahl zwischen der Schraube und der Mutter) $\rho = 10^\circ 30' = 10,5^\circ$ (Reibungshalbkegelgrad) $\alpha = 2^\circ 10' = 2,17^\circ$ (Gewindesteigungsgrad). Diese Werte sind das Mittelmaße des metrischen Gewindes (SZENDRÖ 1987). Wenn $\alpha \leq \rho$ ist, ist die Schraubenverbindung selbsthemmend. „Nach Mohr ist die reduzierte Spannung:

$\sigma_{\text{Ver}} = \sqrt{\sigma_{\text{Druck}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{Sub}}^2}$ “ (ADORJAN UND JAKAB 1988). Die Vergleichsspannung ist die größtmögliche Spannung, welche unter der Belastung von 840 N in der Konstruktion entstehen kann. Die Druck- und Subspannung wird wie im Folgenden berechnet:

$$\sigma_{\text{Druck}} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{4 \cdot F}{d_1^2 \cdot \pi}, \tau_{\text{Sub}} = \frac{M}{K_P} \quad . \quad \text{Das Drehmoment, das polare}$$

Widerstandsmoment und der Zusammenhang zwischen d_1 (Kerndurchschnitt des Gewindes) und d_2 (Flankendurchschnitt des Gewindes) stellen sich wie folgt dar (ADORJAN UND JAKAB 1988):

$$M = F \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\alpha + \rho), \quad K_P = \frac{d_1^3 \cdot \pi}{32}, \quad d_2 = 1,1 \cdot d_1 \Rightarrow \tau_{\text{Sub}} = \frac{F \cdot 1,1 \cdot d_1 \cdot \text{tg}(\alpha + \rho)}{2 \cdot \frac{d_1^3 \cdot \pi}{32}} \Rightarrow$$

$$\tau_{\text{Sub}} = \frac{F \cdot 1,1 \cdot \text{tg}(\alpha + \rho)}{\frac{d_1^2 \cdot \pi}{16}} \Rightarrow \tau_{\text{Sub}} = \frac{F \cdot 1,1 \cdot \text{tg}(2,17^\circ + 10,5^\circ)}{\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4 \cdot 4}} = \frac{4 \cdot F \cdot 1,1 \cdot 0,22}{\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}} =$$

$$= 0,96 \cdot \frac{F}{\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}} = 0,968 \cdot \sigma_{\text{Druck}}$$

Dies wird in die erste Formel eingefügt:

$$\sigma_{\text{Ver}} = \sqrt{\sigma_{\text{Druck}}^2 + 4 \cdot 0,968 \cdot \sigma_{\text{Druck}}^2} = \sqrt{\sigma_{\text{Druck}}^2 + 3,872 \cdot \sigma_{\text{Druck}}^2} = \sqrt{4,872 \cdot \sigma_{\text{Druck}}^2} =$$

$$= \sqrt{4,872 \cdot \frac{4 \cdot F}{d_1^2 \cdot \pi}} \leq \sigma_{\text{Zul}}$$

Die zulässige Spannung muss größer oder äquivalent mit der Vergleichsspannung sein. Wenn die Vergleichsspannung größer ist als die zulässige Spannung, dann kann die Konstruktion beschädigt sein. Als Werkstoff wird 8.8 verwendet. Die Streckgrenze dieses Werkstoffs beträgt 640 MPa. Aufgrund der dynamischen Belastung und der Massezunahme, durch die Aufnahme von Gras, wird die Berechnung mit einem Sicherheitswert von 7 durchgeführt. Aus diesem Grund beträgt die zulässige Spannung 91,4 MPa. Aus dieser Spannung ist der berechnete Kerndurchmesser zu erkennen:

$$\sigma_{zul} = \sqrt{4,872 \cdot \frac{4 \cdot F}{d_1^2 \cdot \pi}} \Rightarrow \sigma_{zul}^2 = 4,872 \cdot \frac{4 \cdot F}{d_1^2 \cdot \pi} \Rightarrow d_1^2 = 4,872 \cdot \frac{4 \cdot F}{\sigma_{zul}^2 \cdot \pi} \Rightarrow$$

$$d_1 = \sqrt{4,872 \cdot \frac{4 \cdot F}{\sigma_{zul}^2 \cdot \pi}} = \sqrt{4,872 \cdot \frac{4 \cdot 840 \text{ N}}{91,4 \text{ MPa} \cdot \pi}} = 7,5 \text{ mm}$$

Nach dieser Berechnung wird 9,727 mm als Kerndurchmesser gewählt. So ist M 12 der Nenndurchmesser des Gewindes.

4.3.3.4 Pflanzenschutzgerät

Die Durchführung der Pflanzschutzarbeit ist eine der heiklen Aufgaben im Weinbau. Hier besteht die Schwierigkeit darin, das Pflanzschutzmittel gleichmäßig auf die Laubwand zu spritzen. Dies sollte mittels sehr feiner Tropfen geschehen. Die Feinheit der Tropfen hängt vom Typ der Düsen ab. Die Größe der austretenden Tropfen reduziert sich mit der Luftströmung weiter. Ihre andere Aufgabe ist das Bewegen der Blätter, so ermöglicht sie das gleichmäßige Besprühen der Unter- und Oberseite der Blätter.

An die Konstruktion stellte sich die Anforderung, sechs Gebläse mit ihren Elektromotoren nach vorgegebenen Kriterien am Zweiachser zu befestigen. Das erste Kriterium forderte die möglichen Einstellungen des Gebläses um eine hypothetische Achse von 30°, 0° und 45°, welche senkrecht zur Laubwand steht. Das zweite Kriterium forderte eine volle und stufenlose Drehung des Gebläses mit dessen Elektromotor um die eigene Achse. Dies ermöglicht, dass die beiden untersten und die beiden obersten Gebläsen in die entgegengesetzten Richtungen weisen, so dass die Luftströmung der oberen beiden Gebläsen auf das Oberteil der Laubwand und die beiden unteren Gebläsen auf das Unterteil der Laubwand treffen. Dadurch werden der Verlust von Pflanzenschutzmittel und etwaige Umweltschäden minimiert. Die Gebläse blasen die

Luft in Fächerform aus. Um eine gleichmäßige Verteilung zu erhalten, müssen sich die fächerförmigen Luftströmungen überlappen. So stoßen die Ecken der fächerförmigen Luftströmungen bei der Überlappung zusammen. Dies schließt das Zusammenstoßen der einzelnen Tropfen mit ein, so dass diese sich ungleichmäßig auf die Fläche verteilen. Diese Problemstellung wird durch die Umsetzung des ersten Kriteriums vermieden. Das dritte Kriterium forderte die stufenlose Gradeinstellung des Gebläsehalters, so dass dieser für alle Neigungswinkel vertikal stehen kann. Daneben ergibt sich eine verbesserte Gewichtslage für die Fahrt in Steillagen. In dieser Stellung besprühen die Düsen die Laubwand senkrecht.

Auf Grund der Vorgabe des zweiten Kriteriums werden die Elektromotoren durch ein gestaltetes Formblech und ein Band an einer geraden Platte befestigt (Abb. 107). Zwischen den Blechteilen und den Elektromotoren befindet sich ein schwarzes Gummistück. Dieses Gummistück verhindert den Rutsch der Elektromotoren und reduziert die von den Gebläsen erzeugten Schwingungen.

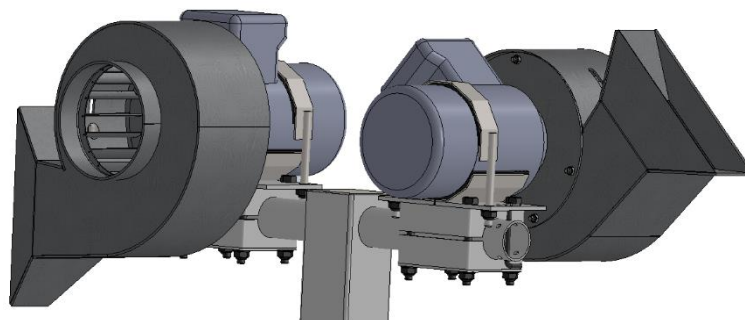


Abbildung 107: Einstellungsmöglichkeit des Gebläses nach dem zweiten Kriterium

An die Unterseite der oben erwähnten Platte wird zur Befestigung ein Formrohr geschweißt. Aus der anderen Seite des Formrohrs wird ein Halbkreis ausgeschnitten. Dieses Formrohr besitzt ein Gegenstück. Zwischen beiden Formrohren befindet sich ein Rohr, das an beiden Enden drei Bohrungen aufweist. Diese Bohrungen ermöglichen es das Gebläse im Winkel von 30° , 0° und 45° senkrecht zur Laubwand einzustellen (Abb. 108). Um einen gleichen Winkelabstand zu erhalten müssen sich die Gebläse der verschiedenen Seiten in die entgegengesetzte Richtung drehen können. Die Anforderungen des dritten Kriteriums erfüllten sich durch die stufenlose Einstellungsmöglichkeit des Hydraulikzylinders von 90° bis 110° (Abb. 108). Dies hatte eine verbesserte Gewichtslage für die Fahrt in den Steillagen zur Folge, da der Gebläsehalter vertikal steht.

Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, die Laubwand senkrecht durch die Düsen besprühen zu lassen.

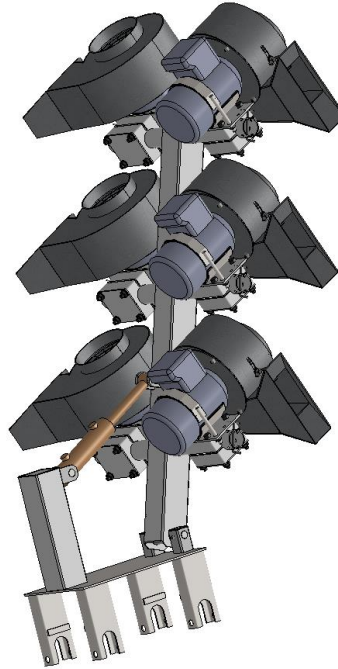


Abbildung 108: Auf Grundlage des zweiten und dritten Kriteriums

4.4 DREIACHSER

4.4.1 Verbindungswelle der ersten Version

Die erste Walze besaß eine Verbindungswelle mit Stahllager. Diese Welle führte durch die Walze und beide Enden verfügten jeweils über ein Blech. Diese Bleche mit den vier Schrauben bildeten die Verbindung von Walze und Rahmen. Die Verbindungswelle der zweiten Walze wurde auch mit Stahllagern montiert, aber hier wurde nur ein Blech auf ein Ende der Welle aufgeschweißt. Daneben führte die Welle durch dieses Blech, und stand 20 mm aus dem Blech heraus. So war es möglich, dass die Schrauben mit der Welle zusammen die Belastung des verbindenden Blechs aufnehmen konnten. Um die Lenkung der Konstruktion zu verbessern wurde eine Gabel für die erste Walze konstruiert. In diesem Fall stand die Welle aus dem Blech nicht heraus, da der Zusammenbau mit der Gabel unmöglich gewesen wäre. Daraus folgt, dass hier nur die Schrauben die Belastung aufgenommen hatten. Um die erste Verbindungswelle aus der ersten Walze ein- und wieder ausbauen zu können, war die Befestigung eines Blechs durch eine lösbare Schraubenverbindung notwendig. Die Verbindungswelle der dritten Walze war die

gleich, wie bei der zweiten Walze, aber diese wurde mit Gummiböcken montiert. Die Abbildung 109 stellt die drei verschiedenen Varianten der Verbindungswellen vor.

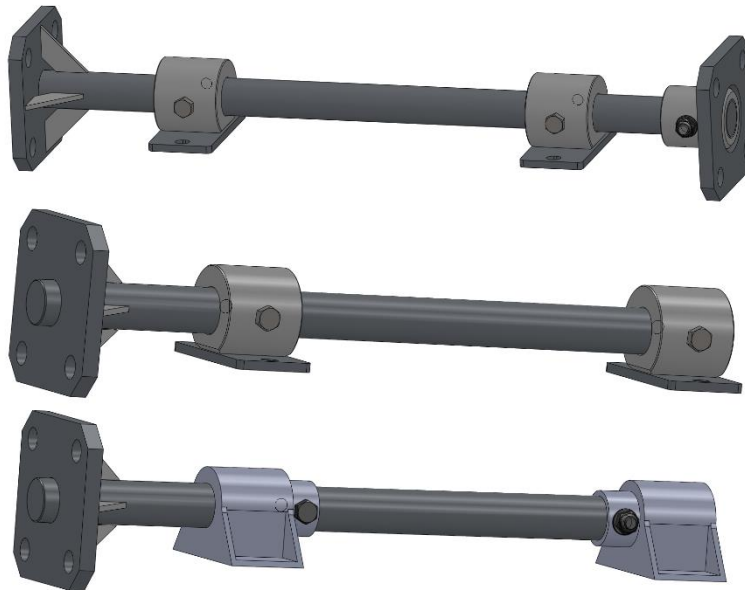


Abbildung 109: Verbindungswellen der ersten Version des Dreiachsers

Auf Grund der, beim Zweiachser, aufgetretenen Probleme, wird der Rahmen nur auf der waagerechten Ebene mit der Finiten Element Methode überprüft. Diese Maschine sollte 500 kg tragen. Das Rahmenteil zwischen der ersten und zweiten Walze ist ca. 114 kg schwer. Der zweite schwenkbare Arm ist ca. 54 kg schwer und das Vorderteil ist ca. 107 kg. Im Idealfall muss die erste Welle so 414 kg, die zweite Welle 361 kg aushalten können. Im Belastungstest wurde die Belastung von 4140 N gleichmäßig auf die Bohrungen der Bleche der ersten Verbindungswelle aufgeteilt, somit entsteht eine Belastung pro Bohrung von 517,5 N. Die zweite Verbindungswelle wird mit einer Belastung von 3610 N, diese wird gleichmäßig zwischen den Bohrungen des Bleches und dem Ende der Welle aufgeteilt, pro Teil 722 N. Für ein Stahllager wurde eine fixierte Einspannung verwendet, für das andere Stahllager ein Einrollenlager. Nach der Durchführung der Methode (Abb. 110) ist in der ersten Welle 47,05 MPa, in der zweiten Welle 90,31 MPa maximale Spannung berechnet. Der Werkstoff bei der Wellen ist 11SMn30+C. Die zulässige Spannung dieses Werkstoffs ist 440 MPa hoch. So ist der

berechnete Sicherheitswert $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{440 \text{ MPa}}{93,13 \text{ MPa}} = 4,72$. Auf die dritte Welle wirkt

weniger Belastung als auf die Zweite. Das Material der M20x70 Schrauben ist 8.8. Wie

bereits in der Beschreibung des Zweiachsers dargestellt, können diese Schrauben dieser Belastung standhalten.

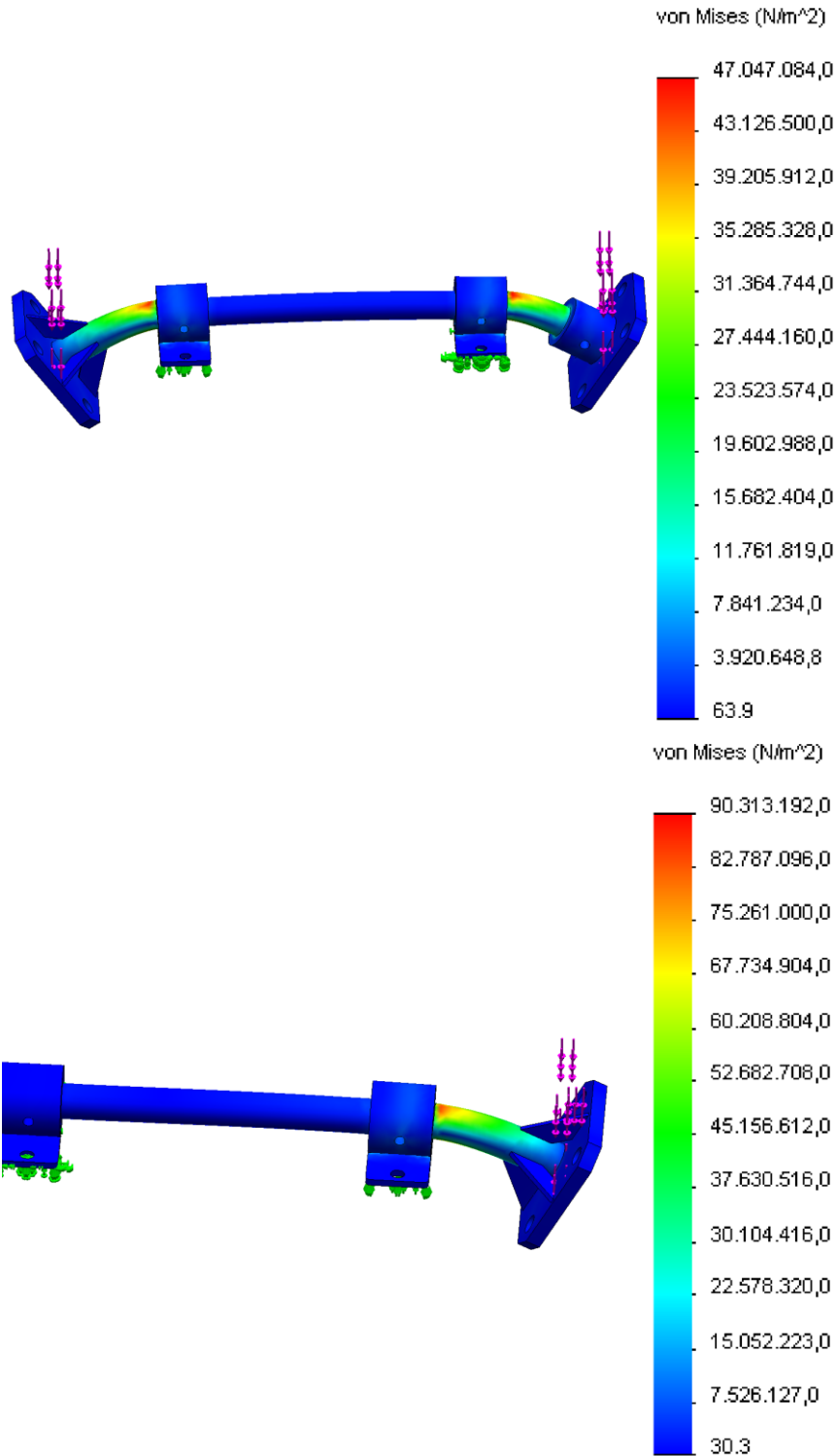


Abbildung 110: Finite Element Methode – Verbindungswelle des Dreiachsers

4.4.2 Erste Konstruktion

In der Planbeschreibung wurde bereits dargelegt, dass sich der Rahmen des Dreiachsers zwischen der ersten und zweiten Walze befinden muss. Die erste Konstruktion (Abb. 111) erfüllte diese Bedingungen nicht. Der rechteckige Rahmen musste wegen der Lenkung über die Walzen gelegt werden. So konnte sich die erste Walze bei der Lenkung unter dem Rahmen bewegen. Die Lenkung hat die gleiche Funktionsweise wie die eines Traktors. Die erste Walze war bis $\pm 44^\circ$ lenkbar. Während des Lenkvorgangs konnte der Benutzer die erste Walze mit der Fernsteuerung in die gewünschte Gradeinstellung bringen. Die erste Walze konnte um ihren Mittelpunkt schwenken und ihre Querbewegung wurde durch ein Scharnier gesichert. Der Plattformteil des Rahmens konnte nicht in der Querrichtung bewegt werden, da das andere Scharnier bei der zweiten Walze in der Querrichtung keine Bewegung durchführen konnte. Durch dieses Scharnier konnte der Rahmen nur in der Längsrichtung bewegt werden. Diese Lösung war für die Fahrt vom Hang auf die Ebene notwendig. Wenn dieses Scharnier nicht eingebaut wäre, dann würde sich die letzte Walze während der beschriebenen Fahrt in der Luft befinden. Wenn die Maschine von der Ebene auf die Neigung fährt, dann steht die zweite Walze eine kurz Moment lang in der Luft. Hier musste einen Anschlag eingebaut werden, da der Gelenkpunkt vor dem Gewichtspunkt der Walze steht. Ohne Anschlag würde die dritte Walze zum Ausbalancieren benötigt werden, da die zweite Walze ohne Verbindung mit der dritten Walze in Fahrtrichtung kippen könnte. Von der Größe der Neigung hängt es ab, ob und wie lange die zweite Walze in der Luft steht. Die dritte Walze wird durch ein Scharnier, eine Feder und einen Anschlag (die Ketten) mit dem Rahmen verbunden. So konnte die dritte Walze die eventuell längslaufenden Unebenheiten des Bodens ausgleichen.

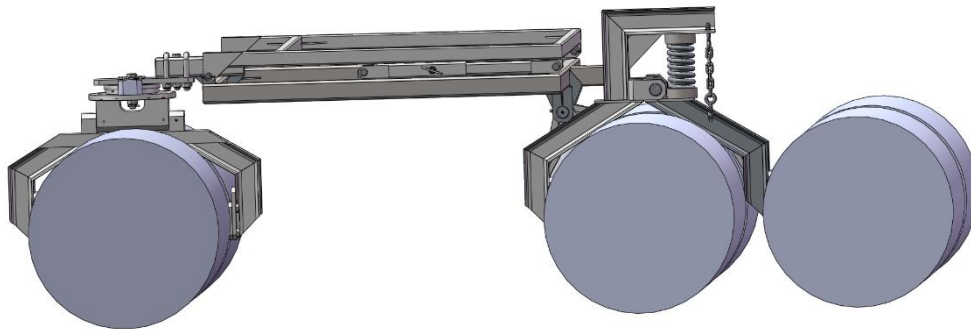


Abbildung 111: Erste Version des Dreiachsers

Im Folgenden wird die Finite Element Methode für den Rahmen durchgeführt (Abb. 113-114). Aus diesem Grund musste den Rahmen in mehrere Teile aufgeteilt werden. Die Methode musste zuerst für die Plattform angewendet werden. Die Ladungsmasse der Konstruktion beträgt, wie bereits beschrieben, 500 kg. Daher musste, wie bereits beim Zweiachser auch, ein Blech auf der Formplatte befestigt werden, um die Masseverteilung zu ermöglichen. Auf dieses Blech wurde eine Ladungsmasse von 500 kg platziert. Als Befestigungspunkte werden die Verbindungspunkte verwendet. Die Befestigung wird durch eine fixierte Einspannungen und ein Einrollenlager durchgeführt. Der verwendete Werkstoff ist S 235 JR. In diesem Fall ist die zulässige Spannung 235 MPa hoch. Das Ergebnis der Berechnung ist eine maximale Spannung von 87,42 MPa. So ist der

$$\text{Sicherheitswert } n = \frac{\sigma_{\text{zul}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{235 \text{ MPa}}{87,42 \text{ MPa}} = 2,69.$$

Wie bereits für die erste Version des Zweiachsers, musste die Komponente der wirkenden Kräfte berechnet werden, die in die Richtung des Hebelarms fallen. Hier tritt auch der maximale Wert dieser Komponente für die höchst mögliche Gradeinstellung der Plattform auf. Um diese Berechnung durchzuführen, wurde eine Skizze gezeichnet (Abb. 112). Im Idealfall trägt eine Seite der Plattform 250 kg. Die Plattform wiegt ca. 31 kg. So wirken 132,75 kg (1327,5 N) auf einen Verbindungspunkt. Die gesuchte Komponente der Kraft von 1327,5 N wird durch eine Sinusfunktion berechnet.

$$\sin 22,3^\circ = \frac{F}{1327,5 \text{ N}} \Rightarrow F = \sin 22,3^\circ \cdot 1327,5 \text{ N} = 503,73 \text{ N} \approx 504 \text{ N}$$

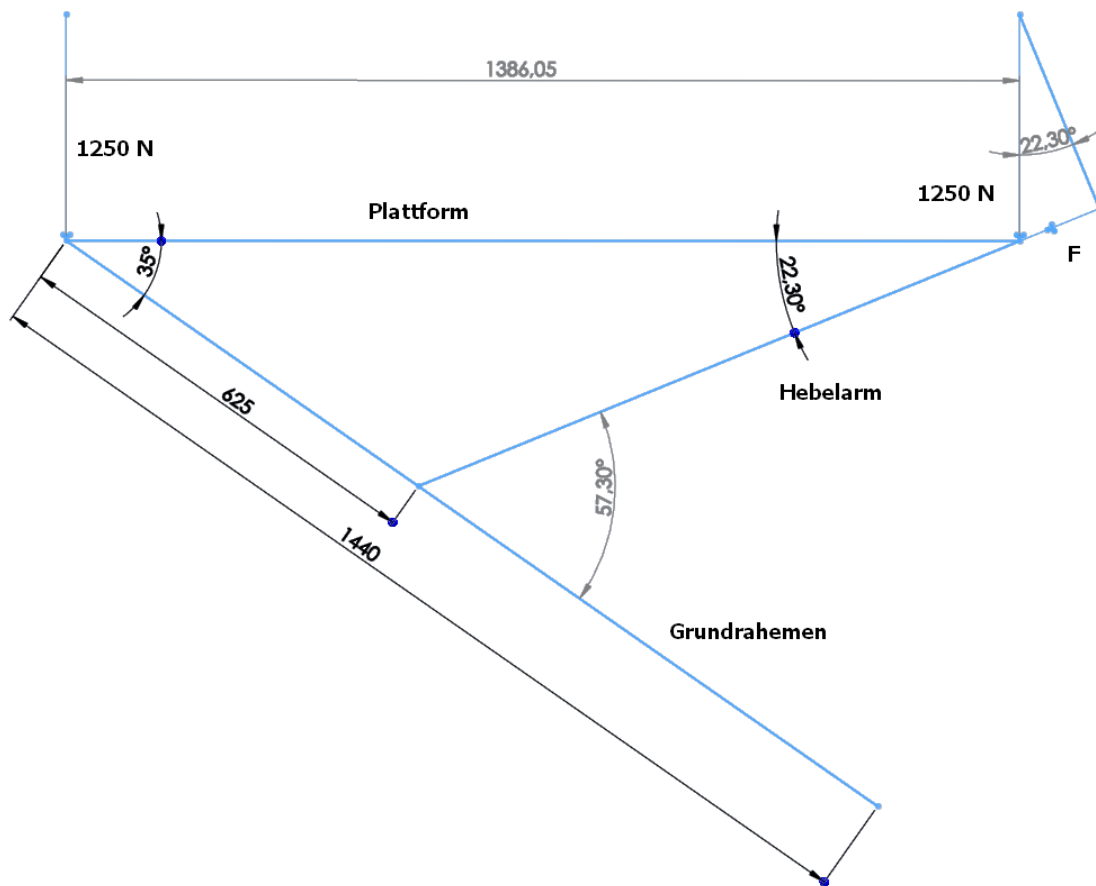


Abbildung 112: Skizze des Grundrahmens der ersten Version

Nach dieser Berechnung wird die Finite Element Methode auch für den Hebelarm durchgeführt. Für die unteren Verbindungspunkte wird eine fixierte Einspannung angegeben, und auf die oberen Verbindungspunkte wird eine 504 N hohe Belastung platziert, pro Scharniere 237 N. Unter dieser Belastung ist eine maximale Spannung von 4,63 MPa ermittelt (Abb. 112). Der verwendete Werkstoff ist S 235 JR. So beträgt der

Sicherheitswert $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{4,63 \text{ MPa}} = 50,76$. Der Rahmen wird ebenso für die

Plattformeinstellung von 0° überprüft. Für die Finite Element Methode wurden zwei Scharniere auf dem Rahmen platziert. Der Rahmen konnte mit 5310 N belastet werden, da an diesem die bereits erwähnten Scharniere angebracht wurden und zwei zusätzliche in Fahrtrichtung angebracht wurden. Dies ergibt eine Belastung von 1327,5 N pro Scharnier. Der Rahmen wurde einmal an der Stelle, an der das kurze Formrohr an das Blech geschraubt wurde durch eine fixierte Einspannung befestigt und ein zweites Mal am Scharnier durch eine Rolleinspannung. In der Konstruktion wurde, nach der

Durchführung der Finiten Element Methode, eine maximale Spannung von 55,93 MPa berechnet (Abb. 114). Die Sorte des Werkstoffs ist dieselbe wie vorher auch. Der

Sicherheitswert beträgt $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{55,93 \text{ MPa}} = 4,2.$

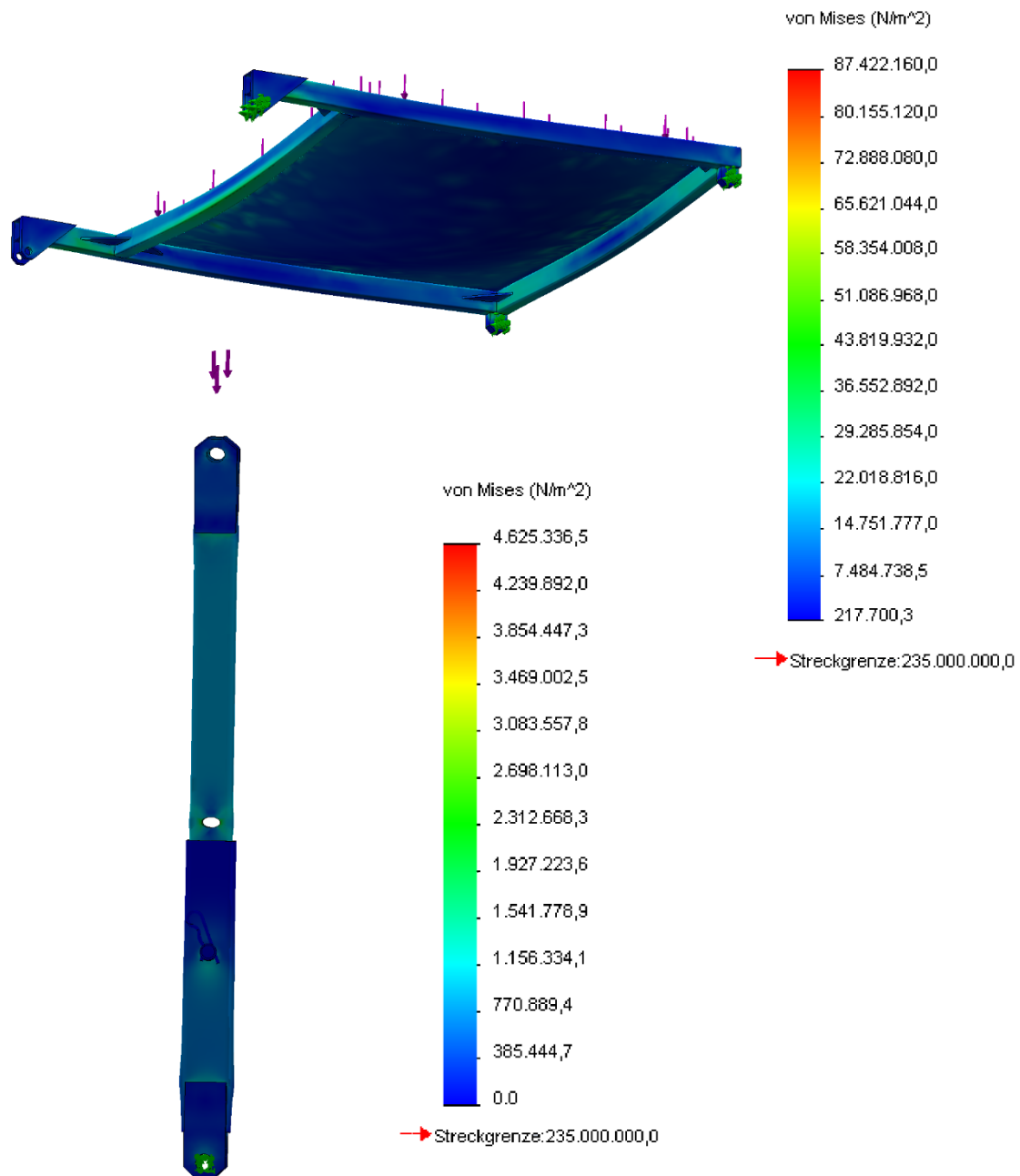


Abbildung 113: Finite Element Methode –Rahmen der ersten Version des Dreiachsers I

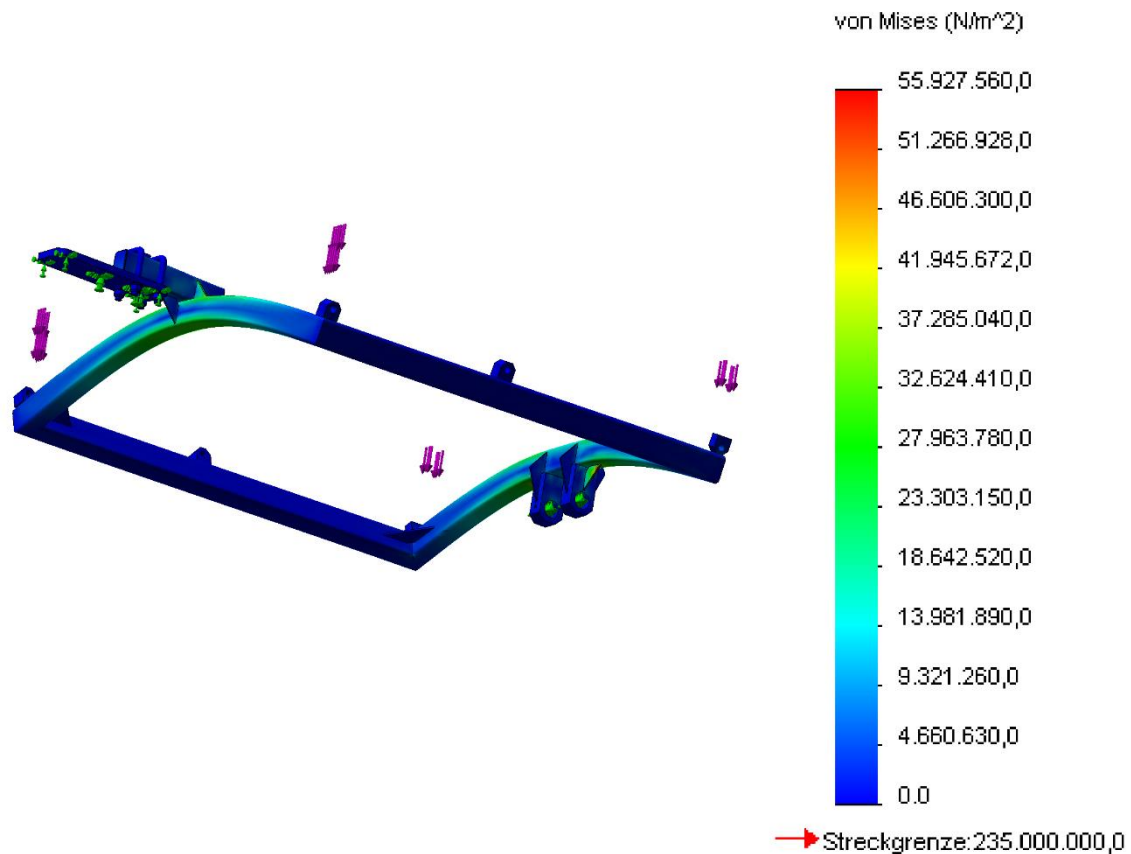


Abbildung 114: Finite Element Methode – Rahmen der ersten Version des Dreiachsers II

Im Anschluss wird die Finite Element Methode für das Vorderteil durchgeführt (Abb. 115). Das Vorderteil trägt im Idealfall auf der waagerechten Ebene 3150 N Belastung. Diese Belastung resultiert aus der Ladungsmasse (500 kg) sowie der Eigenmasse der Plattform (ca. 123 kg). Diese Baugruppe musste ebenso in drei Teilen aufgeteilt werden. Die Finite Element Methode beginnt mit dem oberen Teil. Der obere Teil wird am Gleitlager mit einer fixierten Einspannung befestigt. Die 3115 N Belastung werden auf den oberen Blechteil platziert. Das Programm hat eine maximale Spannung von 43,88 MPa berechnet. Der verwendete Werkstoff ist S 235 JR. Nach dieser Spannung beträgt

der berechnete Sicherheitswert $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{43,88 \text{ MPa}} = 5,36$. Danach wird die Finite

Element Methode für den Mittelteil durchgeführt. In diesem Fall wird die Gabel an den Bohrungen der unteren Blechteile durch fixierte Einspannungen befestigt. Der obere Bolzen wird im Programm als Belastungsort für die 3175 N Belastung angegeben. Diese Belastung ergibt die Belastung und die Eigenmasse (ca. 6 kg) des oberen Teils. Nach der Durchführung der Finiten Element Methode wurde eine maximale Spannung von 5,76

MPa berechnet. So beträgt der Sicherheitswert $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{5,76 \text{ MPa}} = 40,8$. Der dritte

Teil ist die Verbindungswelle. Die dazugehörigen Berechnungen wurden bereits vorgestellt.

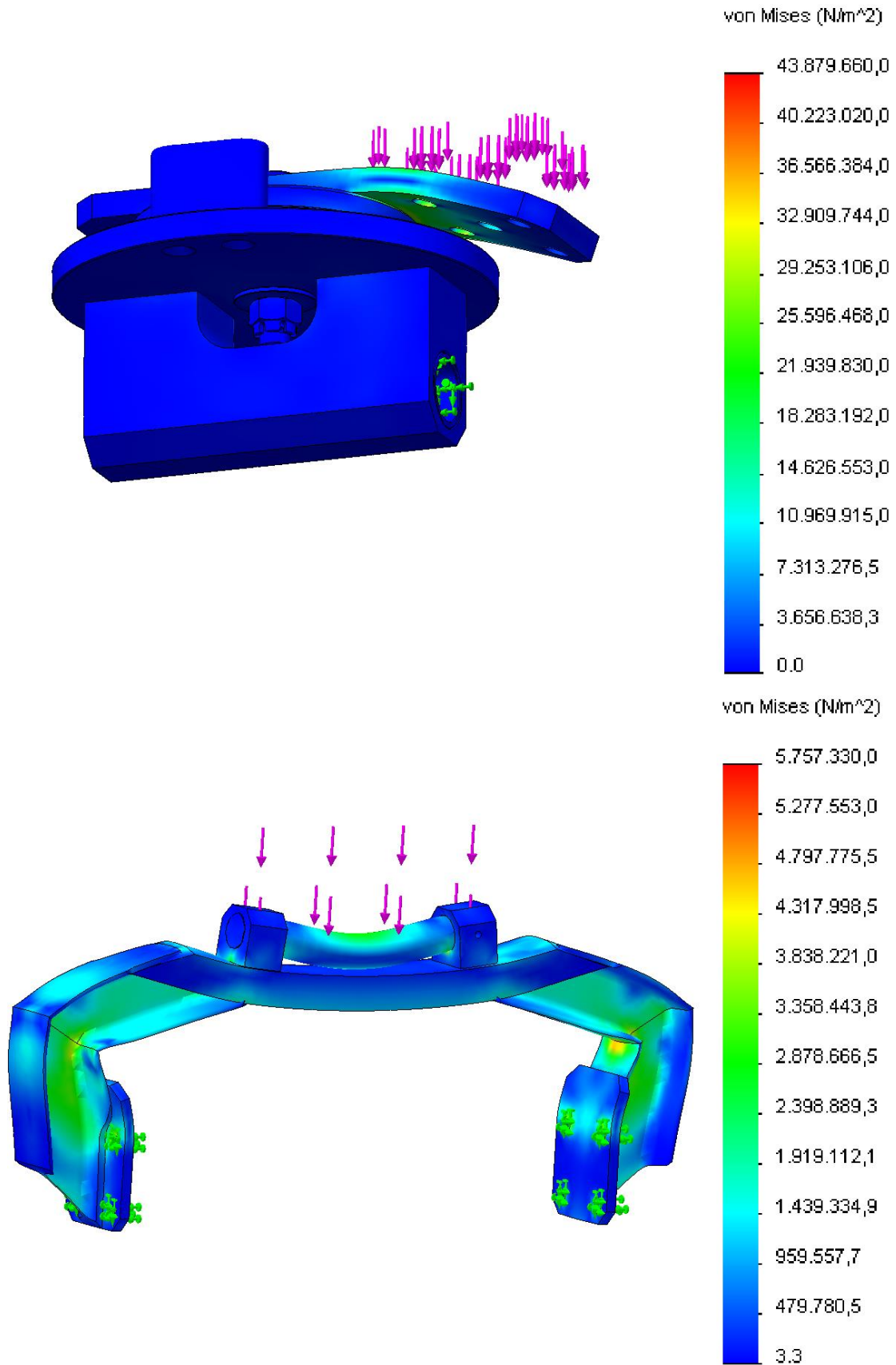


Abbildung 115: Finite Element Methode – Vorderteil der ersten Version des Dreiachsers

Anschließend wird die entstehende Spannung für den hinteren Teil durch die Finite Element Methode berechnet (Abb. 117). Die entstehende Spannung der Verbindungswellen wurde im Vorhinein berechnet. Jetzt wird die entstehende Spannung für die restlichen zwei Teile vorgestellt. Bei diesen Teilen entsteht die größte Spannung, wenn die Maschine von der Ebene in die Neigung fährt und die zweite Walze den Boden verlässt. Um die Finite Element Methode für den schwenkbaren Arm durchführen zu können, musste die Federkraft berechnet werden. Diese Berechnung wird durch die anschließende Skizze (Abb. 116) unterstützt, sie zeigt die Außenmaße des Bauteils. Innerhalb der Skizze wird die entstehende Kraft aus der Belastung und der Eigenmasse des Rechteckrahmens, mit F_R gekennzeichnet. F_W kennzeichnet die Kraft, welche aus der Eigenmasse der Walze ermittelt wird. F_F ist die Federkraft, welche gegen beiden Kräfte wirkt. Für die Berechnung der Federkraft wird eine Drehmomentgleichung an den Gelenkpunkt des zweiten schwenkbaren Arms aufgestellt. $F_R = 3115 \text{ N}$, $F_W = 3000 \text{ N}$

$$\sum M_i = 0 = F_F \cdot 0,1 \text{ m} = F_R \cdot 0,34 \text{ m} + F_W \cdot 0,036 \text{ m} \Rightarrow$$

$$F_F \cdot 0,1 \text{ m} = 3115 \text{ N} \cdot 0,34 \text{ m} + 3000 \text{ N} \cdot 0,036 \text{ m} \Rightarrow$$

$$F_F \cdot 0,1 \text{ m} = 1167,1 \text{ Nm} \quad / : 0,1 \text{ m}$$

$$F_F = 11671 \text{ N}$$

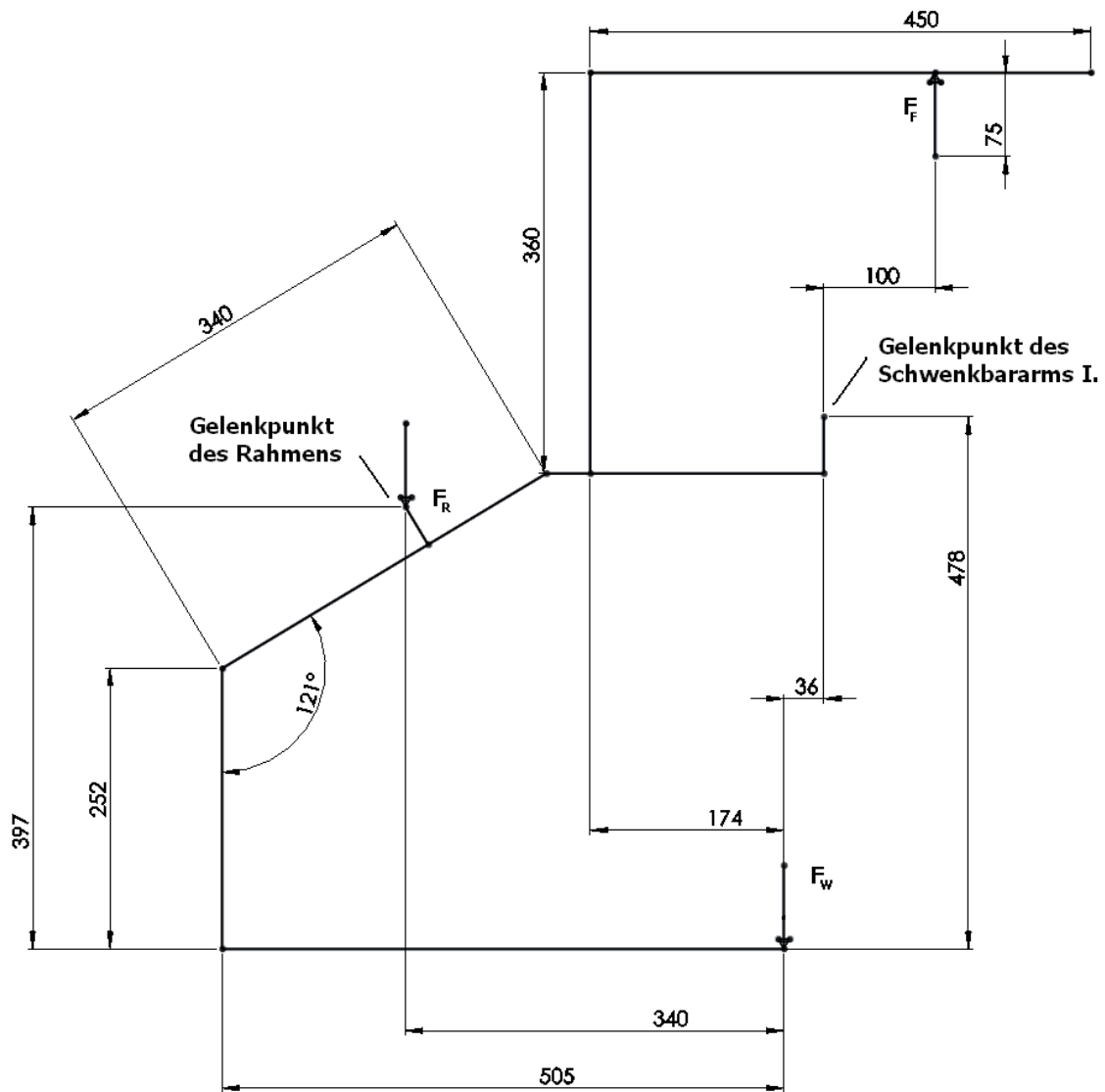


Abbildung 116: Skizze für die Federkraftberechnung der ersten Version des Dreiechers

Vor der Durchführung der Finiten Element Methode wird der erste schwenkbare Arm mit seiner Verbindungswelle verbunden. Für die Simulation wird auf diese Verbindungswelle eine Platte montiert. Diese Platte ersetzt den Walzenkorb in der Simulation. Der erste schwenkbare Arm wird an zwei Stellen fixiert: am Endblech des rechteckigen Formrohrs durch ein Einrollenlager, am Scharnier des zweiten schwenkbaren Arms durch ein zweiwertiges Lager. Die Konstruktion wurde durch die Platte der Verbindungswelle mit 3000 N und durch das Scharnier der Plattform mit 3115 N belastet. Außerdem trägt der Federhalter 11671 N Belastung (Abb. 116). Mit diesen Daten hat das Programm eine maximale Spannung von 186,26 MPa in der Verbindungswelle (11SMn30+C) ermittelt, sowie eine maximale Spannung von ca. 125 MPa im ersten schwenkbaren Arm (S 235

JR). So beträgt der Sicherheitswert im ersten schwenkbaren Arm

$$n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{125 \text{ MPa}} = 1,88 \text{ und in der Verbindungswelle } n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{440 \text{ MPa}}{186,26 \text{ MPa}} = 2,36$$

. Der zweite schwenkbare Arm wird durch eine fixierte Einspannung am unteren Blechteil, und durch ein zweiwertiges Lager am Scharnier des ersten schwenkbaren Arms befestigt. Die 10671 N Belastung, die die Feder auf den zweiten schwenkbaren Arm ausübt, wird auf dem Federhalter platziert. Danach hat das Programm die maximale Spannung von 25,16 MPa berechnet. Der Werkstoffqualität ist S 235 JR, der

Sicherungswert beträgt $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{25,16 \text{ MPa}} = 9,34$. Aus diesen Ergebnissen folgt, dass die Konstruktion diese Belastung aushalten kann.

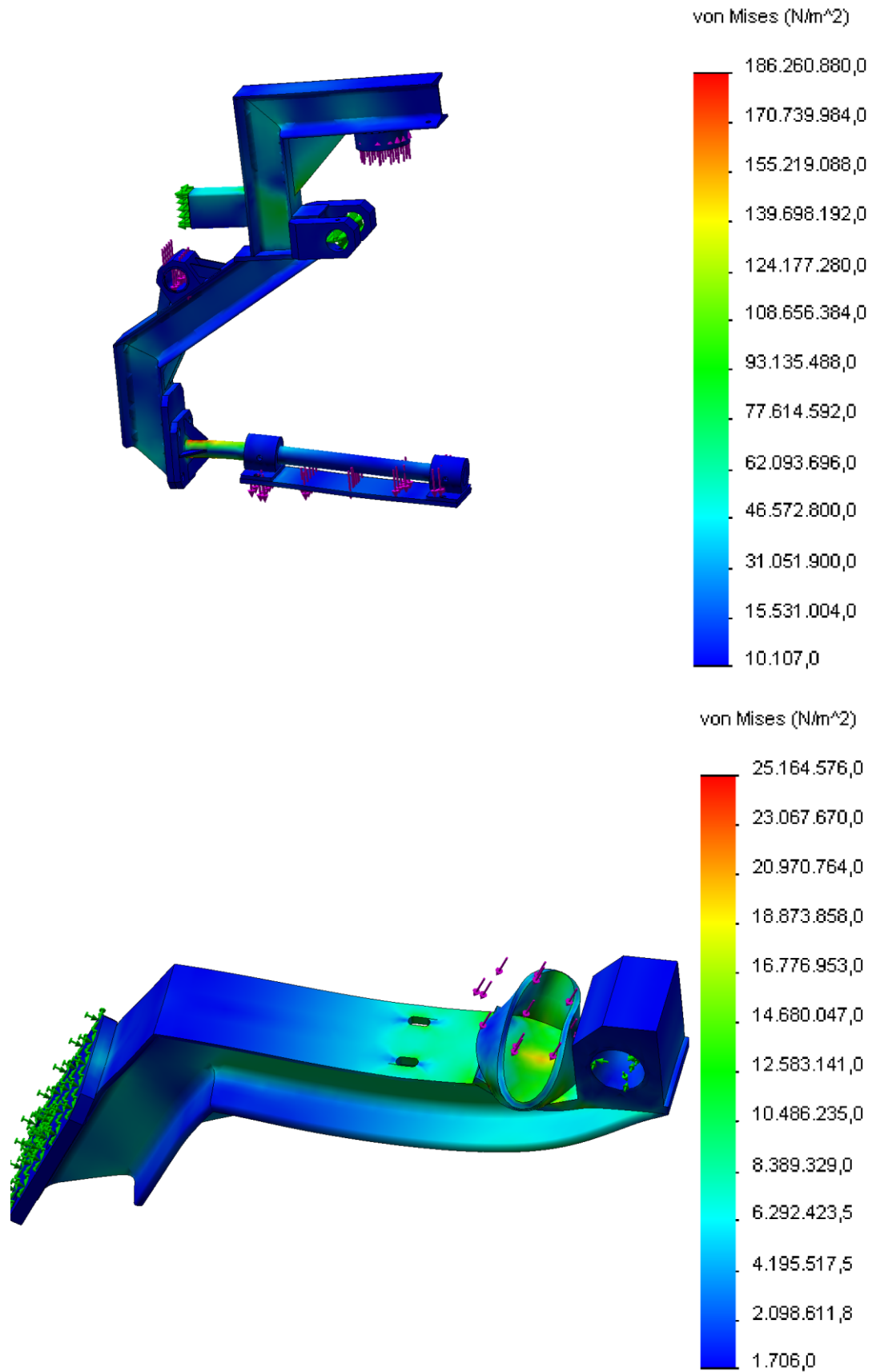


Abbildung 117: Finite Element Methode – hinteres Teil der ersten Version des Dreiachsers

Für den hinteren Teil der Maschine musste eine Druckfeder hergestellt werden. Die Berechnung der Feder erfolgte, wie bereits beschrieben, durch das MDESING Roloff/Matek Edition Programm. In dieses Programm werden wichtige Daten der Feder eingegeben (Abb. 118). Der Herstellungsprozesse musste zuerst festgelegt werden. Es ist möglich, eine Feder mittels drei verschiedener Verfahren herzustellen. Aus dem patentiert – gezogenen, unlegierten Federstahl kann durch zwei Formgestaltungen eine Feder hergestellt werden. Diese sind zum einen die warme Formgestaltung, zum anderen die kalte Formgestaltung. Als drittes Verfahren ist die warme Formgestaltung mit unlegierten oder legierten Vergütungsfederstahl zu benennen. Die eingebaute Feder wurde nach DIN 2906 Teil 1 mit der warmgeformten Formgestaltung hergestellt. Als Nächstes mussten die kleinste und die größte Federkraft definiert werden, 600 N und 11586 N. Nachfolgend wurden die geometrischen Eigenschaften ohne die Eingabe aller Maße definiert. Hier wurde der äußeren Durchmesser (110 mm) und die Federlänge zum Zeitpunkt der größten Krafteinwirkung eingegeben (230 mm). Als Arbeitstemperatur wird 20° C festgelegt, der Lagerungsbeiwert beträgt 0,5. Diese Ziffer zeigt die Befestigungsmöglichkeit des Federendes. Daraus ergibt sich die Formgebung der Feder unter Belastung. Außer dem Wert 0,5 können noch die Werte 0,7 1 und 2 ausgewählt werden. Die Anzahl der ungedehnten Endwindungen beträgt bei der Datenangabe 0, aber das Programm hat mit der Zahl 1,5 gerechnet. Die Lastspielfrequenz der Feder beträgt 0,1 1/s. Der Federnhub ist 30 mm groß. Ihr Festigkeitsbereich ist die Zeitfestigkeit, da die Belastung nicht immer auf der Feder lastet. Durch die Markierung der Zelle "Kugelstrahlen" als Endfertigungsverfahren wird die Lebensdauer der Feder stark erhöht. Im Programm kann zwischen den drei Ausstattungen der Federenden ausgewählt werden. In diesem Fall wurde für die Feder die Form 1 gewählt, hier sind die Enden angelegt und plangeschliffen. Die Form 2 besitzt angelegte und unbearbeitete Federenden, die Form 3 zeigt geschmiedete, angelegte und plangeschliffene Federenden an. Das Programm benötigt lediglich die Angabe des Werkstoffes, die fehlenden Zellen füllt es automatisch auf. Aus diesen Zellen können die wichtigsten mechanischen Eigenschaften der Federn herausgelesen werden. Hier wurde 51CrMoV4 ausgewählt. Im Anschluss kann das Programm die fehlenden Eigenschaften der Feder berechnen. Wenn Daten fehlen, zeigt das Programm mit einer roten Markierung an, welche Daten für die Berechnung noch

benötigt werden. Die beschriebene Berechnung wird im Anhang ausführlich dargestellt (MUHS 2005 S. 299-300).

Gütevorschrift		DIN 2096 Teil 1	▼
Kleine Federkraft		F1 =	600 N
Große Federkraft		F2 =	11586 N
Äußerer Windungsdurchmesser		De :	110 mm
Innerer Windungsdurchmesser		Di :	0 mm
Mittl. Windungsdurchmesser		D :	0 mm
Federlänge bei F2		L2 =	230 mm
Drahtdurchmesser		d :	0 mm
Anzahl der federnden Windungen		n :	0
Arbeitstemperatur		T =	20 °C
Lagerungsbeiwert		v =	0.5
Anzahl der ungef. Endwindungen		:	0
Lastspielfrequenz		f =	0,1 1/s
Federhub		sh (s2) =	30 mm
Herstellungsart			warmgeformt ▼
Festigkeitsbereich			Zeitfestigkeit ▼
Oberflächenbeschaffenheit			gezogen ▼
Kugelstrahlen (ja/nein)			▼
Federenden			Form 1 ▼
Werkstoffbezeichnung		=	51 CrMoV 4
Werkstoffnummer		=	1.7701
Elastizitätsmodul		E =	206000 N/mm ²
Schubmodul		G =	78500 N/mm ²
Dichte		ρ =	7.85 kg/dm ³

Abbildung 118: Die angegebene Daten des MDESING Roloff/ Matek Edition Programms

Diese Konstruktion fällt auf, da statt der Hebelarme zwei Hydraulikzylinder verbaut sind, wodurch die Plattform stufenlos einstellbar ist (Abb. 119). Diese Version des Dreiachsers wurde nach der Probephase des Zweiachsers nicht hergestellt.

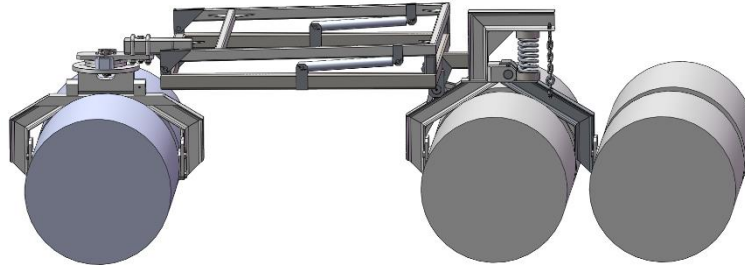


Abbildung 119: Erste Version des Dreiachsers mit Hydraulikzylinder

4.4.3 Zweite Version

Die zweite Version (Abb. 120) besitzt ein quadratisches Formrohr statt der rechteckigen Plattform und des Rahmens, dies ist eine Übereinstimmung mit dem Rahmen des Zweiachsers. Dadurch wurde die Konstruktion um ein Vielfaches vereinfacht und erleichtert, zudem befindet sich der Rahmen jetzt zwischen den ersten und zweiten Walzen. Der Gelenkpunkt wird vor die zweite Walze verlagert. Diese Lösung sorgte dafür, dass die vorgeschriebenen Voraussetzungen aus der Planbeschreibung umgesetzt werden konnte. Natürlich kann dieses Fahrzeug ebenfalls mit einer Fernsteuerung gelenkt werden. Wie auch beim Zweiachser, wurden zwei Kisten auf die zweite Walze montiert. Diese Kisten beinhalten die Steuerungselemente für die elektronische Lenkung und den Anlasser. Der Auspuff wurde an der Seite des Formrohres platziert, da in der ersten Walze zu wenig Platz vorhanden war. Dies reduzierte so die Befestigungsmöglichkeiten der Arbeitsgeräte.

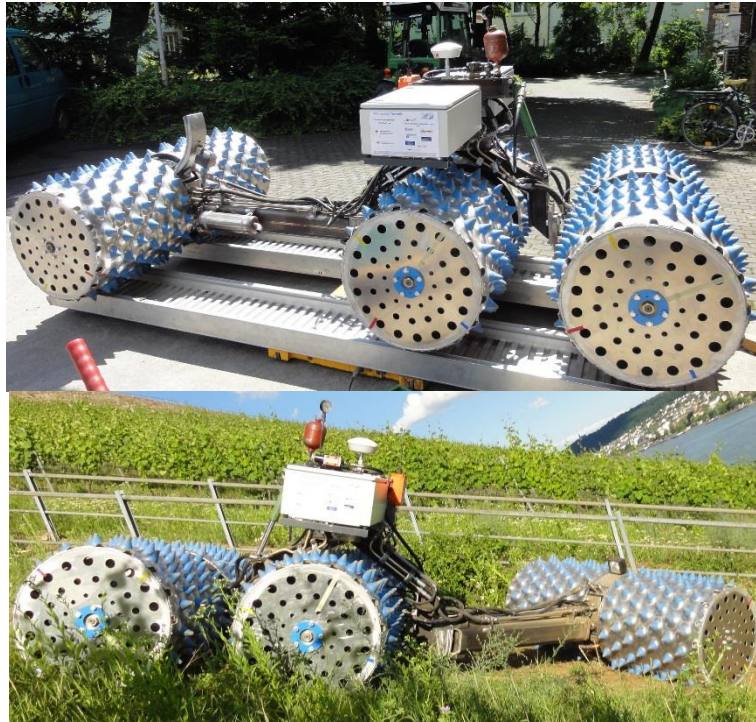


Abbildung 120: Zweite Version des Dreiachsers

Da der Rahmen geändert wurde, mussten im Folgenden die Verbindungswellen und die Verbindung mit dem ersten schwenkbaren Arm überarbeitet werden. In diesem Fall besitzt die erste Walze eine Verbindungswelle mit Stahlager. Diese Verbindungswelle ist so ähnlich, wie die Verbindungswelle der zweiten Walze für die erste Version. Aber hier steht die Welle aus dem Blech nicht heraus. Die beiden übrigen Walzen besitzen eine Verbindungswelle mit den Gummiböcken (Abb. 109). Die erste Verbindungswelle wird durch vier M20x45 Schrauben mit dem Endblech des Formrohrs verbunden. Dieses Endblech enthält vier M20 Gewindebohrungen, die Schrauben werden in diese Gewindebohrungen eingeklebt. Das andere Ende des neuen Rahmens wird durch einen Gelenkpunkt mit dem ersten schwenkbaren Arm verbunden (Abb. 120). Außerdem wurden noch zwei Änderungen in der Konstruktion durchgeführt. Diese Maschine erhält statt der Feder ein Hydraulikzylinder, dadurch ist die Federkraft einstellbar. Die Federkraft ist durch den Druck der Hydraulikflüssigkeit regelbar. Über die Pumpe der Maschine wird der gewünschte Druck hergestellt, den ein eingebautes Druckmesser anzeigt. In den Hydraulikkreislauf wird ein Hydroakkumulator eingebaut, welcher die Feder ersetzt und die ihr zugewiesenen Aufgaben ausführt (Abb. 120). Der Federhydraulikkreis (Abb. 121) ist durch einen Kugelhahn vom Hydraulikkreis der Maschine trennbar. Dadurch ist er von dessen Druckschwankung unabhängig, so kann

die eingestellte Federkraft für die hydraulische Feder gesichert werden. Die Federkraft muss durch den Druck so eingestellt sein, dass die dritte Walze wegen der niedrigen Traktion nicht durchdreht und die zweite Walze nicht in der Luft steht. Die beste Verbindung zwischen Boden und Walzen besteht bei einem gleichbleibenden Druck der Hydraulikflüssigkeit von 50 bar. So ist es möglich, alle drei Walzen abhängig von der Federkrafteinstellung, immer auf dem Boden zu halten. Dies ist sehr wichtig für die Steigfähigkeit der Maschine. Die zweite Änderung ist ein eingebautes Blech zwischen dem zweiten schwenkbaren Arm und seiner Verbindungswelle. Dieses Blech erhöht das Ende des zweiten schwenkbaren Arms um 100 mm. So kann sich der zweite schwenkbare Arm ohne Kontakt mit der dritten Walze hinunter bewegen, wenn die Maschine von der Neigung in die Ebene fährt. Daneben besteht ein größerer Abstand zwischen den zweiten und dritten Walzen.

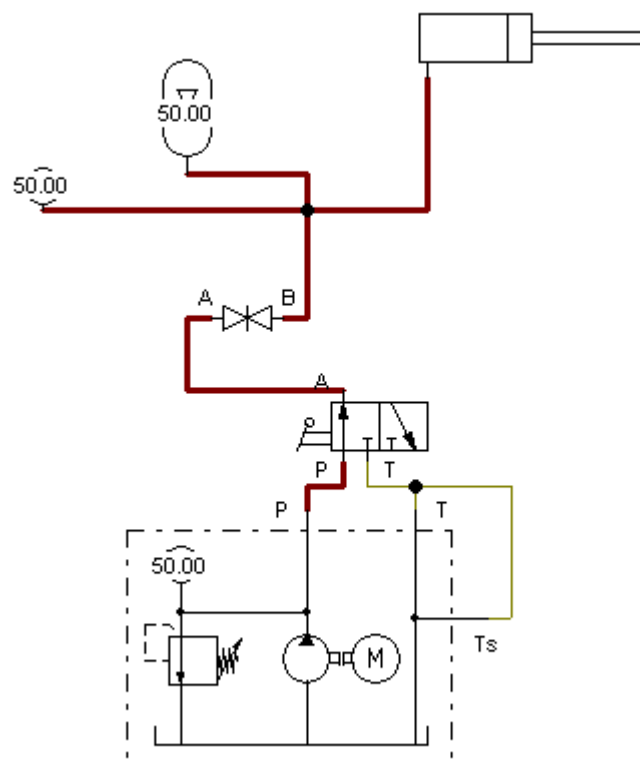


Abbildung 121: Hydraulikkreis der hydraulischen Feder

Im Anschluss wird die neue Version mit der Finiten Element Methode überprüft (Abb. 122-124). In diesem Fall musste die Konstruktion auch in vier Teile aufgeteilt werden. Die Verbindungswellen wurden schon vorher kontrolliert. Die Eigenmasse des Rahmens beträgt 50 kg, das des ersten angepassten schwenkbaren Arms 66 kg und die Ladungsmasse beträgt 500 kg. Hieraus ergibt sich, dass die Bohrungen der ersten Verbindungswelle 687,5 N tragen müssten. Die Teile der zweiten Verbindungswelle werden in diesem Fall mit 682 N belastet. Obwohl sich die Belastung der ersten Verbindungswelle erhöht, erreicht sie die Belastung der Verbindungswelle des ersten schwenkbaren Arms der Vorgängerversion nicht. Die Belastung des neu konstruierten schwenkbaren Arms ist ebenfalls niedriger. Aus diesem Grund entsteht eine niedrigere Spannung in diesen Verbindungswellen. Da sich der Werkstoff nicht verändert hat, lässt sich die Aussage treffen, dass die Verbindungswellen der Belastung standhalten. Das Formrohrteil wird an den Gewindebohrungen des Endblechs des Formrohrs durch die fixierten Einspannungen und am Gleitlager durch eine fixierte Scharniereinspannung befestigt. Die Belastung von 5000 N wird auf der Oberfläche des Formrohrs platziert. Nach der Durchführung der Berechnung wurde eine maximale Spannung von 7,73 MPa berechnet (Abb. 122). Aus diesem Grund beträgt der Sicherheitswert

$$n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{7,73 \text{ MPa}} = 30,4. \text{ Die verwendete Werkstoffart ist S 235 JR.}$$

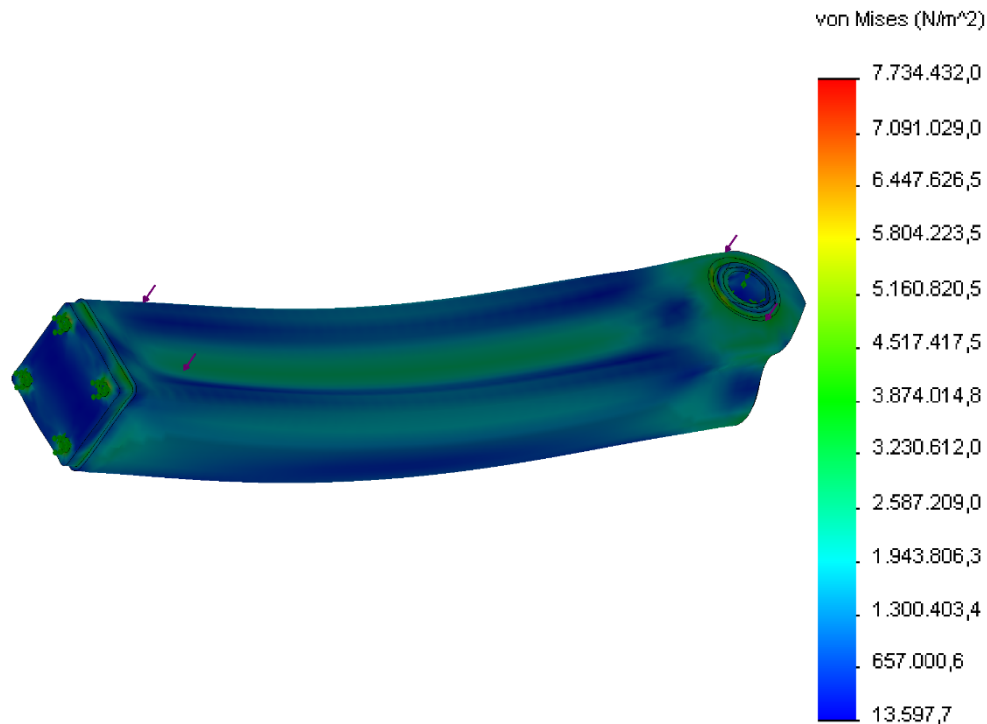


Abbildung 122: Finite Element Methode –Rahmen der zweiten Version des Dreiachsers

Für die Durchführung der Finiten Element Methode des schwenkbaren Armes musste die größte Federkraft ausgerechnet werden. Sie entsteht auch in diesem Fall, wenn sich die zweite Walze in der Luft befindet. Für diese Berechnung wurde eine Skizze (Abb. 123) gezeichnet. Die Kennzeichnungen der Belastungen sind bereits bekannt. $F_R = 2750 \text{ N}$, $F_W = 3000 \text{ N}$.

$$\sum M_i = 0 = F_F \cdot 0,279 \text{ m} = F_R \cdot 0,68 \text{ m} + F_W \cdot 0,036 \text{ m} \Rightarrow$$

$$F_F \cdot 0,279 \text{ m} = 2750 \text{ N} \cdot 0,68 \text{ m} + 3000 \text{ N} \cdot 0,036 \text{ m} \Rightarrow$$

$$F_F \cdot 0,279 \text{ m} = 1978 \text{ Nm} \quad / : 0,279 \text{ m}$$

$$F_F = 7089,61 \text{ N}$$

Diese berechnete Kraft ist nicht erwünscht, da dann die Bodenhaftung der Walzen zu gering wäre. Daher muss eine geringere Kraft eingestellt werden. Aber diese Kraft ist in der Realität nicht senkrecht. So muss die Komponente F_H (Abb. 123) dieser Kraft in Richtung des Hydraulikzylinders durch eine Kosinusfunktion berechnet werden.

$$\cos 20^\circ = \frac{F_H}{F_F} \Rightarrow F_H = \cos 20^\circ \cdot F_F = \sin 20^\circ \cdot 7089,61 \text{ N} = 6662,05 \text{ N} \approx 6662 \text{ N}$$

Der Kolbdurchmesser des Hydraulikzylinders beträgt 30 mm. Für diese Federkraft

$$p = \frac{F_F}{A} = \frac{F_F \cdot 4}{d^2 \cdot \pi} = \frac{6662 \text{ N} \cdot 4}{0,03^2 \text{ m} \cdot \pi} = 9424802,052 \text{ Pa} \approx 94 \text{ bar}$$

werden Druck benötigt. Um zu vermeiden, dass die zweite Walze bei einer Ladungsmasse von 500 kg und einer Druckeinstellung von 94 bar vom Boden abhebt, muss innerhalb des Hydraulikkreises mehrmals ein minimaler Druck eingestellt werden.

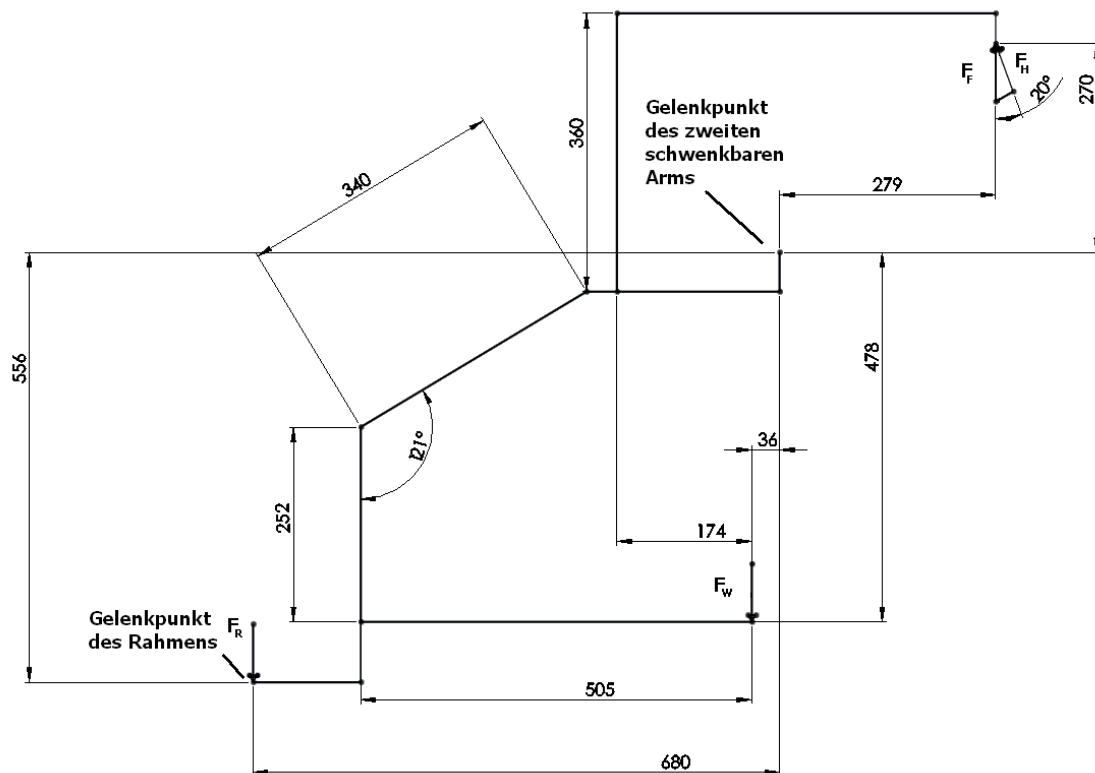


Abbildung 123: Skizze für die Federkraftberechnung der zweiten Version des Dreiachsers

Die oben genannte Federkraft wird bei der Finiten Elementen Methode für den ersten schwenkbaren Arm verwendet. Diese Kraft wird am Hydraulikzylinderhalter platziert. Die andere Belastung von 2750 N wirkt in der Simulation auf den Unterteil des Scharniers. Der erste schwenkbare Arm wird am unteren Blechteil durch ein Einrollenlager und am Gelenkpunkt des zweiten schwenkbaren Arms durch ein zweitwertiges Lager befestigt. Der verwendete Werkstoff ist S 235 JR. Die entstehende höchste Spannung beträgt 89,78 MPa (Abb. 124). So beträgt der Sicherheitswert

$$n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{89,78 \text{ MPa}} = 2,62. \text{ Der zweite schwenkbare Arm wird auf die gleiche Weise}$$

befestigt, wie bei der ersten Version. Seine Belastung von 6662 N wird am

Hydraulikzylinderhalter platziert. Der Werkstoff ist ähnlich wie vorher. Die höchste Spannung von 31,91 MPa (Abb. 123) ist nach der Durchführung der Simulation

entstanden. Der Sicherheitswert beträgt $n = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{max}} = \frac{235 \text{ MPa}}{39,91 \text{ MPa}} = 5,89$. Diese

Konstruktion kann auch die vorgeschriebene Belastung tragen.

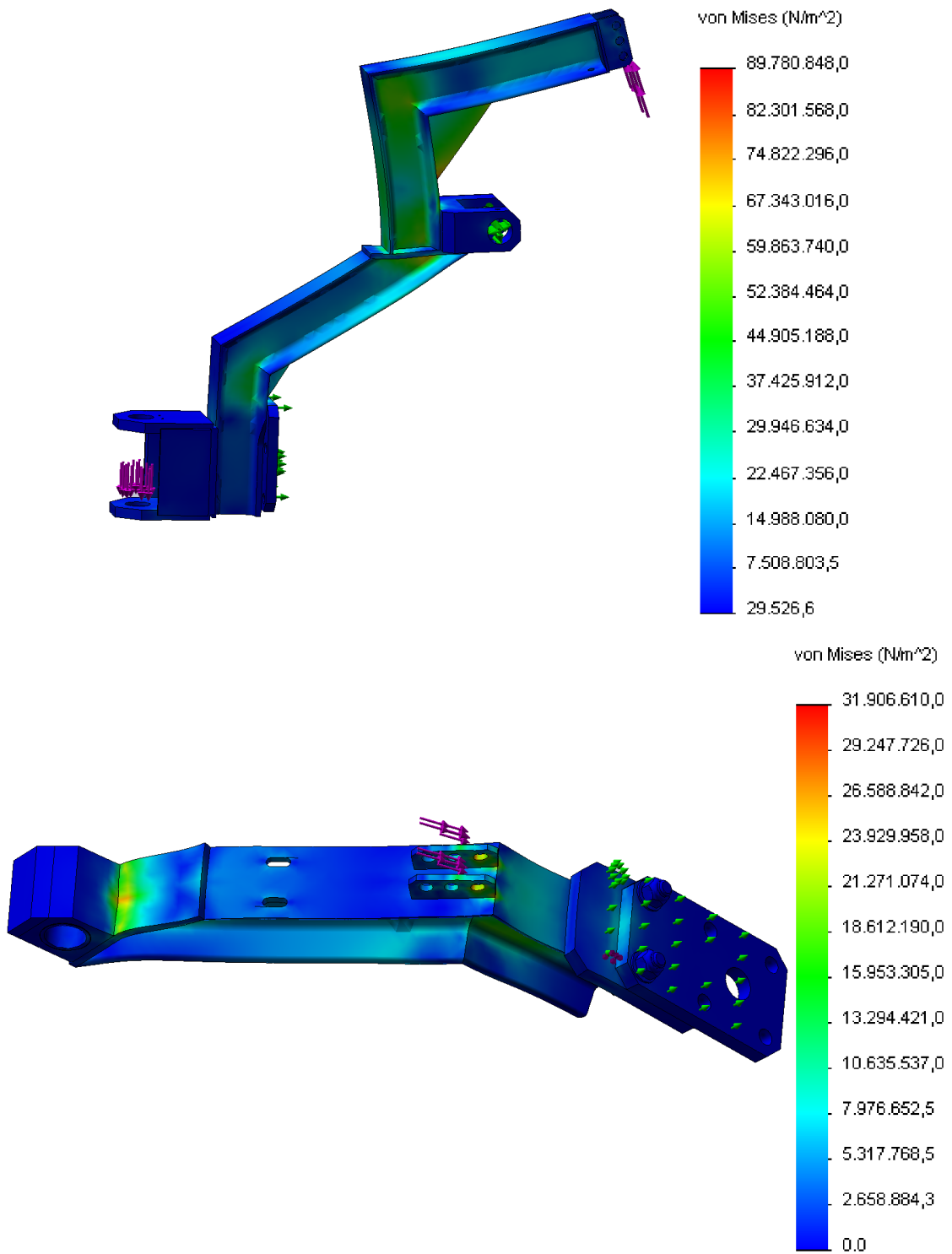


Abbildung 124: Finite Element Methode – hinteres Teil der zweiten Version des Dreiachsers

Lenkung

Das Hydrauliksystem funktioniert bei diesem Fahrzeug genauso, wie beim Zweiachser mit Knicklenkung. Aber hier befinden sich noch zwei zusätzliche Hydromotoren im Hydraulikkreis (Abb. 125 - 126). Diese Hydromotoren werden nach den hinteren Hydromotoren im Hydraulikkreis eingebaut. Aus diesem Grund bleiben der erste linke Hydraulikmotor und die beiden Motoren hinten rechts stehen wenn die Maschine nach links abbiegt, die anderen drei Hydraulikmotoren drehen weiter (Abb. 126). Natürlich ist es hier durch die Drosselventile auch möglich die Größe des Lenkradius zu steuern. In diesem Fall können die letzten zwei Hydromotoren einer Seite auf Grund des konstanten Druckes ein so großes Drehmoment abgeben, wie ein einzelner Hydromotor des Zweiachsers. Aber hier ist die Auflagefläche durch die dritte Walze größer. Also bewirkt ein gleichmäßiges Drehmoment hier eine doppelt so große Auflagefläche, wie beim Heck des Zweiachsers. So werden bei dieser Maschine die Traktionen und die Neigungsfähigkeit gesteigert. Die Fahrt rückwärts funktioniert ebenso wie beim Zweiachser.

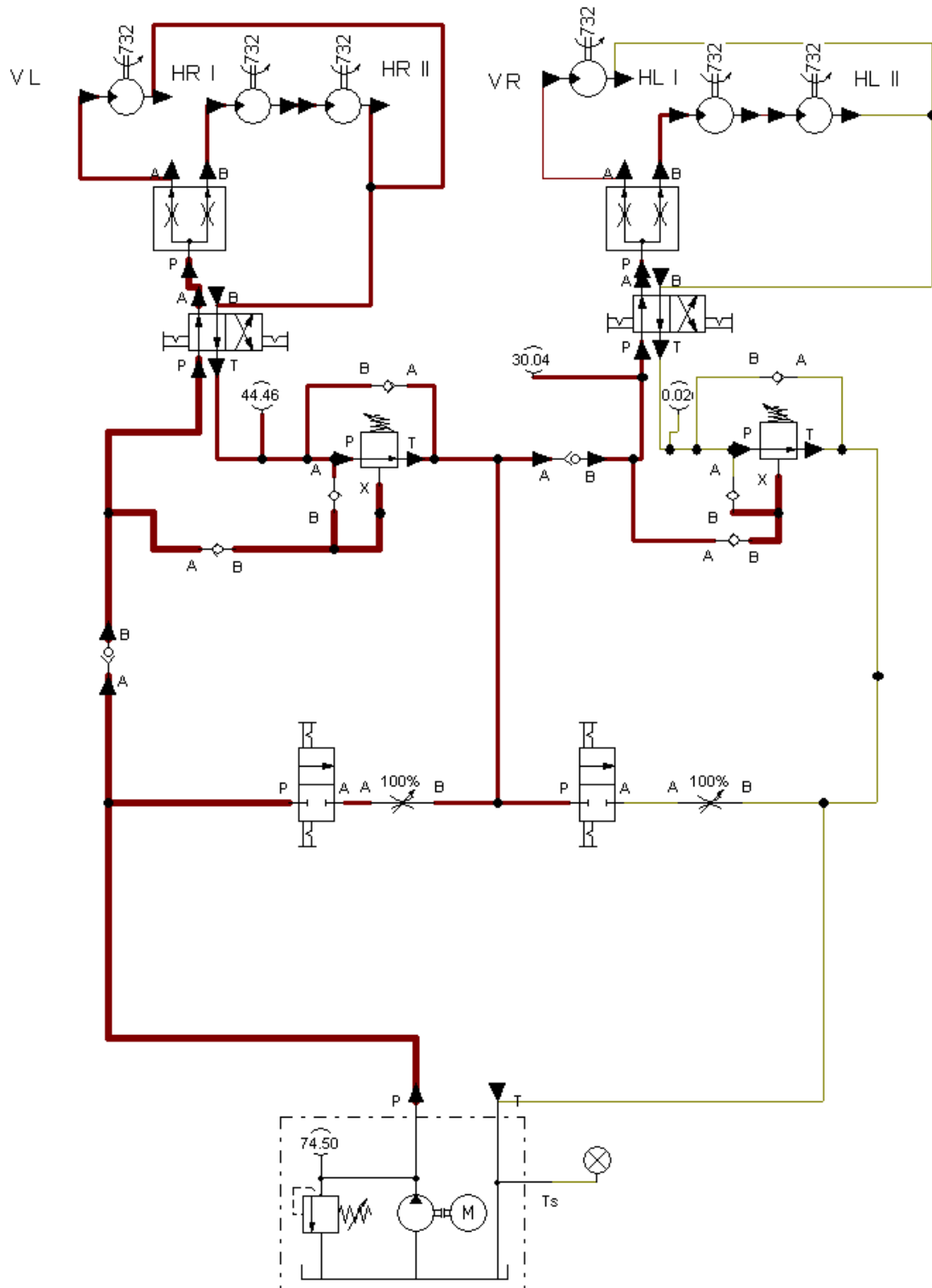


Abbildung 125: Hydraulikkreis während der geraden Fahrt

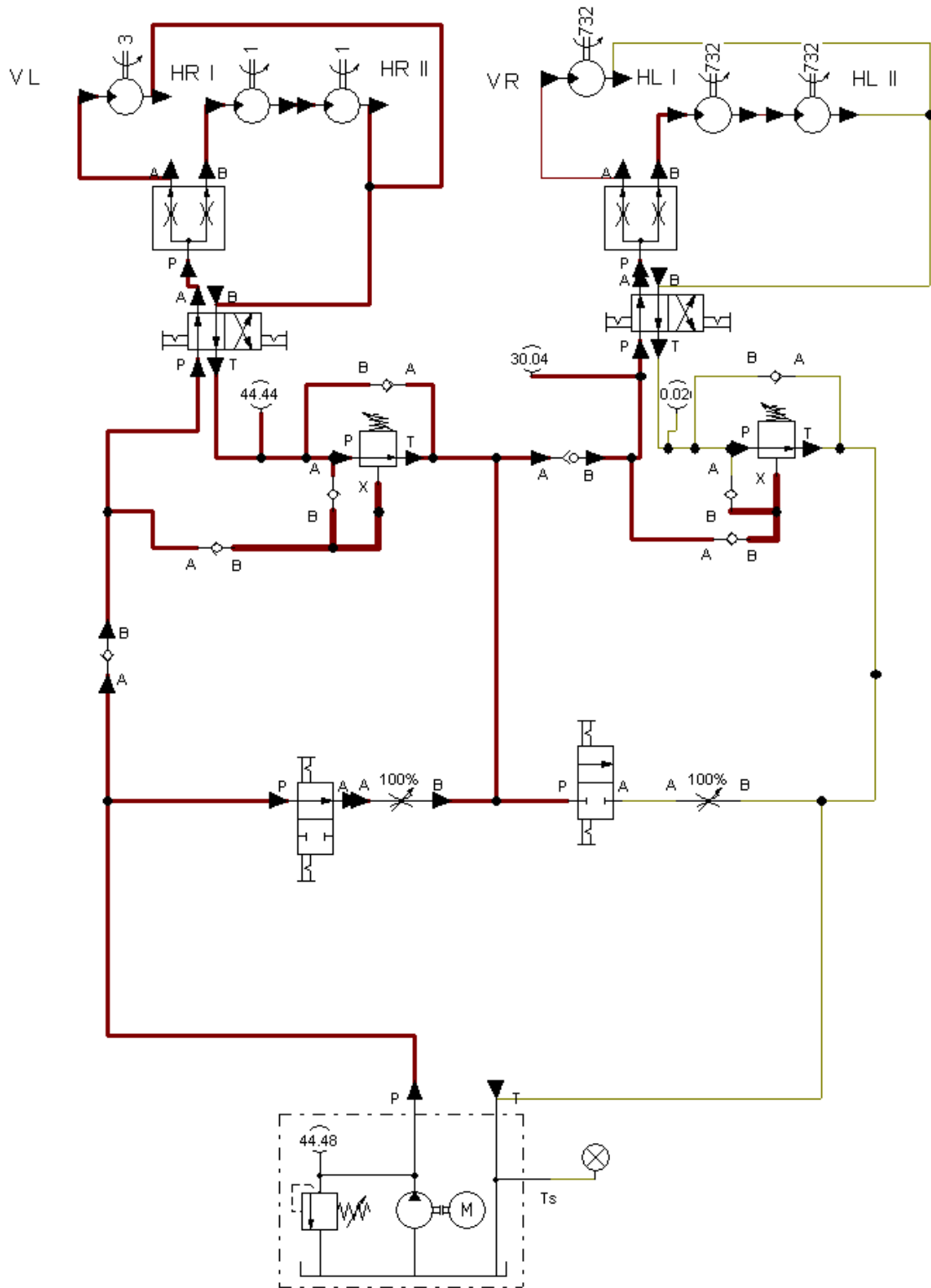


Abbildung 126: Hydraulikkreis während der Lenkung nach links

5 DISKUSSION

5.1 DISKUSSION DES LITERATURTEILS

Vor der Planung einer neuen Maschine müssen die Voraussetzungen für deren Einsatz bekannt sein. Hierzu zählen die genauen Details des Einsatzortes Steillage, wie die Neigung eines Weinbergs, die Abstände zwischen den Zeilen oder die Bodeneigenschaften (vgl. BECKER 1979, BÖHME 2003, PORTEN 2009). Auf Basis dieser Kenntnisse kann der Konstrukteur die Anforderungen der Maschinen genau auf die Bedürfnisse des Käufers abstimmen. Bezüglich dieser Maschine mussten insbesondere die Voraussetzungen für die Steillagenbewirtschaftung, also die Bearbeitungen und die Bearbeitungskriterien näher betrachtet werden. Außerdem mussten die bereits bekannten Mechanisierungssysteme in Augenschein genommen werden, da die Kenntnisse der Vor- und Nachteile der verschiedenen, bereits vorhandenen Mechanisierungssysteme der Planung und der Konstruktion der Maschine einen festen Rahmen gaben (vgl. DIETRICH 1995, WALG 2009, ANONYM 2010, PORTEN et.al. 2010, RÜHLING 2007).

Die Planung einer Maschine für den Steillagenweinberg stellte zwei Anforderungen an diese Fahrzeuge. Die erste Anforderung bezieht sich auf den Schwerpunkt der Fahrzeuge, welcher möglichst tief liegen musste. Die zweite Anforderung bezieht sich auf die Steuerung der Maschinen ohne Fahrer. Diese Anforderungen können durch einen Brielmaier Motormäher erfüllt werden (vgl. BRIELMAIER 2012a & b). Da besonders die Steuerung der Maschine ohne Fahrer eine Herausforderung darstellte, musste der Brielmaier Motormäher exakt studiert werden. Auch die geometrischen Maße des Motormähers waren aus zweierlei Gründen von besonderer Wichtigkeit. Zum einen, da sie die Verbindung der Rahmenkonstruktion mit den Walzen beeinflussen. Zum andere, da die Abmaßen zu breit für den Reihenabstand in den Steillagen waren. Daher muss der Zeilenabstand auf die Walzenbreite angepasst werden. Sofern es sich bei den Weinbergen um Minimalschnitterziehung handelt, ist eine Zeilenumstellung nichtmehr nötig, da diese Erziehungsform sowieso über breitere Zeilenabstände verfügt (vgl. SCHULTZ et.al. 1997, SCHULTZ et.al. 1999, BÖHME 2003).

Nachdem die möglichen Anpassungen der bereits bestehenden Fahrzeuge miteinbezogen wurden, musste das mögliche Interesse des Wirtschaftsmarktes für diese Maschine eingeschätzt und definiert werden. Daher mussten detaillierte Angaben über den Ablauf der Projektplanung und der Markteinführung erarbeitet werden. Vor der Planung mussten die verwendeten Werkstoffe sorgfältig bezüglich ihrer benötigten Eigenschaften ausgewählt werden. Zudem mussten die Bauteile ausführlich auf ihre Herstellbarkeit hin überprüft und auf Basis dieses Kriteriums entwickelt werden. Die Beurteilung der Herstellbarkeit erfordert ein fundiertes Wissen über die Funktionsweise der verschiedenen Fertigungstechnologien.

Da mit diesem Projekt einer Roboterentwicklung für den Einsatz im Weinbau absolutes Neuland betreten wurde, gibt es in diesem Falle kaum Literaturquellen, auf die zurückgegriffen werden konnte. Zwar gibt es Literatur zur strukturellen Problematik des Steillagenweinbaus, verbunden mit Ansätzen zu einer zumindest teilweisen Mechanisierung (vgl. STEINMETZ 1985, DIETRICH 1995, BÖHME 2003, WALG 2009, PORTEN et.al. 2010, KOMAR 2011, VOLLMER 2013), doch es fehlen derzeit Fahrsysteme, die eine vollständige Mechanisierung inklusive Ernte und winterlichem Rebholzschnitt möglich machen. Dies gilt insbesondere für die Adaption der Minimalschnitterziehung im Steilhang, die im Flachlagenweinbau eine 100%ige Mechanisierung ermöglicht (vgl. SCHULTZ et.al. 1997 & 1999, SCHWAB et.al. 2007).

Es handelt sich deshalb in der vorliegenden Arbeit um eine Prototypentwicklung zur grundsätzlichen Systematik von Fahrzeug und Antrieb eines autonomen Steillagenfahrzeugs.

5.2 DISKUSSION VON MATERIAL UND METHODE

Mittlerweile werden Entwicklungsprozesse über Computerprogramme dokumentiert und auch dargestellt. Dies erleichtert die Arbeit und beschleunigt sie um ein Vielfaches. Für den Betrachter werden die Entwicklungen visuell ansprechend dargestellt und kleinere Details können per Mausklick vergrößert werden. Die visuell ansprechende Gestaltung durch farbige Bilder, Diagramme und Abbildungen ermöglicht dem Leser ein leichteres und schnelleres Verständnis. Daher bot sich das SolidWorks 3 - D Zeichnungsprogramm für die Planung der Fahrzeuge an. Dieses Programm besitzt ein Simulationsmodul für die

Berechnung der Finiten Element Methode. Zudem können statische Berechnungen durchgeführt werden, die es ermöglichen den Spannungszustand eines Bauteiles oder einer Baugruppe in einem bestimmten Belastungs- und Einspannungssystem zu simulieren. Mit den Ergebnissen dieser Simulationen erkennt der Konstrukteur, ob die Konstruktion die Belastung ohne Deformationen standhalten kann, oder ob er Änderungen vornehmen muss. Zudem ist das Zeichnungsprogramm sehr verbraucherfreundlich, da die 2 - und 3 – D Zeichnungen sehr einfach und leicht herzustellen zu sind.

Statt der Finiten Element Methode gibt es eine andere Möglichkeit zur Spannungsberechnung. In diesem Fall muss das Werkstück mit seinen Einspannungsarten und Belastungen modelliert werden. Danach muss die Größe der Reaktionskraft errechnet werden, für welche die Zeichnung der Kraft- und Momentendiagramme notwendig sind. Aus diesen Diagrammen wird der Punkt der größten Belastung herausgelesen, um so den Schwerpunkt festzusetzen. Bezogen auf diesen Punkt müssen die verschiedenen Spannungszustände mittels der Kräfte und Momente ausgerechnet werden, sodass die reduzierte Spannung berechnet werden kann. Am Ende der Berechnung muss der Sicherheitswert aus der reduzierten Spannung und der Spannung der Festigkeitsgrenzen ermittelt werden. Während der Finiten Element Methode errechnet das Programm für alle Durchmesser die entstehende reduzierte Spannung. Dadurch bekommt der Konstrukteur ein Bild davon, wo sich die Spannung in der Konstruktion befindet und wie groß diese ist. Hier müssen nur die Plätze der Einspannungsarten und die Plätze und Größe der Belastungsarten eingegeben werden. So ist diese Methode sehr schnell und einfach anzuwenden. Dabei ist die Fehlerwahrscheinlichkeit niedriger als bei der manuellen Berechnung. Diese Methode wird auch in vielen Industriebereichen eingesetzt.

Wegen der Zuschnitte der Blechteile musste das 2 – D AutoCAD Zeichnungsprogramm eingesetzt werden. Die Laserzuschnittmaschinen unterstützen nur die Datenformate dieses Programms. Aus diesem Grund mussten die Zeichnungen der Blechteile in diesen Datenformaten mit einem 1:1 Maßstab gespeichert werden. Innerhalb dieses Projekts wurden zwei weitere Programme verwendet. Zum einen das MDESING Roloff/ Matek Programm zur Berechnung der benötigten Herstellungsdaten für die Feder. Zum anderen

das FluidSIM für die Simulation der Funktion der hydraulischen Lenkungssysteme bei den verschiedenen Maschinenversionen.

Für die Fertigungsprozesse, die im Haus durchgeführt wurden, wurden nur die aufgeführten Maschinen verwendet. Es ist aber nicht bekannt, welche Maschinen bei den Fertigungsprozessen verwendet wurden, die außer Haus durchgeführt wurden. Im Kapitel „Material und Methoden“ wird das DMS ausführlich vorgestellt. Die Kenntnisse des Systems sind von grundlegender Relevanz für die Messung der Verbindungswellendehnung. Aus der gemessenen Dehnung kann die entstehende Spannung in der Verbindungswellen berechnet werden. Diese Berechnung zeigt deutlich, dass eine große Spannung und eine große Dehnung miteinander einhergehen. Für den Vergleich zweier Belastungssysteme wird die Dehnungsmessung durchgeführt, hierfür muss die Spannung nicht ausgerechnet werden. Auf Grund des Wertes der Dehnungsdaten sind beide Belastungssysteme vergleichbar.

5.3 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Im Verlauf des Projekts sollten ein zwei- und ein dreiachsige Fahrzeuge hergestellt werden. Insgesamt mussten drei Ziele verwirklicht werden. Erstens die Erleichterung der Arbeit für den Winzer und dessen Mitarbeiter. Zweitens die Verbesserung der Arbeitsbedingungen in Weinbausteillagen. Vor allem die Sicherheit des Arbeitsprozesses lag hier im Fokus, da die Anzahl der Todesfälle während der Bewirtschaftung von Steillagenweinbergen im besten Falle auf Null reduziert werden sollte. Drittens die Verminderung der entstehenden Arbeitskosten für den Winzer. Gerade für das Erfüllen aller drei Ziele bot sich die Übernahme des Antriebssystems des Brielmaier Motormähers als Ausgangspunkt der Weiterentwicklung an. Dieser Antrieb besitzt einen sehr niedrigen Gewichtspunkt aufgrund des in der Walze integrierten Antriebsstrangs. Die eingebaute CAN – Bus Steuerung ermöglicht die Fahrt der Maschine ohne Fahrer, sowie die Bedienung der Maschine mittels Fernsteuerung oder GPS. So ist das Leben des Mitarbeiters oder der Mitarbeiter während der Arbeit in Steillagenweinbergen geschützt.

Im Rahmen des Projekts musste die Breite des Antriebs proportional zur Rebreihe reduziert werden. Außerdem wurden beim Zweiachser zwei Walzen an einen rechteckigen Rahmen angefügt. Beim Dreiachser wurden drei Walzen an einen

rechteckigen Rahmen angefügt. Für die erste Version des Dreiachsers konnten mehrere Anforderungsbedingungen der Planbeschreibung nicht erfüllt werden. Die erste Version des Zweiachsers musste ebenfalls umgeplant werden, da sich das Wenden der Maschine als problematisch erwies. Durch den Einbau einer Knicklenkung in beide Fahrzeuge wurden deren Lenkfähigkeiten verbessert. Diese Änderung brachte noch drei Verbesserungen mit sich, erstens die Vereinfachung der Rahmenkonstruktion. Zweitens die Verstärkung des Rahmens und drittens die Senkung des Bodendrucks durch die Reduzierung des Gewichts. Beide Versionen wurden im Anschluss mit der Finiten Element Methode daraufhin kontrolliert, ob sie der vorgeschriebenen Belastung standhalten können.

Nach der Rahmenfertigung wurde mit der Herstellung der Arbeitsgeräte begonnen. Für diese Fahrzeuge mussten spezielle Arbeitsgeräte entwickelt und angefertigt werden. Alle neuen Arbeitsgeräte besitzen einen elektrischen Antrieb. Dieses Konstruktionselement, sowie verschiedene andere Kriterien sorgen dafür, dass diese von den bisher bekannten Arbeitsgeräten abweichen.

5.3.1 Vergleich der ersten und zweiten Version der Fahrzeuge

Der Zweiachser wurde in zwei unterschiedlichen Versionen hergestellt. Die erste Version erhielt die gleiche Lenkung wie ein Panzer, da zwei Walzen mit einem rechteckigen, festen Rahmen verbunden wurden. Diese Lenkung sorgte in der Praxis dafür, dass die Maschine nur unzureichend lenkbar war. Außerdem konnte sich die Maschine nicht so um ihren Mittelpunkt drehen, wie die Planbeschreibung dies forderte. Die Entstehung dieses Problems wurde bereits im Kapitel "Lenkung" unter dem Punkt "Zweiachser" dargestellt. Durch die schwere Lenkfähigkeit waren die Verbindungswellen stark belastet. Aus der schweren Lenkfähigkeit ergab sich, dass der reale Schlupf um ein Vielfaches größer war als der berechnete Schlupf. Die anderen Anforderungen der Planbeschreibung erfüllte die Maschine, da sie ohne Seilzug auf festem Boden einen Hang befahren konnte, der steiler als 60% ist (Vgl. auch BRUNNER 2015). Wegen der aufgetretenen Probleme musste eine andere Version der Lenkung verwendet werden. Nach der Panzerlenkung wurde die Knicklenkung eingesetzt. Die Lenkungssortenänderung zog die Änderung des Rahmens nach sich. Durch die neue

Rahmenkonstruktion und die Knicklenkung gewann die Maschine an Lenkfähigkeit. Der Lenkradius, der Platz für die Umkehr und die Umkehrzeit waren um ein Vielfaches kleiner als vorher. Neben dieser Verbesserung war die Belastung der Verbindungswellen viel geringer als bei der ersten Version und der Schlupf war nahezu identisch mit dem berechneten Schlupf. Die letzten zwei Aussagen unterstützen die, im Ergebnisteil vorgestellten, gemessenen Daten (Abb. 92 und 96). Die einfachere Rahmenkonstruktion ermöglichte eine sehr einfache Verbindungsmöglichkeit zwischen dem Rahmen und den Arbeitsmaschinen. Diese beschriebenen Änderungen übten einen positiven Einfluss auf die Fahrzeugeigenschaften aus.

Der Dreiachser wurde ebenfalls in zwei unterschiedlichen Versionen geplant, jedoch wurde nur die zweite Version hergestellt. Die erste Version erfüllte nicht alle Anforderungen der Planbeschreibung. Beide Maschinen wiesen eine identische Problemstellung auf, denn es entstand auf Grund der Konstruktion des Rahmens zwischen den ersten und zweiten Walzen ein akutes Platzproblem. Dieses entsteht bei der Lenkung durch die Schrägstellung der ersten Walze zur Mittellinie des Rahmens. In diesem Fall nähert sich die erste Walze der zweiten Walze an (Abb. 127). Für diese Sachlage kamen drei Lösungsmöglichkeiten in Frage. Erstens, die erste Walze muss wegen des rechteckigen Rahmens weit weg von der zweiten Walze platziert werden. So würde sich die Länge der Maschine vergrößern und die Lenkfähigkeit würde stark gesenkt werden. Zweitens, der Rahmen wird verkürzt. Drittens, der Rahmen wird über die Walze gesetzt, wodurch sich weder die Länge noch die Lenkfähigkeit verändern würde. Aus diesen Gründen wurde die dritte Möglichkeit gewählt. Die Höhe des Rahmens steigerte die quergerichtete Bewegungsmöglichkeit der ersten Walze. Durch die Idee des Einbaus einer Knicklenkung entstand die Möglichkeit, den Rahmen zwischen der ersten und zweiten Walze zu platzieren. Die überarbeitete Konstruktion ist, wie auch für den Zweiachser, um ein Vielfaches einfacher. Durch die neue Konstruktion wurden der Lenkradius und der Platz für die Umkehr reduziert, aber nicht in so hohem Maße wie für den Zweiachser. Eine hervorstechende Eigenschaft dieser Version ist die Möglichkeit, die Federkraft der dritten Walze während der verschiedenen Belastungen einzustellen. Die erste Version besaß lediglich eine nicht einstellbare Feder, wodurch die Federkraft während der Leerfahrt und der Fahrt unter Belastung vom Federrate und von der Belastung abhängen wurde. Auf Grund dieser hohen, nicht einstellbaren Federkraft hätte

es passieren können, dass die dritte Walze die zweite Walze bei der Leerfahrt oder unter geringer Belastung hoch hebt. Die zweite Version dieses Fahrzeugs stellte einen erheblichen Fortschritt dar.

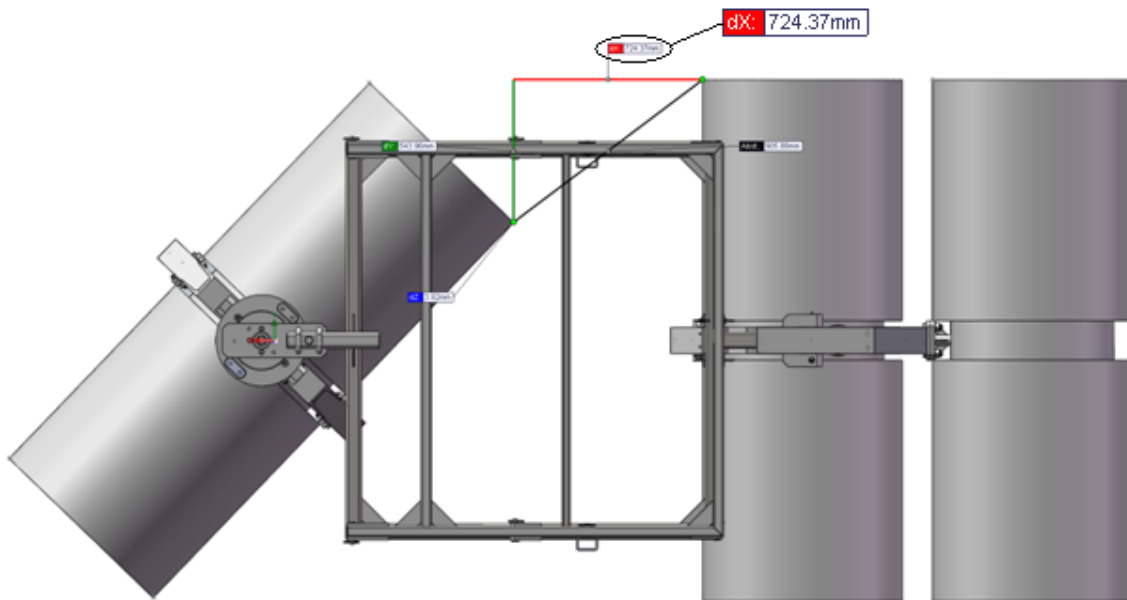


Abbildung 127: Lenkmanöver der ersten Version des Dreischres

5.3.2 Vergleich des Zwei- und Dreiachsers

Der Vergleich des Zweiachsers mit dem Dreiachsler zeigt auf den ersten Blick, dass der Dreiachsler deutlich länger ist als der Zweiachsler. Der Vorteil des Zweiachsers ist deshalb, dass er für das Abbiegen weniger Platz benötigt. Zudem ist dieser viel wendiger, da der Knickpunkt in der Mitte des Rahmens eingebaut ist. Das Wendemanöver des Dreiachsers erweist sich als deutlich unkontrollierter, da die dritte Walze mehr rutschen muss als die Zweite. Die Problematik lässt sich sehr einfach anhand des Wendemanövers eines Lastwagens mit dreiachsigem Anhänger (Abb. 128) erklären. Beim Abbiegen muss sich der Anhänger um einen Punkt an der ersten Radreihe des Anhängers drehen. Im Folgenden müssen die restlichen Radreihen in die Gegenrichtung der Wendebewegung rutschen. Um hier das Abbiegen des Anhängers zu erleichtern, besitzen diese Anhänger eine lenkbare zweite und dritte Radreihe. Dieses Phänomen tritt auch beim Wendemanöver des Dreiachsers auf. Außerdem behindert die geringe Rutschfähigkeit der Walzen die Lenkfähigkeit des Dreiachsers, wie bereits bei der ersten Version des Zweiachsers. Durch die Position des Lenkungspunktes und den Abstand der ersten und

zweiten Walzen erhält der Dreiachser mehr Platz für das Wendemanöver. Beim Zweiachser nähern sich die linken Walzenseiten während des Abbiegens nach links einander an, so reduziert sich der Raum zwischen den Walzen konstant. Beim Dreiachser reduziert sich der Raum zwischen den ersten und zweiten Walzen ebenfalls, aber in geringerem Maße. In diesem Fall nähert sich die zweite Walze dem Rahmen an. Die Größe des freien Raumes zwischen zwei Walzen ist wichtig, da von diesem Raum die Konstruktion der Arbeitsgeräte abhängt. Diese werden an die Gegebenheiten der Zugmaschine angepasst. Daneben mussten die Zugmaschinen mit ihrer Arbeitsgeräte einen tiefen Gewichtspunkt haben. Der weitere Vorteil des Dreiachsers ist die hohe Traktionsfähigkeit, da die Auflagefläche durch die dritte Walze erhöht wird. Des Weiteren besitzt der Dreiachser einen kräftigeren Motor (mit 36,72 kW) als der Zweiachser (mit 20,4 kW).



Abbildung 128: Dreiachsiger Anhänger (KÖGEL PROSPEKTE 2013 S. 1)

5.4 ANWENDUNG IN DER PRAXIS

5.4.1 Zwei- und Dreiachser

Heutzutage werden die allermeisten Rebflächen in den Steillagen mit einem 1,8 – 2 m breiten Reihenabstand angepflanzt. Die Maße und Konstruktionsweise der bereits vorgestellten Maschinen sind auf diesen Reihenabstand ausgerichtet (siehe Kapitel 2.1.3 Mechanisierung). Einige wenige Ausnahmen benötigen einen kleineren Reihenabstand, um die anfallenden Arbeiten ausführen zu können, wie z. B. der selbstlenkende Geräteträger (Abb. 13). Ebenso existieren einige wenige Anlagen mit einem größeren Reihenabstand (2,5 – 3 m). Der Reihenabstand wirkt sich auf die Bodenerosion aus. Zudem bestimmt er die Höhe des Ertrages der Fläche, und die Art der einzusetzenden

Maschinen. Gerade die beiden ersten Punkte, die Bodenerosion und der Flächenertrag sprechen natürlich für einen engeren Reihenabstand. Hingegen wäre der breitere Reihenabstand wegen der verbesserten Stabilität für die hier verwendeten Maschinen von Vorteil.

Im Kapitel Literaturübersicht wurde bereits erklärt, dass der Reihenabstand mindestens 0,6 m breiter sein muss als die Zugmaschine. Während des Projekts führte dies nach der ersten Reduzierung zu einem Mindestabstand zwischen den Reihen von 2,35 m. Da dieser Reihenabstand nur selten vorzufinden ist, können diese Fahrzeuge in wenigen Steillagenweinbergen eingesetzt werden. Trotzdem erweitern sich die Einsatzmöglichkeiten der Maschine durch diese minimale Änderung der Breite von 240 mm. Nach dieser Reduzierung betrug die Breite noch 1750 mm. Diese Abmaßen erwiesen sich für einen Reihenabstand von 1,8-2 m immer noch als zu breit. Aus diesem Grund muss die Walzenbreite ein zweites Mal reduziert werden. Diese erneute Reduzierung zog eine Änderung der Konstruktion nach sich. Der Walzenkorb ist bereits mit dem Antriebsstrang ausgefüllt. Der Antriebsstrang muss nach der erneuten Reduzierung der Walzenbreite ebenfalls verringert werden. So vermindert sich auch die Leistung der Maschine stark. Dieser unerwünschte Leistungsverlust könnte durch die Vergrößerung des Walzendurchmessers verhindert werden, wodurch aber ein höherer Schwerpunkt der Maschine entstehen würde. Dies ist ebenso wenig erwünscht. Außerdem sollte ein anderer Antriebsstrang eingesetzt werden, der eine identische Leistung erbringen könnte, oder sogar eine größere Leistung.

Der hydraulische Walzantrieb wäre eine exzellente Lösung für eine Steillagenweinbergmaschine. Auf Grund der dargestellten Probleme wurde der Austausch des hydraulischen Antriebsstranges gegen einen elektrischen Antriebsstrang notwendig. Selbst die dargestellten, innovativen Neuerungen des Systems können diese Tatsache nicht verhindern. Der elektrische Antriebsstrang muss nach der Reduzierung an die Walzenbreite angepasst werden, um den Stromantrieb zu gewährleisten. Dieser wird mittels eines Generators zur Verfügung gestellt, der durch einen Verbrennungsmotor angetrieben wird. Die Stromversorgung der Arbeitsgeräte wurde in den hinteren Walzenkorb des Zweiachsers eingebaut. Dieses Vorgehen erwies sich als problematisch, da dies wegen der geringen Maße des Walzenkorbs nicht möglich war. Eine andere

Alternative wäre der Einbau von Akkumulatoren in den Walzenkorb, die die Stromversorgung für einen Tag Arbeit sichern könnten. Hierzu müsste noch ein Sonnenkollektor über einer Walze eingebaut werden. Dies würde die Senkung der Aufladekosten für die Akkumulatoren ermöglichen. Der Sonnenkollektor müsste einen Platz erhalten, der Schutz vor Beschädigungen bietet. Durch diese Konstruktion wird der Wirkungsgrad des Antriebsstrangs gesteigert und die Reduzierung der Walzenbreite ermöglicht.

Ein weiteres Problem ist der schlechte Kraftschluss der Stachelwalze auf Schieferboden. Die Stacheln der Walzen könnten entweder auf den Schieferplatten wegrutschen, oder sie könnten sich zwischen den Stacheln verkeilen. Dies würde für eine verminderte Steigfähigkeit der Maschine sorgen, da die Stacheln nicht tief genug in den Boden eindringen können, um einen guten Halt der Walzen zu ermöglichen. Durch den Austausch der Stacheln kann dieses Problem gelöst werden. Die Änderungen der Stacheln beziehen sich auf die Form, die Länge und das Material. Die Stacheln müssen dann ca. doppelt so lang, dünn und nadelförmig sein. Das Material darf nur langsam verschleifen, außerdem muss es rostfrei und hart genug sein, um durch die Platten in den Boden gelangen zu können. Durch diese Änderungen können die Stacheln der Walzen zwischen den Schieferplatten in den Boden genug tief eindringen. Daneben ist die Wahrscheinlichkeit für ein Verkeilen des Schieferplattes mehr Mal Trotz der Änderungen kann das Wegrutschen der Fahrzeuge nicht gänzlich verhindert werden, aber die Auswirkungen sind nicht so gravierend wie bei der vorherigen Bauweise. Das Wegrutschen geschieht dann, wenn die Platten unter den Stacheln der Maschine liegen und wenn eine verkeilte Platte zwischen den Stacheln die Tiefe des Eindringens in den Boden reduziert.

Während der Ausstellung dieser Fahrzeuge wurden von Seiten der Winzer Einwände gegen das neue System hervorgebracht. Das Hauptproblem war, dass die entwickelten Fahrzeuge mit den gängigen Arbeitsgeräten nicht zu verbinden sind. Auf den ersten Blick zeigt sich dies den Kunden durch den höheren Investitionspreis. Da das System aber an die Bedürfnisse der Steillagenwinzer angepasst ist, dürfte diese Tatsache nur nebensächlich sein. Da dies die Kunden aber zuerst abschrecken könnte, könnte dies die Verkaufszahlen stark beeinträchtigen. Jedoch erwirbt der Kunde nicht ein einzelnes Teil,

sondern ein komplettes Mechanisierungssystem, welches seine Arbeit erleichtert. Das System kann ohne einen Fahrer betrieben werden, sodass der Winzer zeitgleich einer anderen Tätigkeit nachgehen kann. Die Zugfahrzeuge und die dazugehörige Arbeitsgeräte arbeiten energieeffizient, da sie einen elektrischen Antrieb besitzen, wodurch die größte mögliche Menge an eingesetzter Energie verwendet wird. Dies reduziert den Energiebedarf und damit einhergehend die Energiekosten. Der Winzer spart Arbeitszeit und auch Kosten ein.

Zur Arbeitssicherheit sollte das Fahrzeug fahrerlos arbeiten, d.h., es muss mit ferngelenkt fahren können. Dies soll sowohl durch eine autonome GPS-Steuerung als auch durch überlagerte Funkfernsteuerung ermöglicht werden. Die Möglichkeit einer GPS-gestützten Steuerung wurde im Projekt „Phenobot“ von RÜGER (2015) an der Hochschule Geisenheim realisiert. Eine überlagerte Funkfernsteuerung wird realisiert im Angebot der Firma BRIELMAIER Motomäher GmbH.

5.4.2 Arbeitsgeräte

5.4.2.1 Plattform

Die neuentwickelte und eingesetzte Plattform führte zu einer Verbesserung der Transportarbeiten in Steillagenweinbergen. Die Transportarbeiten sind die Düngerauslieferung und die Entsorgung der geernteten Trauben während der Lese. Dieser Arbeitsgang wird durch die Verwendung von Transportkisten unterstützt. Diese Transportkisten dürfen nicht von der Plattform rutschen, wenn das Fahrzeug fährt. Die Plattform verbleibt während der Fahrt immer in der horizontalen Position, unabhängig von der Neigung des An- oder Abstieges, da sonst die Ladung in die Weinberge rutschen würde. Ein weiterer Vorteil ist das hohe Fassungsvermögen der Transportkisten. Durch das vollständige Befüllen der Kisten werden die Fahrten des Fahrzeugs reduziert, dies senkt ebenfalls die Kosten für den Arbeitseinsatz. Die horizontale Einstellung dieser Version der Plattform geschieht mittels zweier Hydraulikzylinder. Diese sind fernsteuerbar und werden immer auf die aktuelle Neigung eingestellt. Auf ebener Fläche hebt ein Gabelstapler die Erntekisten über die Plattform. Um diesen Arbeitsgang zu optimieren, müsste die Einstellung der Plattform automatisch erfolgen. Der Arbeitsgang würde dann ohne den Einsatz eines Mitarbeiters ermöglicht werden, und würde einiges an

Arbeitszeit einsparen. Dieser Idealfall könnte durch den Einbau eines Sensors ermöglicht werden, welcher den Grad der Plattform automatisch erkennt. Der Sensor müsste die Plattform auf einen Niveau von 0° halten. Eine Neigungsänderung würde er automatisch korrigieren, um die Plattform in die optimale Arbeitslage zu versetzen. Für die elektrische Version des Zwei- und Dreiachsers ist der Einsatz eines Hydraulikzylinders, der die Bewegung der Plattform durchführt, nicht möglich. In diesem Fall müssen statt der Hydraulikzylinder zwei Elektrozyylinder (Linearaktuatoren) eingebaut werden.

5.4.2.2 *Mulcher*

Die im Handel erhältlichen Mulcher werden mechanisch über die Kardanwelle des Traktors angetrieben. Wenn diese Maschinen über mehr als einen Messerhalter verfügt, muss die Drehbewegung durch einen Antriebsverteiler zum Messerhalter weitergeleitet werden. Angetrieben werden die Messerhalter durch einen mechanischen Antrieb. Die Position des Messerhalters wurde so konstruiert, dass die Schneideflächen der Messerhalter sich überlappen. So können keine Gräser in der Mitte der Schneidefläche des Mulchers stehen bleiben. Die Messer der verschiedene Messerhalter können, wegen des durch den mechanischen Antrieb eingestellten Winkelunterschieds, nicht aneinander stoßen. In diesem Fall besitzen die Messerhalter einen elektrischen Antrieb. Aus diesem Grund ist der Energieverlust bei diesem Mulcher geringer. Aber hier ist es nicht möglich die Winkelposition der Messer einzustellen. Die Überlappung der Schneideflächen für ein optimales und sauberes Schneiderergebnis kann trotzdem ermöglicht werden. Die notwendige Überlappung der Schneidefläche wird durch die Distanz zwischen den einzelnen Schneideflächen ermöglicht. So wird ein kammförmiges Schnittbild erzeugt. Die energiesparende Verwendung dieses Mulchers ermöglicht dem Winzer die Reduzierung seiner Betriebskosten, allerdings entsteht nicht das traditionelle Schnittbild der herkömmlichen Mulcher. Dieser innovative Mulcher kann nur mit der dazugehörigen Zugmaschine verbunden werden. Die Verbindung mit anderen, herkömmlichen Zugmaschinen ist möglich, jedoch nur mit einem hohen baulichen Aufwand. Hierzu muss der Mulcherrahmen geändert und ein Dreipunkt eingebaut werden, so dass die Verbindung mit einer anderen Zugmaschine möglich wird. Dann besteht immer noch das Problem des Antriebes und der Aufhängung des Generators. Diese Verbindung muss nach den baulichen Veränderungen ebenfalls gesichert werden.

5.4.2.3 Pflanzenschutzgerät

Heute werden Pflanzenschutzgeräte für den Einsatz in Weinbergen mit einem hochleistungsfähigen Zentralgebläse ausgestattet. Dieses Gebläse kann über einen mechanischen oder hydraulischen Antrieb betrieben werden. Die Art des Antriebes wirkt sich auch auf das Gewicht und die Maße des Gebläses aus. Die Luftströmung wird vom Gebläse über Rohre zu den Düsen geleitet, diese können nach Bedarf geöffnet oder geschlossen werden. Vor allem im Sommer ist der Einsatz des Gebläses notwendig, wenn die Laubwand noch klein ist und keine starke Luftströmung benötigt wird. In diesem Fall werden die nicht genutzten Düsen geschlossen und die Drehzahl des Gebläses wird durch ein Schaltgetriebe reduziert. Um für beide Rohrstöße einen gleich großen Luftausstoß zu ermöglichen, werden an allen Abzweigungen Zwischenbauklappen installiert. Die Zwischenbauklappen sorgen für die Regulation der Geschwindigkeit und der Mengen der austretenden Luft, diese müssen immer gleich groß sein. Der Effekt der konstanten Luftströmung ist in der weiten Verbreitung der durch die Düsen verspritzten Tropfen zu sehen. Die gleichmäßige Verteilung der Tropfen muss für die Oberseite der Blätter, wie auch für die Unterseite garantiert werden. Eine Verteilung auf der Unterseite der Blätter wird durch das Umdrehen der Blätter mittels der Luftströmung ermöglicht. Durch die Verteilung der Luftströmung über ein Rohrleitungssystem geht ein Teil der Luftströmung verloren. Eine hohe Spritzqualität wird über das Schaltgetriebe gewährleistet. Es ist sehr wichtig, dass der Traktor im ersten und zweiten Gang ungefähr die gleiche Leistung erbringt. Der hydraulische Antrieb ermöglicht entweder eine stufenlose Einstellung der Drehzahl oder eine Einstellung in mehrere Gänge mittels eines Drosselventils. Die Drehzahl des Gebläses kann auch der Fahrer durch die Drehzahl des Traktormotors steuern, aber nicht im selben Maße wie mit einem Drosselventil.

Die Pflanzenschutzgeräte können auch mit einem sogenannten Tangentialgebläse ausgestattet werden, wodurch sie zwei oder vier Gebläse besitzt. Das Rohrsystem wird hier nicht benötigt, da die austretende Luft direkt zu den Düsen geblasen wird. In diesem Fall wird ebenfalls ein hydraulischer Antrieb verwendet, daher funktioniert die Steuerung der Drehzahl wie bereits im vorherigen Abschnitt dargestellt. Jedoch wird eine größere Leistung als bei der eben beschriebenen Pflanzenschutzgeräte benötigt. Die Tropfen besitzen so eine bessere Auflösung und werden im Durchschnitt weiter verteilt.

Im Rahmen dieses Projekts werden die Düsen an den Luftöffnungen montiert, welche sich an den Seiten der Gebläse befinden (Abb. 129). Diese Komplexe sind um zwei Achsen drehbar, sodass die Spritzrichtung der Düsen durch die Drehung des Gebläses bestimmt wird. Die erste Einstellung der Gebläse sorgt dafür, dass die Tropfen der Luftströmungen im Gebläse nicht aneinander stoßen können. Die Blätter werden durch die zweite Einstellungsmöglichkeit des Gebläses von oben und unten mit Luft versorgt, so ist gewährleistet, dass die Blätter sich in alle Richtungen bewegen. Die beschriebenen Gebläseeinstellungen begünstigen die gleichmäßige Verteilung des Pflanzenschutzmittels auf die Laubwand. Die ganze Fläche der Luftströmung trifft hierbei auf die Laubwand. Dadurch werden der Verlust von Pflanzenschutzmittel und Umweltschäden minimiert. Wenn die Ausblasöffnung nur gering einstellbar ist oder fest bleibt, kann nur ein Teil der Luftströmung auf die Laubwand treffen, so dass das Pflanzenschutzmittel nicht in die Laubwand gelangt und dadurch der Umwelt schadet. Jedes Gebläse ist mit einem Elektromotor verbunden. Diese besitzen einen sehr niedrigen Leistungsbedarf von 0,45 kW/h. Ungenutzte Düsen- und Gebläsekomplexe können durch die selbststehende Konstruktion ausgeschaltet werden. Ein Frequenzumrichter sorgt für die Einstellung der Drehzahl des Gebläses, so dass alle Gebläse gleichzeitig mit einer unterschiedlichen Drehzahl arbeiten können. Dies senkt den benötigten Energieaufwand und die Energiekosten des Pflanzenschutzgeräts. Daher ist dieser Spitzrahmen kostengünstiger als der vorher vorgestellte herkömmliche Spritzrahmen. Ein weiterer Vorteil sind die einstellbaren Winkel des Gebläsehalters. Durch diese Einstellung besitzt das tragende Fahrzeug eine ausgewogenere Gewichtsverteilung und der Gebläsehalter bleibt unbeweglicher. Er wackelt nicht so wie in der Senkrechtstellung. Überdies besprühen die Düsen die Laubwand senkrecht. Der nächste Vorteil des Spritzrahmens ist die Herstellung der Gehäuse und der Räder der Gebläse aus Aluminium. Eine robuste Halterung muss nicht extra für diese Gebläse konstruiert und hergestellt werden, dies minimiert das Gewicht. Wahlweise kann die Zugmaschine auch mehr Pflanzenschutzmittel auf Grund des niedrigeren Gewichts transportieren. So ist diese Konstruktion auch ein innovativer Fortschritt. Dieser Spritzrahmen kann auf ein bestehendes Pflanzenschutzgerät aufgebaut werden, jedoch muss ein Generator den Strom für die Elektromotoren liefern.



Abbildung 129: Düse mit Gebläse

Es wurde nur ein Spritzrahmen hergestellt. Für ein Pflanzenschutzgerät mit elektrischem Antrieb werden ein Tank mit Pflanzenschutzmittelmischer, die Rohrleitungen mit ihrem Zubehör und eine Pumpe mit elektrischem Antrieb benötigt. Während der Konstruktionsphase mussten besonders drei Vorgaben der zu konstruierende Tank ins Auge gefasst werden. Der zu konstruierende Tank darf den Schwerpunkt der Maschine kaum oder nur minimal erhöhen. Die Form muss eine leichte Reinigung und Leerung gewährleisten. Diese Vorgaben sorgen für eine einfache und gleichmäßige Form des Tanks, welche keinen Leerraum zulässt, der nicht genutzt wird oder nicht sorgfältig gesäubert werden kann. Hier muss die Möglichkeit einer schnellen und hydraulischen Mischung des Pflanzenschutzmittels ermöglicht werden. Das Mischverhältnis wird von der Pumpe mit elektrischem Antrieb gesteuert. Die oben genannten Einzelteile für das Pflanzenschutzgerät müssen so tief als möglich platziert werden, um den Schwerpunkt nicht zu verändern. Die Rohrleitung wurde möglichst kurz gehalten, so dass kein Strömungswiderstand entstehen kann. Natürlich wäre es die beste Lösung, wenn das Pflanzenschutzgerät mit beiden Zugmaschinen kompatibel wäre (BANHAZI et al. 2000 S. 180, 206, SOOS UND BUJDOSO 2001 S. 189).

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der traditionelle Steillagenweinbau in Deutschland unterliegt seit längerem einer schweren Krise, da die Produktionskosten aufgrund des hohen Arbeitsaufwands in Form von Handarbeit gegenüber den Produktionskosten in Direktzulagen ein Vielfaches übersteigen. Darüber hinaus ist es schwierig, noch motivierte und geeignete Arbeitskräfte für diese schwere und gefährliche Arbeit zu finden.

Ansätze zur Mechanisierung der Steilhangbewirtschaftung gibt es bereits durch seilzuggeführte Steillagenmechanisierungssysteme (SMS) und Raupenmechanisierungssysteme (RMS), doch auch mit diesen Systemen ist die Bewirtschaftung nach wie vor kosten- und arbeitsintensiv, da die genannten Systeme nicht nur permanent zwei Fachkräfte benötigen, sondern Rebschnitt und Ernte auch weiterhin von Hand durchgeführt werden müssen. Zur vollständigen Mechanisierung durch die Einführung einer Minimalschnitt-Reberziehung fehlen jedoch die passenden Steilhangträgersysteme. Deshalb war es das Ziel dieser Arbeit, ein selbstfahrendes Fahrzeug zu konstruieren, das im seillosen Betrieb alle anfallenden Arbeiten in einem mechanisierten Steillagenweinbau bewältigen kann.

Ausgehend vom bestehenden Walzensystem mit innenliegendem Motorantrieb des BRIELMAIER Motormähers wurden ein zwei- und ein dreiachsiger Prototyp entwickelt. Dazu wurde ein Fahrzeugrahmen aus Stahlträgern konstruiert und das Fahrzeug mit einer Lenkung versehen. In der Entwurfsphase im CAD wurden die Konstruktionen mittels der Finite-Elemente-Methode auf ihre Belastbarkeitsgrenzen untersucht. Im Laufe des Projekts wurde von einer Bremslenkung zur Knicklenkung gewechselt, da der hohe Schlupf der Bremslenkung die Stabilität des Fahrzeugs am Berg zu sehr beeinträchtigt.

Die neuentwickelte Maschine erfüllt die Projektziele zu weiten Teilen: Das Fahrzeug besitzt einen sehr tiefen Schwerpunkt und kann eine Steigung von 60% problemlos bewältigen. Es ist derzeit geeignet für den Materialtransport, das Mulchen und den Pflanzenschutz. Das Fahrzeug ist ohne aufsitzenden Fahrer einsetzbar, sowohl durch GPS-Steuerung oder durch überlagerte Funkfernsteuerung. Durch beide Neuerungen wird der Arbeiter - im Gegensatz zu bisher verwendeten Systemen - vor Verletzungen geschützt und steigert somit die Arbeitssicherheit in Steillagenweinbergen erheblich. Das

System vereinfacht die Bearbeitung von Steillagenweinbergen um ein Vielfaches, zudem gestaltet es diese durch die Schnelligkeit, die geringe Anstrengung für den Menschen und die Energieeinsparung wesentlich effizienter.

Der Investitionspreis für dieses Mechanisierungssystem ist höher als der Austausch einer unbrauchbar gewordenen Zugmaschine oder eines Arbeitsgerätes. Nach Schätzung BRIELMAIER liegt der derzeitige Preis für ein Exemplar bei ca. 50.000 Euro. Zielsetzung des Folgeprojektes soll es sein, Produktionskosten zu erreichen, die vergleichbar sind mit dem von etablierten Seilzugmechanisierungssystemen, um damit die volle Wettbewerbsfähigkeit des entwickelten Systems zu erlangen.

Weitere Optimierungsmöglichkeiten sind eine weitere Verringerung der Fahrzeugbreite sowie eine Umstellung auf einen hydraulischen Antrieb, um durch den Wegfall der Akkumulatoren für den derzeitigen Elektroantrieb das Gesamtgewicht weiter zu reduzieren. Für den Einsatz auf stark geröllhaltigem Untergrund aus Schiefer sind spezifische Walzenstacheln zu entwickeln. Auch sind Anwendungsmöglichkeiten für Anbaugeräte zum Laubschnitt und zur Ernte zu entwickeln, um die volle Mechanisierung der Steilhangbewirtschaftung zu realisieren.

7 SUMMARY

The traditional steep-slope viticulture in Germany suffers from an economic crisis because of higher production costs by manual labor comparing to viticulture in plain slopes. Furthermore it is problematic to find personnel for this hard and dangerous work.

First mechanization systems are cable winch based, but they are still cost- and labor-intensive because you need two persons to work with it; pruning and harvesting are still done by manual labor. For an entire mechanization by using the minimal pruning system in steep slopes there is still a lack of an adequate carrier system.

So it was the target of this project to construct a self-driving vehicle, which is able to master all duties in steep-slope vineyards without cable winch.

Using rollers and the power unit of the BRIELMAIER Motormäher, a two-axis and a three-axis prototype were developed. For that purpose a frame of steel was constructed and the vehicle was provided with a steering mechanism. The constructions were tested in CAD with the Finite Elements-method to find their limits of physical resilience. To reduce the slippage - which was problematic for the vehicle's balance on steep slopes - the steering system was changed from brake steering to articulated steering. The newly developed machine fulfills the project's targets extensively: The vehicle has a very low balance point and is able to climb slopes with inclines of 60% without any problems. Currently it is useable for transport, mulching and pest management.

Only one single worker is required to handle the remote control. The vehicle works without any mounted driver and is guided either by GPS-based auto navigation or by interfered radio remote control. Both improvements protect the worker from injuries, contrary to the mounted systems used before. Therefore the safety at working in steep-slope vineyards is increased significantly. The new system simplifies the work in steep-slope vineyards vastly, furthermore it enables the work to be done faster, less exhausting for people and energy-saving.

The investment costs for the new mechanization system are higher than investing in a replacement of a tractor or another work tool. BRIELMAIER estimates a piece price by 50.000 €. It is the target of the following project to reach costs of production which are

in the same level like prices of established cable winch systems (RMS, SMS) to get a price competitiveness with these present systems.

There are further possibilities of optimization, like a reduction of the vehicle's width and the conversion to a hydraulic power system to reduce the vehicle's weight by abolishing the heavy storage-batteries. For the use on ground with lots of pebbles like slate and schist, there is a necessity for specific spikes. To accomplish a full mechanization, applications for leaves cutting and harvesting must be developed.

8 LITERATURVERZEICHNIS

Literaturquellen:

ADORJÁN, J. UND JAKAB, E.: Gépelemek Tervezési Segédlet I. (Kötések) (Maschinenbauelemente Planungslehrlieferant I (Verbindungen)), Gödöllői Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 1988

ALBERS, S. UND HERRMANN A.: Handbuch Produktmanagement Strategieentwicklung - Produktplanung – Organisation – Kontrolle, Gabler, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2007

ANONYM: Welche Möglichkeiten bietet die Technik im Steillagenweinbau? Die Winzer-Zeitschrift, Februar 2010, 27-29

APRÓ, F., DÖBRÖCÖNI, Á., DROBNI, J., HERCZEG, I., JÁSZAI, S., KOVÁCS A., KÖNCZEY, G., LENDVAI, P., NAGY G., SCHOLTZ P., SZOTA GY., TAR S., UNGÁR T., UND VARGA G.: Szabványkönyv (Normbuch), Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978

BÁGYINSZKI, GY. UND KOVÁCS, M.: Gépipari alapanyagok és félkész gyártmányok Anyagismeret (Maschinenindustrielle Grundstoffe und halbfertige Produkte Werkstoffkunde), Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2008

BÁNHÁZI, J., BEKE, J., BERTÓK, J., BÖLÖNI, I., CSIZMAZIA, Z., DIMITREVICS, GY., FEKETE, A., FOGARASI, L., GYÖRFI, GY., GYÜRK, I., HORVÁTH, B., JÓRI J., I., KERÉKES, B., KOLTAY, J., LÁNG, Z., LÁSZLÓ, A., PATAZ, I., SITKEI GY., SOÓS, P., SZENDRŐ, P., SZÜLE, ZS., UND TÓTH, L.: Mezőgazdasági gépszerkezettan (Landwirtschaftliche Kompositionslehre), Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 2000

BECKER, H.: Weinbau im Steilhang. KTBL-Schrift 238. Verlag KTBL, Darmstadt. 1979

BÖHME, A.: Umweltgerechte Technik für den Steillagenweinbau, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt, 2003

BÖGE A., KEMNITZ F., WEIBBACH, W., WITTIG, H., LORECK, H., SEIDEL, K., ROLOFF, H., RÖTHKE, K.-H., HAIN, K., BASSE, E., SCHELMMER, W., ERNSTBERG, A. UND SCHEFFER, H.: Das Techniker Handbuch, Friedrich Vieweg + Sohn GmbH, Braunschweig, 1969

BRUHN, M.: Marketing Grundlagen für Studium und Praxis, Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, 2010

BRUNNER, D.: Entwicklung eines Transport- und Antriebsfahrzeuges zur Unterstützung von Arbeiten in Weinbausteillagen. Doktorarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München, in Druck, 2015

BUNDESANSTALT FÜR LANDTECHNIK: Prüfbericht Brielmaier Motormäher 13 PS, Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg, Österreich (<http://www.dlg-test.de/pbdocs/A-5149.pdf>) 2012

DIETRICH, J. Mechanisierung und Produktionsplanung im Steillagenweinbau. KTBL-Schrift Nr. 366, Verlag KTBL, Darmstadt, 1995

DILLINGER, J., ESCHERICH, W., GÜNTER, W., HEINZLER, M., IGNATOWITZ, E., OESTERLEM, S., REIBLER, L., STEPHAN, A., UND VETTER, R.: Fachkunde Metall, Verlag Europa-Lehrmittel. Nourney, 2010

DUCSAI J.: Forgácsolási eljárások (Zerspanverfahren), Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2008

DUDÁS I. 2000a: Gépgyártástechnológia I. A Gépgyártástechnológia alapjai (Fertigungstechnik I. Grundkenntnisse der Fertigungstechnik), Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2000

DUDÁS I. 2000b: Gépgyártástechnológia II. Fogácsoláselmélet, Technológiai Tervezés alapjai (Fertigungstechnik II. Zerspantheorie Grundkenntnisse der Technologischen Planung), Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2000

FISCHER, U., HEINZLER, M., NÄHER, F., PAETZOLD, H., GOMERINGER, R., KILGUS, R., OESTERLE, S., UND STEPHAN, A.: Tabellenbuch Metall, Verlag Europa-Lehrmittel. Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, Haan-Gruiten, 2011

FRISCHHERZ, A., DAX, W., GUNDELFINGER, K., HÄFFNER, W., ITSCHNER, H., KOTSCH UND STANICZEK: Fémtechnológiai Táblázatok (Tabellenbuch für Metalltechnik), B+V Kiadó, Budapest, 1997

FRISCHHERZ, A. & PIEGLER, H.: Fémtechnológia Szakismeretek 2 (Metaltechnik, Fachkenntnisse 2), B+V Kiadó, Budapest, 2007

FRITZ, A. H., HOFFMEISTER, H.-W., KNIPFELBERG, M., KÜHN, K.-D. UND SCHULZE, G.: Fertigungstechnik, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010

- GIMES, GY., VARGA, I. UND MICHALOVSKY, CS.: Négyjegyű függvénytáblázatok
Matematikai, fizikai kémiai összefüggések (Vierstellige Funktionstabellen
Mathematische physische chemische Formeln), Nemzeti Tankönyvkiadó, 2001
- GYÜRK, I.: Műszaki Ábrázolás (Technische Darstellung), Gödöllői Egyetemi Kiadó,
Gödöllő, 1990
- HALÁSZ, E.: Német - magyar, Magyar - német kézisótár (Deutsch - Ungarisch,
Ungarisch - Deutsch Handwörterbuch), Akadémia Kiadó, Budapest, 2001
- HERRMANN, A. UND HUBER, F.: Produktmanagement Grundlagen-Methoden-Beispiele,
Gabler, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009
- HOFFMANN, K.: Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmessstreifen,
Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 1987
- HOISCHEN, H.: Technisches Zeichnen, Verlag W. Girardet, Essen, 1982
- HOLZ, B.: Schwarzfäule der Rebe an Mosel-Saar-Ruwer – Plötzlich und unverhofft. Das
Deutsche Weinmagazin 6: 26-29. 2003
- HUSTI, I.: Mezőgazdasági vállalkozói kézikönyv (Landwirtschaftliches
Unternehmerhandbuch), Dinasztia Kiadó, Budapest, 2001
- INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR REBE UND WEIN: PRESSEMELDUNG:
Pressemitteilung: Daten der weltweiten Weinbaukonjunktur für das Jahr 2011. Stabile
Weinproduktion trotz Rückgang der weltweiten Rebfläche, Internationale Organisation
für Rebe und Wein (OIV),
(www.oiv.int/oiv/files/0%20.../DE/Point_Conjoncture_OIV_DE.pdf) Paris, 2011
- JÖRGER, V., SCHREIECK, P., HUBER G., LITTEK, T.: Mechanisierung im
Querterrassenweinbau. KTBL-Schrift 465, Abschlussbericht des ATW-Vorhabens 149.
Verlag KTBL, Darmstadt. 2008
- KAMMER, C., DR. KAMMER, U., UND LÄPPLE, V.: Werkstoffkunde für Praktiker, Verlag
Europa-Lehrmittel. Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, Haan-Gruiten, 2012
- KOMAR, T.: MBR Trier-Wittlich stellt das Raupenmechanisierungssystem (RMS) und
die Easy Plant vor. ([http://www.maschinenringe.org/
content/maschinelle-
rebpflanzung-der-steillage](http://www.maschinenringe.org/content/maschinelle-rebpflanzung-der-steillage)) 2011

- KOVÁCS, L.: Gépipari anyagablázatok (Maschinenindustrielle Werkstofftabelle), Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986
- KOVÁCS, M.: Hegesztés (Schweißen), Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2011
- LAIB, L. UND VAS, A.: Traktorok - Autók (Traktoren - Autos), Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1998
- M. CSIZMADIA B. ÉGERT J. FEKETE T. GELENCSÉR E. KÓSA Cs. UND NÁNDORI E. : Mechanika Mérnököknek Szilárdságtan (Mechanik für Ingenieure Festigkeitslehre), Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. Budapest-Gödöllő-Győr, 1999
- M. CSIZMADIA B., BRINDEU LIVIU-GELENCSÉR E., HEGEDŰS A., PÁCZELT I. SZEIDL GY.: Többnyelvű fogalomtár I. Műszaki mechnika, (Mehrsprachiges Begriffslexikon I. Technische Mechanik), Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. Gödöllő – Budapest, 2004
- MUHS, D., WITTEL, H., JANNASCH, D., UND VOBIEK, J.: Rolff/Matek Maschinenelemente, Viewegs Fachbücher der Technik, Wiesbaden, 2005
- MÜLLER, E., KADISCH E., SCHULZE, G., UND WALG, O.: Der Winzer 1 Weinbau, Bad Kreuznach, 1999
- PAHL, G. BEITZ, W., FELDHUSEN, J., UND GROTE, K.-H.: Konstruktionslehre Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005
- PÉK, L., PELLÉNYI, L., PÁLINKÁS, I., LUKÁCS, A., KALÁCSKA, G. UND ZSIDAI, L.: Anyagszerkezettan és anyagismeret (Werkstoffstrukturlehre und Werkstoffkunde), Dinasztia Kiadó, Budapest 2000
- PORTEN, M., SCHWARZ, H.P.: Steillagenweinbau. Nach SMS kommt RMS. Das Deutsche Weinmagazin 16: 26-30. 2008
- PORTEN, M., KOHL, E.: Das RMS revolutioniert den Steillagenweinbau. Die Winzer Zeitschrift, März 2010, : 38-42
- PORTEN, M., TREIS, F.J.: Querterrassierung – die Rettung des Steillagenweinbaus ([http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/BD8577D771E556EEC12571B70051654B/\\$FILE/querterrasse.pdf](http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/BD8577D771E556EEC12571B70051654B/$FILE/querterrasse.pdf)) ohne Jahresangabe

RÜGER, P.: Konstruktion eines Roboterfahrzeuges zur Hochdurchsatzphänotypisierung bei Weinreben. Doktorarbeit an der Justus-Liebig-Universität Giessen, in Druck, 2015

RÜHLING, W.: Neue Mechanisierungssysteme für begrenzte Steillagen. Forschungsanstalt Geisenheim, Geisenheim Fachgebiet Technik, 2007

SCHULTZ, H.R., RÜHLING, W., STEINBERG, B.: Minimalschnitt und Lyra im Vergleich zur Spaliererziehung: Möglichkeiten und Anforderungen an Anbautechnik und Bodenpflege. 33.Weinbau-Tagung 1997 in Geisenheim, Band 1: 21-29. 1997

SCHULTZ, H.R., WEBER, M., GAUBATZ, B.: Minimal- oder Nichtschnittssysteme: Es funktioniert doch; Das Deutsche Weinmagazin 25: 26-31. 1999

SCHWAB, A., NÜBLEIN, R.: In Zukunft 65 Akh/ha. Das Deutsche Weinmagazin 25: 25-28. 2002

SZENDRŐ, P.: Mezőgazdaságimunka-gépek I. (Landwirtschaftliche Arbeitsgeräte I.), Gödöllői Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 1987

SOÓS, P. UND BUJDOSÓ, Z.: Mezőgazdaságimunka-gépek I. (Landwirtschaftliche Arbeitsgeräte I.), Agrárszoktatási Intézet, Budapest, 2001

STATISTISCHES BUNDESAMT: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Landwirtschaftliche Bodenutzung (Rebfläche), Statistisches Bundesamt, 2010

STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.): Weinbaufaltblatt für Rheinland-Pfalz. Bad Ems, Mai 2011

STEINMETZ, H.: Grenzhängerschließung im Weinbau. Erweiterung der Mechanisierung auf erschlossenen steilen Weinbauflächen im Direktzug. KTBL-Schrift 300, Landwirtschaftsverlag, Darmstadt. 1985

VOLLMER, E.: Weiterentwicklung des Steillagenvollernters zum Trägerfahrzeug für Arbeitsgeräte unter besonderer Berücksichtigung des Pflanzenschutzes. Doktorarbeit an der Justus-Liebig-Universität Giessen, 2013

WALG, O.: Steillagenmechanisierung im Wandel. Das Deutsche Weinmagazin 21, März 2009/6, 14-18

WALG, O.: Taschenbuch der Weinbautechnik, Mainz, 2000

WILLNER, S.: Kosten und Arbeitsaufwand für Traubenerzeugung und Direktvermarktung in Winzerbetrieben. Hrsg Fachgebiet Betriebswirtschaft und Marktforschung, Forschungsanstalt Geisenheim. Bericht 1/92: 1992

WITT, G., DÜRR, H., HELWIG, H.-J., KADEMANN, R., KEßLER, A., LÖBLICH, H., MANZ, C., PAUL MAUK, J., PILZ, R., SAUER, A., WINKLER, R. C., UND WOHLGEMUTH, H.: Taschenbuch der Fertigungstechnik, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2006

Kataloge, Prospekte, Online-Quellen:

ANTONIO CARRARO: Der TIGER 4400 F Traktor. Prospekt 2013
(http://www.antoniocarraro.it/sfogliabili/depliant%20MOBILE/TIGRE4000_4400/TIGRE4000_4400_TED/HTML/) 2013

ANTONIO CARRARO: Der Mach 4 Traktor. Prospekt 2012
(http://www.antoniocarraro.it/de/products/MACH_4~4970) 2012

BRIELMAIER 2012a: Brielmaier Motormäher Q1. Prospekt (<http://www.brielmaier-fuerst.de/pdf/Flyer-Q1.pdf>) 23.01.2012

BRIELMAIER 2012b: Brielmaier Motormäher. Der Hangspezialist mit der einfachen Bedienung. Prospekt
(http://www.brielmaier.com/downloads/deutsch/Brielmaier_deutsch.pdf) 23.01. 2012

BUCHER STAHLHANDEL: Lieferprogramm 2010. (<http://www.bucher-handel.de/centix/de/stahlhandel/infobereich/lieferprogramme.html>) 23.02.2010

CHAMPEL HYDRAULIQUE: Champel-Prospekt (www.chapel.de), 15. 04. 2011

DEUTSCHES KUPFER-INSTITUT: Datenblatt CuSn12 (http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/CuSn12-C.pdf) 23.05.2010

INTERPIPE: Interpipe Lieferprogramm 2010
(<http://www.interpipe.de/index.php?page=828484645&f=1&i=828484645>) 27.07.2010

KEICHER, R.: Vorhabenbeschreibung des Projektes „Geisi“. Forschungsanstalt Geisenheim, 2009

KLÖCKNER STAHL & METALLHANDEL: Lieferprogramm 2010 (<http://www.kloeckner-stahl-und-metallhandel.de/de/startseite/produkte.html>) 28.50.2010

KÖGEL KOFFERFAHRZEUGE: Prospekt (www.koegel.com) 25.02.2013

LARCO SCHMIERTECHNIK: Katalog (http://larco.de/resources/Larco_Gesamtkatalog.pdf) 14.07.2011

NORMSCHRAUBEN.DE: Katalog (<http://www.normschrauben.de/>) 29.05.2010

ONLINE – SCHRAUBEN.DE: Katalog (<http://www.online-schrauben.de/>) 30.06.2011

ONLINE – SCHRAUBENHANDEL.DE: Katalog (<http://www.online-schraubenhandel.de/>) 09.12.2009

RECA NORM GMBH: Der Handwerkkatalog 2010. Kupferzell, 2010

SCHRAUBENBUDE.DE: Katalog (<http://www.schraubenbude.de/index.php>) 05.07.2012

STEINWEDEN STAHLGROSSHANDEL: Lagerlisten 2010. Frankfurt am Main, 2010

SÜLZE STAHLHANDEL: Lieferprogramm (<http://www.suelzle-stahlhandel.de/stahlpartner-suelzle/produkte/stahlhandel.html>) 20.10.2012

THRESS GMBH: Lagerprogramm 2011 der Julius Thress GmbH & Co. KG, Bad Kreuznach, 2011

WAGNER VERBINDUNGSTECHNIK: Schmiernippel-Katalog (http://www.waschbe.de/Schmiernippel/Kegelschmiernippel/Form-A:::25_2_3.html) 28.05.2015

WEGERTSEDER GMBH: Katalog (<http://www.wegertseder.com/>) 19.05.2011

WIEHLSTAHL: Lieferprogramm (http://wihlstaahl.klickmeister.com/lieferprogramm/wihlstaahl_lieferprogramm.pdf) 20.08.2012

Normen und Gesetze:

DEUTSCHES WEINGESETZ (WeinG 1994): Neugefasst durch Bekanntmachung vom 18.1.2011, (BGBl., S. 3044) § 6 Wiederbepflanzungen (Abs. 2, Nr. 1): Steillagendefinition. (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/weing_1994/gesamt.pdf) Stand, 02.06.2015

DIN 8580: Fertigungstechnologie (http://de.wikipedia.org/wiki/DIN_8580) 29.05.2015

Mündliche Quellen:

BRIELMAIER: Schätzung der Herstellungskosten eines „Geisi“-Fahrzeugs. 2015

BRUNNER D.: Untersuchung verschiedener Lenkstrategien für ein Trägerfahrzeug in extrem Weinbau-Steillagen, Karlsruhe, Vortrag, 06.-07. 11.2012

PORTEN, M.: Weinkulturland Mosel, Mosel-Weinbautag 2009, Bernkastel- Kues, 07./08.01.2009

SCHWARZ, P-H. UND KEICHER, R.: Entwicklung eines selbstfahrenden Transport- und Antriebsfahrzeuges zur Unterstützung von Arbeiten in Weinbausteillagen (Vortrag), Innovationstage 2010 Berlin, 6-7 Oktober 2010

Bildquellen:

SCHWARZ, P-H. a: Praktikum Schlepper I., Hochschule Geisenheim University, Geisenheim 01.11.2012

SCHWARZ, P-H. b: Vorstellung RMS Kaub - Bilder Schönbach, Hochschule Geisenheim University, Geisenheim, 22.01.2013

DANKSAGUNG

Nach meinem Studium in Ungarn wollte ich meine Kenntnisse der deutschen Sprache verbessern. Durch meine Universität nahm ich Kontakt zu Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Schwarz von der Forschungsanstalt Geisenheim / Fachgebiet Technik auf. So erhielt ich einen Platz als Praktikant in der Forschungsanstalt Geisenheim und begann dieses Mitte 2008. In dieser Zeit war ich bereits an der Entwicklung des Rahmens für den Zwei- und Dreiachser beteiligt, welcher auf der Idee von Herrn Schwarz beruhte. Dieses Projekt konnte über eine erfolgreiche Bewerbung beim für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung mit staatlichen Geldern finanziert werden. So konnte die Arbeit an diesem Projekt ab Mitte November 2009 beginnen.

Während der Planung und Entwicklung dieser Maschinen steuert mich das Ziel, die Arbeit für die Steillagenweinbergwinzer zu erleichtern; wie dies unsere Maschinenbauhymne auch mit den Worten „Denn lebt der Mann für die Anderen und das ist das schönste Lebensziel“ beschreibt.

Ich möchte mich bei dieser Gelegenheit für die Unterstützung einiger Personen bedanken. Zuerst möchte ich Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Schwarz für seine persönliche Unterstützung danken. Außerdem für das in mich gesetzte Vertrauen in die Durchführung des Projekts und die Möglichkeit, Doktorarbeit zu schreiben. Weiterhin möchte ich Herrn Prof. Dr. Bernd Honermeier für seinen Einsatz in der Sicherung meiner Promotion bedanken. Die Mitarbeiter des Fachgebietes Technik gehört meine Dankbarkeit für die Zeit, die sie mir geopfert haben und die vielen Fragen, die sie mir mit Geduld beantwortet haben. Ebenso wie den zahlreichen ungenannten Helfer. Des Weiteren danke ich Katrin Pendelin für ihre Unterstützung bei der Formulierung dieser Arbeit. Zum Schluss möchte meiner Familie für ihre dauernde seelische Unterstützung.

Geisenheim, 14. Sep. 2013

Sandor Hum

ANHANG

Abbildung 66: Netz der Finiten Element Methode (im SolidWorks Programm)

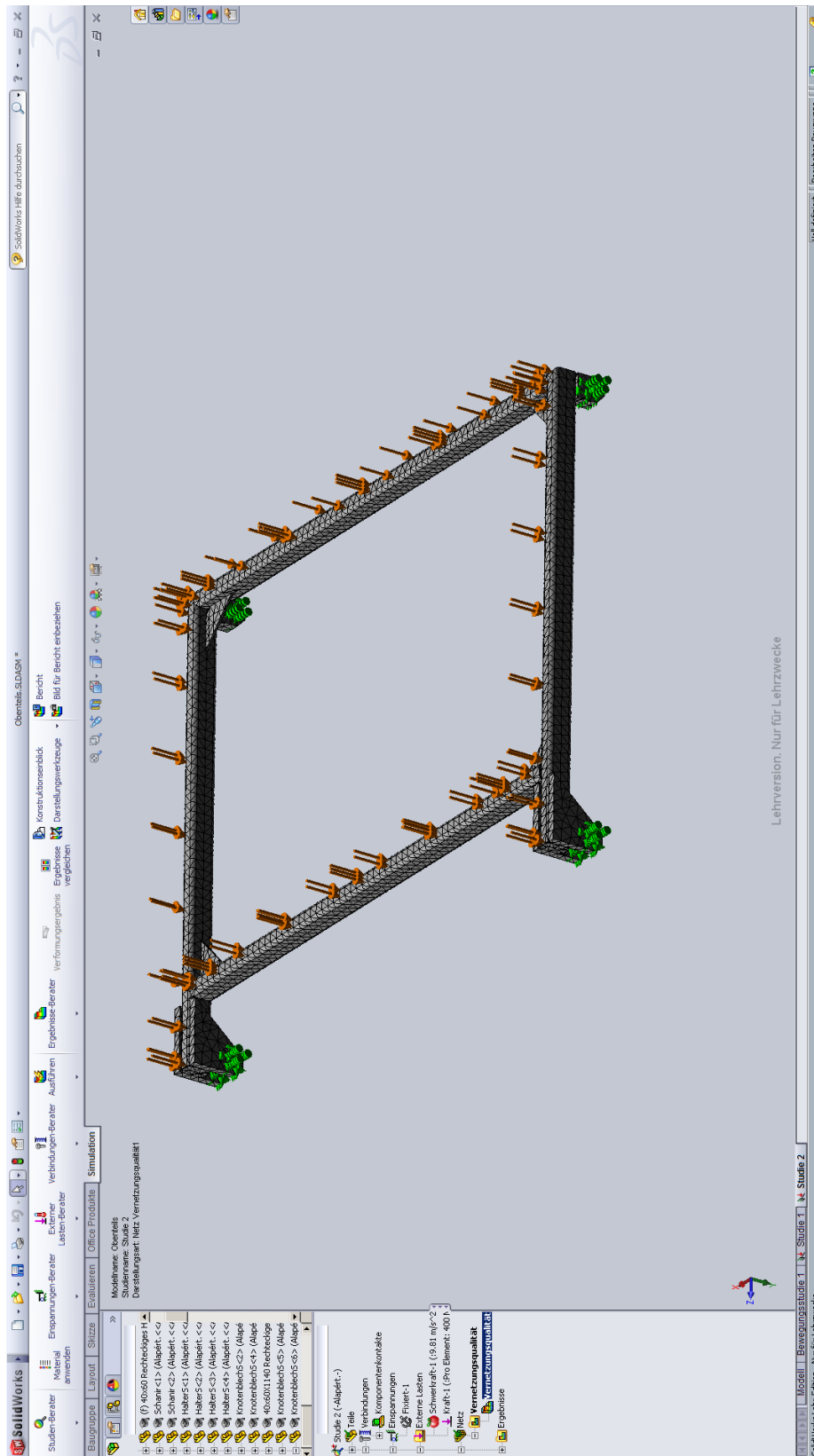


Abbildung 68: Montagezeichnung von Welle der Hinterwalze

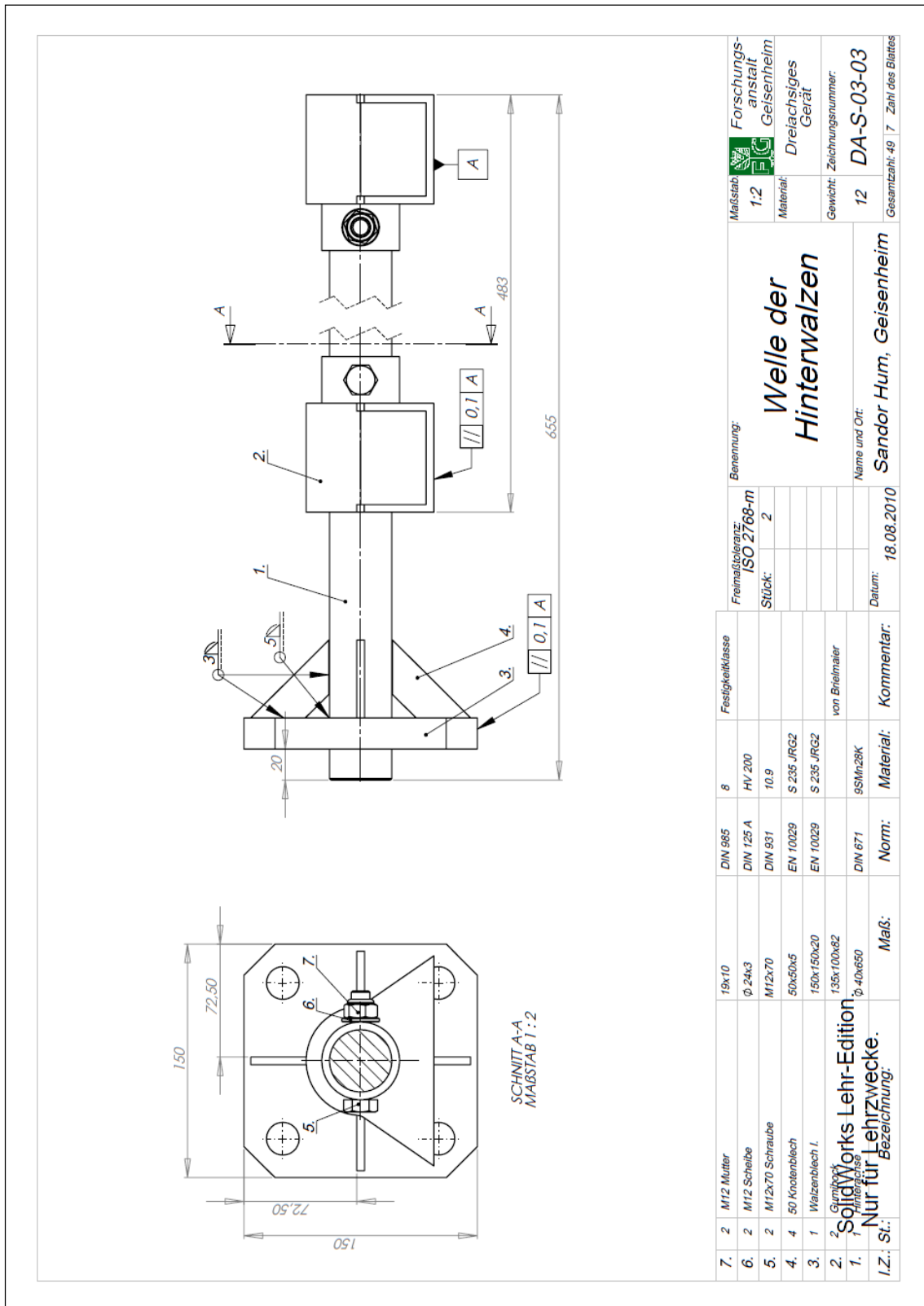


Abbildung 71: MDESING Roloff/ Matek Edition Programm

Dabei Bearbeiten Berechnungsmodul Werkzeuge Ansicht Analyse ?

MDESING Roloff/ Matek Edition, Elastische Federn, Auslegung Druckfedern

Berechnungsmodul MDESING Roloff/ Matek Edition 2005

- Welle-Achse-Verbindungen
- Wellen, Achsen, Zapfen
- Bolzen und Stifte
- Schraubenverbindungen
- Elastische Federn
 - Auslegung Tellerfedern
 - Nachrechnung Tellerfedern
 - Auslegung Drehfedern
 - Nachrechnung Drehfedern
 - Auslegung Druckfedern
 - Nachrechnung Druckfedern
 - Auslegung Zugfedern
 - Nachrechnung Zugfedern
 - Auslegung Drehstabfedern
 - Nachrechnung Drehstabfedern
- Informationen
 - Toleranzen und Passungen
 - Gelager
 - Verzahnungen
 - Schweißverbindungen
 - Hiemen-, Kettenräder
 - Werkstoffe, Festigkeiten, Spannungen
 - Wälzlager
 - Wellen, Plewellen
 - Klappenverbindungen
 - Dämpfenelemente
 - Kupplungen, Bremsen
 - Dichtungen
 - Antriebsysteme
 - Lineartechnik
 - Hydraulik
 - Getriebe
 - Pneumatik

Eingabebereiche

Qualitätsricht	DIN 2096 Teil 1
Kleine Federkraft	F1 = 0 N
Große Federkraft	F2 = 0 N
Äußerer Windungsdurchmesser	De = 0 mm
Innere Windungsdurchmesser	Di = 0 mm
Mittl. Windungsdurchmesser	D = 0 mm
Federlänge bei F2	L2 = 0 mm
Drahtdurchmesser	d = 0 mm
Anzahl der federnden Windungen	n = 0
Arbeitstemperatur	T = 0 °C
Legenubelast	v = 0
Anzahl der unger. Endwindungen	: = 0
Lastspielfrequenz	f = 0 1/s
Federhub	sh (s2) = 0 mm
Herstellungst	Wahlgerformt
Festigkeitsbereich	Zeitfestigkeit
Oberflächenbeschaffenheit	gezogen
Kugelschalen (A/hoen)	Form 1
Federenden	
Werkstoffbezeichnung	=
Werkstoffnummer	E = 0 N/mm²
Elastizitätsmodul	G = 0 N/mm²
Schubmodul	p = 0 kg/dm³
Dichte	

Allgemeine Texthilfe

Auslegung Druckfedern

Mit dem vorliegenden Programm können Druckfedern auf Grundlage der DIN 2089 Teil 1, Ausgabe Dezember 1984, für statische und dynamische Belastungen ausgelegt werden. Das Programm verfügt über 11 technologische Parameter für Werkstoff- und Festigkeitswerte. Die Berechnungsergebnisse können grafisch auf dem Bildschirm dargestellt werden. (für die Berechnung des Federmoduls E und des Schubmoduls G sind die Werte für die Auslegung der Druckfedern sind die zulässige Schubspannung τ und der nutzbare Federweg s).

Insgesamt verfügt das Modul Auslegung Druckfedern über 3 Berechnungspfade, die aufgrund der aktuellen Eingabeparameter automatisch vom Berechnungsmodul erkannt werden.

Nicht eingelegt sind die Berechnungspfade für:

- Vorgabe des Drahtdurchmessers d (Ermittlung der Anzahl n der federnden Windungen)
- Vorgabe der Anzahl n der federnden Windungen (Ermittlung des Drahtdurchmessers d).
- Keine Vorgabe des Drahtdurchmessers d und der Anzahl n der federnden Windungen (Ermittlung des Drahtdurchmessers d nach Vorzugskriterie. -> Ermittlung der Anzahl n der federnden Windungen).

Berechnungsgrundlagen

Die Berechnungsgrundlagen für die Modul Auslegung von Druckfedern stellt die DIN 2089 Teil 1, Ausgabe Dezember 1984 dar. Desweiteren wurden folgende DIN-Normen verwendet:

- DIN 2076, Auslegung von Druckfedern (Runde, Federdraht, Auslegung Februar 1972 (Federkraft und Federweg, Maßstab auf Maß- und Formabweichungen)
- DIN 2077,

Theoretisches Druckfederdiagramm

The diagram shows a force-displacement graph with two curves: a linear one for static loading and a hysteresis loop for dynamic loading. The hysteresis loop is bounded by a dashed line representing the static curve. Dimensions s_1 , s_2 , s_3 , s_4 , s_5 , and s_6 are indicated on the graph. To the right, a schematic of a helical spring is shown with dimensions D (outer diameter), d (wire diameter), and n (number of turns).

Abbildung 73: *Beispielzeichnung mit dem AutoCAD 2007 2-D-Zeichnungsprogramm*

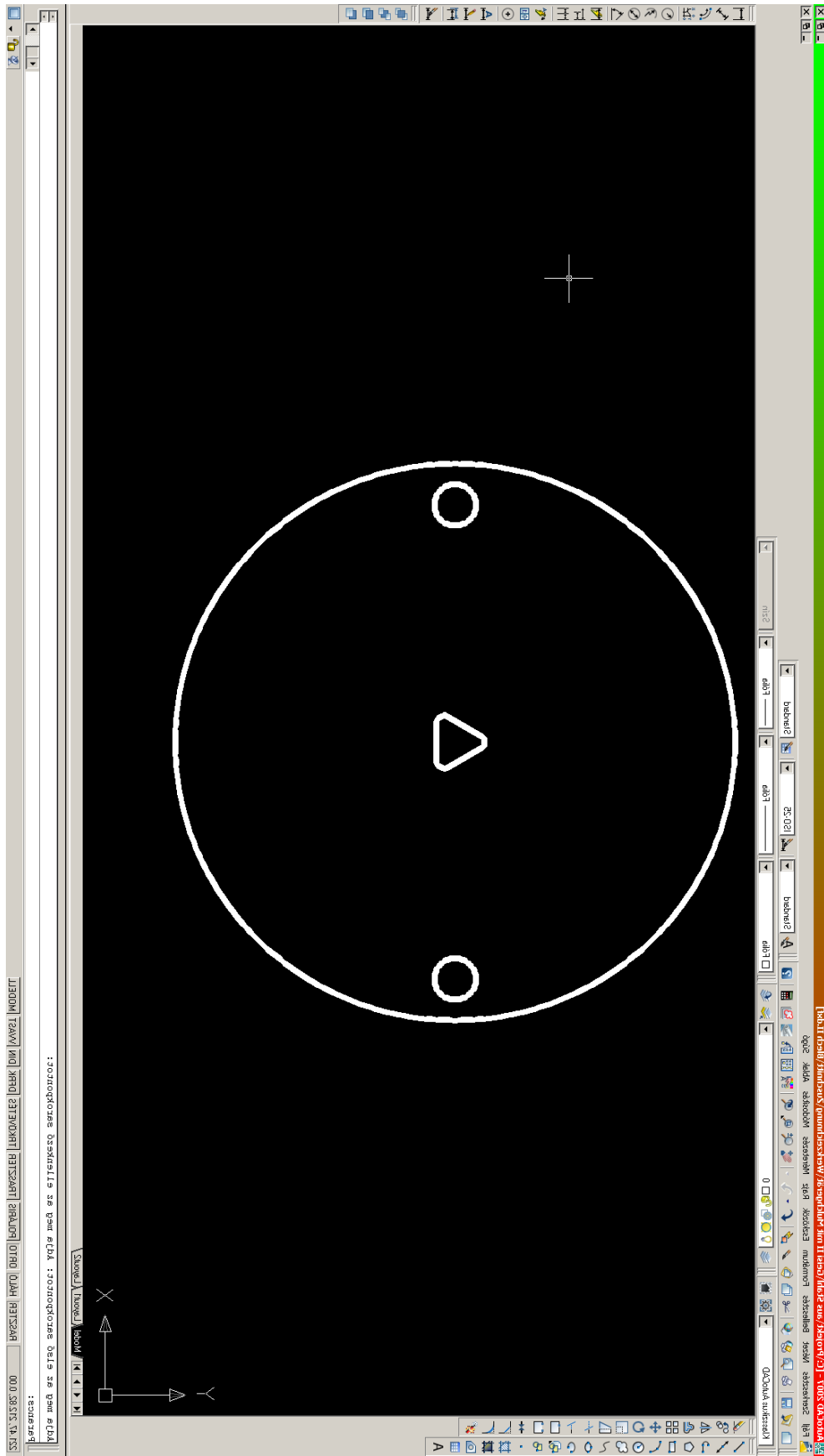
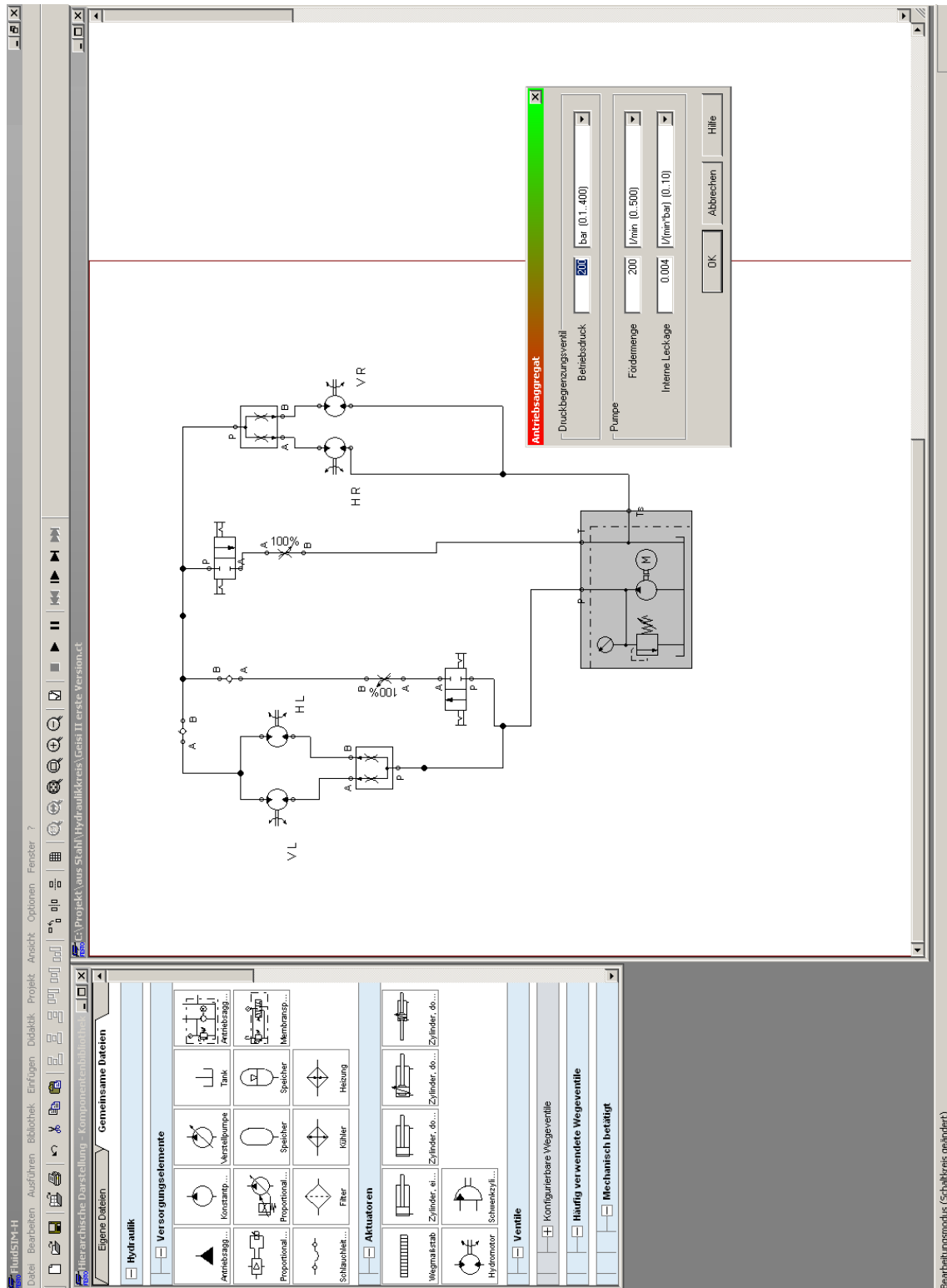


Abbildung 74: FluidSIM Hydraulik 4.2 Demoverision

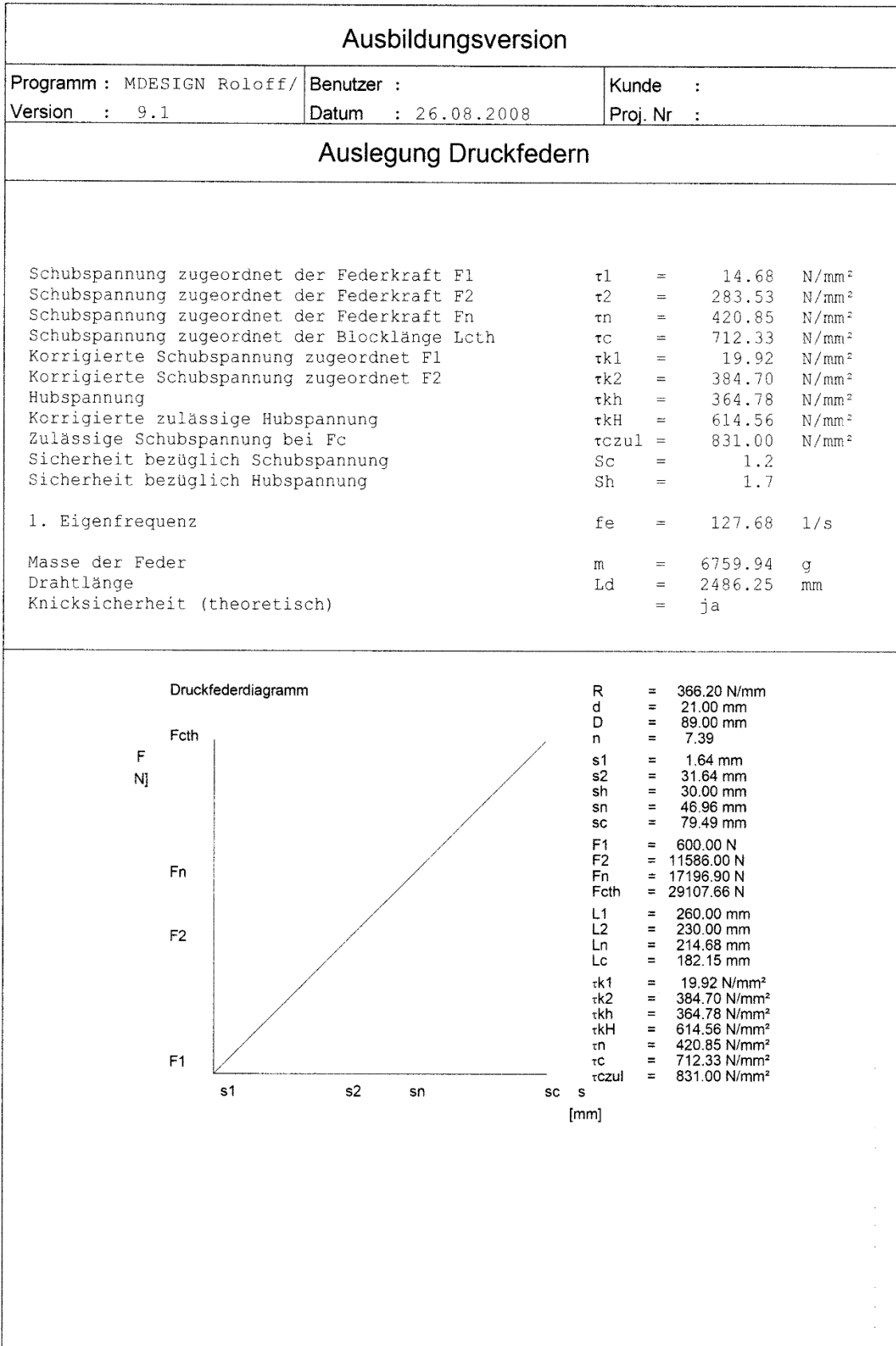


DIN 2076,	Ausgabe 12/1964	(Runder Federdraht, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen)
- DIN 2077,	Ausgabe 02/1979	(Federdraht rund, warmgewalzt, Maße zul. Maß- und Formabweichungen)
- DIN 2095,	Ausgabe 05/1973	(Gütevorschriften für kaltgeformte Druckfedern)
- DIN 2096, Teil 1,	Ausgabe 11/1981	(Güteanforderungen bei warmgeformten Druckfedern)
- DIN 2096, Teil 2,	Ausgabe Entwurf	(Güteanforderungen für Groß- Dezember 1988 serienfertigung)
- DIN 17221,	Ausgabe 12/1988	(Warmgewalzte Stähle für vergütbare Federn)
- DIN 17223, Teil 1,	Ausgabe 12/1984	(Runder Federstahldraht)
- DIN 17223, Teil 2,	Ausgabe 09/1990	(Runder Federstahldraht)
- DIN 17224,	Ausgabe 02/1982	(Federdraht aus nicht rostenden Stählen)
- DIN 17682,	Ausgabe 08/1979	(Runde Federdrähte aus Kupfer-Knetlegierungen)

Eingabedaten:

Gütevorschrift	DIN 2096 Teil 1
Kleine Federkraft	F1 = 600 N
Große Federkraft	F2 = 11586 N
Äußerer Windungsdurchmesser	De : 110 mm
Innerer Windungsdurchmesser	Di : 0 mm
Mittl. Windungsdurchmesser	D : 0 mm
Federlänge bei F2	L2 = 230 mm
Drahtdurchmesser	d : 0 mm
Anzahl der federnden Windungen	n : 0
Arbeitstemperatur	T = 20 °C
Lagerungsbeiwert	v = 0.5

Ausbildungsversion		
Programm : MDESIGN Roloff/	Benutzer :	Kunde :
Version : 9.1	Datum : 10.03.2011	Proj. Nr :
Auslegung Druckfedern		
Anzahl der ungef. Endwindungen	:	0
Lastspielfrequenz	f =	0.1 1/s
Federhub	sh (s2) =	30 mm
Herstellungsart	:	warmgeformt
Festigkeitsbereich	:	Zeitfestigkeit
Oberflächenbeschaffenheit	:	gezogen
Kugelstrahlen (ja/nein)	:	ja
Federenden	:	Form 1
Werkstoffbezeichnung	:	= 51 CrMoV 4
Werkstoffnummer	:	= 1.7701
Elastizitätsmodul	E =	206000 N/mm ²
Schubmodul	G =	78500 N/mm ²
Dichte	ρ =	7.85 kg/dm ³
Ergebnisse dynamische Belastung		
Zugfestigkeit	Rm =	1370.00 N/mm ²
Drahtdurchmesser nach Vorzugsreihe	d =	21.00 ± 0.200 mm
Innerer Windungsdurchmesser	Di =	68.00 mm
Mittlerer Windungsdurchmesser	D =	89.00 mm
Vergrößerung des Windungsdurchmessers	ΔDe =	0.48 mm
Steigung	p =	32.55 mm
Wickelverhältnis	w =	4.24
Spannungsbeiwert in Abhängigkeit von w	k =	1.36
Anzahl der wirksamen Windungen	n =	7.39
Anzahl der ungedehnten Endwindungen	:	1.50
Gesamtanzahl der Windungen	nt =	8.89
Mindestabstand der federnden Windungen	Sa =	32.53 mm
Theo. Federkraft zugeordnet der Blocklänge	Fcth =	29107.66 N
Maximale Federkraft bezüglich sn	Fn =	17196.90 N
Federrate	R =	366.20 N/mm
Unbelastete Federlänge	L0 =	261.64 mm
Federlänge bei F1	L1 =	260.00 mm
Federlänge bei Fn	Ln =	214.68 mm
Blocklänge	Lc =	182.15 mm
Federungsarbeit zugeordnet dem Arbeitsweg sh	W =	182790.00 Nmm
Federweg bez. Federkraft F1	s1 =	1.64 mm
Federweg bez. Federkraft F2	s2 =	31.64 mm
Arbeitsweg (Hub) der Feder	sh =	30.00 mm
Federweg bez. Federkraft Fn	sn =	46.96 mm
Federweg, zugeordnet der Blockkraft Fcth	sc =	79.49 mm



Ausbildungsversion

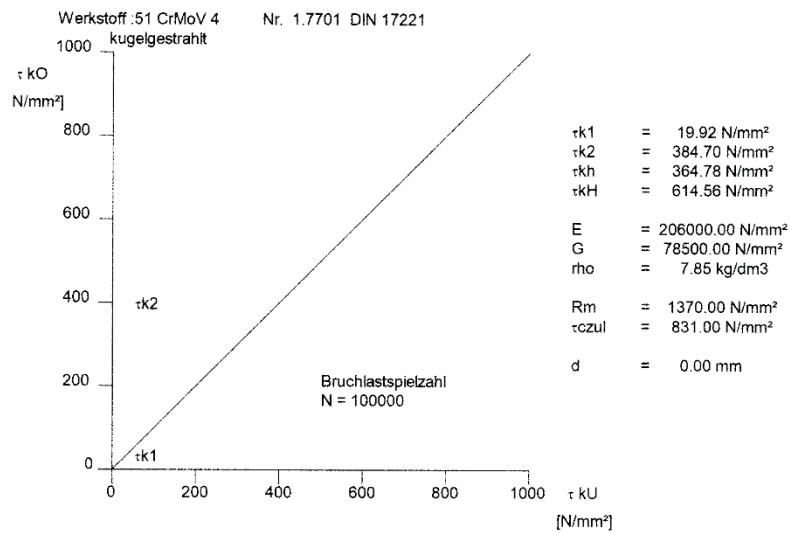
Programm : MDESIGN Roloff/
Version : 9.1

Benutzer :
Datum : 10.03.2011

Kunde :
Proj. Nr :

Auslegung Druckfedern

Zeitfestigkeitsschaubild (Goodman - Diagramm)



Druckfedergeometrie

