

Identifikation und Analyse der Vorstellungen von
Auszubildenden beim CNC-Programmieren

Wissenschaftliche Arbeit im Fach berufliche Didaktik
der Metall- und Maschinentechnik

Note: 2,5

Lehramt an berufsbildenden Schulen

Anmerkungen (Punktabzug):- Der Aspekt der beruflichen Arbeit hätte noch etwas weiter ausgebaut werden können.

Verfasser:
Geburtsdatum:
Prüfungscode:

Willam, John



Gutachter:

Jun.-Prof. Dr. Nico Link
Prof. Dr. phil. habil. Martin Hartmann

Ort, Datum:

Dresden, November 2023

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung.....	1
2 Beruf und Schule	3
2.1 Beruf.....	3
2.2 Schule.....	4
3 Sachanalyse NC-Programme	6
3.1 Struktur der NC-Programme	6
3.2 PAL-Programmcode	8
3.2.1 Schaltbefehle	8
3.2.2 Wegebedingungen.....	9
3.2.3 Wegeinformationen.....	11
3.2.4 Zyklen	12
3.3 Die CNC-Programmierung.....	14
3.3.1 Einteilung der Programmierverfahren	15
3.4 Bezugselemente	22
3.4.1 Koordinatensysteme	22
3.4.2 Null- und Bezugspunkte.....	22
4 Schülervorstellungen	24
4.1 Begriffsbestimmung	25
4.2 Woher kommen Schülervorstellungen?	26
4.2.1 Sprache	26

4.2.2	Wahrnehmungsmuster	27
4.2.3	Erfahrungen	27
4.3	Strategien zum Umgang mit Schülervorstellungen	27
4.3.1	Modell der Didaktischen Rekonstruktion	27
4.3.2	Conceptual-Change Theorie	29
4.3.3	Conclusio	31
5	Forschungsfragen	33
6	Forschungsstand	34
7	Forschungsdesign	36
7.1	Untersuchungsmethoden	36
7.1.1	Schriftliche Verfahren	37
7.1.2	Mündliche Verfahren	38
7.1.3	Videographie	39
7.2	Datenerhebung	40
7.2.1	Bildschirm-Aufnahmeprogramm OBS	41
7.2.2	Aufgabenstellung	42
7.2.3	Benötigte Kompetenzen	46
8	Durchführung	48
8.1	Probanden	48
8.2	Aufgetretene Störungen	49
9	Auswertung	51
9.1	Quantitative Auswertung	55
9.1.1	Proband 1	56
9.1.2	Proband 2	58
9.1.3	Proband 3	59
9.1.4	Proband 4	61
9.1.5	Proband 5	62
9.1.6	Proband 6	63

9.2	Graphische Veranschaulichung	65
9.3	Qualitative Auswertung	67
9.3.1	BSP 2 - Angabe von Schnittwerten.....	67
9.3.2	BSP 5 - Radianprogrammierung durch Verwendung von Interpolationskoordinaten und den Adressen R, RN.....	69
9.3.3	BSP 7 – Anwendung von Schaltbefehlen	71
9.3.4	BSP 8 – Logische Programmierung.....	73
10	Beantwortung der Forschungsfrage	76
11	Fazit.....	78
	Literaturverzeichnis	79
	Selbstständigkeitserklärung	83
	Anhang.....	84
A	Aufgabenblatt Schüler	84
B	Musterlösung des CNC-Frästeils	85
C	Aufgezeichnete Schülerlösungen	87
D	Schriftliche Schülerlösungen	88
	Proband 7	88
	Proband 8.....	89
	Proband 9.....	90
	Proband 10.....	91
	Proband 11	92
	Proband 12.....	93
	Proband 13.....	94
	Proband 14.....	95

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf das Gendern verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Abkürzungsverzeichnis

AV	-	Arbeitsplatzvorbereitung
BSP	-	Beobachtungsschwerpunkt
BSZ	-	Berufliches Schulzentrum
CAD	-	Computer Aided Design
CAM	-	Computer Aided Manufacturing
CLDATA	-	Cutter Location Data
CNC	-	Computerized Numerical Control
MST	-	Mathematisch Technische Software-Entwicklung
NC	-	Numerical Control
OBS	-	Open Broadcaster Software
OECD	-	Organisation for Economic Co-operation and Development
PISA	-	Programme for International Student Assessment
WOP	-	Werkstatorientierte Programmierung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Aufbau eines NC-Programms	6
Abbildung 2 - Einteilung der NC-Programmierung	14
Abbildung 3 - Modell der Didaktischen Rekonstruktion	28
Abbildung 4 - Aufgabenstellung zur Fertigung eines Frästeils	43
Abbildung 5 - Festgestellte Auffälligkeiten bei der Auswertung der Videoaufnahmen	65
Abbildung 6 - Angepasstes Diagramm zu: Festgestellte Auffälligkeiten bei der Auswertung der Videoaufnahmen	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Schaltbefehle	9
Tabelle 2 - Festgelegte Beobachtungsschwerpunkte	55

1 Einleitung

Spätestens nach dem „PISA-Schock“ (OECD) im Jahr 2000, der offenlegte, dass die schulischen Leistungen der Schüler in Deutschland unter dem internationalen Durchschnitt lagen, hat die Bedeutung der Bildung in der politischen Agenda stark zugenommen. Bildung steht seitdem an oberster Stelle der politischen Prioritäten. Dennoch zeigt sich laut dem OECD, dass der finanzielle Einsatz für Bildung in Deutschland, gemessen am Bruttosozialprodukt, nach wie vor lediglich im unteren Mittelfeld angesiedelt ist (vgl. OECD 2020, S. 355). Angesichts des Fehlens nennenswerter Rohstoffvorkommen in unserem Land hängt die künftige Wettbewerbsfähigkeit entscheidend von der Qualität der Bildungsinvestitionen ab.

Die oben erwähnten Studien führten zu einer Reihe von Maßnahmen, die darauf abzielten, das Bildungssystem zu verbessern. Nationale Bildungsstandards wurden eingeführt, um einheitliche Leitlinien für den Unterricht und die Leistungsbeurteilung zu schaffen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Förderung von Schülern gelegt, die einen sozioökonomisch benachteiligten Hintergrund aufweisen. Gleichzeitig wurde die Lehrerausbildung modernisiert, um den sich wandelnden Anforderungen gerecht zu werden (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2019; vgl. OECD).

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie die Deutsche Forschungsgemeinschaft initiierten Programme zur Förderung von Forschung und zur Steigerung der Qualität der Lehrerbildung. Eine Vielzahl von Projekten wurde finanziell unterstützt, um die Lehr-Lernbedingungen zu verbessern. Parallel dazu verstärkten industrielle Stiftungen ihr Engagement im Bereich des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts durch Sachspenden, finanzielle Unterstützung für Lehrerfortbildungen und die Einrichtung von Schülerlaboren. Diese Maßnahmen trugen dazu bei, Bildungschancen zu erweitern und die Qualität des Bildungssystems insgesamt zu steigern. (vgl. Kircher et al. 2020, S. V)

Angesichts der zentralen Rolle von Lehrkräften für den Wissenserwerb und die Kompetenzentwicklung der Schüler bleibt die Lehrerbildung besonders im Fokus. Dies spiegelt sich auch in den aktuellen Bemühungen, um sowohl administrative

als auch inhaltliche Verbesserungen in Schulen wider. Innerhalb dieses Kontextes haben vor allem die Naturwissenschaft-Didaktiken ein Forschungsfeld eröffnet, das sich mit Schülervorstellungen befasst. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der Analyse von Fehlvorstellungen, die durch verschiedene Faktoren entstehen können, sowie der Entwicklung entsprechender Strategien, um diesen Fehlvorstellungen im Unterricht zu begegnen.

In diesem Forschungsgebiet möchte die Didaktik der Metall-/Maschinentechnik nun ebenfalls Fuß fassen. Vorliegende Arbeit zielt darauf ab, eine der ersten Grundlagen für dieses Vorhaben zu legen. Das Ziel ist es, Schülervorstellungen im Kontext des CNC-Fräsens zu untersuchen, insbesondere im Hinblick auf das Programmieren von CNC-Programmen.

Die geplante Studie beabsichtigt, vorhandene Schülervorstellungen zu identifizieren und detailliert zu analysieren. Dabei liegt der Fokus auf Herausforderungen und Missverständnissen, die Schüler beim Erlernen des CNC-Programmierens erfahren können. Indem diese Fehlvorstellungen erkannt und verstanden werden, ist es möglich, gezielte pädagogische Gegenmaßnahmen zu entwickeln und im Unterricht einzusetzen.

Die Integration von CNC-Technologien in die Metall-/Maschinentechnik hat bereits neue Möglichkeiten für die industrielle Fertigung eröffnet. Jedoch sind solche Techniken komplex und erfordern ein tiefes Verständnis. Daher ist es von großer Bedeutung, die Denkweisen der Schüler zu erkennen und zu verstehen, um ihnen eine solide Grundlage in diesem Bereich zu vermitteln. Dieses Forschungsprojekt strebt an, einen Beitrag zur Optimierung der Unterrichtsmethoden und zur Förderung des Verständnisses für CNC-Programmierung im Bildungskontext zu leisten.

2 Beruf und Schule

2.1 Beruf

In einem CNC-Fertigungsbetrieb sind sorgfältig geplante und optimierte Arbeitsprozesse von entscheidender Bedeutung. Diese umfassen unter anderem die Auftragsannahme, Erstellung detaillierter Fertigungsaufträge, effiziente Materialbeschaffung, präzise Einrichtung von CNC-Maschinen sowie die akkurate Durchführung der eigentlichen Fertigungsschritte. Dabei kommt der Qualitätssicherung eine bedeutende Rolle zu, da CNC-Maschinen äußerst präzise arbeiten und kleinste Abweichungen kostspielige Fehler verursachen können. Es ist somit unerlässlich, dass geschulte Bediener während des Betriebs die CNC-Maschinen aufmerksam überwachen.

Darüber hinaus liegt es in der Verantwortung der Maschinenbediener, eine ordnungsgemäße Wartung durchzuführen, um die kontinuierliche Leistung der Maschinen zu gewährleisten und unerwünschte Produktionsausfälle zu verhindern. Der Aufgabenbereich von Maschinenbedienern erstreckt sich jedoch über den Betrieb der CNC-Machine hinaus. Eine präzise Dokumentation von CNC-Programmen, Produktionsparametern, Qualitätsprüfungen und durchgeführten Wartungsarbeiten ist nicht nur für die Rückverfolgbarkeit der Produkte von Bedeutung, sondern dient auch der kontinuierlichen Verbesserung der Fertigungsprozesse.

In Anbetracht der stetigen Weiterentwicklung von CNC-Maschinen wird eine intensive Ausbildung und Weiterbildung von Facharbeitern unerlässlich, um mit den neuesten Technologien und Verfahren Schritt zu halten und so den hohen Standards der CNC-Fertigung gerecht zu werden.

2.2 Schule

Die schulische Ausbildung in Deutschland erfolgt in der Regel im Rahmen eines dualen Systems. Das bedeutet, die Auszubildenden werden sowohl in der Berufsschule, in ihrem Ausbildungsbetrieb und gegebenenfalls in einer überbetrieblichen Einrichtung geschult. Der schulische Teil der Ausbildung unterliegt einer umfassenden Regulierung durch den Rahmenlehrplan der Kultusministerkonferenz. Dieser dient dazu, spezifische Bildungsziele für die Erlangung von Kompetenzen in den jeweiligen Ausbildungsberufen festzulegen. Innerhalb des Rahmenlehrplans werden für Berufe, die die Fertigung mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen umfassen, präzise Ziele definiert.

Es ist zu beachten, dass die spezifischen Ziele je nach Berufsfeld variieren können. Dennoch sind in der Regel grundlegende Zielsetzungen weitgehend konsistent. Zu diesen Grundzielen gehören in der Regel (vgl. Kultusministerkonferenz 25.03.2004a, 25.03.2004b, 25.03.2004c):

- Das Planen und Organisieren von Arbeitsabläufe, sowie kontrollieren und bewerten der Arbeitsergebnisse.
- Die Erstellung von Arbeits-, Werkzeugs- und Prüfplänen mit Hilfe von Skizzen und Teilzeichnungen.
- Die Ermittlung technologischer und geometrischer Daten für die Bearbeitung.
- Das Erstellen und Optimieren von CNC-Programmen und deren Kontrolle in Simulationen.
- Die korrekte Einrichtung der Werkzeugmaschine.
- Die Bedienung von numerisch gesteuerter Maschinen, Geräten und Anlagen.
- Die Erstellung einer technischen Dokumentation.

Demnach ist es erforderlich den Schülern eine breite Palette von Fähigkeiten und Kompetenzen auf technischem, mathematischem und konzeptionellem Gebiet zu vermitteln. Dazu gehören:

- ein tiefes Verständnis der Funktionsweise von CNC-Maschinen,
- Programmierkenntnisse in speziellen Programmiersprachen,

- mathematische Fähigkeiten zur Berechnung von Werkzeugwegen und Schnittdaten,
- Materialkenntnisse bezüglich Eigenschaften und Verhalten der zu bearbeitenden Materialien,
- die Fähigkeit zur Optimierung von CNC-Programmen und Prozessen,
- Problemlösungskompetenz,
- ein ausgeprägtes Qualitätsbewusstsein für präzises Arbeiten,
- und Kommunikationsfähigkeiten, um effektiv mit anderen in der Fertigungsumgebung zu interagieren.

Diese Kompetenzen sind entscheidend, um effiziente CNC-Programme zu erstellen.

3 Sachanalyse NC-Programme

Die Erstellung von NC-Programmen für CNC-Maschinen folgt einem spezifischen Ablauf, der sicherstellt, dass die Maschine die erforderlichen Bewegungen und Bearbeitungen ordnungsgemäß durchführt. Aus diesem Grund ist es von entscheidender Bedeutung, dass Maschinenbediener und Programmierer eine eingehende Kenntnis über die Struktur solcher Programme erwerben und sich gründlich damit auseinandersetzen. Die allgemein gültigen Regeln für den Aufbau von NC-Programmen sind in der Deutsche Norm DIN 66025 festgelegt. Die Vorgehensweise zur Entwicklung eines Softwareprogramms ähnelt der Erstellung eines Arbeitsplanes für die herkömmliche konventionelle Bearbeitung von Werkstücken (vgl. Hehenberger 2020, S. 103 f.).

3.1 Struktur der NC-Programme

Ein NC-Programm setzt sich aus einer Sequenz von Sätzen (siehe Abbildung 1) zusammen. Sätze sind fortlaufend nummeriert. Die jeweiligen Nummern bilden den Satzanfang, gefolgt von einer Gruppe von Wörtern, die von Wort eins bis Wort x reichen, wobei x eine natürliche Zahl darstellt. Eine schematische Darstellung des Aufbaus eines NC-Programms ist in Abbildung 1 veranschaulicht.

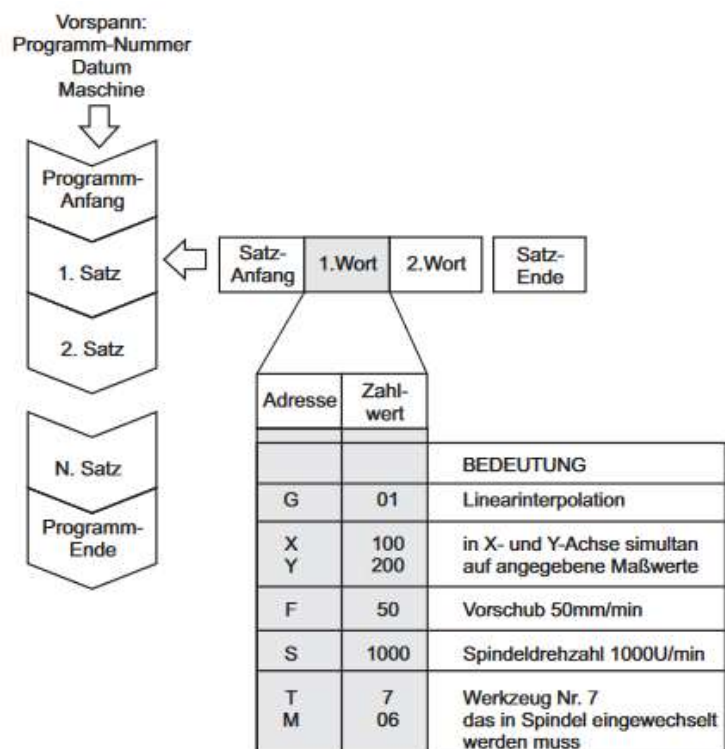


Abbildung 1 - Aufbau eines NC-Programms (Hehenberger 2020, S. 106)

Die Wörter innerhalb dieser Sätze können verschiedene Arten von Adressen (Steuerbefehle) enthalten, die jeweils spezifischen Anweisungen zugeordnet sind. Zugewiesene Anweisungen können in folgende Kategorien unterteilt werden (vgl. Kief et al. 2020, S. 562):

1. Geometrische Anweisungen: Dies sind Instruktionen, die sich auf die räumliche Ausrichtung oder Position von Objekten im NC-Programm beziehen.
2. Technologische Anweisungen: Diese Art von Anweisungen betrifft technische Parameter und Einstellungen, die im Programm festgelegt werden.
3. Fahranweisungen: Fahranweisungen steuern die Bewegungen der CNC-Maschine und bestimmen deren Navigationsverhalten.
4. Schaltbefehle: Schaltbefehle werden verwendet, um bestimmte Funktionen innerhalb der CNC-Maschine zu aktivieren oder zu deaktivieren.
5. Korrekturaufrufe: Diese Art von Anweisungen dient dazu, Korrekturen oder Anpassungen im NC-Programm vorzunehmen.
6. Zyklen- oder Unterprogrammaufrufe: Solche Anweisungen führen wiederkehrende oder untergeordnete Programmabschnitte aus.

Es ist zu beachten, dass nicht alle diese Elemente zwingend in einem Satz eines NC-Programms enthalten sein müssen. Schaltbefehle (M-Befehle) und Wegbedingungen (G-Befehle) können mehrfach in einem Satz auftreten, während die anderen Adressen nur einmal verwendet werden dürfen. Diese Einschränkung ergibt sich daraus, dass jede dieser Adressen eine separate Funktionseinheit in der CNC-Maschine anspricht und somit ihre eigene spezifische Rolle in der Programmsteuerung spielt (vgl. ebd., S. 562).

In Bahn- oder Streckensteuerungen existieren bestimmte Schaltfunktionen wie Drehzahlregelung oder Änderung der Bewegungsrichtung (Rechts- oder Linkslauf), die nur selten modifiziert werden müssen. Solange diese Funktionen unverändert bleiben, ist eine Neuprogrammierung nicht erforderlich (vgl. Hehenberger 2020, S. 106).

3.2 PAL-Programmcode

Im schulischen Kontext zur Vermittlung der CNC-Programmierung wird gemäß den Bildungsstandards der Industrie- und Handelskammer (IHK) die PAL-Programmierung als Lehrgegenstand eingesetzt. Die PAL-Programmiersprache dient als Grundlage zur vertieften Untersuchung zentraler Steuerungsbefehle, die im Rahmen dieses Abschnittes in Bezug zum bereits behandelten Programmaufbau aus dem vorherigen Kapitel gesetzt werden. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der detaillierten Präsentation der wichtigsten Adressen im schulischen Kontext:

3.2.1 Schaltbefehle (vgl. Kief et al. 2020, S. 565)

- T-Befehle: T-Befehle stehen für Werkzeugwechselbefehle. Sie werden verwendet, um das Werkzeug in der CNC-Maschine auszutauschen und legen fest, welches Werkzeug (z. B. Fräser, Bohrer) für eine bestimmte Bearbeitungsoperation verwendet werden soll. T-Befehle sind wichtig, um sicherzustellen, dass das richtige Werkzeug zur richtigen Zeit verwendet wird.
- S-Befehle: S-Befehle sind Drehzahlbefehle. Sie bestimmen die Drehzahl der Spindel während des Bearbeitungsvorgangs. Die Drehzahl beeinflusst die Schnittgeschwindigkeit und die Qualität der Bearbeitung und muss daher sorgfältig eingestellt werden.
- F-Befehle: F-Befehle stehen für Vorschubbefehle. Diese Befehle bestimmen die Geschwindigkeit, mit der sich das Werkzeug durch das Werkstück bewegt. Die Vorschubgeschwindigkeit beeinflusst die Schnittrate und die Oberflächengüte des bearbeiteten Materials. Eine korrekte Einstellung der Vorschubgeschwindigkeit ist entscheidend für die Bearbeitungsqualität.
- M-Befehle: M-Befehle sind allgemeine Steuerbefehle. Sie werden für verschiedene Funktionen verwendet, wie das Ein- und Ausschalten von Kühlmitteln, das Starten oder Stoppen der Spindel und andere nicht spezifisch durch T, S oder F festgelegte Aktionen. Die genaue Bedeutung eines M-Befehls hängt von der CNC-Maschine und dem Programmierstandard ab.

Sie werden üblicherweise mit einer bis zu zweistelligen Zahl codiert und können in nachfolgender Tabelle 1 eingesehen werden:

Tabelle 1 – Schaltbefehle (Kief et al. 2020, S. 564)

Code	Funktion
M00	Programm Halt. Spindel, Kühlmittel und Vorschub aus. Erneuter Start über Taste „START“
M01	Wahlweiser Halt. Wirkt wie M00, wenn Schalter „WAHLWEISER HALT“ auf EIN steht.
M02	Programm ENDE.
M03	Spindel EIN, Rechtslauf.
M04	Spindel EIN, Linkslauf.
M05	Spindel STOP.
M06	Werkzeugwechsel ausführen.
M07	Kühlmittel 2 EIN.
M08	Kühlmittel 1 EIN.
M09	Kühlmittel AUS.
M10	Klemmung EIN.
M11	Klemmung AUS.
M13	Spindel EIN, Rechtslauf und Kühlmittel EIN.
M14	Spindel EIN, Linkslauf und Kühlmittel EIN.
M19	Spindel STOP in bestimmter Winkellage.
M30	Programm-Ende und Zurücksetzen auf Programm-Anfang
M31	Verriegelung aufheben
M40 – M45	Getriebestufen-Umschaltung.
M50	Kühlmittel 3 EIN.
M51	Kühlmittel 4 EIN.
M60	Werkstückwechsel.
M68	Werkstück spannen.
M69	Werkstück entspannen.
Alle nicht genannten M-Funktionen sind nicht belegt oder frei verfügbar.	

3.2.2 Wegebedingungen

In NC-Programmen sind Wegebedingungen spezielle Befehle, die die Bewegung des Werkzeugs durch den Bearbeitungsraum steuern. Diese Bedingungen legen fest, wie sich die Bearbeitungseinheit entlang einer bestimmten Strecke bewegt. Wegbedingungen sind entscheidend, um die gewünschten Bearbeitungsbewegungen und -pfade zu definieren. Es gibt verschiedene Arten von Wegbedingungen, darunter (vgl. Kief et al. 2020, S. 567 ff.):

Modale Wegebedingungen: Modale Wegebedingungen sind Befehle, die eine anhaltende Wirkung über mehrere Sätze oder Bewegungen hinweg haben. Sobald eine modale Wegebedingung gesetzt ist, bleibt sie so lange aktiv, bis sie geändert oder aufgehoben wird. Diese Art von Bedingungen kann die Grundeinstellungen für Geschwindigkeit, Koordinatensystem oder andere Parameter festlegen, die für eine Reihe von Bewegungen gelten. Ein Beispiel ist der G-Befehl G90, der das Koordinatensystem auf den absoluten Modus setzt und solange

besteht, bis er durch einen anderen G-Befehl geändert wird. Die modalen Wegebedingungen gliedern sich in folgende Gruppen:

- Interpolationsbefehle: G00-G03 und G06
 - Ebenenauswahl: G17-G19
 - Nullpunktverschiebung: G53-G59
 - Einfahrverhalten: G08, G09 und G60-G62
 - Arbeitszyklus: G80-G89
 - Maßangaben: G90 und G91
 - Vorschub: G93-G95
 - Drehzahleingabe: G96 und G97
- Wegebedingungen, die nur für einen Satz gelten: Einige Wegebedingungen werden innerhalb eines einzigen Satzes oder einer einzelnen Anweisung verwendet und beeinflussen nur die Bewegung oder Aktion in diesem Satz. Diese Bedingungen sind lokal begrenzt und haben keine anhaltende Wirkung über diesen Satz hinaus. Ein Beispiel ist die Verwendung eines spezifischen G-Befehls innerhalb eines Satzes, um eine vorübergehende Änderung der Bewegungsart oder -geschwindigkeit für diesen speziellen Satz zu erzielen. Dazu gehören unter andere folgende Befehle:
 - G04 Verweilzeit
 - G08 und G09 Geschwindigkeitszunahme bzw. -abnahme
 - G63 Gewindebohren
 - G92 Bezugspunktverschiebung
 - Wegebedingungen ohne feste Normbedeutung: Es gibt Wegebedingungen, für die keine einheitliche Bedeutung in der DIN 66025 festgelegt sind (Deutsche Norm DIN 66025). Diese Bedingungen können von Maschine zu Maschine oder von Programmiersystem zu Programmiersystem unterschiedlich interpretiert werden. Sie werden oft in speziellen Anwendungen oder aufgrund individueller Anforderungen des CNC-Programmierers verwendet. In solchen Fällen ist es wichtig, die Bedeutung und Funktion dieser Wegebedingungen in der Dokumentation oder Programmieranweisung klar zu definieren.

3.2.3 Wegeinformationen

Wegeinformationen in einem NC-Programm sind spezielle Befehle, die die Bewegung der CNC-Maschine steuern, indem sie detaillierte Angaben zur Richtung, Länge und Geschwindigkeit der Werkzeugbewegung sowie zur Positionierung im Bearbeitungsraum bereitstellen. Diese Informationen sind entscheidend, um die Werkzeugmaschine präzise zu führen und die gewünschten Bearbeitungsaufgaben durchzuführen. Kief et al. definierte in seinem Werk drei Bedeutungen, die Wegebedingungen für Maschinen besitzen (Kief et al. 2020, S. 566):

1. „Ihr Wert bestimmt die anzufahrende Zielposition,
2. ihr Vorzeichen gibt die Fahrrichtung an oder definiert Quadranten,
3. ihre Reihenfolge bestimmt den Programmablauf, d. h. die Bewegungsfolge.“

Laut Kief et al. (ebd., S. 566) zählen zu den Wegeinformationen die Achsadressen:

- X-, Y-, Z-Bewegung in Richtung der jeweiligen Achse
- A Rotation um X-Achse
- B Rotation um Y-Achse
- C Rotation um Z-Achse
- U, V, W zweite Bewegung in Richtung der X-, Y-, beziehungsweise Z-Achse
- I, J, K Interpolationsparameter oder Gewindesteigung in Richtung X-, Y-, oder Z-Achse
- P, W, R dritte Bewegung in Richtung der X-, Y-, Z-Achse

Maßangaben in einer technischen Zeichnung können sowohl in Bezug auf Absolut- als auch auf Relativmaße angegeben werden. Absolutmaße beziehen sich auf die genaue Position eines Punktes oder einer Bewegung in Bezug auf ein festes Bezugssystem oder einen Ursprung (vgl. ebd., S. 566). Dies bedeutet, dass die Koordinaten eines Punktes direkt in Bezug auf eine festgelegte Grundlinie oder ein Koordinatensystem angegeben werden. In einer technischen Zeichnung können Absolutmaße beispielsweise durch die Angabe von X-, Y- und Z-

Koordinaten für jeden Punkt oder jede Bewegung angegeben werden. Diese Koordinaten werden üblicher Weise in Millimetern angegeben und beziehen sich auf den Ursprung der Zeichnung oder ein festes Bezugssystem.

Relativmaße beziehen sich auf die Position eines Punktes oder einer Bewegung in Bezug auf einen vorherigen Punkt oder eine vorherige Position (vgl. Kief et al. 2020, S. 566). Mit anderen Worten, sie geben an, wie sich die Position relativ zu einer bekannten Position ändert. In einer technischen Zeichnung können Relativmaße durch die Verwendung von Abständen und Winkeln angegeben werden. Die Wahl zwischen Absolut- und Relativmaßen hängt von den Anforderungen der Zeichnung und der CNC-Programmierung ab. Absolutmaße sind oft hilfreich, wenn es darum geht, die genaue Position eines Punktes oder einer Bearbeitungsbewegung festzulegen und wenn eine feste Bezugslinie oder ein Koordinatensystem vorhanden ist (vgl. Braun et al. 1999, S. 513). Relativmaße sind nützlich, wenn die Bewegung in Bezug auf eine vorherige Position beschrieben wird, was bei vielen CNC-Bearbeitungsaufgaben der Fall ist (vgl. ebd., S. 513).

3.2.4 Zyklen

Um die CNC-Programmierung zu optimieren und zu beschleunigen, bietet sich die Anwendung vordefinierter Bearbeitungszyklen als eine Möglichkeit an. In der CNC-Frästechnik sind insbesondere Bohr- und Fräszyklen häufig verfügbar und werden eingesetzt, um die Erstellung wiederkehrender Konturen mit minimalem Programmieraufwand zu erleichtern. Diese Zyklen fungieren als Unterprogramme, die aufgerufen werden können, und erfordern lediglich die Bereitstellung der erforderlichen Parameter zur Herstellung der gewünschten geometrischen Form (vgl. Hehenberger 2020, S. 103). Dieser Ansatz zielt darauf ab, die Effizienz und Präzision bei der CNC-Bearbeitung zu steigern und die Programmierarbeit zu rationalisieren (vgl. Kief et al. 2020, S. 570). Es ist anzumerken, dass einige dieser Bearbeitungszyklen gemäß den Normen der DIN 66025 definiert sind, was zur Vereinheitlichung und Standardisierung in der CNC-Programmierung beiträgt (vgl. ebd., S. 571).

Die Kategorisierung der Bearbeitungszyklen erfolgt nach (vgl. Kief et al. 2020, S. 570 f.):

- Bohrzyklen

Der Bohrzyklus wird zum Bohren, Reiben, Senken und Gewindebohren verwendet. Der Zyklus enthält normalerweise Befehle zur Positionierung des Werkzeugs, zum Eintauchen, Bohren und Zurückziehen.

- Fräszyklen

Der Fräszyklus wird verwendet, um Konturen und Taschen zu fräsen. Je nach Zyklus werden unterschiedliche Schneidbewegungen wie Planfräsen oder Umfangsfräsen durchgeführt.

- Drehzyklen

Der Drehzyklus wird zum Abspannen (längs und plan), Gewindedrehen (achsparallel oder konisch), für Freistiche und Einstiche verwendet.

- Freie Zyklen

Sind maschinenspezifische Unterprogramme zum Werkzeugwechsel, zum fertigen von Lochkreisen, Lochreihen usw.

In der CNC-Programmierung ist es erforderlich, Bearbeitungszyklen gezielt aufzurufen, um spezifische Bearbeitungsaufgaben auszuführen (vgl. Braun et al. 1999, S. 517). In der PAL-Programmierung stehen für diesen Zweck spezielle Wegbedingungen zur Verfügung, nämlich die Wegbedingungen G76 bis G79. Diese Wegbedingungen bieten unterschiedliche Varianten für den Aufruf von Bearbeitungszyklen, wodurch die Programmierung auf eine möglichst einfache und effiziente Weise durchgeführt werden kann.

Konkret ermöglicht die Wegbedingung G76 den mehrfachen Aufruf von Bearbeitungszyklen entlang einer geraden Bewegungsbahn, während G77 für Bearbeitungsvorgänge auf einer kreisförmigen Bahn vorgesehen ist. G78 hingegen dient dem Aufruf von Bearbeitungszyklen an einem Punkt, der in Polarkoordinaten angegeben ist. Schließlich erlaubt G79 den Aufruf von Bearbeitungszyklen an einem Punkt, der in kartesischen Koordinaten festgelegt ist. (vgl. Gomeringer et al. 2019, S. 368 ff.)

3.3 Die CNC-Programmierung

Im Allgemeinen wird zwischen "manueller" und "maschineller" Programmierung unterschieden (vgl. Hehenberger 2020, S. 100). Bei beiden Arten der Programmierung erfolgt die Dateneingabe auf der Grundlage der DIN 66025. Abbildung 2 veranschaulicht das komplexe Gesamtsystem der Programmiertechnik.

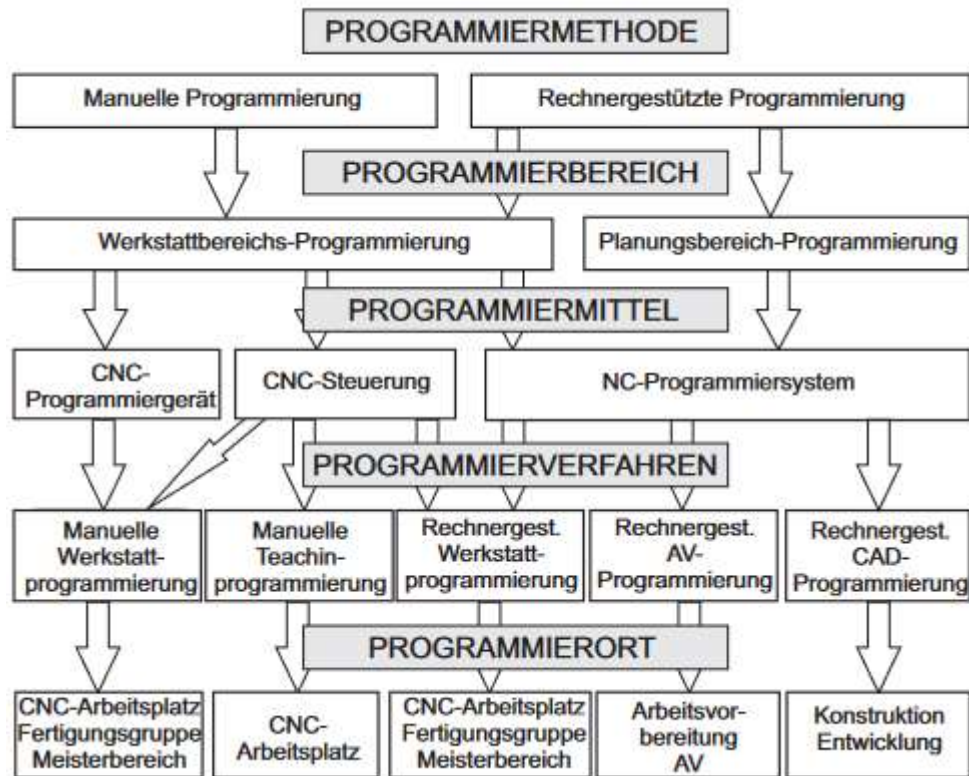


Abbildung 2 - Einteilung der NC-Programmierung (Hehenberger 2020, S. 101)

Programmiermethode:

Die Programmiermethode bezieht sich auf die Art der NC-Programmierung. Bei der manuellen NC-Programmierung wird das NC-Programm manuell, in der Regel vom Maschinenbediener erstellt. Im Gegensatz dazu erfordert die rechnergestützte CNC-Programmierung ein NC-Programmiersystem, das oft für komplexe Werkstückgeometrien und verschiedene Fertigungsverfahren wie Drehen, Bohren, Fräsen usw. verwendet wird (vgl. ebd., S. 101).

Programmierbereich und Programmierort:

In der betrieblichen Praxis haben sich zwei Hauptprogrammierbereiche etabliert: der "Werkstattbereich" und der "Planungsbereich". Der Werkstattbereich umfasst alle lokalen Programmierbereiche, darunter der Meisterbereich, der Fertigungsbereich sowie die festen CNC-Arbeitsplätze, die als Programmierorte dienen.. Der Planungsbereich umfasst die Arbeitsbereiche, die räumlich und akustisch von der Werkstatt und der hochintensiven Geräuschkulisse, die durch den Betrieb der CNC-Maschinen verursacht wird, separiert sind. (vgl. Hehenberger 2020, S. 101 ff.)

Programmiermittel:

„Unter diesem Begriff werden alle CNC-Steuerungen, CNC-Programmiergeräte und rechnergestützten NC-Programmiersysteme verstanden.“ (ebd., S. 102)

Programmierv Verfahren:

In der CNC-Bearbeitung und -Programmierung gibt es verschiedene Programmierverfahren, die verwendet werden. Diese Methoden bestimmen, wie CNC-Programme erstellt und entwickelt werden.

3.3.1 Einteilung der Programmierv Verfahren

Die einzelnen Programmierverfahren werden nach ebd., S. 102 wie folgt unterteilt:

Teach-In-Programmierung:

Die Teach-In-Programmierung ist eine Methode zur Programmierung von CNC-Maschinen, bei der die Bewegungs- und Bearbeitungsanweisungen der Maschine manuell durch einen Bediener oder einen Programmierer eingegeben werden. Diese Art der Programmierung wird oft in der Robotik und in CNC-Anwendungen verwendet, bei denen die Maschine oder der Roboter physisch bewegt wird, um die gewünschten Bewegungsabläufe zu erstellen. (vgl. ebd., S. 102; vgl. Kief et al. 2020, S. 607 f.)

Schlüsselmerkmale dieser Programmierung (vgl. Hehenberger 2020, S. 102; vgl. Kief et al. 2020, S. 607 f.):

1. Manuelle Eingabe: Bei der Teach-In-Programmierung erfolgt die Programmierung manuell, normalerweise mithilfe eines Programmierhandgeräts oder einer speziellen Bedienoberfläche. Der Bediener führt die Maschine oder den Roboter physisch durch die gewünschten Bewegungen, und die Steuerung zeichnet diese Bewegungen auf.
2. Bewegungsaufzeichnung: Während der Bediener die Maschine oder den Roboter bewegt, zeichnet die CNC-Steuerung die Bewegungen auf. Dies geschieht normalerweise in Echtzeit, sodass die Bewegungen genau erfasst werden.
3. Keine umfassende Programmierkenntnisse erforderlich: Die Teach-In-Programmierung erfordert in der Regel weniger umfassende Programmierkenntnisse als andere Programmierungsmethoden, wie die manuelle oder CAD/CAM-Programmierung. Sie ermöglicht es Bedienern, CNC-Programme zu erstellen, indem sie die gewünschten Bewegungen physisch ausführen.
4. Schnelle Erstellung von Programmen: Die Teach-In-Programmierung kann in vielen Fällen schneller sein als andere Programmierungsmethoden, da sie keine umfangreiche manuelle Eingabe von Codes erfordert. Sie eignet sich daher gut für Anwendungen, bei denen schnelle Programmänderungen oder Anpassungen erforderlich sind.
5. Anwendungsgebiete: Diese Programmiermethode wird häufig in der Robotik eingesetzt, um Roboterarme zu programmieren, aber sie findet auch in CNC-Programmen Anwendung, bei denen die Bearbeitungseinheit physisch bewegt werden muss, um komplexe Formen oder Bewegungsabläufe zu erstellen.

Es ist wichtig zu beachten, dass die mit der Teach-In-Programmierung erstellten CNC-Programme oft spezifisch an die jeweilige Maschine oder den Roboter gebunden sind, auf dem sie erstellt wurden. Dies bedeutet, dass Programme, die für eine Maschine oder einen Roboter erstellt wurden, normalerweise nicht auf anderen Maschinen oder Robotern verwendet werden können.

Manuelle Werkstattprogrammierung:

Die manuelle Werkstattprogrammierung ist eine Methode zur Erstellung von CNC-Programmen, die direkt an der Werkzeugmaschine in der Werkstattumgebung erfolgt. Bei dieser Art der Programmierung werden die Bearbeitungsanweisungen von Hand in die CNC-Steuerung eingegeben. (vgl. Hehenberger 2020, 102 f.; vgl. Kief et al. 2020, S. 607)

Schlüsselmerkmale dieser Programmierung (vgl. Hehenberger 2020, S. 102 f.; vgl. Kief et al. 2020, S. 607):

1. Handeinsatz: Bei der manuellen Werkstattprogrammierung gibt der Maschinenbediener die Bearbeitungsanweisungen manuell in die CNC-Steuerung ein. Dies geschieht normalerweise über die Bedienoberfläche der Maschine oder über eine spezielle Programmierkonsole.
2. Schrittweise Eingabe: Der Bediener gibt die Bewegungen, Geschwindigkeiten und Bearbeitungsparameter schrittweise ein, um das gewünschte CNC-Programm zu erstellen. Dies kann bedeuten, dass er jede Bewegung und jeden Werkzeugwechsel einzeln eingibt. Während dieses Vorgangs werden die Erstellung von Werkzeugplänen, Aufspannplänen und die Endkontrolle durch die Simulation des Ergebnisses nicht unterstützt.
3. Codierung: Die eingegebenen CNC-Programme werden in einer speziellen Codesprache oder Syntax niedergeschrieben. Diese Codierung enthält die Anweisungen für die Bewegung der Werkzeugmaschine, die Werkzeugwahl, die Geschwindigkeiten und andere Bearbeitungsparameter.
4. Maschinenspezifisch: Die erstellten CNC-Programme sind normalerweise spezifisch für die jeweilige CNC-Maschine, auf der sie verwendet werden. Das bedeutet, dass Programme, die für eine Maschine erstellt wurden, normalerweise nicht auf anderen Maschinen funktionieren.
5. Zeitaufwändig: Die manuelle Werkstattprogrammierung kann zeitaufwändig sein, insbesondere für komplexe Teile oder Werkstücke mit vielen Bearbeitungsschritten. Der Bediener muss sorgfältig jede Anweisung eingeben und sicherstellen, dass sie korrekt ist.

6. Praktisch für Einzel- und Kleinserienfertigung: Dieser Ansatz wird häufig in Werkstätten und Fertigungsumgebungen eingesetzt, in denen Einzel- oder Kleinserienfertigung stattfindet. Es ermöglicht die schnelle Erstellung von CNC-Programmen für spezifische Teile, ohne umfassende Programmierkenntnisse zu erfordern.

Die manuelle Werkstattprogrammierung bietet eine praktische Möglichkeit, CNC-Maschinen in Werkstätten und Fertigungsbetrieben zu nutzen, insbesondere für kleinere Stückzahlen. Sie erfordert jedoch eine sorgfältige und genaue Eingabe der Programmieranweisungen durch den Bediener und ist weniger automatisiert als andere CNC-Programmierungsmethoden wie CAD/CAM-Programmierung.

Rechnergestützte Werkstattprogrammierung:

Die rechnergestützte Werkstattprogrammierung, auch als „werkstattorientierte Programmierung“ (WOP) bekannt, ist eine Methode zur Erstellung von CNC-Programmen, die speziell in der Werkstattumgebung eingesetzt wird, in der CNC-Maschinen für die Fertigung von Teilen verwendet werden. Bei diesem Ansatz erfolgt die Programmierung der CNC-Maschine direkt an der Werkzeugmaschine, normalerweise durch den Maschinenbediener. (vgl. Hehenberger 2020, 102 f.; vgl. Kief et al. 2020, S. 608 f.)

Schlüsselmerkmale dieser Programmierung (vgl. Hehenberger 2020, S. 102 f.; vgl. Kief et al. 2020, S. 608 f.):

1. Codierung: Die eingegebenen CNC-Programme werden in einer codierten Form niedergeschrieben. Dies bedeutet, dass die Anweisungen in einer speziellen Syntax verfasst sind, die von der CNC-Steuerung erkannt wird.
2. Grafische Schnittstelle: Moderne CNC-Maschinen verfügen oft über grafische Benutzeroberflächen, die die Programmierung erleichtern. Diese Oberflächen ermöglichen es dem Bediener, geometrische Formen und Bewegungen auf dem Bildschirm zu zeichnen und die entsprechenden CNC-Codegenerierung automatisch zu generieren.
3. Maschinenspezifisch: Die erstellten CNC-Programme sind normalerweise spezifisch für die jeweilige CNC-Maschine, auf der sie verwendet werden.

Dies bedeutet, dass Programme, die für eine Maschine erstellt wurden, normalerweise nicht auf anderen Maschinen funktionieren.

4. Zeitaufwändig: Die manuelle Werkstattprogrammierung kann zeitaufwändig sein, insbesondere für komplexe Teile oder Werkstücke mit vielen Bearbeitungsschritten.
5. Praktisch für Einzel- und Kleinserienfertigung: Dieser Ansatz wird häufig in Werkstätten und Fertigungsumgebungen eingesetzt, in denen Einzel- oder Kleinserienfertigung stattfindet, da er sich für die schnelle Erstellung von CNC-Programmen für spezifische Teile eignet.

Die rechnergestützte Werkstattprogrammierung bietet eine effiziente Möglichkeit, CNC-Maschinen in Werkstätten und Fertigungsbetrieben zu nutzen, ohne dass umfassende Programmierkenntnisse erforderlich sind. Sie ist jedoch weniger automatisiert und weniger flexibel als andere CNC-Programmierungsmethoden wie CAD/CAM-Programmierung.

Rechnergestützte AV-Programmierung:

Die rechnergestützte AV-Programmierung steht für Arbeitsvorbereitungsprogrammierung und ist eine Methode zur Programmierung von CNC-Maschinen in der Fertigungsindustrie. Sie wird in der Regel in der Arbeitsvorbereitung eines Produktionsbetriebs durchgeführt und dient dazu, CNC-Programme für die Maschinen im Vorfeld zu erstellen.

Schlüsselmerkmale dieser Programmierung (vgl. Hehenberger 2020, S. 103; vgl. Kief et al. 2020, S. 610 f.):

1. Programmierung abseits der Werkstattumgebung: Im Gegensatz zur manuellen Werkstattprogrammierung, bei der die Programmierung direkt an der Werkzeugmaschine stattfindet, erfolgt die rechnergestützte AV-Programmierung abseits der lauten und geschäftigen Werkstattumgebung. Die Programmierer arbeiten normalerweise in einem ruhigen Büro oder einem speziellen Programmierzentrum.
2. Verwendung von CAD/CAM-Software: Die rechnergestützte AV-Programmierung basiert oft auf CAD/CAM-Software (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing), die speziell für die Erstellung von

CNC-Programmen entwickelt wurde. Mit dieser Software können die Programmierer 3D-Modelle der Werkstücke erstellen und dann die erforderlichen Bearbeitungsschritte und Werkzeugwege festlegen.

3. Steuerungsneutrale Programmierung: Die erstellten CNC-Programme sind in der Regel steuerungsneutral, was bedeutet, dass sie nicht an eine bestimmte CNC-Steuerung gebunden sind. Stattdessen verwenden sie ein standardisiertes Datenformat (CLDATA-File), das später in die spezifische Syntax der CNC-Steuerung des Maschinenparks des Unternehmens umgewandelt wird.
4. Komplexere Werkstücke und Aufträge: Die rechnergestützte AV-Programmierung eignet sich besonders für Betriebe mit komplexen Werkstücken und verschiedenen Fertigungsverfahren. Sie ermöglicht die Erstellung detaillierter CNC-Programme für eine breite Palette von Werkstücken und Aufträgen.
5. Simulation und Optimierung: Mit CAD/CAM-Software können CNC-Programme oft simuliert und optimiert werden, bevor sie tatsächlich auf der Maschine ausgeführt werden. Dies hilft, Fehler zu vermeiden und die Bearbeitungseffizienz zu verbessern.
6. Postprozessoren: Um die erstellten Programme auf den CNC-Maschinen auszuführen, werden spezifische Postprozessoren verwendet, die die generierten Daten in die CNC-Syntax der Maschinen umwandeln.

Die rechnergestützte AV-Programmierung ermöglicht eine präzise und effiziente Erstellung von CNC-Programmen und ist besonders in Betrieben mit komplexen Fertigungsanforderungen weit verbreitet. Sie trägt dazu bei, die Produktionsprozesse zu optimieren und die Qualität der hergestellten Teile zu verbessern.

CAD/CAM Programmierung:

CAD/CAM-Programmierung ist ein wichtiger Prozess in der Fertigungsindustrie, der sich auf die Erstellung von CNC-Programmen für computergesteuerte Maschinen (CNC-Maschinen) zur Herstellung von Werkstücken und Bauteilen bezieht. Es handelt sich um einen integrierten Ansatz, bei dem sowohl die Konstruktion (CAD) als auch die Fertigung (CAM) mithilfe von Computersoftware gesteuert werden. (vgl. Hehenberger 2020, S. 118; vgl. Kief et al. 2020, S. 612)

Schlüsselmerkmale dieser Programmierung (vgl. Hehenberger 2020, S. 118 ff.; vgl. Kief et al. 2020, S. 612):

1. CAD - Computer-Aided Design: CAD bezieht sich auf den ersten Teil des Prozesses, bei dem 3D-Modelle von Werkstücken und Bauteilen erstellt werden. Dies erfolgt mithilfe spezialisierter CAD-Software. Die Konstrukteure oder Ingenieure verwenden diese Software, um das Design eines Werkstücks digital zu erstellen und es in virtuellen 3D-Modellen zu visualisieren. Diese Modelle können dann für weitere Analysen und Simulationen verwendet werden.
2. CAM - Computer-Aided Manufacturing: CAM ist der zweite Teil des Prozesses und bezieht sich auf die Umwandlung des CAD-Modells in ein CNC-Programm, das von einer CNC-Maschine ausgeführt werden kann. CAM-Software analysiert das CAD-Modell, um die Werkzeugwege, Schnittgeschwindigkeiten, Vorschübe und andere Parameter festzulegen, die für die Fertigung erforderlich sind. Das Ergebnis ist ein CNC-Programm, das die Maschine steuert, um das Werkstück gemäß den Konstruktionsvorgaben herzustellen.
3. Integration: Der Schlüssel zur CAD/CAM-Programmierung ist die nahtlose Integration von CAD- und CAM-Software. Diese Integration ermöglicht es den Konstrukteuren und Fertigungstechnikern nahtlos zwischen dem Designprozess und dem Fertigungsprozess zu wechseln. Änderungen im CAD-Modell können automatisch in das CAM-Programm übertragen werden, was die Effizienz und Genauigkeit des gesamten Prozesses erhöht.
4. Automatisierung: CAD/CAM-Systeme bieten oft eine hohe Automatisierung. Die Software kann viele der komplexen Berechnungen und Aufgaben übernehmen, die für die Programmierung einer CNC-Maschine erforderlich sind. Dies reduziert die Fehlerquote und beschleunigt den Fertigungsprozess.
5. Qualität und Präzision: CAD/CAM-Programmierung ermöglicht eine höhere Präzision bei der Fertigung von Teilen, da die Software präzise Werkzeugwege berechnet und wiederholbare Prozesse ermöglicht. Dies trägt zur Verbesserung der Produktqualität bei.

CAD/CAM-Programmierung wird in verschiedenen Branchen eingesetzt, darunter die Metallverarbeitung, die Luft- und Raumfahrt, die Automobilindustrie, die Medizintechnik und viele andere. Sie ist ein wesentlicher Bestandteil moderner Fertigungsprozesse und trägt dazu bei, die Effizienz, Präzision und Qualität der hergestellten Produkte zu steigern.

3.4 Bezugselemente

3.4.1 Koordinatensysteme

In der CNC-Bearbeitung wird normalerweise das „rechtsdrehende, rechtwinklige, kartesische Koordinatensystem verwendet“ (Ruch und Neppler 2022, S. 12). Dieses Koordinatensystem basiert auf den drei orthogonalen Achsen X, Y und Z, die rechtwinklig zueinanderstehen:

1. X-Achse: Die X-Achse ist horizontal und erstreckt sich normalerweise von links nach rechts. Bewegungen entlang der X-Achse repräsentieren seitliche Verschiebungen.
2. Y-Achse: Die Y-Achse ist ebenfalls horizontal, aber sie erstreckt sich normalerweise von vorne nach hinten. Bewegungen entlang der Y-Achse repräsentieren Vorwärts-Rückwärts-Verschiebungen.
3. Z-Achse: Die Z-Achse ist vertikal und erstreckt sich normalerweise von unten nach oben. Bewegungen entlang der Z-Achse repräsentieren Auf- und Abwärtsbewegungen.

Diese drei Achsen definieren den Arbeitsraum der CNC-Maschine, in dem das Werkzeug bewegt wird, um die Bearbeitungsoperationen durchzuführen. Zusätzlich können Drehungen um die Achsen X, Y, Z durch die Adressen A, B, C zur Darstellung von Rotationen verwendet werden (vgl. Hehenberger 2020, S. 111). Das kartesische Koordinatensystem ermöglicht eine präzise und einheitliche Darstellung von Positionen und Bewegungen in drei Dimensionen.

3.4.2 Null- und Bezugspunkte

In der CNC-Technik sind Null-, Bezugs- und Referenzpunkte von entscheidender Bedeutung, da sie als Ausgangspunkte für die Positionierung und Bewegung der Werkzeuge und Werkstücke dienen (vgl. ebd., S. 111).

- Maschinennullpunkt (M):

Der Maschinennullpunkt ist der Referenzpunkt auf der CNC-Maschine selbst. Er ist der Punkt, an dem sich die Maschinenachsen in ihrem Ausgangszustand oder einer definierten Position befinden. Dieser Nullpunkt ist für die Maschine festgelegt und dient als Ursprung des Koordinatensystems der Maschine.

- Werkstücknullpunkt (W):

Der Werkstücknullpunkt ist ein Bezugspunkt auf dem Werkstück. Er wird verwendet, um die Position und Ausrichtung des Werkstücks in der Maschine festzulegen. Dieser Nullpunkt ist für jedes individuelle Werkstück spezifisch und ermöglicht es, das Werkstück präzise zu positionieren und die Bearbeitung in Bezug auf das Werkstück durchzuführen.

- Referenzpunkt (R):

Ein Referenzpunkt in der CNC-Technik ist ein spezifischer Punkt auf einer CNC-Werkzeugmaschine, der für verschiedene Zwecke verwendet wird. In diesem Kontext handelt es sich um einen Referenzpunkt, der für eine CNC-Werkzeugmaschine mit einem inkrementellen Wegmesssystem von Bedeutung ist. Er wird als Eichpunkt verwendet, um das inkrementelle Wegmesssystem der CNC-Maschine zu kalibrieren und zu justieren. Dies ist wichtig, um sicherzustellen, dass die gemessenen Wegstrecken und Positionen während der Bearbeitung genau und zuverlässig sind.

4 Schülervorstellungen

Bei der Planung von Unterricht denkt eine Lehrkraft in der Regel zuerst an die fachlichen Inhalte sowie die zu vermittelnden Kompetenzen. Hierzu werden Lehrpläne studiert, verschiedene Schulbücher und Fachzeitschriften durchgearbeitet und eine umfassende Sachanalyse aus den gesammelten Informationen erstellt. Anschließend erfolgt eine Abwägung zwischen verschiedenen Unterrichtsmethoden, -materialien und Aufgabenstellungen. Dabei wird oft selbstverständlich vorausgesetzt, dass die Schüler uneingeschränkte Aufmerksamkeit zeigen und den Inhalt fehlerfrei verstehen.

Allerdings sollte gleichzeitig auch an die Lernvoraussetzungen der Schüler gedacht werden. Das Lernen erfolgt durch die Verknüpfung neuer Informationen mit dem bereits vorhandenen Vorwissen der Lernenden, das sich aus vorherigen Unterrichtseinheiten, Alltagserfahrungen und Beobachtungen speist (vgl. Schecker et al. 2018, S. 2). Ausubel betonte bereits in *Educational Psychology: A Cognitive View*: "The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly." (Ausubel 1968, 287 f.). Daher sollte genau bei diesem Vorwissen bzw. Vorstellungen angesetzt werden. Lehrer können jedoch lediglich Impulse geben. Das eigentliche Lernen geschieht bei den Schülern durch die persönliche Auseinandersetzung mit den entsprechenden Themen (vgl. Duit 1995, S. 905 ff.).

Aus diesem Grund ist es von entscheidender Bedeutung bei der Unterrichtsplanung, sich ebenfalls mit den zu erwartenden Schülervorstellungen vertraut zu machen. Nach einer genaueren begrifflichen Eingrenzung stehen anschließend in diesem Kapitel Strategien zum Umgang mit Schülervorstellungen im Vordergrund.

4.1 Begriffsbestimmung

Eine präzise Definition des Begriffs "Schülervorstellungen" gestaltet sich schwierig, da dieser Begriff in verschiedenen didaktischen und lerntheoretischen Ansätzen mit unterschiedlichen Nuancen verwendet wird (vgl. Möller 2018, S. 35). Der Teilbegriff "Vorstellung" kann jedoch als subjektive mentale Konstruktionen verstanden werden, die in ihrer Komplexität variieren (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 51). Wie bereits erwähnt sind diese Konstrukte das Resultat des Vorwissens, sowie der bisherigen Alltagserfahrungen der Schüler. „Die Vorstellungen können zudem enaktiv, ikonisch oder symbolisch repräsentiert sein: als raum-zeitliche Abläufe, als bildhafte Darstellungen oder als sprachlich oder anderweitig symbolisch Repräsentiertes“ (Möller 2018, S. 35 f.). Je nach Ausprägung lassen sie sich in Überzeugungen, Vorstellungen in bestimmten Situationen und ad hoc Vorstellungen kategorisieren (vgl. ebd., S. 35 f.). Das Konstrukt der Vorstellung wird dabei in die Komplexitätsniveaus "Begriff", "Konzept", "Denkfiguren" und "Theorien" unterteilt (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 51 f.). Die niedrigste Stufe bilden dabei die Begriffe, die durch einzelne Wörter ausgedrückt werden und sich auf einzelne Objekte oder Vorgänge beziehen (vgl. ebd., S. 51 f.). Das Zusammenführen und das Beziehen mehrerer Begriffe innerhalb eines Satzes oder einer Aussage beschreiben die nächsthöhere Komplexitätsstufe des „Konzepts“ (vgl. ebd., S. 52). Die nachfolgende Stufe umfasst die sogenannten "Denkfiguren", die grundlegende Prinzipien beschreiben, während die höchste Stufe, die "Theorie", bereits ein komplexes Gefüge von Aussagen darstellt (vgl. Werther 2016, S. 34).

Die Begriffe "Fehlvorstellungen" und "Präkonzept" werden in der Literatur oft synonym verwendet (vgl. ebd., S. 34 f.; vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 52). Der Begriff "Fehlvorstellungen", der ursprünglich in der Schülervorstellungsforschung verwendet wurde, stellt die Vorstellungen der Schüler den fachwissenschaftlichen Sichtweisen gegenüber und betont Defizite (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 52; vgl. Denk 2019, S. 3). Dabei wird oft der Kontext, in dem diese Vorstellungen entstehen, nicht ausreichend berücksichtigt. Die Verwendung der Begriffe "Fehl- und Falschvorstellungen" geriet daraufhin, aufgrund ihrer abwertenden Konnotation bezüglich der oft in Alltagssituationen durchaus

sinnvollen Vorstellungen der Schüler in den 1980er Jahren in die Kritik (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 52).

Die Verwendung des Begriffs "Präkonzept" ergibt sich aus der Schwierigkeit, ihn klar abzugrenzen (vgl. Denk 2019, S. 3). Dennoch birgt diese Verwendung auch Risiken hinsichtlich der klaren Unterscheidung der Termini innerhalb des theoretischen Konstrukts "Vorstellung" und ihrer komplexen Zusammenhänge. So sind Präkonzepte als „...fest verankerte, stabile und komplexe Alltagstheorien im kindlichen Denken zu verstehen, anhand derer sich die Kinder Phänomene der belebten und unbelebten Umwelt erklären.“ (Werther 2016, S. 34).

In vorliegender Arbeit wird deshalb der Begriff "Schülervorstellung" verwendet, da er den umfassendsten Rahmen bietet und keine negative Wertung zulässt.

4.2 Woher kommen Schülervorstellungen?

Schülervorstellungen sind die Ideen, Überzeugungen und Erwartungen, welche die Schüler über bestimmte Themen, Konzepte oder Situationen haben. Schecker et al. stellte in seinem Werk 2018 drei Quellen für Schülervorstellungen fest (vgl. Schecker et al. 2018, S. 12):

4.2.1 Sprache

Eine maßgebliche Quelle für die Entstehung von Schülervorstellungen ist die Umgangssprache, die alltäglich von jedem Einzelnen genutzt wird. Die Sprache fungiert als zentrales Instrument zur Konstruktion und Artikulation mentaler Repräsentationen (vgl. Kircher et al. 2020, S. 370). Im Gegensatz zur Fachsprache, deren Bedeutung eng umrissen ist, weist die Umgangssprache eine breitere semantische Bandbreite auf. Es ist nicht ungewöhnlich, dass Schüler Schwierigkeiten haben, eine klare Abgrenzung zwischen Fachsprache und Umgangssprache zu ziehen. Daher sollten Lehrkräfte sich der Tatsache bewusst sein, dass die Vermittlung von Fachinhalten parallel zur Erlernung einer neuen Sprache einhergeht. Dieser Prozess geht über die bloße Aufnahme eines neuen Vokabulars hinaus und erfordert ein umfassendes Verständnis der begrifflichen Präzision. (vgl. Schecker et al. 2018, S. 13)

4.2.2 Wahrnehmungsmuster

Einige der Schülervorstellungen wurzeln in verschiedenen Graphiken, die sowohl im Unterricht als auch in den Medien präsentiert werden. In diesen Fällen sind sich die Schüler oft nicht des Modelcharakters bewusst Stattdessen nehmen sie diese visuellen Darstellungen als unmittelbare Realität wahr. (vgl. Schecker et al. 2018, S. 14)

4.2.3 Erfahrungen

Viele fachliche Inhalte und Themen begegnen Schülern bereits im Vorfeld des Unterrichts im Kontext ihres täglichen Lebens. In dieser Umgebung werden ihre ersten Erfahrungen wahrgenommen, interpretiert und kategorisiert. Schön schrieb 1992 in diesem Zusammenhang: „Die im Denken hergestellten Zusammenhänge und Gedanken werden dann für wahr gehalten, wenn sie mit vielen Eindrücken sinnvoll ergänzt werden können, also auf einem breiten und sicheren Fundament im Bereich der Sinneswahrnehmung ruhen“ (Schön 1992, zitiert nach ebd., S. 14)

4.3 Strategien zum Umgang mit Schülervorstellungen

4.3.1 Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek ist ein theoretischer Ansatz zur Gestaltung von naturwissenschaftlichem Unterricht und Lehrplänen. Es basiert auf der Idee, dass das Verständnis von wissenschaftlichen Konzepten und Prinzipien in der Schule verbessert werden kann, indem man diese Konzepte aktiv rekonstruiert und an die kognitiven Fähigkeiten und Vorkenntnisse der Schüler anpasst.

Die Grundprinzipien des Modells der Didaktischen Rekonstruktion sind (vgl. Kattmann et al. 1997, S. 4 f.):

- Kognitive Analyse: Schülervorstellungen, Vorkenntnisse, Miss/Verständnisse der Lernenden
- Fachliche Klärung: wissenschaftliche Konzepte, deren Logik und Struktur, sowie Fachtermini.

- Didaktische Strukturierung: Entwicklung Lehrmaterialien, Lernaktivitäten und Unterrichtsmethoden

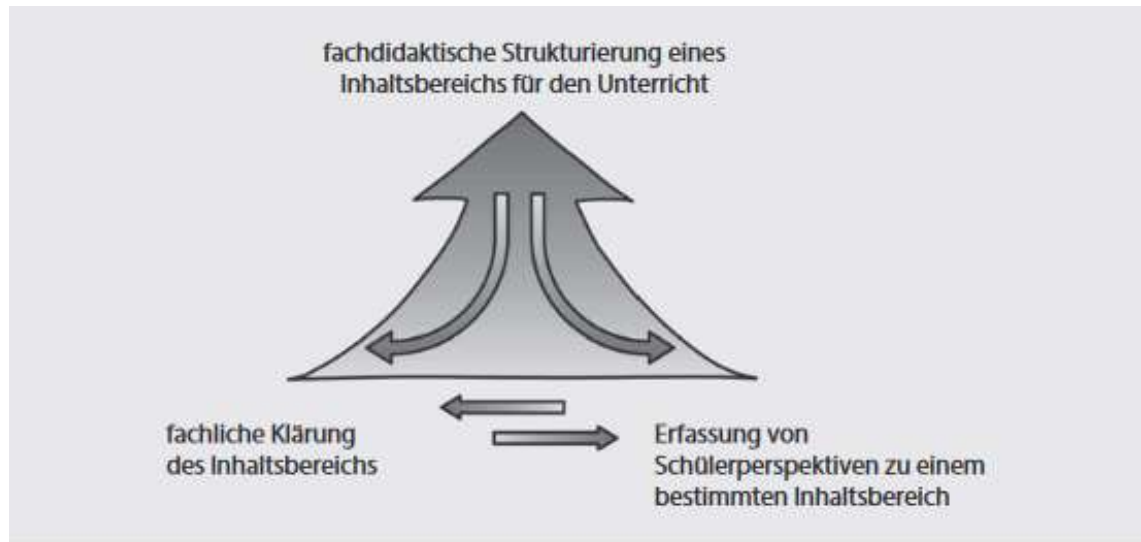


Abbildung 3 - Modell der Didaktischen Rekonstruktion (in Anlehnung an Kattmann et al. 1997, S. 4)

In diesem Ansatz werden die fachlichen Vorstellungen in Relation zu den Perspektiven der Schüler gesetzt, um auf dieser Grundlage den Unterrichtsgegenstand zu gestalten (siehe Abbildung 3). Die Didaktische Rekonstruktion basiert dabei auf einer wechselseitigen Abhängigkeit zwischen den didaktischen Konzepten und den Fachwissenschaften. Sowohl fachliche Aspekte beeinflussen die Vorstellungen der Schüler, als auch die Schülervorstellungen die fachlichen Standpunkte. Aus diesem komplexen Beziehungsgefüge ergibt sich im Folgenden die didaktische Strukturierung und Planung von Lernprozessen. (vgl. ebd., S. 4 f.; vgl. Schecker et al. 2018, S. 4)

Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion werden Schülervorstellungen nicht im Sinne von "misconceptions" verstanden, da diese sich im Alltagsleben tatsächlich bewähren (Kattmann et al. 1997, S. 6). Das Hauptziel im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion ist daher nicht, die Vorstellungen der Schüler durch Konzeptwechsel zu ändern. Stattdessen liegt der Fokus darauf, die Bedeutung und Wirkung wissenschaftlicher Vorstellungen im jeweiligen Kontext deutlich zu machen. Die Schüler erhalten dadurch die Möglichkeit, ihre bestehenden Vorstellungen zu ordnen und ihre Sinnhaftigkeit in verschiedenen Kontexten zu beurteilen. (vgl. ebd., S. 6)

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion verfolgt eine konstruktivistische Sichtweise, ähnlich wie sie auch in der Theorie des Conceptual-Change verfolgt wird, mit der sich im nächsten Abschnitt befasst wird (vgl. Kattmann et al. 1997, S. 6).

4.3.2 Conceptual-Change Theorie

Die Conceptual-Change-Theorie ist eine Theorie aus dem Bereich der Bildungswissenschaften und der kognitiven Psychologie, die darauf abzielt zu erklären, wie und warum sich Menschen in ihrer Denkweise und in ihrem Verständnis von Konzepten und Ideen verändern. Diese Theorie beruht auf der Annahme, dass Menschen bereits bestehende Vorstellungen (Konzepte) haben, die ihr Verständnis beeinflussen, und dass es notwendig sein kann, diese Vorstellungen zu verändern oder zu überwinden, um neues Wissen zu erwerben oder sich weiterzuentwickeln. Nach Jean Piaget versucht hierbei ein Lernender mittels Assimilations- oder Akkommodationsprozesse vorhandenes Wissen zu nutzen, um neue Wissensstrukturen aufzubauen (vgl. Schecker et al. 2018, S. 27).

„Während bei der Assimilation ein neuer Aspekt relativ einfach in eine bestehende Wissensstruktur integriert werden kann (z. B. Wärme als weitere Erscheinungsform von Energie), müssen bei der Akkommodation neue Strukturen entwickelt oder bestehende deutlich umstrukturiert werden, da die neuen Elemente nicht sinnvoll zu den alten in Beziehung gesetzt werden können...“ (ebd., S. 27)

Eine kognitive Umstrukturierung erfolgt nach Posner et. al. (1982) nur unter folgenden vier Bedingungen (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 58; vgl. Werther 2016, S. 40):

1. „dissatisfaction“ – Gewöhnlich erfolgt eine Vorstellungsveränderung, wenn ein Lernender aufgrund unzureichender Erklärungen oder Lösungen mit seinen aktuellen Vorstellungen unzufrieden ist. Dieser Unmut motiviert ihn, seine Vorstellungen zu überdenken und neu zu gestalten, um kognitive Inkonsistenzen zu beheben.
2. „intelligible“ – Damit Schüler ihre bestehenden Vorstellungen ändern oder erweitern, muss die neue Vorstellung rational, verständlich und nachvoll-

ziehbar sein. Dies hilft dabei, die möglichen Unsicherheiten und Anstrengungen, die mit dem Umlernen oder der Erweiterung verbunden sind, zu akzeptieren.

3. „plausible“ – Das wissenschaftliche Konzept muss dem Lernenden eine größere Erklärungskraft bieten als sein bisheriges Vorwissen, damit es als Erklärung für Sachverhalte in Betracht gezogen wird. Die erfolgreiche Integration hängt davon ab, wie gut das neue Konzept mit den bestehenden Vorstellungen des Lernenden harmonisiert. Je mehr Übereinstimmung zwischen dem neuen wissenschaftlichen Ansatz und der bestehenden Vorstellungswelt des Lernenden besteht, desto besser erfolgt die Integration.
4. „fruitful“ – Die neu erworbene Vorstellung sollte Wissen beinhalten, das von den Lernenden in verschiedenen Kontexten anwendbar ist. Dies wird erreicht, wenn das fachliche Konzept eine höhere Erklärungskraft besitzt als das ursprüngliche Vorwissen.

Die ursprüngliche Konzeption der Conceptual-Change-Theorie verfolgt eine konstruktivistische Perspektive auf den Lernprozess. Im Kontext des „sozial-konstruktivistischen“ Ansatzes wurde diese Perspektive um motivationale, situationsbezogene und soziale Einflussfaktoren erweitert, die, ähnlich wie die zuvor erwähnten kognitiven Elemente, einen erheblichen Einfluss auf die Bildung von Vorstellungen ausüben. (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 59; Möller 2018, S. 38 f.)

Es ist anzumerken, dass der kognitive Konflikt auch in der heutigen Conceptual-Change-Theorie nach wie vor eine zentrale Rolle spielt (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 59). Die Begründung für die Notwendigkeit eines kognitiven Konflikts basiert dabei auf dem Kohärenzansatz, der besagt, dass die Vorstellungen von Lernenden eng miteinander verknüpft und schwer veränderbar sind, was daher eine grundlegende Umstrukturierung erfordert (vgl. Schecker et al. 2018, S. 42 f.). Eine Strategie, um diesen Konflikt zu induzieren, besteht darin, die Lernenden direkt mit der fachwissenschaftlichen Perspektive zu konfrontieren (vgl. ebd., S. 43). Dies kann beispielsweise durch das Formulieren von Hypothesen zu einem Thema und die anschließende Konfrontation mit Diskrepanzen zwischen

ihren Vorstellungen und der fachwissenschaftlich korrekten Sichtweise erreicht werden (vgl. Schecker et al. 2018, S. 43). Das Ergebnis dieses Prozesses ist oft eine Unzufriedenheit mit den bestehenden Vorstellungen, was dann gemäß den Erfolgsbedingungen eines Conceptual Changes zu einer Umstrukturierung der kognitiven Konzepte führen kann (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 60; Schecker et al. 2018, S. 43).

Eine Erweiterung des kognitiven Konflikts ist der soziokognitive Konflikt, der in Gruppen mit unterschiedlichen Standpunkten und Vorstellungen auftritt und somit eine Neustrukturierung des Wissens ermöglichen kann (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 60). Im Gegensatz zur Conceptual-Change-Theorie, die hauptsächlich auf kognitive Konflikte setzt und einen eher sprunghaften Lernprozess fördert, gibt es erweiterte Ansätze, die einen kontinuierlichen Lernweg anstreben (vgl. Schecker et al. 2018, S. 41 f.). In diesen Ansätzen wird auf vorhandene Schülervorstellungen aufgebaut und schrittweise auf die gewünschten Vorstellungen hingearbeitet (vgl. ebd., S. 42). Dies kann beispielsweise durch die Aktivierung bestimmter lernförderlicher und anschließbarer "p-prims" nach dem Fragmentierungsansatz erfolgen, während hinderliche "p-prims" umgangen oder umgedeutet werden (vgl. ebd., S. 51 f.). Diese Vorgehensweisen unterscheiden sich deutlich von der ursprünglichen radikalen Interpretation des Conceptual-Change. Stattdessen orientieren sie sich eher an den Prinzipien des moderaten Konstruktivismus. Letzterer betrachtet den Wandel von Schülervorstellungen nicht als einen abrupten, sondern vielmehr als einen lebenslangen und kontinuierlichen Prozess. Die angewandten Lehrstrategien zielen darauf ab, neue fachwissenschaftliche Vorstellungen frühzeitig in den Unterricht einzuführen (vgl. Werther 2016, S. 41).

4.3.3 Conclusio

Zusammengefasst vertreten sowohl Vertreter des Modells der didaktischen Rekonstruktion als auch der Conceptual-Change-Theorie die Ansicht, dass es unerlässlich ist, die Schülervorstellungen in den Lehrprozess einzubeziehen, um fachliche Konzepte zu entwickeln (vgl. Nepper et al., S. 72). Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass eine sofortige Veränderung der Schülervorstellungen nicht

spontan herbeigeführt werden kann. Stattdessen können fachwissenschaftlich korrekte Perspektiven mithilfe geeigneter Strategien lediglich vorbereitet werden (vgl. Hartinger und Murmann 2018, S. 58).

Des Weiteren sollte berücksichtigt werden, dass es nicht notwendig ist, radikale Konzeptwechsel anzustreben, wenn sich bestehende Vorstellungen im Alltag bewährt haben (vgl. Kattmann et al. 1997, S. 6). Die Einführung neuer Vorstellungen kann in sozialen Kontexten effektiver sein. Daher ist es im Unterricht wichtig sicherzustellen, dass die Schüler sich mit der Vielfalt der Vorstellungen ihrer Mitschüler auseinandersetzen (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 61 f.).

5 Forschungsfragen

Basierend auf den vorhergegangenen theoretischen Fundamenten im Bereich CNC-Programmierung und den Schülervorstellungen widmet sich dieses Kapitel den Forschungsfragen dieser Studie. Das Hauptaugenmerk liegt darauf zu ergründen, in welchem Ausmaß Schülervorstellungen im Kontext der CNC-Programmierung existieren und wie diese im Detail beschaffen sind.

Somit formulieren sich die zentralen Forschungsfragen wie folgt:

- 1. Existieren Schülervorstellungen im Bereich des Programmierens beim CNC-Fräsen, und wenn ja, wie manifestieren sich diese Vorstellungen in Bezug auf die Erstellung von CNC-Programmen?*
- 2. Welche spezifischen Merkmale und Muster sind charakteristisch für diese Schülervorstellungen?*

Durch die Erkenntnisse, die aus dieser Studie gewonnen werden, eröffnet sich die Möglichkeit, in künftigen Forschungen geeignete Ansätze zu entwickeln, um Schülervorstellungen im schulischen Kontext effizient zu begegnen.

6 Forschungsstand

Direkte Forschungsergebnisse oder Studien bezüglich Schülervorstellungen im Bereich des CNC-Programmierens sind in der wissenschaftlichen Literatur bisher noch nicht vorhanden. Dennoch existieren Forschungsarbeiten, die für diese vorliegende Arbeit aufschlussreich sind.

So untersuchten Kurniawan und Wijanarka in ihrer Arbeit „Analysis of the Ability to Develop CNC Machine Part Programs for Vocational High School Students in Indonesia“ unter anderem:

1. Die Auswirkung der Fähigkeit technische Zeichnungen zu lesen auf die Fähigkeit CNC-Programme zu erstellen.
2. Die Auswirkung von Fähigkeiten im Bereich Geometrie auf die Fähigkeit zur Erstellung von CNC-Programmen.
3. Die Auswirkung des Wissens über Schneidparameter auf die Fähigkeit zur Erstellung von CNC-Programmen.
4. Die Auswirkung aller zuvor genannten Parameter auf die Fähigkeit zur Erstellung von CNC-Programmen.

Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sowohl die Fähigkeit technische Zeichnungen lesen zu können, als auch das Wissen über Schneidparameter einen positiven und signifikanten Einfluss auf die Erstellung von CNC-Programmen haben. Geometrische Fähigkeiten, wie räumliches Vorstellungsvermögen, allerdings nicht (vgl. Kurniawan und S. Wijanarka 2023). Daher ist es in der vorliegenden Arbeit sinnvoll zu überprüfen, ob Schülervorstellungen beim Lesen von technischen Zeichnungen und der Erörterung von Schnittparametern vorliegen.

In seiner Forschungsarbeit mit dem Titel "Technical Drawing/Graphic Skills Acquisition for Teaching and Learning and Challenges in Technology Education" beschrieb Chedi, dass Lernende insbesondere Schwierigkeiten bei der Vorstellung von Körpern mit mehreren Ansichten haben. Die Umwandlung von zweidimensionalen in dreidimensionale Objekte stellt für sie eine besondere Herausforderung dar (vgl. Chedi 2015).

In der Studie "The Influence of Engineering Students' Numerical Reasoning on the Academic Achievement of a Computer Numerical Control (CNC) Course" untersuchten Dudung und sein Team die Verbindung zwischen dem numerischen Denkvermögen von Ingenieurstudenten und deren Erfolg beim Programmieren eines CNC-Programms. Die Forscher kamen zu dem Schluss, dass es eine signifikante Beziehung zwischen diesen beiden Faktoren gibt. Ihre Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Förderung des numerischen Denkvermögens in der Lehre von CNC-Kursen eine wichtige Rolle spielt (vgl. Dudung et al. 2019). Folglich ist es wichtig zu untersuchen, ob Schülervorstellungen im Zusammenhang mit mathematischen Konzepten existieren und wie sich diese im Kontext der CNC-Programmierung manifestieren.

7 Forschungsdesign

Um die Vorstellungen der Schüler im Unterricht berücksichtigen zu können, ist es notwendig, zunächst deren individuelle Vorstellungen zu identifizieren. Besonders von Interesse sind hierbei die falschen Vorstellungen, da diese Rückschlüsse auf potenzielle Lehr- und Lernhindernisse ermöglichen. Die Erfassung der Schülervorstellungen gestaltet sich jedoch als anspruchsvoll und anfällig für methodische Unzulänglichkeiten.

Eine wesentliche Quelle für mögliche Verzerrungen liegt in der Voreingenommenheit des Untersuchers, die mit einem Mangel an Objektivität einhergeht (vgl. Kubinger 2009, S. 38 f.). Allein die Tatsache, dass eine Untersuchung zur Identifikation von Schülervorstellungen bzw. speziell Fehlvorstellungen durchgeführt wird, impliziert bereits die Annahme des Untersuchers, dass solche irrtümlichen Konzepte bei den Schülern existieren. Dies kann dazu führen, dass der Forscher Vorstellungen vermutet, die möglicherweise gar nicht vorhanden sind. Diese Verzerrung wird verstärkt, wenn die Untersuchungsfragen in mündlichen oder schriftlichen Befragungen auf bestimmte Schülervorstellungen abzielen, da der Forscher bereits auf vorher festgelegte Antworten hin orientiert ist.

Nachdem die Daten gesammelt wurden, erfordert ihre Auswertung besondere Aufmerksamkeit. Dabei spielt die Interpretation der Ergebnisse durch den Untersucher eine zentrale Rolle. Die Frage, wann es gerechtfertigt ist zu behaupten, dass eine bestimmte Vorstellung bei einem Schüler vorhanden ist oder nicht, ist von erheblicher Bedeutung und erfordert eine sorgfältige Analyse und Berücksichtigung möglicher methodischer Einflüsse und Verzerrungen (vgl. ebd., S. 39).

7.1 Untersuchungsmethoden

Zur Minimierung der zuvor skizzierten möglichen Verzerrungen, erfordert die Schülervorstellungsforschung die Anwendung eines breiten Spektrums von Datenerhebungsverfahren. Hierbei finden unter anderem schriftliche Tests, Interviews und die Aufzeichnung von Unterrichtseinheiten Verwendung. Mittels der Analyse der Antworten und Äußerungen der Schüler werden Rückschlüsse auf die mutmaßlich zugrunde liegenden Vorstellungen gezogen. Demnach ist es

sinnvoll zunächst mögliche Untersuchungsmethoden genauer zu betrachten, sowie Vor- und Nachteile dieser zu bestimmen.

Laut Schecker (Schecker et al. 2018, S. 15 ff.) wird prinzipiell zwischen „schriftlichen“ und „mündlichen“ Verfahren unterschieden.

7.1.1 Schriftliche Verfahren

Schriftliche Verfahren können nach Kubinger und Schecker (vgl. Kubinger 2009, S. 130; vgl. Schecker et al. 2018, S. 16) noch einmal in zwei unterschiedliche Antwortformate unterteilt werden.

- Multiple-Choice-Format
- Freies Antwortformat

Das Multiple-Choice-Format weist den Vorzug einer hohen Auswertungsobjektivität auf, da die Antworten klar und eindeutig als entweder richtig oder falsch bewertet werden können. Grauzonen bleiben folglich ausgeschlossen. Nichtsdestotrotz gehen damit gewisse Einschränkungen für die Schüler einher. Sie sind aufgefordert, spezifische Fragen zu beantworten und Aufgaben zu lösen, ohne die Freiheit, ihre Gedanken uneingeschränkt auszudrücken. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass Aufgaben nicht aufgrund korrekten Wissens, sondern durch reines Raten erfolgreich bearbeitet werden können. Daher erweist sich das Multiple-Choice-Format aus diagnostischer Perspektive als weniger aufschlussreich. (vgl. Kubinger 2009, S. 130 f.)

Die Nutzung freier Antwortformate bietet den unbestreitbaren Vorteil, dass Schüler in ihrer Ausdrucksweise nicht beschränkt sind, sondern sich ungehindert zu einem bestimmten Sachverhalt äußern können, was in der Regel aufschlussreiche Ergebnisse liefert. Es ist jedoch zu bedenken, dass die schriftliche Fixierung komplexer Inhalte eine Herausforderung darstellen kann. Für einige Schüler stellt die kompakte Darstellung von Wissen auf ein Blatt Papier eine erhebliche Schwierigkeit dar. Infolgedessen kann es zu Antworten kommen, die für den Untersucher unklar sind und aus denen er keine verwertbaren Informationen gewinnen kann. Es ist auch denkbar, dass ein Schüler über eine bestimmte Vorstellung verfügt, diese jedoch aufgrund mangelnder schriftlicher Ausdrucksfähigkeit nicht angemessen mitteilen kann. Diese Problematik birgt zwangsläufig das Risiko von

Missverständnissen. Zudem kann die Verwendung solcher Formate die Objektivität einschränken, da anders als bei Multiple-Choice-Formaten keine klare Unterscheidung zwischen Richtig und Falsch getroffen werden kann. (vgl. Kubinger 2009, S. 130 ff.; vgl. Hartinger und Murmann 2018, S. 56)

Unter den allgemeinen Vorzügen schriftlicher Verfahren ist zweifellos die ökonomische Effizienz hervorzuheben (vgl. Hartinger und Murmann 2018, S. 55). Die Erfassung der individuellen Vorstellungen jedes Schülers in einer Schulklasse erfordert lediglich den Einsatz einer einzigen Unterrichtsstunde. Im Kontrast hierzu wäre es zeitlich schlicht nicht realisierbar, ein individuelles Interview mit jedem einzelnen Schüler zu führen, da ein derartiges Vorgehen mehrere Stunden in Anspruch nehmen würde.

7.1.2 Mündliche Verfahren

Zu den mündlichen Verfahren gehören nach Hartinger und Murmann (vgl. ebd., S. 53 ff.):

- Einzelinterview
- Unterrichtsgespräch

Der Vorteil des Einzelinterviews liegt in der Fähigkeit, dem Schüler die uneingeschränkte Möglichkeit zu bieten, sich zu einem spezifischen Thema frei zu äußern und er nicht zwingend an bestimmte Fragestellungen gebunden ist. Bei Unsicherheiten hinsichtlich der Schüleransichten kann durch gezieltes Nachfragen oft eine präzise Einsicht in die Denkweise des Schülers gewonnen werden. Dies erweist sich als bedeutender Vorteil, insbesondere im Kontext der Ermittlung von Schülervorstellungen. Zusätzlich eröffnet sich die Gelegenheit, den Schüler auf mögliche inkonsistente Ansichten hinzuweisen und seine Reaktion zu beobachten. Infolgedessen können potenziell Aufschlüsse über die Beständigkeit und Entwicklungsfähigkeit der Ansichten gewonnen werden. Dennoch besteht die Gefahr, dass das Interview zu einer übermäßig intensiven Interaktion verleitet, in der der Interviewer bewusst oder unbewusst durch gezieltes Nachfragen die Vorstellungen des Schülers beeinflussen kann. Dieses Phänomen lässt sich auf die individuellen Vorannahmen des Interviewers zurückführen, die sich auf die vermuteten Vorstellungen des Schülers beziehen. (vgl. ebd., S. 53 ff.)

Während eines Unterrichtsgesprächs haben Schüler die Möglichkeit, sich verbal zu äußern, während Lehrer durch gezieltes Nachfragen versuchen können, die Kernvorstellungen zu ergründen. Darüber hinaus erfordert das Unterrichtsgespräch im Vergleich zum Einzelinterview einen erheblich geringeren Zeitaufwand, da viele Schülergespräche de facto parallel geführt werden können. Wenn mehrere Schüler ihre Gedanken, Ideen und Vorstellungen zu einem Sachverhalt äußern, erkennen sie, dass es offensichtlich mehrere verschiedene Ansichten gibt, was möglicherweise Zweifel daran aufkommen lässt, ob ihre eigenen Vorstellungen die alleinigen richtigen sind. Jedoch weist auch diese Methode zur Erfassung von Schülervorstellungen ihre Nachteile auf. Einige Schüler könnten sich davor scheuen, ihre Vorstellungen im Unterricht preiszugeben, sei es aus Angst vor negativen Bewertungen oder der Befürchtung, sich vor den Mitschülern zu blamieren. Ein förderliches Klassenklima ist daher eine essenzielle Voraussetzung. Ein besonders signifikanter Nachteil des Unterrichtsgesprächs besteht darin, dass einige Schüler spontan die Vorstellungen anderer übernehmen können, insbesondere wenn die Ausführungen ihrer Mitschüler plausibel erscheinen. Dadurch würden die tatsächlich fest verankerten Vorstellungen im Verborgenen bleiben. (vgl. Hartinger und Murmann 2018, S. 55)

7.1.3 Videographie

Eine weitere Untersuchungsmethode (die Schecker nicht aufgefasst hat), ist die Videographie. Sie ist eine Methode mit interaktionistischem und ethnomethodologischem Hintergrund, deren Schwerpunkt auf der genauen und zuverlässigen Erfassung von durchgeführten Praktiken und Interaktionen in Videos liegt. Nicht zu verwechseln mit der hermeneutisch-wissenssoziologischen Videoanalyse, die Videos im Zusammenhang mit gesellschaftlichen Bedeutungen und deren Darstellung betrachtet. (vgl. Eisewicht et al. 2018, S. 313)

Die Videographie ermöglicht Verhaltensweisen, Interaktionen und Prozesse visuell zu erfassen und zu analysieren. Ihr größter Vorzug liegt in der hohen Objektivität, da Aufnahmen von verschiedenen Forschern unabhängig voneinander ausgewertet werden können, was die Zuverlässigkeit der Ergebnisse erheblich

steigert. Sie gestattet ferner eine akkurate und umfassende Erfassung des Verhaltens der Probanden. Aufgezeichnete Videos können wiederholt inspiziert werden, um bis dahin übersehene Aspekte aufzudecken. Des Weiteren erlauben Videos die Analyse verschiedener Forschungsfragen und Hypothesen, ohne eine erneute Datenerhebung zu erfordern. Dennoch gibt es einige Nachteile im Zusammenhang mit der Videographie. Die Aufnahme, Transkription und Analyse von Videodaten beanspruchen erhebliche Ressourcen von Zeit und technischem Equipment. Dies ist mitunter kostenintensiv und kann Forschungsprojekte verlangsamen. Darüber hinaus kann die Präsenz von Kameras oder das Wissen, dass eine Aufzeichnung stattfindet, das Verhalten der Probanden beeinflussen und zu Verzerrungen führen.

7.2 Datenerhebung

Das Hauptziel dieser Studie liegt in der Identifikation der Schülervorstellungen beim CNC-Programmieren. Diese Identifikation soll innerhalb einer Doppelstunde im Rahmen des Schulunterrichts erfolgen. Da die Schüler im Laufe ihres beruflichen Lebens mit vielfältigen Herausforderungen konfrontiert sein werden, ist es von entscheidender Bedeutung, dass die gewählte Aufgabe im Rahmen des CNC-Programmierens eine adäquate Bandbreite an Kompetenzen abdeckt. Daher ergibt sich die Anforderung an die Aufgabenstellung, trotz ihrer ökonomischen Gestaltung, eine repräsentative und umfassende Prüfung der vorhandenen Schülerkompetenzen sicherzustellen.

Angesichts des Mangels an bisherigen Forschungsergebnissen, bezüglich der Schülervorstellungen im Bereich des CNC-Programmierens, zeigt sich der Einsatz von Videographie als effiziente Methode. Wie bereits in Abschnitt 7.1.3 beschrieben, bietet die Videographie den Vorteil, Interaktionen und Verhaltensweisen der Probanden detailliert aufzuzeichnen und später auszuwerten. Dadurch wird es möglich, das Verhalten eines jeden einzelnen Schülers während der Bearbeitung der Aufgabe zu beobachten und seine Vorgehensweise zu analysieren. Die Aufgabe besteht darin, ein CNC-Programm zur Fräsbearbeitung eines spezifischen Werkstücks zu erstellen. Die Programmierung erfolgt an einem PC im Computerkabinett der Schule, wobei spezielle Lehrprogramme von Anbietern wie

Keller oder MTS verwendet werden können. Die Aufzeichnung einzelnen Bearbeitungsschritte der Schüler und die späteren Auswertungen der Aufnahmen können Einsichten in potenzielle Schülervorstellungen ermöglichen.

Zur Wahrung der Anonymität wird für die Bearbeitung weder der Klurname der Schüler verwendet noch ein Teilnehmercode generiert. Sämtliche Aufnahmen werden im Anschluss an die Erhebung wahllos mit einer fortlaufenden natürlichen Zahl gekennzeichnet. Somit lässt sich eine Zuordnung zu einzelnen Aufnahmen herleiten, jedoch nicht zu den einzelnen Teilnehmern.

7.2.1 Bildschirm-Aufnahmeprogramm OBS

Eine Herausforderung bei der Durchführung einer anonymen Videographie in einer schulischen Umgebung liegt in erster Linie in der Gewährleistung der Datensicherheit. Zur Umsetzung ist zunächst die Verwendung einer speziellen Aufnahmesoftware erforderlich. Es ist jedoch zu beachten, dass die Installation von Software auf den Schulrechnern ohne vorherige Genehmigung seitens des Schulleiters und des IT-Experten der jeweiligen Bildungseinrichtung untersagt ist. In den meisten Fällen wird ein solches Vorhaben abgelehnt, da es mit erheblichem administrativem Aufwand, insbesondere seitens des IT-Experten, verbunden ist.

Als mögliche Alternative für dieses Forschungsprojekt sollte daher eine Lösung in Betracht gezogen werden, die es ermöglicht, die Videoaufnahme von einem USB-Stick aus zu starten. Aus Gründen des Datenschutzes und der Anonymität sollte zudem die Möglichkeit bestehen, Audio- und Webcam Aufnahmen zu unterbinden, um sicherzustellen, dass die Schüler nicht aufgezeichnet werden. Eine geeignete Aufnahmesoftware, die diesen Anforderungen gerecht wird, ist die Open Broadcaster Software (OBS). Diese Software bietet die Möglichkeit, das Mikrofon und die Webcam gezielt auszuschalten sowie einen Speicherpfad für die Aufnahmen zu bestimmen.

Durch die Festlegung des Aufnahmepfads auf einen verschlüsselten USB-Stick wird sichergestellt, dass während der Aufzeichnung zu keinem Zeitpunkt Daten auf dem Schulrechner abgelegt werden. Dies gewährleistet, dass Dritte, wie andere Lehrkräfte oder Mitschüler, keine Möglichkeit haben, auf die Daten zuzugreifen. Sobald der USB-Stick vom Computer getrennt wird, sind sowohl das

OBS-Programm als auch die Videoaufnahmen nicht mehr auf den Schulrechnern verfügbar. Dies stellt die vollständige Sicherheit und Anonymität der Daten während der Videoaufzeichnung sicher.

7.2.2 Aufgabenstellung

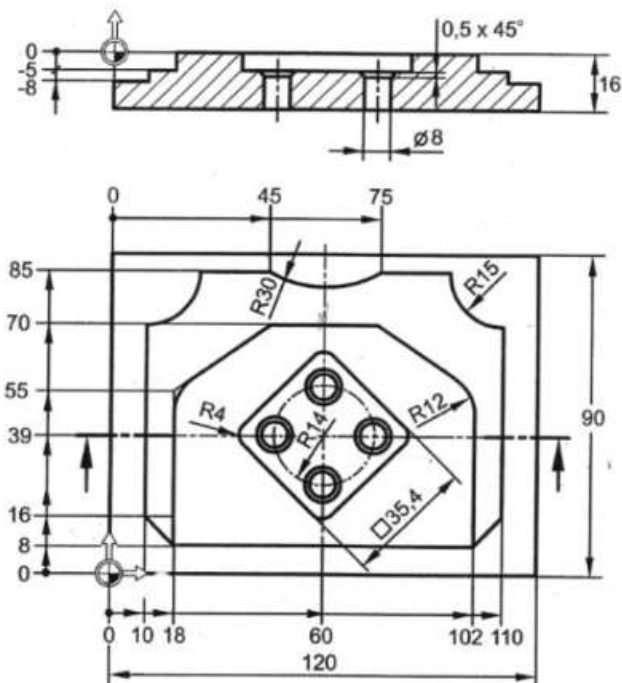
Es sollte betont werden, dass Vorstellungen am besten untersucht werden können, wenn Probanden möglichst wenige schulische Vorerfahrungen in diesem Bereich haben. Aus diesem Grund sollten Datenerhebungen immer im Anfangsunterricht durchgeführt werden. Organisatorisch bedingt erfolgt die Erhebung kurz nach den Sommerferien am Anfang des Schuljahres. Zu diesem Zeitpunkt haben die Schüler noch keine Unterrichtsstunden zu diesem Thema absolviert. Allerdings ist anzunehmen, dass einige Schüler bereits in ihren jeweiligen Betrieben an einem ein- bis zweiwöchigen Workshop zum Thema CNC-Programmierung teilgenommen haben. Weshalb es sinnvoll ist, die Aufgabenstellung leicht, allerdings nicht zu leicht zu gestalten, um eine realistische Einschätzung der Schülervorstellungen im Kontext des CNC-Programmierens zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurde sich für folgende Aufgabenstellung (siehe Abbildung 4) entschieden. Im Anschluss werden nötige Arbeitsschritte diskutiert und ihre Bedeutung für die Erhebung dargelegt.

Aufgabe – Schülervorstellungen beim CNC-Programmieren

Das auf der Zeichnung dargestellte Werkstück ist auf einer CNC-Senkrechtfräsmaschine zu fertigen. Erstellen Sie für die Fertigung ein entsprechendes CNC-Programm.

Für die Fertigung gelten folgende Bedingungen:

- Die Programmierung erfolgt nach DIN 66025 bzw. PAL 2007
- Alle Schnittdaten für S235JRG2 entsprechen den PAL-Vorgaben
- Die Werkstückkonturen sind im Gleichlauf zu fräsen
- Der Werkzeugwechsellpunkt liegt bei X150 Y150 Z100
- Der Bogen mit dem Radius R 30 mm soll mit den Koordinaten I und J bearbeitet werden.
- Die anderen Bögen können Sie nach Ihrer Wahl programmieren



Arbeitsschritte	Werkzeuge	Station	v_c [m/min]	F [mm/min]
1.	Ø 25 mm	T2	35	100
2.	Ø 25 mm	T2	35	100
3.	Ø 8 mm	T7	35	12 / 25
4.	Ø 12 mm	T1	30	100
5.	Ø 8 mm	T10	30	150

Quelle: Arbeitsheft SYMplus Fräsen 5.1, S.75

Abbildung 4 - Aufgabenstellung zur Fertigung eines Frästeils

In der Anfangsphase des Unterrichts erhalten die Schüler das zuvor präsentierte Aufgabenblatt. Ihre primäre Aufgabe besteht zunächst darin, die adäquaten Werkzeuge für die Bearbeitung im CNC-Programm zu selektieren und diese anschließend in das Werkzeugmagazin der CNC-Maschine einzuführen. Dieser Schritt eröffnet die Gelegenheit für eine eingehendere Analyse der Werkzeugauswahl, da nicht jedes Werkzeug in gleicher Weise für die Bearbeitung geeignet ist. In einem weiteren Schritt werden die Schüler von dem CNC-Programm aufgefordert, den Werkstücknullpunkt festzulegen. Hierbei erweist sich die Untersuchung interessant, weshalb die Schüler möglicherweise von der vorgegebenen Position auf dem Arbeitsblatt abweichen und welche Überlegungen sie bei ihrer Wahl anstellen. Ein abschließender Aspekt der Maschineneinrichtung betrifft die Auswahl des Werkstückmaterials und dessen korrekte Fixierung. Die Schüler sollten im Unterricht bereits mit dem Werkstoff S235JR vertraut gemacht worden sein. Es ist nun von Interesse, ob sie diesen Werkstoff im Programm sachgemäß auswählen. Eine fehlerhafte Wahl des Werkstoffs oder die Suche nach diesem in einer unpassenden Untergruppe (zum Beispiel legierte Stähle) könnte erneut Einblicke in mögliche Fehlvorstellungen liefern. Ebenso ist die Auswahl der geeigneten Spannbacken und die Bestimmung der richtigen Einspanntiefe von Interesse für die spätere Analyse der Schülervorstellungen.

Nachdem die CNC-Maschine ordnungsgemäß eingerichtet ist, beginnen die Schüler mit der Erstellung des Programmcodes. Dieser Schritt kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden. In den nachfolgenden Erläuterungen wird das gängige Prinzip angewandt, bei dem zunächst die äußeren Konturen bearbeitet werden, gefolgt von den inneren Konturen. Diese Abfolge entspricht der in der Branche gebräuchlichen Praxis und ist sinnvoll, da die Position der inneren Konturen in hohem Maße von den äußeren Konturen abhängt.

Die erste Herausforderung in der Programmierung besteht darin, zu erkennen, dass ein Werkzeugwechsel zum Magazinhalter T2 erforderlich ist, da in den meisten Programmen standardmäßig das Werkzeug T1 zu Beginn ausgewählt ist. Hierbei muss der passende Schaltbefehl ausgewählt werden. Nachdem das geeignete Werkzeug einsatzbereit ist, erfolgt die Eingabe der erforderlichen Schnittdaten, die auf dem Arbeitsblatt vermerkt sind. Eine Herausforderung ergibt

sich in dem Punkt, dass nicht die Schnittgeschwindigkeit direkt in die Adresse S eingegeben wird, sondern dass die Drehzahl S aus der Schnittgeschwindigkeit berechnet werden muss. Hierbei besteht ein mögliches Fehlerpotenzial, da an einigen Stellen des Tabellenbuchs Metall (vgl. Gomeringer et al. 2019, S. 368 ff.) die Bezeichnung S auch für Schnittgeschwindigkeit verwendet wird. Bei der Untersuchung der Schülervorstellungen ist dieser Aspekt besonders aufmerksam zu prüfen, da er fehleranfällig sein kann, auch aufgrund von Missverständnissen in der Fachliteratur. Nachdem sämtliche Begriffe der Schnittdaten in das Programm eingegeben sind, erfolgt der Abschluss des Satzes mit dem Schaltbefehl M3 oder M13, um die Spindel zu starten.

Im folgenden Schritt ist es zunächst von Interesse zu ermitteln, an welcher Position die Schüler die Bearbeitung am Werkstück beginnen und ob sie den Eilgang verwenden. Des Weiteren ist es relevant zu analysieren, ob sie zuerst lediglich die X- und Y-Koordinaten anfahren und dann erst die zugehörige Z-Koordinate oder ob sie sämtliche Koordinaten gleichzeitig definieren. Letzteres sollte vermieden werden, da dies, abhängig von der Lage des Werkzeugwechsellpunktes und der Geometrie des Werkstückes, zu Kollisionen zwischen Werkzeug und Werkstück führen kann. Solche Anzeichen könnten wichtige Hinweise auf mögliche Vorstellungen seitens der Schüler liefern.

Während der Bearbeitung der äußeren Kontur ist es von Bedeutung zu überprüfen, ob die Schüler daran denken, die Befehle für die Kreisinterpolation (G03) wieder aufzuheben und wie sie mit den Interpolationsparametern I und J umgehen. Die Entscheidung, die Schüler zu verpflichten, mindestens einen Radius unter Verwendung von Interpolationsparametern zu programmieren, basiert auf der Überlegung, dass die Anwendung von Interpolationsparametern erhebliche Vorteile gegenüber der Verwendung der Adresse R bietet. Die Interpolationsparameter I, J und K sind auf den meisten CNC-Maschinen funktionsfähig, im Gegensatz zur Verwendung der Adresse R, die nicht von allen Maschinen erkannt wird. Insbesondere auf älteren Maschinen können ausschließlich Interpolationsparameter I, J und K eingesetzt werden. Diese Parameter gestatten nicht nur die mathematische Überbestimmung eines Kreises, sondern dadurch auch die Fehlererkennung beim Verfahren, indem sie Abweichungen erfassen und der Maschine

ermöglichen, entsprechend zu reagieren. Die freie Wahl der Vorgehensweise bei der Programmierung der anderen Radien gibt Einblick in die Präferenzen zwischen den beiden Programmieroptionen.

Es kann vorkommen, dass die Adressen R (Radius) und RN (Verrundung) verwechselt werden. Dieses Risiko besteht insbesondere bei den beiden Radien (R12) der zweiten Innenkontur bei Z -5. Es ist erwähnenswert, dass die Adresse RN nur in einem Linearsatz verwendet werden kann, während die Adresse R in einer Kreisinterpolation ihre Gültigkeit behält. Die Verwechslung kann auf eine allgemeine Vorstellung hindeuten, dass die beiden Parameter R und RN in den Augen der Schüler dasselbe bedeuten.

Zum Abschluss des Prozesses werden eine Tasche und ein Bohrzyklus programmiert. Als zusätzliche Herausforderung sollen diese um 45 Grad versetzt werden. Da den Schülern die Verwendung des Tabellenbuchs Metall gestattet ist, sollte die Programmierung auf den ersten Blick keine allzu große Herausforderung darstellen. Vielmehr ist von Interesse, wie die Schüler an diese Aufgabe herangehen. Welche Werte wählen sie für die maximale Zustelltiefe und den Sicherheitsabstand? Fahren sie beispielsweise direkt nach der programmierten Tasche den Werkzeugwechsellpunkt an oder wählen sie zunächst einen positiven Z-Wert, um mögliche Kollisionen mit dem Werkstück zu vermeiden? Es ist ebenfalls interessant zu prüfen, ob die Schüler eine Programmteiwiederholung (G23) verwenden oder die Senkungen und Bohrungen einzeln bearbeiten.

Abschließend ist es von Interesse, ob die Schüler das Programm mit dem Schaltbefehl M30 beenden oder nicht. Je nachdem lassen sich daraus wiederum Rückschlüsse auf die Vorstellungen der Schüler ziehen.

7.2.3 Benötigte Kompetenzen

Für die Erstellung des vorliegenden CNC-Programms benötigen die Probanden eine breite Palette von Fähigkeiten und Kompetenzen auf technischem, mathematischem und konzeptionellem Gebiet. Im Folgenden sollen diese kurz aufgelistet werden:

Fachkompetenzen:

1. **Technisches Verständnis:** Ein tiefgehendes Verständnis der Funktionsweise von CNC-Maschinen, Werkzeugen und Materialien ist unerlässlich. Dies umfasst die Kenntnis der Maschinenbewegungen, der Werkzeugpfade und der Werkzeugmaschinen selbst.
2. **Programmierkenntnisse:** Die Fähigkeit zur Programmierung von CNC-Maschinen unter Verwendung von speziellen Programmiersprachen wie G-Code oder M-Code ist von zentraler Bedeutung. Dies beinhaltet das Schreiben, Testen und Optimieren von CNC-Programmen.
3. **Mathematische Fertigkeiten:** Solide mathematische Fähigkeiten sind erforderlich, um Berechnungen für Schnittdaten und andere Parameter durchzuführen. Dies umfasst auch das Verständnis von Geometrie und Trigonometrie.

Personalkompetenzen:

1. **Problemlösungskompetenz:** CNC-Programmierer müssen in der Lage sein, auftretende Probleme und Störungen zu identifizieren und effektive Lösungen zu entwickeln. Dies erfordert ein gutes Problemlösungsvermögen und schnelles Eingreifen.

8 Durchführung

8.1 Probanden

Wie zuvor erörtert, erweist es sich als vorteilhaft, zu Beginn eines neuen Themengebietes eine Untersuchung der Schülervorstellungen durchzuführen. Ebenfalls wurde hervorgehoben, dass die Mehrheit der Schüler bereits bestehende Vorstellungen besitzen, die eine gewisse Resistenz gegen Veränderungen aufweisen. Infolgedessen ist es interessant, die Schülervorstellungen einer Klasse, die noch wenig Erfahrung mit dem betreffenden Thema, mit denen einer Klasse zu vergleichen, die bereits das Themengebiet behandelt hat. Dementsprechend habe ich die zuvor beschriebene Aufgabenstellung in einer Klasse im zweiten Lehrjahr (Zerspanungsmechaniker) und einer Klasse im dritten Lehrjahr (Werkzeugmechaniker) am Beruflichen Schulzentrum August Horch in Zwickau durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung befanden sich die Klassen in der ersten bzw. zweiten Schulwoche des neuen Schuljahres.

Vor der eigentlichen Datenerhebung bei den Zerspanungsmechanikern im zweiten Lehrjahr wurde zunächst erfragt, inwieweit die Schüler bereits in der Lage sind, CNC-Programme zu erstellen. Dabei gaben 14 von 22 männlichen Schülern im Alter von 17 bis 18 Jahren an, dass sie bereits fähig sind, CNC-Programme mithilfe entsprechender Software am Computer zu erstellen.

Die Klasse der Werkzeugmechaniker im dritten Lehrjahr bestand aus 10 jungen Männern im Alter von 18 bis 19 Jahren. Sie hatten im vorangegangenen Schuljahr bereits angemessene Unterrichtseinheiten zur CNC-Programmierung absolviert. Die bereitgestellte Aufgabenstellung wurde für den Anfangsunterricht im zweiten Lehrjahr entwickelt. Somit konnte man erwarten, dass die Schüler des dritten Lehrjahres die Aufgabe rasch bewältigen.

8.2 Aufgetretene Störungen

Trotz guter Vorbereitung sind einige Störungen aufgetreten, die in diesem Kapitel näher beleuchtet werden sollen. Nach einem anfänglichen erfolgreichen Test, in dem die Datenerhebung mithilfe eines Bildschirmaufnahmeprogramms in der Schulumgebung geprüft wurde, traten am Tag der ersten Datenerhebung unerwartete technische Probleme auf. Aufgrund eines Computer-Updates in der Schule kam es zu folgenden Problemen:

- Computer stürzten wiederholt ab
- Bildschirme froren ein
- Das Aufnahmeprogramm wurde vom Sicherheitsprogramm blockiert

Als Konsequenz konnten lediglich zwei von geplanten zehn Videoaufzeichnungen im dritten Lehrjahr erfolgreich durchgeführt werden. Als Notlösung wurden die Schüler während der Bearbeitung aufgefordert, die Bildschirmaufnahme zu beenden und stattdessen am Ende der Unterrichtsstunde einen Screenshot ihres erstellten Programms anzufertigen, welchen sie anschließend auf einen USB-Stick speichern sollten. Diese Bilder sind jedoch nur bedingt für die Auswertung geeignet, da sie lediglich Fehler offenbaren, aber keine tiefgreifenden Gedankengänge und Überlegungen der Schüler analysieren lassen.

Vor der nächsten Datenerhebung im zweiten Lehrjahr wurden Bemühungen unternommen, die zuvor aufgetretenen technischen Probleme zu beheben. Bei der Einrichtung der Maschine im Programm stellte sich heraus, dass eine erhebliche Menge an Ressourcen für die Verarbeitung von Werkzeugdaten sowie für die Simulation verschiedener Spannvorrichtungen erforderlich war. Diese Anforderungen, zusammen mit den Ansprüchen des Aufnahmeprogramms, das ebenfalls eine erhebliche Rechenkapazität von den Schulcomputern verlangte, führten zu wiederholten Systemabstürzen und eingefrorenen Bildschirmen. Trotz wiederholter Versuche, diese technischen Herausforderungen zu bewältigen, erwies es sich als notwendig, auf die Einrichtung der CNC-Maschine als Teil des Aufgabenbereichs zu verzichten. Folglich erhielten die Schüler im zweiten Lehrjahr ein Programm, in dem die Maschine bereits entsprechend eingerichtet war.

Trotz erfolgreicher Behebung der technischen Probleme ergaben sich neue Herausforderungen. Eine Woche vor der geplanten Datenerhebung präsentierte ich mein Vorhaben in einer Klassenleiterstunde den Schülern und wies dabei auf die Notwendigkeit eines gewissen Maßes an Vorkenntnissen im Bereich der CNC-Programmierung hin, um erfolgreich teilnehmen zu können. Am Tag der Datenerhebung wurde jedoch festgestellt, dass nur vier von vierzehn Schülern, die sich zur Teilnahme bereiterklärt hatten, tatsächlich Vorkenntnisse in der CNC-Programmierung besaßen. Infolgedessen wurde kurzfristig beschlossen, die Klasse aufzuteilen. Es wäre nicht sinnvoll gewesen, die zehn Schüler ohne einschlägige Vorkenntnisse in die Datenerhebung einzubeziehen, da dies keinen Mehrwert, weder für die Studie noch für die Schüler selbst gehabt hätte.

Alle diese Probleme führten dazu, dass den Schülern statt der ursprünglich geplanten 90 Minuten Bearbeitungszeit nur noch etwa 60 Minuten zur Verfügung standen. Daher konnten die meisten Schüler ihre Programme nicht vollständig abschließen.

9 Auswertung

Die Auswertung von Videoaufzeichnungen stellt eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Zu Beginn ist es erforderlich, klare Beobachtungsschwerpunkte (BSP) zu definieren. Einige dieser Schwerpunkte wurden bereits im vorherigen Kapitel 7.2.2 aufgeführt und sind in folgendem Absatz dargestellt:

- BSP 1 – Logische Bearbeitungsreihenfolge der Konturen

Üblicherweise erfolgt die Bearbeitung von Konturen von außen nach innen, da die Position der inneren Konturen stets von den äußeren abhängt. In der vorliegenden Aufgabenstellung ist dies nicht anders. Es ergibt daher nur Sinn, mit der äußeren Kontur auf der Tiefe Z-8 zu beginnen, gefolgt von der zweiten Außenkontur auf der Tiefe Z-5, danach folgen die Innenkonturen des Werkstücks. Bei den Innenkonturen sollte zuerst die Tasche gefräst werden, danach werden die Löcher mit Hilfe des Anbohrers vorbereitet und zuletzt werden die Durchgangsbohrungen hergestellt. Eine Abweichung von dieser Reihenfolge weist auf ein grundlegendes Missverständnis der Fertigungsabläufe hin, was möglicherweise auf Schülervorstellungen zurückzuführen ist.

- BSP 2 – Angabe von Schnittwerten

Wie bereits erwähnt, kann es bei der Angabe der Adresse S zu Verwechslungen zwischen Schnittgeschwindigkeit und Drehzahl kommen, da im Tabellenbuch Metall beide Angaben zum Teil mit S bezeichnet werden. Es ist zudem von Interesse, wie präzise die numerischen Angaben der Schnittwerte in das Programm eingefügt werden. Das bedeutet, ob exakte Dezimalzahlen oder gerundete Werte verwendet werden und falls gerundet, ob eine Aufrundung oder Abrundung durchgeführt wird. Die Auswertung dieses Sachverhalts kann Rückschlüsse darauf ermöglichen, ob die Schüler ein grundlegendes Verständnis für die Maschine und das Schneidwerkzeug besitzen.

- BSP 3 – Umsichtiger Einsatz des Eilgangs

Der Eilgang stellt ein hilfreiches Werkzeug dar, um gewünschte Koordinaten schnell anzufahren. Allerdings ist dies nicht ohne Risiken, da es leicht

zu einer Kollision zwischen dem Schneidwerkzeug und dem Werkstück kommen kann. Daher ist es nicht empfehlenswert, den Eilgang in einer Ebene zu verwenden, in der sich auch das Werkstück befindet. Eine unsachgemäße Nutzung des Eilgangs seitens der Schüler könnte unter anderem als ein erster Hinweis auf Schülervorstellungen im Bereich des räumlichen Denkens dienen.

- BSP 4 – Sachgemäße Anwendung von Interpolationsbefehlen

Interpolationsbefehle wie G01, G02 und G03 behalten ihre Gültigkeit, solange sie nicht explizit abgewählt werden. Es kann vorkommen, dass Schüler diese Befehle nicht deaktivieren, bevor sie bestimmte Konturen weiter bearbeiten. Dieses Verhalten könnte darauf hinweisen, dass sie möglicherweise der Vorstellung unterliegen, dass die Programmiersoftware ähnlich wie die Schüler das endgültige Produkt kennt und auf intuitive Weise handelt. Dies könnte ein Indiz für Schülervorstellungen im Zusammenhang mit der Funktionsweise von CNC-Programmierung und -Steuerungssystemen sein.

- BSP 5 - Radianprogrammierung mit Hilfe von Interpolationskoordinaten und den Adressen R, RN

Die Radianprogrammierung in einer Kreisinterpolation kann mithilfe der Interpolationskoordinaten I, J und K oder der Adresse R erfolgen. Wie bereits erörtert, bietet die Programmierung mit den Interpolationskoordinaten im Vergleich zur Verwendung der Adresse R erhebliche Vorteile. Aufgrund dieser signifikanten Vorzüge ist es von Interesse zu überprüfen, ob die Schüler in der Lage sind, die Interpolationskoordinaten effektiv zu handhaben. Dies kann Aufschluss darüber geben, ob die Schüler ein Verständnis für die präzisere und flexiblere Programmierung von Kreisinterpolationen besitzen. Darüber hinaus sollte die Verwendung der Adressen R und RN einer Überprüfung unterzogen werden. Es ist zu beachten, dass die Adresse RN nur in einem Linearsatz ihre Gültigkeit besitzt, während die Adresse R ausschließlich in einer Kreisinterpolation anzuwenden ist. Eine

Verwechslung zwischen diesen beiden Adressen könnte auf eine grundlegende Vorstellung hindeuten, dass die Parameter R und RN in den Augen der Schüler dasselbe bedeuten.

- BSP 6 - Angaben bei der Zyklenprogrammierung

Die reine Zyklenprogrammierung kann mithilfe des Tabellenbuchs Metall recht unkompliziert erfolgen. In diesem Zusammenhang ist jedoch vielmehr von Interesse, wie Schüler bestimmte Parameter, wie den Sicherheitsabstand, die Rückzugsebene oder den Drehwinkel festlegen. Die Auswertung dieser Angaben kann Aufschluss über Schülervorstellungen im Bereich der Programmierung von Zyklusprozessen geben.

- BSP 7 – Programmabschluss

Jedes Programm muss mit dem Befehl M30 abgeschlossen werden, da andernfalls die Spindel mit dem Schneidwerkzeug eingeschaltet bleibt. Das Versäumnis dieses Befehls kann ähnlich wie im Punkt BSP 4 ein Indiz für Schülervorstellungen im Zusammenhang mit der Funktionsweise von CNC-Programmierung und -Steuerungssystemen sein.

Es ist sinnvoll, vor der eigentlichen Analyse der Videodateien zunächst die fertigen Programme zu evaluieren, um zusätzliche Beobachtungsschwerpunkte zu identifizieren, die möglicherweise nicht unmittelbar ersichtlich waren. Dementsprechend wurden zusätzlich die nachfolgenden Beobachtungsschwerpunkte definiert:

- BSP 8 - Logische Programmierung

Bei einer ersten Sichtung der fertigen Programme ist zunächst aufgefallen, dass bei den meisten Probanden weder Anfahrts- noch Abfahrtsbedingungen eingegeben wurden. Jedoch sind diese in der Fertigung äußerst sinnvoll. Zum Beispiel ermöglicht eine geeignete Anfahrtsbedingung die Schonung des Schneidwerkzeugs, indem es nicht sofort in das volle Material des Werkstücks eindringt. Dies erhöht die Lebensdauer des Werkzeugs und somit die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens.

Des Weiteren ist aufgefallen, dass einige Schüler unnötige Verfahrswege zurückgelegt haben. Beispielsweise wurde von der Kontur auf der Tiefe

bei Z-8 zunächst der Werkzeugwechsellpunkt angefahren, bevor die Kontur auf Tiefe Z-5 mit dem gleichen Schneidwerkzeug bearbeitet wurde.

Aufgrund der genannten Gründe sollte die Sinnhaftigkeit der Verfahrenswege in den Videoaufzeichnungen betreffs des Punktes BSP 8 – Logische Verfahrensweise überprüft werden. Unnötige Verfahrenswege könnten ein weiterer Anhaltspunkt für Schülervorstellungen im Bereich der Funktionsweise von CNC-Programmierung und -Steuerungssystemen sein.

- BSP 9 – Werkzeugwechsel

Weiterhin ist aufgefallen, dass die meisten Schüler beim Werkzeugwechsel den Schaltbefehl M6 nicht verwendet haben und stattdessen lediglich die Adresse T mit der entsprechenden Werkzeugnummer notiert haben. Diese Vorgehensweise mag in bestimmten Computerprogrammen möglich sein, ist jedoch auf einer CNC-Maschine nicht wirksam. Nur der Befehl M6 informiert die Maschine darüber, dass ein Werkzeugwechsel durchgeführt werden soll. Da dieser Aspekt, wie in BSP 7, auf die korrekte Steuerungsweise bzw. Programmierung der Maschine abzielt und die Verwendung spezifischer Steuerbefehle genauer untersucht, werden die Beobachtungsschwerpunkte *BSP - 7 Programmabschluss* und *BSP - 9 Werkzeugwechsel* unter *BSP 7 - Anwendung von Schaltbefehlen* zusammengefasst.

Somit ergeben sich letztendlich folgende Beobachtungsschwerpunkte:

Tabelle 2 - Festgelegte Beobachtungsschwerpunkte

BSP	
1	Logische Bearbeitungsreihenfolge der Konturen
2	Angabe von Schnittwerte
3	Umsichtiger Einsatz des Eilgangs
4	Sachgemäße Anwendung von Interpolationsbefehlen
5	Radienprogrammierung mit Hilfe von Interpolationskoordinaten und den Adressen R, RN
6	Angaben bei der Zyklenprogrammierung
7	Anwendung von Schaltbefehlen
8	Logische Programmierung

9.1 Quantitative Auswertung

Die Videographie ist eine qualitative Auswertungsmethode, da sie darauf abzielt, tiefergehende Einsichten in menschliches Verhalten, soziale Interaktionen, komplexe Phänomene und Kontexte zu erlangen. Dennoch ist es sinnvoll, zunächst einen quantitativen Überblick über bestehende Auffälligkeiten und Fehler in den vorliegenden Videoaufzeichnungen zu gewinnen. Diese quantitativen Daten können bei der Interpretation Aufschluss darüber geben, ob es sich um allgemeine oder individuelle Schülervorstellungen handelt. Die quantitative Analyse kann beispielsweise helfen, häufig auftretende Fehler oder wiederkehrende Verhaltensweisen zu identifizieren, die eine größere Anzahl von Schülern betreffen. Dies kann darauf hinweisen, dass es bestimmte gemeinsame Missverständnisse oder Vorstellungen gibt, welche im Unterricht beachtet werden müssen.

In der folgenden quantitativen Auswertung der Videodateien wird zunächst in einer Tabelle festgehalten, ob bei den jeweiligen Beobachtungsschwerpunkten eine Auffälligkeit seitens der Schüler in der Bearbeitung der Aufgabe festgestellt wurde. Hierbei wird für jeden Probanden eine entsprechende Tabelle angelegt, und anschließend werden die vorliegenden Ergebnisse aller Probanden in einer

Gesamtübersicht dargestellt. Dies ermöglicht es, die Häufigkeit und Verteilung von Auffälligkeiten in den Daten systematisch zu erfassen und zu analysieren.

9.1.1 Proband 1

BSP	Zeit [h:min]	Erläuterung
1		-
2	00:51	Es wurde eine falsche Drehzahl für die Fräse gewählt, obwohl zuvor der gleiche Fräser mit richtiger Drehzahl Verwendung fand.
	01:00	Die gewählte Drehzahl könnte höher angesetzt werden. Der Vorschub wurde dagegen zu hoch gewählt.
	01:04	Es wurde eine zu hohe Drehzahl für die Zentrierbohrungen gewählt.
	01:04	Drehzahl und Vorschub für die Bohrungen wurden zu hoch gewählt.
3		-
4		-
5	00:29	Der Schüler hat nicht mit den Interpolationskoordinaten I und J gearbeitet.
	00:45	Die Verrundung mit R 12 wurde falsch programmiert. Es gab mehrere Korrekturversuche, allerdings mit keinem richtigen Ergebnis.
6	00:57	Die optionale Adresse H8 ist in diesem Zusammenhang nicht sinnig, da sie für das Planschlichten ausgelegt ist. → 01:05 Änderung der optionalen Adresse nach Simulation auf H14 für Schruppen und abschließendes Schlichten.
	00:57	Es wurde programmierter Halt M0 in den Rechtecktaschenfräszyklus eingearbeitet, was zu Komplikationen im Ablauf des Programmes führte.
7	00:14	Spindel wurde mit dem Schaltbefehl M4 gegen den Uhrzeigersinn gedreht, obwohl der ausgewählter Fräser nicht dafür ausgelegt war. → 00:37 nach mehreren Simulationen und Korrekturversuchen an anderen Stellen erfolgte die Anpassung auf M3.
	00:14	M6 für Werkzeugwechsel nicht eingegeben.
	00:48	
	00:55	
8	01:04	
	00:40	Bei der Abfahrbedingung G48 wurde mit X und Y Koordinaten gearbeitet, somit konnte das Programm die Angaben nicht verarbeiten.
	00:46	

	00:47	Nachdem der Schüler zuvor vergaß, bei der zweiten Außenkontur die Höhe Z-5 anzufahren, wurde nach mehreren Simulationen versucht, den Fehler mittels Werkzeugwechsel zu beheben. Dabei wählte er jedoch ein falsches Schneidwerkzeug, fuhr nicht den Werkzeugwechselpunkt an und hat nicht den nötigen Schaltbefehl angegeben. → 00:49 In einem weiteren Versuch erfolgte die Höhenänderung auf Z-5, jedoch immer noch mit dem falschen Schneidwerkzeug. → 00:51 Schließlich wurde das richtige Schneidwerkzeug ausgewählt, obwohl dies in der ersten Außenkontur bereits verwendet wurde.
	01:02	Der Schüler schrieb zuerst den Code G77 für den Mehrfachzyklenuufruf auf einem Lochkreis und danach den Zyklusaufruf auf einen Punkt.

9.1.2 Proband 2

BSP	Zeit [h:min]	Erläuterung
1		-
2		-
3	00:55	Eilgang G00 in Werkstückeebene zur Überbrückung von 3 mm benutzt.
4	00:48	Zunächst richtigen Kreisinterpolationsbefehl G03 in falschen G02 geändert → nach mehrmaligen Simulationen in 01:02 wieder umgeändert.
5	00:35	Verwechslung RN mit R → 00:38 nach Simulation Fehler behoben.
	00:42	Falscher Wert für Koordinate J (-195 -> Falsches Vorzeichen und Zahlenwert) eingegeben → 00:46 nach zweimaliger Simulation korrigiert.
6		-
7	00:20	M3 oder M13 zum Starten der Spindel nicht eingegeben → M13 in 00:29 nach Simulation mit Kollision ins Programm eingefügt.
	00:20	M6 für Werkzeugwechsel nicht eingegeben.
8	00:23	Anfahrtsbedingungen fragwürdig gewählt von X0 Y0 auf X0 Y0.
	01:00	Abwahl der Radiuskorrektur G40, dadurch Crash mit Werkstück im folgenden Satz mit G00.

9.1.3 Proband 3

BSP	Zeit [h:min]	Erläuterung
1		-
2	00:36	Es wurde eine zu hohe Drehzahl für den Fräser angesetzt.
	01:23	Es wurde eine viel zu hohe Drehzahl und Vorschub für den Fräser (Bearbeitung Tasche) gewählt.
	01:34	Es wurde eine viel zu hohe Drehzahl und Vorschub für den Anbohrer gewählt.
3	00:39	Verwendung Eilgang bis auf die Höhe Z0 → 00:43 Nach einer Simulation wurde der Eilgang nur bis auf eine Höhe von Z10 verwendet, danach in Linearinterpolation weiter verfahren.
4		-
5	00:44	Der Schüler wollte die Radien R15 ohne die Angabe von Endpunkten programmieren, dies führte dazu, dass das Programm nichts mit den Satz anfangen konnte. → 00:47 Nach einer Simulation wurde der Fehler erkannt und behoben.
	00:49	Anstatt den Radius R 15 mit G03 zu programmieren, wurde fälschlicherweise G02 verwendet. → 00:50 nach einer Simulation wurde der Fehler sofort behoben.
6		-
7	01:23 01:34	M6 für Werkzeugwechsel nicht eingegeben.
	01:34	Es wurde vergessen, die Spindel nach Werkzeugwechsel wieder anzuschalten.
8	00:42	Der Schüler wählte keine Radiuskorrektur aus, setzte jedoch die Programmierung fort, als ob diese aktiv wäre. → 00:43 Fehler wurde zeitnah erkannt und entsprechend abgeändert. Allerdings entschied er sich zeitgleich gegen eine zuvor festgelegte Anfahrbedingung.
	00:57	Nachdem die erste Kontur fertig gefräst war, wurde vom letzten Bearbeitungspunkt mit dem tangentialen Anfahrtsbefehl G47 die nächste Kontur angefahren. Dabei kam es für den Schüler zu einem ungewollten Ereignis: Fräse ist schräg in Richtung positiver Z-Achse gefahren. Es wurde mehrmals mittels Radienanpassung versucht, den Fehler zu be-

		heben, obwohl die eingegebenen Koordinaten für X, Y und Z die Ursache waren. → 01:03 Abänderung der Anfahrsbedingung in eine Abfahrtsbedingung G48.
	01:05	Ähnlicher Fehler wie zuvor: Es wurde versucht, vom letzten Bearbeitungspunkt auf einer Höhe von Z-8 im Eilgang auf einen Punkt mit anderen X, Y und Z Koordinaten zu verfahren. Dabei fuhr der Fräser wieder schräg nach oben in Richtung positiver Z-Achse durch das Werkstück. → 01:15 nach einigen Versuchen mit unterschiedlichen Lösungsansätzen wurde erkannt, dass zunächst nur in Z verfahren werden sollte und erst dann in X- und Y-Richtung.
	01:23	Der Schüler hat vergessen, den Fräser in einer geeigneten Höhe über dem Werkstück zu platzieren. So hat die Maschine vom Werkzeugwechsellpunkt an begonnen, sich in mm-Schritten der Tasche anzunähern. → 01:32 Nach einer Simulation wurde der Fräser im Eilgang auf eine vernünftige Startposition gestellt.
	01:35	Der Schüler hat den Anbohrer (ähnlich wie zuvor) nicht auf eine geeignete Position über dem Werkstück gebracht. Der Bohrzyklus wurde vom Werkzeugwechsellpunkt gestartet.

9.1.4 Proband 4

BSP	Zeit [h:min]	Erläuterung
1		-
2	00:35	Es wurde eine viel zu hohe Drehzahl für den Fräser angesetzt.
	01:29	Es wurde eine viel zu hohe Drehzahl und Vorschub für den Fräser (Tasche) gewählt.
3	00:42	Der Schüler lässt bei der Verwendung des Eilgangs sehr reichlich Sicherheitsabstand zum Werkstück.
4		-
5		-
6		-
7	00:35	M6 für Werkzeugwechsel nicht eingegeben.
	01:19	
8	01:03	Nachdem zunächst keine Anfahrtsbedingung verwendet wurde, wird nun eine Abfahrtsbedingung beim Übergang von der ersten zur zweiten Kontur verwendet. Der Schüler entschied sich für ein tangenciales Abfahren mit einem Radius 0, was wiederum durch die Abwahl der Radiuskorrektur mit G40 zur ungewollten Verfahrweise des Fräasers führte. → 01:14 Wechsel zu einer linear tangentialen Abfahrt (G46) mit einem Abfahrtweg von 10mm.
	01:12	Es wurde sich dazu entschieden, zeitgleich in X, Y und Z-Richtung zu verfahren, was durch eine zuvor unglückliche Wahl der Parameter der Abfahrbedingung dazu führt, dass der Fräse schräg in Richtung positiver Z-Achse durch das Werkstück fährt. → 01:13 Es wurde entschieden, zuerst auf X0, Y0 und Z2 zu fahren und dann den ersten Punkt der zweiten Kontur anzufahren. Dennoch wird immer in allen drei Koordinatenachsen zeitgleich verfahren.
	01:32	Der Schüler hat vergessen, den Fräser in einer geeigneten Höhe über dem Werkstück zu platzieren. So hat die Maschine vom Werkzeugwechselpunkt an begonnen, in mm-Schritten sich Stück für Stück der Tasche anzunähern. → 01:38 Nach mehreren Simulationen wurde der Fräser im Eilgang auf eine vernünftige Starthöhe gestellt.

9.1.5 Proband 5

BSP	Zeit [h:min]	Erläuterung
1		-
2	00:38	Anstatt der Drehzahl S wurde die Schnittgeschwindigkeit mit V in das Programm eingetragen. → 00:55 Der Parameter V wurde in S umgewandelt ohne den Zahlenwert abzuändern.
3		-
4		-
5	00:51	Der Schüler wollte ohne Angabe des Endpunkt den R30 Radius mit der Adresse R programmieren. → 01:07 R30 zu R15 geändert.
	01:09	Es wurde nochmals der Radius R30 mit der Adresse R programmiert, allerdings wieder ohne Angabe des Endpunkts, so dass das CNC-Programm diese Eingabe nicht verarbeiten konnte.
6		-
7	00:38	Spindel wurde nicht durch den Schalbefehl M3 gestartet. → 01:04 Korrektur.
8	00:38	Der Schüler wollte die Koordinaten X0, Y0 und Z0 anfahren, ohne zuvor das richtige Werkzeug, eine Radiuskorrektur und die Schnittdaten eingegeben zu haben. → 00:44 Als nächstes wurden für die einzelnen Koordinaten die Angaben aus dem Nullpunktregister übernommen. → 00:55 Alle Angaben für die Koordinaten wurden wieder gelöscht.
	00:41	Der Schüler arbeitete ohne Radiuskorrektur und rechnete stets den Radius des Fräasers in die X und Y-Koordinate mit ein. → 01:08 Abänderung aller Koordinaten, als ob eine Radiuskorrektur aktiv ist. Der passende Befehl für die Radiuskorrektur wurde allerdings nicht eingegeben. → 01:31 Fehler wurde bemerkt und der Befehl für die Radiuskorrektur wurde eingefügt.
	00:55	Nach der Löschung der Koordinaten bei 00:55 erfolgte keine Anpassung des Startpunkts der Bearbeitung, so dass ohne Eilgang die Bearbeitung der ersten Kontur vom Werkzeugwechsellpunkt gestartet wurde. → 00:59 Eilgang auf angemessenen Startpunkt.
	01:28	Es wurde vom letzten Bearbeitungspunkt der ersten Kontur gleich mit Hilfe von X, Y und Z Koordinaten zur zweiten Kontur verfahren, was zu einem unerwünschten Verfahrensweg durch das Werkstück führte.

9.1.6 Proband 6

BSP	Zeit [h:min]	Erläuterung
1	01:20	Der Schüler wollte bei den Innenkonturen zunächst die Bohrungen fertigen und danach erst die Tasche fräsen.
2	00:32 01:19	Es wurde eine viel zu hohe Drehzahl für den Fräser angesetzt.
	01:19	Ein Vorschub wurde nicht nochmal nach dem Werkzeugwechsel gewählt.
3	00:32	Der Schüler lässt bei der Verwendung des Eilgangs sehr reichlich Sicherheitsabstand zum Werkstück.
4		-
5	00:38	Der Radius R30 wurde mit der Adresse R und nicht mit den Interpolationskoordinaten I und J programmiert.
	01:06	Nachdem sich der Schüler in 01:03 dazu entschied, den Radius R12 mit der Adresse R in einer Kreisinterpolation zu programmieren, wurde die Adresse nun mit RN ausgetauscht. Dabei wurde allerdings weiterhin mit einer Kreisinterpolation gearbeitet. → 01:08 Änderung zu einer Linearinterpolation.
6	01:20	Der Kreisradius wurde auf 360mm angesetzt und es sollte nur zwischen 90° und 270° des Kreises zu Bohrungen kommen.
7	00:32 01:19	M6 für Werkzeugwechsel nicht eingegeben.
8	00:32	Es wurde sich gegen eine Anfahrtsbedingung entschieden.
	00:44	Vom letzten Bearbeitungspunkt der ersten Außenkontur wurde eine tangentielle Anfahrt zum ersten Bearbeitungspunkt der zweiten Außenkontur angesetzt. → 00:46 Nachdem zuvor die Zusatzadresse V Verwendung fand, wurde sie nun durch die Ansteuerung einer Z-Koordinate ausgetauscht. Somit fährt der Fräser nun in X, Y und Z-Richtung gleichzeitig, was einen schrägen Verfahrensweg durch das Werkstück zu Folge hat. → 00:48 Änderung zu einer linear tangentialen Abfahrtbedingung, wobei die Radiuskorrektur G 41 aktiv blieb. → 00:51 Nach ein paar Änderungen entschied sich der Schüler schlussendlich für eine tangentielle Abfahrtbedingung mit Radius 0.

	00:53	Durch die gleichzeitige Adressierung von X, Y und Z kam es zu einem ungewollten Verfahrweg durch das Werkstück. → Mittels Programmierung eines zusätzlichen Bearbeitungsschrittes, konnte dieses Problem umgangen werden.
	00:56	Die Bearbeitung einer Ecke wurde vernachlässigt und die zweite Kontur angefangen. → 00:59 Ecke wurde nachträglich bearbeitet.
	01:10	Der Schüler versucht eine kleine Ecke, die aus einem ungünstigen Startpunkt resultierte zu beseitigen, dies gelang erst nach mehreren Simulationen und Lösungsversuchen. → 01:16 Eine Lösung wurde gefunden.
	01:20	Die Bohrungen wurden nur mit dem Befehl zu einem Mehrfachzyklusaufwurf auf einem Lochkreis (G77) programmiert ohne die Angabe, dass es sich um einen Bohrzyklus handelt (G81). Zusätzlich wurde der Anbohrer nach dem Werkzeugwechsel nicht auf eine geeignete Arbeitshöhe verfahren, sondern startete seine Bearbeitung vom Werkzeugwechselpunkt. → 01:29 In den Satz davor wurde die Angaben für einen Bohrzyklus (G 81) eingegeben.

9.2 Graphische Veranschaulichung

Die grafische Auswertung (Abbildung 5) der zuvor dargelegten Auffälligkeiten zeigt eine verstärkte Häufigkeit bei folgenden Beobachtungsschwerpunkten:

- BSP 2 - Angabe von Schnittwerten
- BSP 5 - Radienprogrammierung durch Verwendung von Interpolationskoordinaten und den Adressen R, RN
- BSP 7 - Anwendung von Schaltbefehlen
- BSP 8 - Logische Programmierung

Daher ist es im Rahmen der folgenden qualitativen Auswertung angebracht, diese spezifischen Aspekte genauer zu untersuchen, um bestehende Schülervorstellungen zu identifizieren. Eine Auswertung der anderen Beobachtungsschwerpunkte erweist sich als weniger sinnvoll, da nur bei höchstens zwei Schülern Auffälligkeiten festgestellt wurden. Dies ermöglicht weder eine umfassende Schlussfolgerung noch bietet es ausreichend aussagekräftige Daten.

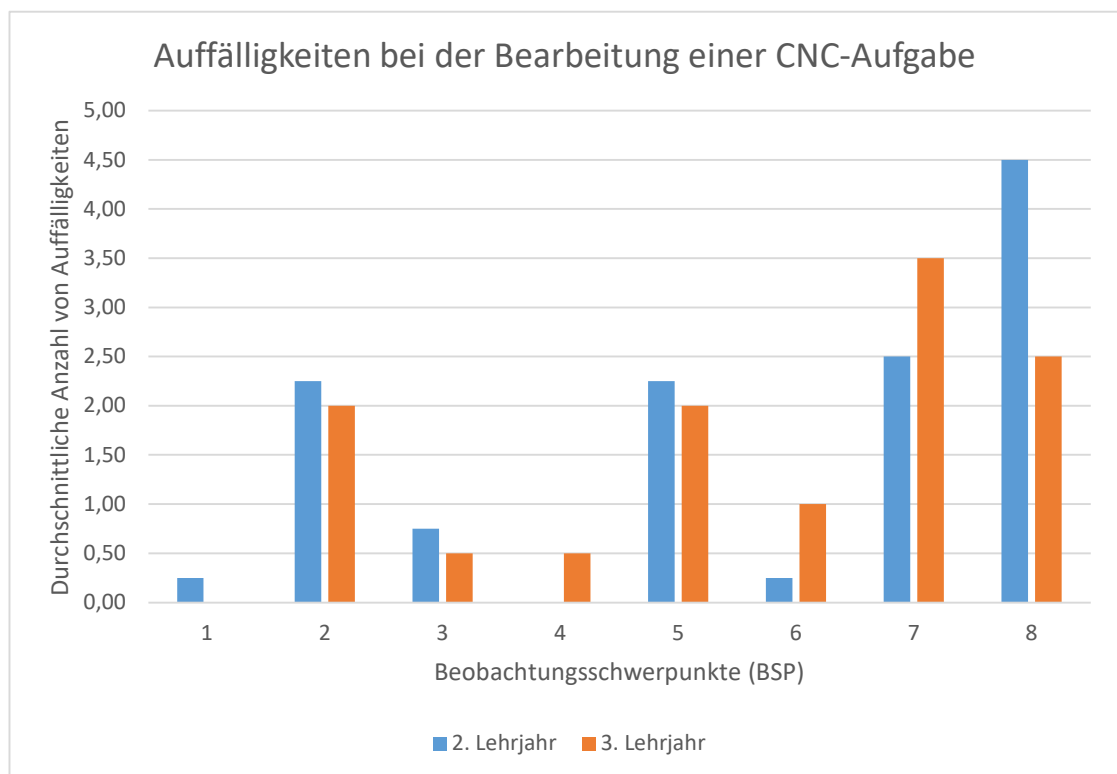


Abbildung 5 - Festgestellte Auffälligkeiten bei der Auswertung der Videoaufnahmen

Die Analyse des Diagramms zeigt, dass vom 2. Lehrjahr zum 3. Lehrjahr meist eine Abnahme der festgestellten Auffälligkeiten zu verzeichnen ist. Dieser Rückgang ist erwartungsgemäß, da Schüler im 3. Lehrjahr bereits das entsprechende Lernfeld zur CNC-Programmierung abgeschlossen haben, wodurch einige Schülervorstellungen aufgelöst werden konnten. Dennoch bleibt die weitergehende Präsenz von Auffälligkeiten ein Indikator für die tiefe Verwurzelung und die Widerstandsfähigkeit von Schülervorstellungen gegen Veränderungen.

Zunächst scheint es bei BSP 6 und BSP 7 einen anstieg von Auffälligkeiten zu geben. Bei einer detaillierten Betrachtung der Bemerkungen die bei der quantitativen Auswertung im Kapitel 9.1 niedergeschrieben wurden. Kommt man zu der Erkenntnis, dass nur vermehrte Beobachtungen gemacht werden konnten, da die Schüler des dritten Lehrjahrs in der vorgegebenen Zeit bei der Bearbeitung etwas weiter vorran kamen, als die Schüler des 2. Lehrjahrs. Eine Anpassung des Diagramms (siehe Abbildung 6) auf den ungefähr gleichen Bearbeitungsfortschritt,

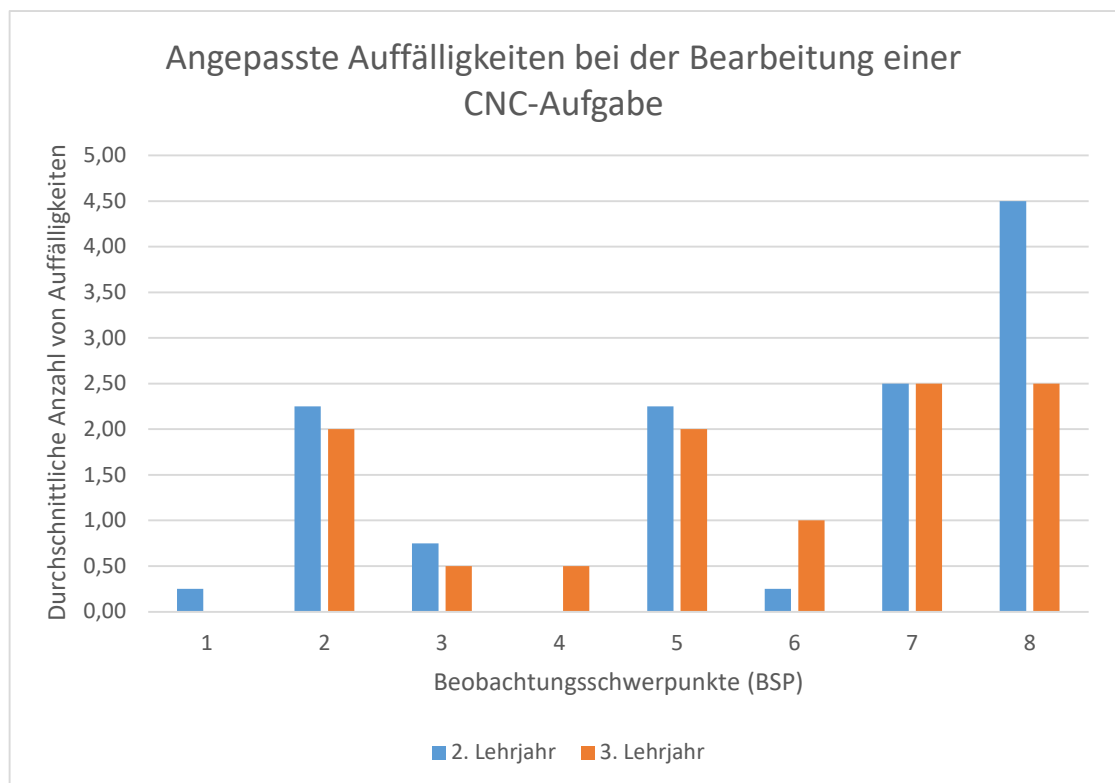


Abbildung 6 - Angepasstes Diagramm zu: Festgestellte Auffälligkeiten bei der Auswertung der Videoaufnahmen

zeigt, dass durchschnittlich die gleiche Anzahl an Beobachtungen gemacht werden konnte. Dies lässt darauf schließen, dass Schülervorstellungen in diesem Bereich, während des Unterrichts nicht verändert werden konnten.

Weiterhin ist es ersichtlich, dass insbesondere Vorstellungen im Bereich der Radienprogrammierung und der Angabe von Schnittwerten gegenüber Veränderungen widerstandsfähig sind. Hingegen können Schülervorstellungen im Bereich der logischen Programmierung anfänglich zahlreich auftreten, jedoch effektiv aufgelöst werden.

9.3 Qualitative Auswertung

Die Identifikation von Schülervorstellungen erfordert nicht nur die Kenntnis darüber, an welcher Stelle Auffälligkeiten aufgetreten sind, sondern auch die genaue Untersuchung der Art der Auffälligkeiten und deren Häufigkeit. Eine ausschließlich quantitative Auswertung der Videoaufnahmen ist daher unzureichend. Zu diesem Zweck müssen die zuvor aufgelisteten Auffälligkeiten einzeln erneut untersucht, analysiert und möglicherweise in Beziehung zu den Vorgehensweisen anderer Schüler gesetzt werden. Zur besseren Übersichtlichkeit erfolgt die Auswertung erneut kategorisiert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den zuvor identifizierten Kategorien mit den meisten festgestellten Auffälligkeiten.

9.3.1 BSP 2 - Angabe von Schnittwerten

Auffällig in dieser Kategorie ist, dass die Schüler des 3. Lehrjahres zunächst die richtigen Schnittwerte für die Drehzahl und den Vorschub wählten. Dann allerdings im weiteren Verlauf Drehzahlen von 1000 und 2000 Umdrehungen pro Minute wählten. So wählte Proband 1 zunächst für die Außenkontur, die mit einem Fräser bearbeitet wurde, eine Drehzahl von $445 \frac{1}{min}$. Im nächsten Schritt wählte er für die Innenkontur (Tasche), welche er mit dem gleichen Fräser bearbeitete, eine Drehzahl von $1000 \frac{1}{min}$.

Die Schüler des 2. Lehrjahres wählten sofort, ohne ersichtliche Denkpausen, Drehzahlen von 1000, 1500, 2000 bis 3500 Umdrehungen pro Minute. Laut Lehr-

plan sollten sie allerdings im Stande sein, technologische Daten für Fertigungsabläufe zu bestimmen. Dies war zumindest Inhalt des zweiten Lernfelds der Zerspanungsmechaniker im 1. Lehrjahr. Des Weiteren wurde auch der Vorschub anscheinend frei von den Schülern gewählt, obwohl er zu jedem Schneidwerkzeug auf dem Arbeitsblatt notiert war. So wurde teilweise mit Vorschüben von 1000 oder $1200 \frac{mm}{min}$ gearbeitet.

Bei der anscheinend willkürlichen Wahl der Drehzahl ist auffällig, dass die Schüler immer auf volle 500er bzw. 1000er Stellen rundeten. Außerdem ist in den Videoaufzeichnungen zu erkennen, dass die Probanden 3 und 6 die Wahl der Drehzahl für den Fräser der Innenkontur abhängig von der Drehzahl des Fräasers, der für die Außenkontur verwendet wurde, gemacht haben. Die entsprechende Drehzahl wurde kategorisch um den Wert 500 erhöht.

Aus diesen Beobachtungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die Schüler des 3. Lehrjahres haben möglicherweise Schwierigkeiten, konsistente und technisch korrekte Schnittwerte für Drehzahl und Vorschub auszuwählen. Die Wahl von falsch gerundeten Werten und das unlogische Ändern der Drehzahlen deuten auf Unsicherheiten in Bezug auf die technologischen Anforderungen hin.
- Die Schüler des 2. Lehrjahres scheinen die technologischen Aspekte der CNC-Programmierung nicht ausreichend zu verstehen, da sie Drehzahlen und Vorschübe ohne sichtbare Überlegung auswählen. Dies könnte auf einen Mangel an Verständnis für die Bedeutung dieser Parameter hinweisen.
- Das Runden der Drehzahlen auf volle 500er- oder 1000er-Stellen könnte auf eine gewisse Unsicherheit oder die Annahme hinweisen, dass dies die gängige Praxis in der CNC-Programmierung ist.

Insgesamt lassen diese Beobachtungen darauf schließen, dass die Schüler möglicherweise Schwierigkeiten haben, die technischen Anforderungen der CNC-Programmierung zu verstehen und korrekt umzusetzen. Dies könnte auf spezifische Schülervorstellungen hinweisen. Allerdings ist die Videographie, die in dieser Studie verwendet wird, nicht ausreichend, um diese Vorstellungen im Detail

zu erfassen. Um die Gedankengänge und Überlegungen der Schüler bei der Auswahl der Drehzahlen und Vorschübe genauer zu verstehen, wäre ein Interview die geeignete Methode. In einem Interview könnten die Schüler ihre Entscheidungen und Überlegungen erläutern, was mit den vorliegenden Videodateien allein nicht nachvollzogen werden kann.

9.3.2 BSP 5 - Radienprogrammierung durch Verwendung von Interpolationskoordinaten und den Adressen R, RN

Im Rahmen dieses Schwerpunktes konnten in den Videoaufzeichnungen drei Beobachtungen bei den Schülern gemacht werden:

1. Anstelle von den Interpolationsparametern wurde mit der Adresse R gearbeitet.

In Bezug auf die Programmierung des Radius R30 mittels Interpolationsparametern zeigte sich, dass lediglich einer der Probanden gemäß den Vorgaben verfuhr. Die übrigen Teilnehmer setzten unverzüglich die Adresse R ohne nennenswerte Überlegungen ein. Nach Rücksprache mit dem Fachlehrer stellte sich heraus, dass die Schüler im 2. Lehrjahr mit den Interpolationskoordinaten I, J und K noch nicht vertraut waren und daher Schwierigkeiten bei ihrer Anwendung hatten. Hingegen besaßen die Schüler im 3. Lehrjahr bereits Kenntnisse in diesem Bereich und sollten somit mit diesen Parametern umgehen können. Daher ist es verwunderlich, dass Proband 1, ein Schüler im 3. Lehrjahr, ebenfalls die Adresse R ohne Zögern verwendete. Aufgrund fehlender Hinweise in den Videoaufzeichnungen können keine weiteren Erkenntnisse gewonnen werden.

Proband 2, der ebenfalls im 3. Lehrjahr ist, nutzte die Interpolationskoordinaten I und J. Während er den Wert für I problemlos bestimmte, unterlief ihm bei der Bestimmung von J ein Fehler, indem er einen Wert von -195 angab. Weder das Vorzeichen noch der Zahlenwert sind korrekt. Wahrscheinlich resultiert dieses Ergebnis aus einer fehlerhaften Anwendung des Satzes des Pythagoras oder aus einem Tippfehler. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass bei der Anwendung des Satzes des Pythagoras ein negativer Zahlenwert nicht möglich ist. Daher muss der Schüler das negative Vorzeichen bewusst gewählt haben. Leider liefern die Aufzeichnungen keine Einblicke in die Gründe für diese Entscheidung. Um

mögliche Gedankengänge nachvollziehen zu können, wäre daher ein Interview ratsam.

2. Die Programmierung der Adresse R erfolgte ohne die Angabe von Endpunkten. Meist wurden erst in dem darauffolgenden Satz die Endpunkte angegeben.

Die Auswertung der Videodateien offenbarte, dass Schüler des 2. Lehrjahres bei der Kreisinterpolation häufig lediglich den Radius des zu verfahrenen Bogens angaben und im darauf folgenden Befehlssatz erst den Endpunkt innerhalb einer Linearinterpolation hinzufügten. Dieser Fehler wurde ihnen während einer Simulation deutlich.

Ein besonders markantes Beispiel war Proband 3, der zunächst die Koordinaten für den korrekten Endpunkt im Befehl der Kreisinterpolation eingetragen hatte, dann jedoch kurzentschlossen nur den Radius stehen ließ. Erst nach wiederholten Lösungsversuchen und Simulationen wurde er sich bewusst, dass die Angaben des Endpunktes ebenfalls im Befehl der Kreisinterpolation aufgeführt werden müssen.

Diese Beobachtung verdeutlicht, dass die Schüler davon ausgehen, dass in einer Kreisinterpolation nur der Radius für den entsprechenden Kreis angegeben werden muss und alle anderen Angaben, die nicht unmittelbar die Beschreibung des Kreises betreffen, erst in einem nachfolgenden Befehlssatz folgen.

3. Verwechslungen zwischen den Adressen R und RN.

In Bezug auf Proband 2 kam es zu einer Verwechslung zwischen den Adressen R und RN. Nach einer Simulation wurde der Fehler umgehend erkannt und korrigiert. Dieses anfängliche Missverständnis und die sofortige Fehlererkennung deuten darauf hin, dass einige Schüler möglicherweise kein tiefgehendes Verständnis für die beiden Adressen R und RN haben. Es scheint, dass sie sich zwar bewusst sind, dass beide Adressen existieren, jedoch bleibt für sie die Frage offen, wann und wo sie genau eingesetzt werden und welche Auswirkungen sie dementsprechend auf den Bearbeitungsprozess haben.

9.3.3 BSP 7 – Anwendung von Schaltbefehlen

Im Rahmen des Beobachtungsschwerpunkts 7, der sich mit der Anwendung von Schaltbefehlen befasst, konnten zwei wesentliche Beobachtungen identifiziert werden:

1. An einigen Stellen wurde der Befehl zum Starten der Spindel (M3) nicht eingegeben.

Es wurde festgestellt, dass bestimmte Schüler den Schaltbefehl zum Starten der Spindel an manchen Stellen nicht eingeben. Proband 2 erkannte diesen Fehler unmittelbar nach einer Simulation und korrigierte ihn umgehend. Im Gegensatz dazu bemerkte Proband 5 das Problem erst nach mehreren Simulationen, bei denen es wiederholt zu Kollisionen zwischen Werkzeug und Werkstück kam. Bei Proband 3 trat dieses Problem erst in den letzten Bearbeitungsschritten auf, als er die Bohrungen bearbeiten wollte. Selbst nach mehreren Simulationen und Bemühungen konnte er das Problem bis zum Ende des Unterrichts nicht beheben.

Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass einige Schüler möglicherweise die Vorstellung haben, dass die Spindel automatisch eingeschaltet wird, wenn ein Werkzeugwechsel oder das Starten des Programms erfolgt. Diese Annahme wird durch das Verhalten von Proband 5 unterstützt, der offensichtlich weniger Erfahrung in der CNC-Programmierung aufweist und erst nach wiederholten Simulationen in der Lage war, den Kollisionsfehler zu identifizieren und zu beheben. Es besteht jedoch ein gewisser Widerspruch in Bezug auf die Beobachtungen bei Proband 3. Dieser verwendete zuvor bei allen Arbeitsschritten den Schaltbefehl M3, vergaß jedoch anscheinend aus Versehen, ihn nach dem Werkzeugwechsel bei seinem letzten Arbeitsschritt erneut einzugeben. Die Tatsache, dass der Schüler den Fehler nicht unmittelbar nach einer Simulation erkannte, deutet eher auf eine allgemeine Verständnisschwierigkeit hinsichtlich der Bedeutung des Befehls M3 hin. Es scheint, dass dieser Schaltbefehl eher auswendig gelernt wurde und dass die Schüler zwar wissen, dass er zu Werkzeugwechseln und Schnittdaten dazu gehört, jedoch seine volle Bedeutung oder Funktionalität nicht verstanden haben.

Die begrenzte Datenmenge und die Unterschiede im Verhalten der Schüler lassen jedoch keine endgültigen Schlussfolgerungen zu. Weitere Untersuchungen, möglicherweise in Form von Interviews oder gezielten Nachfragen, sind notwendig, um die genauen Gründe für das beobachtete Verhalten zu klären und festzustellen, ob es sich um Schülervorstellungen oder Verständnisschwierigkeiten handelt.

2. Werkzeugwechsel ohne Schaltbefehl

In Bezug auf den Werkzeugwechsel ist auffällig, dass die Mehrheit der Schüler den entsprechenden Schaltbefehl (M6) bei einem Werkzeugwechsel nicht verwendet. Stattdessen wählen sie lediglich das gewünschte Werkzeug anhand der Werkzeugnummer aus und setzen ihre Bearbeitung fort. In dem vorliegenden Programm mag dies ohne Probleme funktionieren. Allerdings ergeben sich in der realen Anwendung Probleme, da die Maschine nicht ordnungsgemäß weiterfährt. Die Angabe der Werkzeugnummer dient lediglich der Einstellung des Werkzeugmagazins auf das gewünschte Werkzeug und der Übernahme der Werkzeugparameter. Der tatsächliche Werkzeugwechsel, der mit der Anfahrt des Werkzeugwechselpunkts einhergeht, erfordert den Befehl M6.

Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass möglicherweise eine Schülervorstellung existiert, bei der Schüler annehmen, dass die bloße Auswahl des gewünschten Werkzeugs anhand der Werkzeugnummer ausreicht, um den Werkzeugwechsel zu vollziehen. Dies könnte auf ein Missverständnis oder eine unvollständige Vorstellung von den tatsächlichen Abläufen in der CNC-Programmierung und -Steuerung hinweisen. Die Schüler könnten den Schaltbefehl M6 in seiner vollen Bedeutung oder Funktionalität nicht verstanden haben.

9.3.4 BSP 8 – Logische Programmierung

Im Themenbereich 8 - *Logische Programmierung* wurden die meisten Auffälligkeiten identifiziert. Bei der Analyse ergaben sich folgende vier Unterkategorien, die nachfolgend einer Untersuchung auf mögliche Schülervorstellungen unterzogen werden.

1. Zeitgleiches Verfahren in X-, Y- und Z-Richtung

In der Analyse wurde deutlich, dass Schüler häufig eine gleichzeitige Verfährung entlang der X-, Y- und Z-Achsen wählten. Dies stellt an sich keinen Fehler dar und kann in gewissen Situationen angemessen sein. Allerdings führte diese Vorgehensweise hier oft dazu, dass das Werkzeug unerwünschte Wege durch das Werkstück nahm. Zur Behebung dieses Problems waren mehrere Simulationen erforderlich, begleitet von verschiedenen Ansätzen zur Lösungsfindung.

Es wurde zudem beobachtet, dass die Schüler während der Simulation meist eine Ansicht des Werkstücks verwendeten, in der die CNC-Fräse ausgeblendet und nur die resultierenden Konturen sichtbar waren. Eine tiefere Analyse der Videoaufzeichnungen legt nahe, dass die Schüler scheinbar den Verfahrensweg des Fräasers im Kontext der Konturen nicht vollständig erfassten. Stattdessen schienen sie hauptsächlich den Bearbeitungspunkt zu fokussieren. Ein auffälliges Beispiel ist hierbei Proband 3, der erst nach Umstellung der Simulation auf die vollständige Darstellung der Fräse erkannte, dass es zuerst erforderlich ist, sich nur in der Z-Achse zu bewegen, bevor die X- und Y-Koordinaten angesteuert werden können. Interessanterweise trat dieses Missverständnis hauptsächlich auf, wenn eine Abfahrtsbedingung gewählt wurde und der Übergang zu einer neuen Kontur erfolgte.

Dies zeigt, dass die Schüler möglicherweise der Vorstellung unterlagen, dass der Fräser nach Verlassen einer Kontur durch die Abfahrtsbedingung an einer beliebigen Stelle im Raum positioniert wird, anstelle unmittelbar neben der zuletzt bearbeiteten Kontur zu stehen und dass die neue Kontur exakt am nächsten angegebenen Arbeitspunkt beginnt, ohne den notwendigen Verfahrensweg zu beachten.

Dies würde auch erklären, warum die Schüler in ihren Programmen hauptsächlich Abfahrtsbedingungen und keine Anfahrtsbedingungen verwendeten. Offensichtlich sehen sie die Verwendung einer Abfahrtsbedingung als eine Möglichkeit, die letzten Koordinateneingaben zurückzusetzen, um so einen nahtlosen Beginn einer neuen Kontur oder eines neuen Bearbeitungsschritts zu ermöglichen.

2. Der Mehrfachzyklusaufwurf auf einem Lochkreis entspricht dem Bohrzyklus
Zwei Schüler des 2. Lehrjahres nutzten bei der Programmierung der Zentrierbohrungen ursprünglich nur den Befehl für einen Mehrfachzyklusaufwurf auf einem Lochkreis (G77), ohne zuvor den notwendigen Befehl für einen Bohrzyklus (G81) zu programmieren. Nach einer Simulation konnte der Fehler rasch behoben werden.

Trotz der begrenzten Datengrundlage scheint es so, dass diese Schüler zunächst der Annahme unterlagen, dass der Befehl G77 für den Mehrfachzyklusaufwurf auf einem Lochkreis gleichzeitig den Befehl zur Durchführung der Bohrungen beinhaltet. Es bleibt jedoch unklar, ob diese vermutete Annahme auf bestehende Schülervorstellungen beruht oder lediglich auf einen Fehler zurückzuführen ist.

3. Nach dem Werkzeugwechsel wird automatisch eine geeignete Startposition angesteuert

In den Videoaufzeichnungen ist wiederholt zu beobachten, dass Schüler im 2. Lehrjahr nach einem Werkzeugwechsel für die Bearbeitung der Innenkontur und der Bohrungen keinen geeigneten Startpunkt anfahren, sondern stattdessen die Bearbeitung vom Werkzeugwechselpunkt aus beginnen.

In Verbindung mit den Erkenntnissen aus Abschnitt 9.3.3 Punkt 2: Werkzeugwechsel ohne Schaltbefehl drängt sich die Vermutung auf, dass Schüler im Anfangsunterricht möglicherweise nicht vollständig verstehen, welche Bedeutung ein Werkzeugwechselpunkt hat. Stattdessen scheinen sie der Vorstellung zu unterliegen, dass die CNC-Maschine automatisch nach Abschluss aller Angaben für die Zyklus-Bearbeitung zu einem geeigneten Startpunkt fährt und die Bearbeitung von diesem Punkt aus beginnt. Ein unterstützendes Beispiel für diese

These lässt sich aus dem Verhalten von Proband 3 ableiten. Dieser machte denselben Fehler zweimal. Nachdem er anfangs den Fräser nicht korrekt in Position brachte, um die Tasche zu fräsen, korrigierte er diesen Fehler nach einer Simulation. Allerdings startete er die Bearbeitung der Zentrierbohrungen im folgenden Arbeitsschritt erneut vom Werkzeugwechsellpunkt aus, anstatt Schlussfolgerungen aus den zuvor gemachten Erkenntnissen zu ziehen.

Anscheinend neigen Schüler dazu anzunehmen, dass die Vielzahl der für einen Zyklus erforderlichen Angaben ausreicht, um der Maschine mitzuteilen, wo sie mit der Bearbeitung beginnen soll. Es besteht auch die Möglichkeit, dass die Schüler von den Angaben zur Rückzugsebene und dem Sicherheitsabstand in den Zyklusbefehlen mit optionalen Adressen verwirrt werden. Bedauerlicherweise können diese Vermutungen nicht anhand der aufgezeichneten Videoaufnahmen verifiziert werden.

4. Jeder Satz benötigt die Angabe der Interpolationsart

Eine allgemeine Beobachtung, die bei allen Probanden festgestellt wurde, ist die wiederholte Nennung der jeweiligen Interpolationsart in jedem Satz. Obwohl dies prinzipiell keinen Fehler darstellt, ist dies unnötig, da die Angabe der Interpolationsart solange gültig bleibt, bis sie explizit aufgehoben wird. Das konsequente Nennen der Interpolationsart deutet darauf hin, dass die Schüler die Annahme hegen, dass diese in jedem Satz ausdrücklich genannt werden muss.

10 Beantwortung der Forschungsfrage

Ein Ziel dieser Arbeit war die Erörterung von Schülervorstellungen beim CNC-Programmieren, um im entsprechenden Fachunterricht auf diese eingehen und schlussendlich die Lehre verbessern zu können. Dabei stellten sich folgende Schülervorstellungen heraus:

1. Die Auffassung, dass die Bearbeitung von Rundungen innerhalb einer Kreisinterpolation nur die Angabe des zugehörigen Radius erfordert, jedoch nicht die Festlegung der Endkoordinaten. Letztere muss erst in einem nachfolgenden Satz angegeben werden.
2. Die Überzeugung, dass für den Werkzeugwechsel lediglich die Auswahl des entsprechenden Werkzeugs anhand der Werkzeugnummer ausreicht und kein zusätzlicher Schaltbefehl erforderlich ist.
3. Die Annahme, dass in jedem Satz explizit angegeben werden muss, um welche Art der Interpolation es sich handelt.

Weiterhin ergaben sich zusätzliche Anzeichen für mögliche Schülervorstellungen, die einer eingehenden Untersuchung mit anderen Methoden (z.B. Interviews/Fragebögen) bedürfen, um die präzisen Ursachen und Vorstellungen, die den beobachteten Verhaltensweisen zugrunde liegen, detaillierter zu erforschen. Hierzu gehören:

1. Die scheinbar willkürliche Wahl bzw. das Runden der Schnittwerte auf 500er und 1000er Stellen.
2. Die Vorstellung, dass die Spindel nicht durch einen separaten Schaltbefehl eingeschaltet werden muss, sondern automatisch nach dem Programmstart oder einem Werkzeugwechsel aktiviert wird.
3. Die Annahme, dass die Eingabe einer Abfahrtsbedingung sämtliche Koordinateneingaben zurücksetzt und das Schneidwerkzeug sich irgendwo im Raum befindet. Der Startpunkt für die nächste Bearbeitung wird durch die Eingabe angegeben, und der Verfahrensweg des Schneidwerkzeugs wird nicht weiter beachtet.
4. Die Auffassung, dass der Aufruf des Mehrfachzyklus auf einem Lochkreis gleichzeitig den Befehl für einen Bohrzyklus beinhaltet.

5. Die Überzeugung, dass nach Abschluss aller erforderlichen Angaben für die Ausführung eines Zyklus die CNC-Maschine automatisch einen geeigneten Startpunkt anfährt und mit der Bearbeitung beginnt.

Es ist anzumerken, dass aufgrund der begrenzten Teilnehmerzahl diese Untersuchung zu den Schülervorstellungen wenig repräsentativ ist.

11 Fazit

Die Untersuchung und Erforschung von Schülervorstellungen erwies sich als ein langwieriger Prozess, der innerhalb eines begrenzten Zeitrahmens von sechs Monaten bzw. in Fällen, in denen auf Genehmigungen gewartet werden musste, innerhalb von zwei Monaten, kaum vollständig abgeschlossen werden konnte. Es wurde offensichtlich, dass die Identifizierung von Schülervorstellungen nicht allein durch ein Datenerhebungsverfahren erreicht werden kann. Die in dieser Arbeit durchgeführte Videographie lieferte zwar Indizien für mögliche Schülervorstellungen in bestimmten Bereichen, konnte diese jedoch nicht abschließend bestätigen.

Für eine umfassende Untersuchung und Bestätigung dieser Indizien wären ergänzende mündliche oder schriftliche Datenerhebungsverfahren erforderlich gewesen. Bedauerlicherweise stand für eine solche vertiefende Untersuchung nicht genügend Zeit zur Verfügung. Daher stellt diese vorliegende Arbeit eine Grundlage für zukünftige Forschungen zur Bestimmung von Schülervorstellungen beim CNC-Fräsen dar.

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben mich dazu angeregt, mich intensiver und eingehender mit diesem Thema zu beschäftigen. Ursprünglich ging ich davon aus, dass aufgrund mangelnder Erfahrungen der Schüler im Bereich der CNC-Maschinen und allgemein der Programmierung vor dem entsprechenden Lernfeld nur wenige Auffälligkeiten oder Vorstellungen beobachtet werden können. Mein Gedanke war, dass Schüler aufgrund der begrenzten Vernetzung von Alltäglichen Sachverhalten mit den CNC-Maschinen bzw. der Programmiersprache, nur sehr wenige Vorstellungen zu diesem Thema haben könnten.

Falls sich in Zukunft die Gelegenheit ergibt, möchte ich, in meinen eigenen Unterrichtsstunden zu CNC-Maschinen und deren Programmierung verschiedene Strategien entwickeln und erproben, um die drei im Kapitel 10 identifizierten Schülervorstellungen zu begegnen. Des Weiteren möchte ich, weiteren Hinweisen nachgehen.

Literaturverzeichnis

Ausubel, David P. (Hg.) (1968): Educational Psychology: A Cognitive View.
New York: Holt, Rinehart and Winston.

Braun, Herwig; Dobler, Hans-Dieter; Doll, Werner; Fischer, Ulrich et al. (1999):
Fachkunde Metall. 53., überarb. Aufl., Dr. 3 (Europa-Fachbuchreihe für me-
talltechnische Berufe). Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel Nourney Voll-
mer.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019): PISA - internationale
Schulleistungsstudie. URL: https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/bildung-im-schulalter/pisa-internationale-schulleistungsstudie/pisa-internationale-schul-leistungsstudie_node.html, Stand: 25.08.2023.

Chedi, Jamilu Mustapha (2015): TECHNICAL DRAWING/ GRAPHIC SKILLS
ACQUISITION FOR TEACHING AND LEARNING AND CHALLENGES IN
TECHNOLOGY EDUCATION. In: ATBU, Journal of Science, Technology &
Education (JOSTE) 3 (3). URL: https://www.researchgate.net/publication/307971425_TECHNICAL_DRAWING_GRAPHIC_SKILLS_ACQUISITION_FOR_TEACHING_AND_LEARNING_AND_CHALLENGES_IN_TECHNOLOGY_EDUCATION, Stand: 20.09.2023.

Denk, Catharina Anna (2019): Lernförderliche Methoden für einen Conceptual
Change von Schülervorstellungen zum Aufbau der Erde. Dissertation. Uni-
versität Bayreuth, Bayreuth. Professur Didaktik der Geographie. URL:
<https://d-nb.info/1187335649/34>, Stand: 25.08.2023.

Deutsches Institut für Normungen e.V. DIN 66025, Januar 1983: Programmauf-
bau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
URL: <https://nautos-de.wwwdb.dbod.de/O9G/search/item-detail/DE18208579>, Stand: 15.08.2023.

Dudung, A.; Nurhidayat, D.; Yuliatmojo, P. (2019): The influence of engineering
students numerical reasoning on the academic achievement of Computer
Numerical Control (CNC) course. In: J. Phys.: Conf. Ser. 1402 (4), S. 44053.
DOI: 10.1088/1742-6596/1402/4/044053.

- Duit, Reinders (1995): Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. In: Zeitschrift für Pädagogik 41 (6), S. 905–924. URL: https://www.pedocs.de/volltexte/2015/10536/pdf/ZfPaed_1995_6_Duit_Zur_Rolle_der_konstruktivistischen_Sichtweise.pdf, Stand: 25.08.2023.
- Eisewicht, Paul; Nowodworski, Pao; Scheurer, Christian; Steinmann, Nico (2018): Seeing is Believing!? In: Christine Moritz und Michael Corsten (Hg.): Handbuch Qualitative Videoanalyse (Handbuch). Wiesbaden, Heidelberg: Springer VS, S. 305–331. URL: <https://link-springer-com.wwwdb.dbod.de/book/10.1007/978-3-658-15894-1>, Stand: 10.10.2023.
- Gomeringer, Roland; Kilgus, Roland; Menges, Volker; Oesterle, Stefan et al. (2019): Tabellenbuch Metall. Mit Formelsammlung. 48., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel.
- Gropengießer, Harald; Marohn (2018): Schülervorstellungen und Conceptual Change. In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (Lehrbuch). Berlin: Springer, S. 49–67.
- Hartinger, Andreas; Murmann, Lydia (2018): Schülervorstellungen erschließen - Methoden, Analyse, Diagnose. In: Marco Adamina, Markus Kübler, Katharina Kalcsics, Sophia Bietenhard und Eva Engeli (Hg.): „Wie ich mir das denke und vorstelle...“. Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, S. 51–63.
- Hehenberger, Peter (2020): Computerunterstützte Produktion. Eine kompakte Einführung. 2. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. URL: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1642604>.
- Kattmann, Ulrich; Duit, Reinders; Gropengießer, Harald; Komorek, Michael (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 3 (3), S. 3–18. URL: <https://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/jg3h3.htm>, Stand: 25.08.2023.

- Kief, Hans B.; Roschiwal, Helmut A.; Schwarz, Karsten (Hg.) (2020): CNC-Handbuch. CNC, DNC, CAD, CAM, FFS, SPS, RPD, LAN, CNC-Maschinen, CNC-Roboter, Antriebe, Energieeffizienz, Werkzeuge, Industrie 4.0, Fertigungstechnik, Richtlinien, Normen, Simulation, Fachwortverzeichnis. Carl Hanser Verlag. 31., überarbeitete Auflage (Hanser eLibrary). München: Hanser. URL: <https://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446465244>.
- Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund; Fischer, Hans Ernst (Hg.) (2020): Physikdidaktik. Grundlagen. Springer Spektrum. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Kubinger, Klaus D. (2009): Psychologische Diagnostik. Theorie und Praxis psychologischen Diagnostizierens. 2., überarb. und erw. Aufl. Göttingen: Hogrefe. URL: http://sub-hh.ciando.com/book/?bok_id=35218.
- Kultusministerkonferenz (25.03.2004a): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriemechaniker/Industriemechanikerin. KMK, vom 23.02.2018. URL: <https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/Industriemechaniker-IH04-03-25-idf-18-02-23.pdf>, Stand: 20.05.2023.
- Kultusministerkonferenz (25.03.2004b): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Werkzeugmechaniker/Werkzeugmechanikerin. KMK, vom 23.02.2018. URL: <https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/Werkzeugmechaniker-IH04-03-25-idF-18-02-23.pdf>, Stand: 20.05.2023.
- Kultusministerkonferenz (25.03.2004c): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Zerspanungsmechaniker/Zerspanungsmechanikerin. KMK, vom 23.02.2018. URL: <https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/Zerspanungsmechaniker-IH04-03-25-idf-18-02-23.pdf>, Stand: 20.05.2023.
- Kurniawan, Reynaldo; S. Wijanarka, Bernardus (2023): Analysis of the Ability to Develop CNC Machine Part Programs for Vocational High School Students in Indonesia. In: EJEDU 4 (4), S. 59–63. DOI: 10.24018/ejedu.2023.4.4.715.

- Möller, Kornelia (2018): Die Bedeutung von Schülervorstellungen für das Lernen im Sachunterricht. In: Marco Adamina, Markus Kübler, Katharina Kalcsics, Sophia Bietenhard und Eva Engeli (Hg.): „Wie ich mir das denke und vorstelle...“. Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, S. 35–50.
- Nepper, Hannes Helmut; Hecher, Nicole; Ruch, Armin; Goreth Sebastian: Technische Vorstellungswelten von Schüler/innen Roboter, roboterähnliche Maschinen und textile Wertschöpfungsketten. In: MNU Journal, 01/2021, S. 72–78. URL: https://tec-edu.net/site/assets/files/1071/mnu_01-2021_072-078-1.pdf, Stand: 25.09.2023.
- OECD: Deutschlands PISA-Schock. URL: <https://www.oecd.org/ueber-uns/erfolge/deutschlands-pisa-schock.htm>, Stand: 25.08.2023.
- OECD (2020): Bildung auf einen Blick 2020. OECD-Indikatoren. URL: https://read.oecd-ilibrary.org/education/bildung-auf-einen-blick-2020-oecd-indikatoren_6001821nw#page1, Stand: 25.08.2023.
- Ruch, Armin; Nepper, Hannes Helmut (2022): Die Behandlung von NC-Code im Technikunterricht. In: technik-education - Fachzeitschrift für Unterrichtspraxis und Unterrichtsforschung im allgemeinbildenden Technikunterricht (3), S. 11–19. URL: https://www.researchgate.net/publication/361902395_Die_Behandlung_von_NC-Code_im_Technikunterricht_Grundlagen_der_Programmierung_und_Umsetzungsmoglichkeiten, Stand: 28.08.2023.
- Schecker, Horst; Wilhelm, Thomas; Hopf, Martin; Duit, Reinders; Fischler, Helmut; Haagen-Schützenhöfer, Claudia et al. (Hg.) (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Spektrum (Lehrbuch). Berlin: Springer Spektrum.
- Werther, Judith (2016): Evolutionstheorie und naturwissenschaftliche Grundbildung. Dissertation. Verlag Julius Klinkhardt.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, John Willam, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe und dass alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, durch Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht wurden.

Dresden, den 06.11.2023

John Willam

Anhang

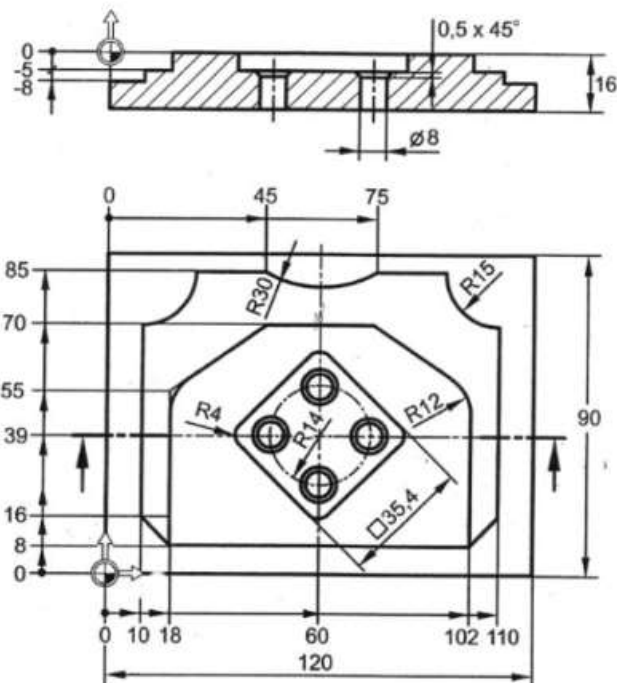
A Aufgabenblatt Schüler

Aufgabe – Schülervorstellungen beim CNC-Programmieren

Das auf der Zeichnung dargestellte Werkstück ist auf einer CNC-Senkrechtfräsmaschine zu fertigen. Erstellen Sie für die Fertigung ein entsprechendes CNC-Programm.

Für die Fertigung gelten folgende Bedingungen:

- Die Programmierung erfolgt nach DIN 66025 bzw. PAL 2007
- Alle Schnittdaten für S235JRG2 entsprechen den PAL-Vorgaben
- Die Werkstückkonturen sind im Gleichlauf zu fräsen
- Der Werkzeugwechsellpunkt liegt bei X150 Y150 Z100
- Der Bogen mit dem Radius R 30 mm soll mit den Koordinaten I und J bearbeitet werden.
- Die anderen Bögen können Sie nach Ihrer Wahl programmieren



	Arbeitsschritte	Werkzeuge	Station	v_c [m/min]	F [mm/min]
1.		Ø 25 mm	T2	35	100
2.		Ø 25 mm	T2	35	100
3.		Ø 8 mm	T7	35	12 / 25
4.		Ø 12 mm	T1	30	100
5.		Ø 8 mm	T10	30	150

Quelle: Arbeitsheft SYMplus Fräsen 5.1, S.75

B Musterlösung des CNC-Frästeils

Musterlösung CNC - Frästeil													zusätzliche Angaben		M
	G	X	Y	Z	I	J									
N1	54												T2		6
N2															
N3													F100 S440		3
N4	0	0	-15	1											
N5	1			-8											
N6	41 45	10	16										D10		
N7	1		70												
N8	3	25	85		0	15									
N9	1	45													
N10	3	75	85		15	25,981									
N11	1	95													
N12	3	110	70		15	0									
N13	1		16												
N14		102	8												
N15		18													
N16		10	16												
N17	40 46												D10		
N18	1			-5											
N19	0	-5	-5												
N20	41 45	18	8												
N21	1		55										RN12		
N22		45	70												
N23		75													
N24		102	55										RN12		
N25			8												
N26	40 46												D10		
N27	0			100											
N28		150	150												
N29													T7		6
N30													F25 S1395		3

zusätzliche Angaben										M
	G	X	Y	Z	I	J				
N31	72						ZA-5 LP35,4 BP35,4 D3 V2			
N32	79	60	39	0			AR45			
N33	1			1						
N34	0	150	150	100						
N35							T1			6
N36							F100 S800			3
N37	0	60	39	1						
N38	81						Z-4 V1			
N39	77						IA60 JA39 Z-5 R14 AN0 A190 O4			
N40	1			1						
N41	0	150	150	100						
N42							T10			6
N43							F150 S1200			3
N44	81						ZA-20 V1			
N45	23						N39			
N46	1			1						
N47	0	150	150	100						
N48										30

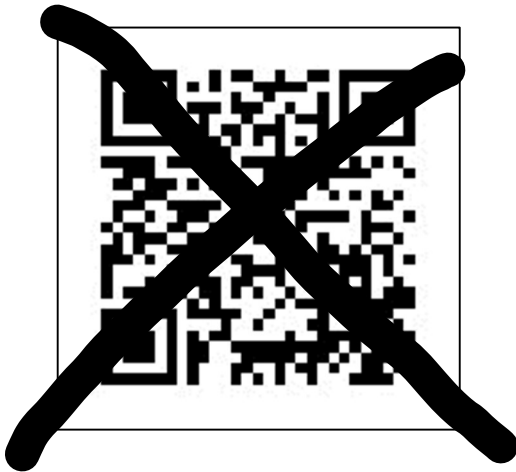
C Aufgezeichnete Schülerlösungen

Die Bildschirmaufnahmen der Schüler (Probanden 1 bis 6) sind auf dem beiliegenden USB-Stick verfügbar oder können über den folgenden Hyperlink bzw. QR-Code eingesehen werden:

[Redacted URL]

oder

[Redacted URL]



Passwort: [Redacted Password]

Achtung! Der Hyperlink und QR-Code sind nur bis zum 31.01.2024 freigeschalten.

D Schriftliche Schülerlösungen

In diesem Kapitel sind die von den Schülern entwickelten Programme dargestellt, bei denen aus technischen Ursachen die Aufzeichnung des Bildschirms nicht erfolgreich war.

Proband 7

```
63 ; Nullpunktregister
64 ; Nullpunkt G54: XP-60 YP-45 ZP16 X340 Y255 Z181 NT1
65 ;
66 ; Einrichtblatt-Ende
67 N10 G54
68 N15 X150 Y150 Z100
69 N15 T7 G97 S500 G94 F500 M3
70 N20 G0 X-15 Y-15
71 N25 G0 Z-8
72 N30 G41 X10
73 N35 G1 X10 Y70
74 N35 G3 X25 Y85 R15
75 N40 G1 X45
76 N45 G3 X75 Y85 I15 J25.980
77 N50 G1 X95
78 N55 G3 X110 Y70 R15
79 N60 G1 Y16
80 N65 G1 X102 Y8
81 N70 G1 X18
82 N75 G1 X10 Y16
83 N80 G1 Y20
84 N85 G1 X-40
85 N90 G1 Y-40
86 N95 G1 X18
87 N100 G1 Z-5
88 N105 G1 X18 Y55 R12
89 N110 G1 G1 X45 Y70
90 N115 G1 X75
91 N120 G1 X102 Y55 R12
92 N125 G1 Y-40
93 N130 G40
```

Proband 8

```

18 ; Werkzeugsystem
19 ; Werkzeugliste
20 ; T01: "SK40/SchlichtF HSS k/SLF HSS-k 12x26(83) R_SZF-40 ER25x60"
21 ; T02: "SK40/SchlichtF HSS k/SLF HSS-k 25x45(121) R_SZF-40 ER40x70"
22 ; T07: "SK40/SpiralBo HSS k/SPIB0 HSS-k 8.2x75(117) R_SZF-40 ER16x60"
23 ; T10: "SK40/SchlichtF HSS k/SLF HSS-k 8x19(69) R_SZF-40 ER25x60"
24 ; Aktives Werkzeug: T01
25 ;
26 ; Werkzeugkorrekturwertliste
27 ; T01 TC1: TT340 KR006.000 KZ+108.100 NZ4 SL26 AE90
28 ; T02 TC1: TT340 KR012.500 KZ+145.100 NZ5 SL45 AE90
29 ; T07 TC1: TT230 KR004.100 KZ+138.000 NZ2 DB8.2 Ds8.2 Aw118
30 ; T07 TC2: TT230 KR004.100 KZ+135.598 NZ2 DB8.2 Ds8.2 Aw118
31 ; T07 TC3: TT230 KR004.100 KZ+138.062 NZ2 DB8.2 Ds8.2 Aw118
32 ; T10 TC1: TT340 KR004.000 KZ+094.100 NZ4 SL19 AE90
33 ;
34 ; Nullpunktregister
35 ; Nullpunkt G54: XP-60 YP-45 ZP16 X340 Y255 Z181 NT1
36 ;
37 ; Einrichtblatt-Ende
38 N10 G54
39 N15 T2 S445 F100 M3
40 N20 G0 X-30 Y-30 Z2
41 N25 G41
42 N25 G1 Z-8
43 N30 G1 X10
44 N35 G1 Y70
45 N40 G3 Y85 X25 R15
46 N45 G1 X45
47 N50 G3 X75 IA60 JA125
48 N55 G1 X95
49 N60 G3 X110 Y70 R15
50 N65 G1 Y16
51 N70 G1 X102 Y8
52 N75 G1 X18
53 N80 G1 X8 Y16
54 N85 G1 Y50
55 N90 G1 Z2
56 N95 G40
57 N100 T7 S1392 F1

```

Proband 9

```

18 ; Werkzeugsystem
19 ; Werkzeugliste
20 ; T01: "SK40\SchlichtF HSS k\SLF HSS-k 12x26(83) R_SZF-40 ER25x60"
21 ; T02: "SK40\SchlichtF HSS k\SLF HSS-k 25x45(121) R_SZF-40 ER40x70"
22 ; T07: "SK40\SpiralBo HSS k\SPIBO HSS-k 8x75(117) R_SZF-40 ER25x60"
23 ; T10: "SK40\SchlichtF HSS k\SLF HSS-k 8x19(69) R_SZF-40 ER25x60"
24 ; Aktives Werkzeug: T01
25 ;
26 ; Werkzeugkorrekturwertliste
27 ; T01 TC1: TT0340 KR006.000 KZ+108.100 NZ4 SL26 DB12 Ds12 Aw90 AE90
28 ; T02 TC1: TT0340 KR012.500 KZ+145.100 NZ5 SL45 DB25 Ds25 Aw90 AE90
29 ; T07 TC1: TT2301 KR004.000 KZ+138.000 NZ2 SL75 DB8 Ds8 Aw118
30 ; T07 TC2: TT2302 KR004.000 KZ+135.657 NZ2 SL75 DB8 Ds8 Aw118
31 ; T07 TC3: TT2303 KR004.000 KZ+138.060 NZ2 SL75 DB8 Ds8 Aw118
32 ; T10 TC1: TT0340 KR004.000 KZ+094.100 NZ4 SL19 DB8 Ds10 Aw90 AE90
33 ;
34 ; Nullpunktregister
35 ; Nullpunkt G54: XP-60 YP-45 ZP16 X340 Y255 Z181 NT1
36 ;
37 ; Einrichtblatt-Ende
38 N10 G54
39 N15 T2 S445 F100 M13
40 N20 G0 X-30 Y-30 Z2
41 N25 G1 Z-5
42 N25 G41 X18 Y0
43 N30 Y55 R12
44 N35 X45 Y70
45 N40 X75
46 N45 X102 Y55 R12
47 N50 Y-30
48 N55 G0 X-30 Z-8
49 N60 G41 G1 X10 Y-5
50 N65 Y70
51 N70 G3 X25 Y85 R15
52 N75 G1 X45
53 N80 G3 X75 Y85 R30
54 N85 G1 X95
55 N90 G3 X110 Y70 R15
56 N95 G1 Y16
57 N100 X102 Y8
58 N105 X18
59 N110 X10 Y16
60 N115 G40 G0 X-50 Y-50 Z5
61 N120 T10 S1193 F150 M13
62 N125 G72 ZI-5 LP35.4 BP35.4 D2.5 V2 RN4 Q2
63 N130 G79 X60 Y39 Z1 AR45
64 N135 T7 S1392 F20 M13
65 N140 G81 ZI-25 V2
66 N145 G77 R14 AN0 AI90 Q4 IA60 JA39 Z1
67 N150 G79 X60 Y39 Z2
68 N155 G0 Z30 M30

```

Proband 10

```

20 ; T01: "SK40\NC-AnBo\NCAB0-90 12x30(102) R_SZF-40 ER25x60" 0000FF
21 ; T02: "SK40\SchlichtF HSS k\SLF HSS-k 25x45(121) R_SZF-40 ER40x70"
22 ; T07: "SK40\SchlichtF HSS k\SLF HSS-k 8x19(69) R_SZF-40 ER25x60" 00FF00
23 ; T10: "SK40\SpiralBo HSS k\SPIB0 HSS-k 8x75(117) R_SZF-40 ER25x60"
24 ; Aktives Werkzeug: T01
25 ;
26 ; Werkzeugkorrekturwertliste
27 ; T01 TC1: TT2201 KR006.000 KZ+127.250 NZ2 SL30 DB12 Ds12 Aw90
28 ; T01 TC2: TT2202 KR006.000 KZ+127.100 NZ2 SL30 DB12 Ds12 Aw90
29 ; T01 TC3: TT2203 KR006.000 KZ+121.250 NZ2 SL30 DB12 Ds12 Aw90
30 ; T02 TC1: TT0340 KR012.500 KZ+145.100 NZ5 SL45 DB25 Ds25 Aw90 AE90
31 ; T07 TC1: TT0340 KR004.000 KZ+094.100 NZ4 SL19 DB8 Ds10 Aw90 AE90
32 ; T10 TC1: TT2301 KR004.000 KZ+138.000 NZ2 SL75 DB8 Ds8 Aw118
33 ; T10 TC2: TT2302 KR004.000 KZ+135.657 NZ2 SL75 DB8 Ds8 Aw118
34 ; T10 TC3: TT2303 KR004.000 KZ+138.060 NZ2 SL75 DB8 Ds8 Aw118
35 ;
36 ; Nullpunktregister
37 ; Nullpunkt G54: XP-60 YP-45 ZP16 X340 Y255 Z181 NT1
38 ;
39 ; Einrichtblatt-Ende
40 N10 G54
41 N15 T2 S445 F100 M3
42 N20 G0 X-30 Y-30 Z2
43 N25 G41
44 N30 G1 Z-8
45 N35 G1 X10
46 N40 G1 Y70
47 N45 G3 Y85 X25 R15
48 N50 G1 X45
49 N55 G3 X75 IA60 JA125
50 N60 G1 X95
51 N65 G3 X110 Y70 R15
52 N70 G1 Y16
53 N75 G1 X102 Y8
54 N80 G1 X18
55 N85 G1 X8 Y16
56 N90 G1 Y50
57 N95 G1 Z2
58 N125 G40
59 N130 T7 S1392 F100 M3
60 N135 G72 ZA-5 LP35.4 BP35.4 D2 V5 RN4
61 N135 G79 XA60 YA39 ZA0 AR45
62 N140 T1 S1000 F0.2 M3
63 N145 G81 ZA-9.5 V5
64 N150 G77 R14 AN0 AI90 04 IA60 JA39 ZA0
65 N145 T10 S1193 F0.2 M3
66 N150 G81 ZA-19 V5
67 N150 G23 N150 N150
68 N155 T2 S445 F100 M3
69 N160 G0 X0 Y-30 Z2
70 N165 G41
71 N170 G1 Z-5
72 N175 G1 X18
73 N180 G1 Y55 RN12
74 N185 G1 X45 Y70
75 N190 G1 X75
76 N195 G1 X102 Y55 RN12
77 N200 G1 Y8
78 N205 G1 X60
79 N210 G1 Z2
80 N215 G40
81 N205 M30

```

Proband 11

```
63 ; Nullpunktregister
64 ; Nullpunkt G54: XP-60 YP-45 ZP16 X340 Y255 Z181 NT1
65 ;
66 ; Einrichtblatt-Ende
67 N10 G54
68 N15 X150 Y150 Z100
69 N15 T7 G97 S500 G94 F500 M3
70 N20 G0 X-15 Y-15
71 N25 G0 Z-8
72 N30 G41 X10
73 N35 G1 X10 Y70
74 N35 G3 X25 Y85 R15
75 N40 G1 X45
76 N45 G3 X75 Y85 I15 J25.980
77 N50 G1 X95
78 N55 G3 X110 Y70 R15
79 N60 G1 Y16
80 N65 G1 X102 Y8
81 N70 G1 X18
82 N75 G1 X10 Y16
83 N80 G1 Y20
84 N85 G1 X-40
85 N90 G1 Y-40
86 N95 G1 X18
87 N100 G1 Z-5
88 N105 G1 X18 Y55 R12
89 N110 G1 G1 X45 Y70
90 N115 G1 X75
91 N120 G1 X102 Y55 R12
92 N125 G1 Y-40
93 N130 G40
```

Proband 12

```

19 ; Werkzeugliste
20 ; T01: "SK40|NC-AnBo|NCAB0-90 12x30(170) R_SZF-40 ER25x60"
21 ; T02: "SK40|SchruppschlichtF gefast|SRSLF 25 0.5 45(121) 3 HSS R_SZF-40 ER40x70"
22 ; T03: "SK40|SchruppschlichtF gefast|SRSLF 25 0.5 45(121) 3 HSS R_SZF-40 ER40x70"
23 ; T07: "SK40|Schaftfräser VHM|SF VHM 8x19(63) R_SZF-40 ER25x60"
24 ; T10: "SK40|SpiralBo HSS k|SPIBO HSS-k 8x75(117) R_SZF-40 ER25x60"
25 ; Aktives Werkzeug: T01
26 ;
27 ; Werkzeugkorrekturwertliste
28 ; T01 TC1: TT2201 KR006.000 KZ+195.250 NZ2 SL30 DB12 Ds12 Aw90
29 ; T01 TC2: TT2202 KR006.000 KZ+195.100 NZ2 SL30 DB12 Ds12 Aw90
30 ; T01 TC3: TT2203 KR006.000 KZ+189.250 NZ2 SL30 DB12 Ds12 Aw90
31 ; T02 TC1: TT0340 KR012.500 KZ+152.500 NZ3 SL45 DB25 Ds25 Aw90 AE90
32 ; T03 TC1: TT0340 KR012.500 KZ+152.500 NZ3 SL45 DB25 Ds25 Aw90 AE90
33 ; T07 TC1: TT0340 KR004.000 KZ+088.100 NZ3 SL19 DB8 Ds8 Aw90 AE90
34 ; T10 TC1: TT2301 KR004.000 KZ+138.000 NZ2 SL75 DB8 Ds8 Aw118
35 ; T10 TC2: TT2302 KR004.000 KZ+135.657 NZ2 SL75 DB8 Ds8 Aw118
36 ; T10 TC3: TT2303 KR004.000 KZ+138.060 NZ2 SL75 DB8 Ds8 Aw118
37 ;
38 ; Nullpunktregister
39 ; Nullpunkt G54: XP-60 YP-45 ZP16 X340 Y255 Z184 NT1
40 ;
41 ; Einrichtblatt-Ende
42 N10 G54
43 N15 T2 S2500 F500 M13
44 N20 G0 Z-5 X-10 Y-10
45 N25 G41 G1 X18
46 N30 Y0
47 N30 X18
48 N30 Y55 R12
49 N35 Y70 X45
50 N40 X75
51 N45 X102 Y55
52 N50 Y8
53 N55 X0
54 N60 G40
55 N60 T3 S5000 F500 M13
56 N65 G0 Z-8 X-10 Y-10
57 N70 G41 G1 X18 Y8
58 N75 X10 Y16
59 N70 Y70
60 N75 G3 Y85 X25 R15
61 N80 G1 X45
62 N85 G3 X75 Y85 R30
63 N90 G1 X95
64 N95 G3 X110 Y70 R15
65 N95 G1 Y16
66 N100 Y8 X102
67 N70 X0
68 N75 G40
69 N75 T7 S800 F70 M13
70 N80 G0 Z1 X60 Y39
71 N85 G1
72 N90 G72 ZA-5 LP35.4 BP35.4 D3 V1 RN4
73 N85 G79 X60 Y39 Z0 AR45
74 N90 T1 S8000 F100 M13
75 N95 G81 ZA-9.25 V2
76 N105 G77 Z0 R14 AN0 AI90 04 IA60 JA39
77 N95 T10 S5000 F100 M13
78 N100 G81 ZA-20 V2
79 N105 G77 Z0 R14 AN0 AI90 04 IA60 JA39
80 N110 Z500

```

Proband 13

```
68 ; Nullpunktregister
69 ; Nullpunkt G54: XP-60 YP-45 ZP16 X340 Y255 Z180 NT1
70 ;
71 ; Einrichtblatt-Ende
72 N10 G54
73 N15 G90
74 N20 T7 TC1 M6
75 N25 S500 F100 M3
76 N30 G0 Z1
77 N35 G0 X10 Y-30
78 N40 G1 Z-8
79 N45 G41
80 N50 G1 Y70
81 N55 G3 X25 Y85 I0 J15
82 N60 G1 X45
83 N65 G3 X75 Y85 I15 J25.98
84 N70 G1 X95
85 N75 G3 X110 Y70 I15 J0
86 N80 G1 Y16
87 N85 X102 Y8
88 N90 X18
89 N95 X10 Y16
90 N95 G1 Z1
91 N100 G40
92 N100 G0 X150 Y150 Z100
93 N105 G0 Z1
94 N110 X18 Y-30
95 N115 G41
96 N120 G1 Z-5
97 N125 Y55 R12
98 N130 X45 Y70
99 N135 X75
100 N140 X102 Y55 R12
101 N145 Y-30
102 N150 G1 Z1
103 N155 G40
104 N160 G0 X150 Y150 Z100
105 N165 T12 TC1 M6
106 N170 S1400 F100 M3
107 N175 G72 ZA-5 LP35.4 BP35.4 D2 V2 RN4 AK0.5 AE45
108 N180 G79 X0 Y0
109 N180 G1 Z1
110 N185 G0 X100 Y100 Z150
111 N190 T1 TC1 M6
112 N195 S1500 F100 M3
113 N200 G81 ZA-5.5 V2
114 N205 G77 R14 AN90 AI90 04 Z0 Q1
115 N210 G1 Z1
116 N215 G0 X100 Y100 Z150 M30
117 N220 T17 TC1 M6
118 N225 S800 F100 M3
119 N230 G81 ZA-17.5 V2
120 N205 G77 R14 AN90 AI90 04 Z0 Q1
121 N210 G1 Z1
122 N215 G0 X100 Y100 Z150 M30
```

Proband 14

```

41 ; Nullpunktregister
42 ; Nullpunkt G54: XP-60 YP-45 ZP16 X340 Y255 Z179 NT1
43 ;
44 ; Einrichtblatt-Ende
45 N10 G54
46 N15 T2 S445 F100 M3
47 N20 G0 X20 Y-30
48 N25 G0 Z2
49 N30 G1 Z-8
50 N35 G41 G47 X20 Y8 R15
51 N40 G1 X18
52 N45 G1 X10 Y16
53 N50 G1 Y70
54 N55 G3 X18 Y85 R15
55 N60 G1 X45
56 N65 G3 X75 Y85 R30
57 N70 G1 X95
58 N75 G3 X110 Y70 R15
59 N80 G1 Y16
60 N85 G1 X102 Y8
61 N90 G1 X15
62 N95 G40 G48 X20 Y-30 R15
63 N100 T2 S1000 F100 M3
64 N105 G0 Z2
65 N110 G1 Z-5
66 N100 G1 X20 Y-30
67 N105 G41 G47 X20 Y8 R15
68 N110
69 N110 G1 X18
70 N115 G1 Y52
71 N120 G2 X21 Y58 R12
72 N125 G1 X45 Y70
73 N130 G1 X75
74 N135 G1 X99 Y61
75 N140 G2 X102 Y52 R12
76 N145 G1 Y8
77 N150 G1 X20
78 N155 G40 G48 X20 Y-30 R15
79 N160
80 N100 T7 S1000 F100 M3
81 N105 G1 X60 Y39
82 N105 G72 ZA-5 LP35.4 BP35.4 D3 V5 RN4 O2 H14 M0
83 N95 G79 XA60 YA39 Z0 AR45
84 N100
85 N100 T4 S2000 F100 M3
86 N105 G77 R7 AN0 AI90 O4 IA60 JA39 ZA0
87 N110 G79 XA60 YA39 ZA0
88 N115
89 N105 T12 S2000 F100 M3
90 N110 G23 N105 N110
91 N115 M30

```