



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Sprachliche Optimierungen mathematischer Textaufgaben durch künstliche
Intelligenz

verfasst von | submitted by

Hanna Leitner BEd

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2026

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 199 506 520 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Deutsch Unterrichtsfach Mathematik

Betreut von | Supervisor:

Mag. Dr. Andreas Ulovec

Abstract (deutsche Version)

Mathematische Textaufgaben stellen neben den mathematischen auch sprachlichen Anforderungen. Letztere sind für viele Schüler:innen eine Herausforderung, weswegen der sprachensible Unterricht sprachliche Kompetenzen fördert. Seit einigen Jahren gewinnt die künstliche Intelligenz an Bedeutung und kann auch als Chance für den sprachsensiblen Unterricht gesehen werden. Diese Arbeit untersucht, inwiefern künstliche Intelligenz zur Reduktion sprachlicher Hürden in mathematischen Textaufgaben beitragen kann. Dabei wird ein Vergleich zwischen traditionellen Textaufgaben aus herkömmlichen Schulbüchern und generierten Versionen von ChatGPT gezogen. Mit Hilfe eines Fragebogens werden die Wahrnehmungen der Schüler:innen zur Sprache ersichtlich. Die Untersuchung erfolgt in der Sekundarstufe I an einem Wiener Gymnasium und zeigt, dass die generierten mathematischen Textaufgaben als übersichtlicher, einfacher lesbar und weniger überfordernd wahrgenommen werden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass dadurch das Verständnis der beschriebenen Situation unterstützt wird und auch die visuelle Strukturierung unterstützt den Verstehensprozess. Mathematische Fachbegriffe, Operatoren sowie Alltags- und Kontextbegriffe stellen jedoch weiterhin eine sprachliche Hürde dar. Folglich erleichtern die sprachlichen Optimierungen den Zugang zu mathematischen Textaufgaben insbesondere durch die Übersichtlichkeit, Lesbarkeit und Orientierung. Eine fachliche und didaktische Prüfung der sprachlichen Optimierungen der künstlichen Intelligenz ist in einem sprachsensiblen Mathematikunterricht jedoch unerlässlich.

Abstract (English version)

Mathematical word problems present learners with mathematical and linguistic challenges. The language challenges are difficult for many learners, which is why language-sensitive teaching supports languages skills. Artificial intelligence has been gaining in importance for several years now and can also be seen as an opportunity for language-sensitive teaching. This study looks at the role artificial intelligence can play in reducing linguistic barriers in mathematical word problems. Therefore, this study contrasts traditional word problems from school textbooks with versions generated by ChatGPT. A questionnaire is used to reveal how students feel about the language of both versions. The study has been performed at a Viennese grammar school and shows that students perceive the generated maths word problems as clearer, easier to read and less overwhelming. The results show that this aids the understanding of the situation described, and that the visual structuring also supports the comprehension process. However, mathematical terminology, operators and contextual terms continue to present a linguistic hurdle. Therefore, the linguistic optimisations help to make mathematical word problems more accessible, particularly through their clarity, readability and ease of navigation. However, a technical and pedagogical assessment of the linguistic optimisations of artificial intelligence is important in language-sensitive maths lessons.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Theoretischer Teil	5
2.1	Mathematische Textaufgaben im schulischen Kontext	6
2.2	Sprache im Mathematikunterricht	7
2.3	Sprachliche Anforderungen und Schwierigkeiten.....	11
2.4	Verständlichkeit mathematischer Textaufgaben	16
2.5	Sprachsensibler Unterricht – Fördermaßnahmen	19
2.6	konventionelle sprachliche Fördermaßnahmen im Mathematikunterricht	21
2.7	Weitere Förderangebote für die Verständlichkeit von mathematischen Textaufgaben	26
2.8	Künstliche Intelligenz im Bildungsbereich	27
2.8.1	Entstehungsgeschichte der Künstlichen Intelligenz	27
2.8.2	ChatGPT im Detail.....	28
2.8.3	Versionen von ChatGPT	30
2.8.4	Prompt Engineering	30
2.8.5	Didaktik und ChatGPT	33
2.9	Potenziale und Herausforderungen von künstlicher Intelligenz bei mathematischen Textaufgaben	35
2.10	Einblicke in die Verwendung Künstlicher Intelligenz für die Unterrichtsplanung	39
3	Methodik.....	42
3.1	Forschungsdesign.....	42
3.2	Stichprobe.....	43
3.3	Erhebungsinstrument.....	44
3.4	Untersuchungsmaterial.....	46
3.5	Durchführung der Untersuchung	49
3.6	Auswertungsmethode	50
3.7	Hypothesengeleitete Auswertung	51
4.	Empirischer Teil.....	52
4.1	erste Hypothese.....	52
4.1.1	Analyse erste Hypothese	52
4.1.2	Interpretation erste Hypothese	58
4.2	zweite Hypothese.....	63
4.2.1	Analyse zweite Hypothese	63
4.2.2	Interpretation zweite Hypothese	68
4.3	dritte Hypothese	73
4.3.1	Analyse dritte Hypothese.....	73

4.3.2	Interpretation dritte Hypothese.....	77
4.4	vierte Hypothese.....	81
4.4.1	Analyse vierte Hypothese	81
4.4.2	Interpretation vierte Hypothese	86
5.	Fazit.....	93
	Literaturverzeichnis	97
	Anhang	99

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Wechsel der Darstellungsformen (Leisen, 2011, 145)	8
Abbildung 2 Modellierungskreislauf (Blum & Leiss, 2005, 19).....	12
Abbildung 3 Modellierungsprozess (Ortlieb et al., 2009, 5).....	14
Abbildung 4 Unterschiedliche Darstellungsebenen von mathematischen Begriffen (Prediger & Wessel, 2011, 167)	20
Abbildung 5 Beispiel Textaufgabenknacker (Krägeloh & Prediger, 2015, 143).....	23
Abbildung 6 Leseplan Info-Netz (Dröse & Prediger, 2018, 9).....	25
Abbildung 7 Beispiel Info-Netz (Dröse & Prediger, 2018, 9)	25
Abbildung 8 Parameter eines Prompts (Till, 2023, 26)	34
Abbildung 9 digitales Schreiben (Steinhoff, 2022, 145)	37
Abbildung 10 Schreibkompetenzmodell (Schilcher, 2023, 64)	38
Abbildung 11 Textverständlichkeit und Sprachfertigkeit; 7. Schulstufe	53
Abbildung 12 mehrmals gelesene Satzteile; 7. Schulstufe	55
Abbildung 13 Textverständnis und Sprachfertigkeit; 8. Schulstufe	56
Abbildung 14 mehrmals gelesene Satzteile; 8. Schulstufe	57
Abbildung 15 Benennung der Aufgabenstellung	64
Abbildung 16 nicht verstandene Wörter	65
Abbildung 17 verwirrende Wörter	66
Abbildung 19 mehrmals gelesene Satzteile	67
Abbildung 20 Verständlichkeit und schnelles Erkennen des Lösungswegs der Textaufgabe	68
Abbildung 21 Aussagen zur Visualisierungsstruktur; 7. Schulstufe.....	74
Abbildung 22 Aussagen zur Visualisierungsstruktur; 8. Schulstufe.....	75
Abbildung 23 visuelle Lösungsstrategien; 7. Schulstufe	76
Abbildung 24 visuelle Lösungsstrategien; 8. Schulstufe	77
Abbildung 25 Aussagen zu sprachlichen Hürden; 7. Schulstufe	82
Abbildung 26 Aussagen zu sprachlichen Hürden; 8. Schulstufe	83
Abbildung 27 Lösbarkeit und Verständnis Aufgabenstellung; 7. und 8. Schulstufe	83
Abbildung 28 Subjektive Einordnung der Sprache der Textaufgabe	84
Abbildung 29 Subjektive Einordnung der Schwierigkeit der Textaufgabe	85
Abbildung 30 Bearbeitungsstrategien; 7. und 8. Schulstufe	86

1. Einleitung

Bereits Knodel (2024, 58f) stellt fest:

Ziel ist es, eine Lernumgebung zu schaffen, in der junge Menschen KI nicht nur als Werkzeug nutzen, sondern auch die zugrunde liegenden Prinzipien und ihre Auswirkungen auf die Gesellschaft verstehen. Sie sollten lernen, KI als ein Werkzeug zu be-trachten, das sie in ihrem Lernprozess unterstützt, und nicht als vollständige Lösung oder Ersatz für ihr eigenes kritisches Denken und Problemlösen. [...]

Dies bedeutet, dass Schüler:innen in ihrer Verwendung von künstlicher Intelligenz nicht nur den Nutzen betrachten, sondern auch kritisch beleuchten sollten, welche Auswirkung die Nutzung auf Gesellschaft und ihren Lernprozess haben.

Inzwischen existieren auch für Lehrpersonen einige Möglichkeiten, die künstliche Intelligenz im Lehrberuf anzuwenden: Einige digitale Plattformen erleichtern durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz schulische Aufgaben wie Unterrichtsplanung, Kontakt mit Erziehungsberechtigten, Beurteilung und Erstellung von Lernmaterialien (Knodel, 2024, 59). Ein Beispiel ist die Plattform *fobizz*, wobei Mitgründerin und CEO Knodel ist. Bereits ihr Zitat gibt Auskunft, dass Knodel den Einsatz der künstlichen Intelligenz im Unterrichtsgeschehen der Präsenz und Zukunft sieht. *Fobizz* bietet Lehrpersonen sowohl die bereits erwähnten KI-Tools an als auch digitale Fortbildungen zur Weiterqualifikation im Umgang mit digitalen Medien (Fobizz, 2025).

Durch das Aufkommen der künstlichen Intelligenz im Bildungssektor erlebt dieser einen entscheidenden, noch nicht erfahrenen Wandel, welche Bildungsziele, -prozesse, Lernmaterialien, -methoden, -ergebnisse und die Methodenvielfalt zu Transformationen drängt. Bisher fand der technologische Einsatz durch beispielsweise elektronische Lehrbücher und Lernsysteme im Schulwesen Verwendung (Zhai, 2023, 1).

Durch die vermehrte Nutzung von künstlicher Intelligenz ändern sich ebenfalls die österreichischen Bildungsziele laut dem Bildungsministerium (BMBWF, 2025b), welche vom Staat für alle Schulen einheitlich gesetzt werden und Unterrichtsgestaltung, Didaktik, Stundentafel, Lehrplan und fachliche, überfachliche und überfachliche Kompetenzen beinhalten. Geformt werden die Bildungsziele durch die gesellschaftliche Situation, um die Bürger:innen auf soziale, emotionale und kognitive Aspekte der näheren Zukunft vorzubereiten. Laut dem Bildungsministerium lassen sich angesichts der tiefgreifenden Veränderungen durch die technologische Entwicklung folgende Fähigkeiten identifizieren, die für

[...] Lernende[n] im 21. Jahrhundert von herausragender Bedeutung sind: Kommunikation, Kollaboration, Kreativität und kritisches Denken. Dabei wird deutlich, dass Lernen mehr ist als die individuelle Aneignung und Reproduktion von kognitiven Lerninhalten. Es ist ein aktiver Prozess, bei dem junge Menschen in die Lage versetzt werden, ihr Wissen und Können in Gruppen zur Problemlösung anzuwenden. Teamfähigkeit ist genauso wichtig wie Kreativität, um zu neuen Lösungen zu kommen und Kritikfähigkeit, um die eigenen Problemlösungen distanziert zu betrachten. Es ist Aufgabe der Lehrerinnen und Lehrer, durch einen kompetenzorientierten Unterricht sowie durch interessante, offene und somit auch schülerinnen- und schülergerechte Aufgaben, am Erreichen der übergeordneten Leitvorstellungen bzw. Ziele mitzuwirken (BMBWF, 2025b).

Auch in dem zitierten Absatz des Bildungsministeriums ist erkennbar, dass sich Lehrpersonen mit ihren Kompetenzen, der Unterrichtsgestaltung und -zielen an die veränderbaren Umstände der Umwelt anpassen sollen.

So wie auch das Bildungsministerium in ihrem Artikel veröffentlicht hat (BMBWF, 2025b), warnt auch Zhai (2022), dass kreatives Denken und Entscheidungen nicht von der künstlichen Intelligenz übernommen werden (sollten), welche auf Emotionen, Erfahrung und Wissenschaft beruhen. Deswegen appelliert auch Zhai, dass kreative, kritische und lösungsorientierte Kompetenzen in der Schule vertieft werden.

Transformationen gibt es daher in Bildungszielen, in den Bildungsprozessen, da sowohl Unterrichtsinhalte durch Analysen der ChatGPT-Dialoge mit Schüler:innen an die Bedürfnisse der Lernenden angepasst werden können als auch die Bewertung vereinfacht wird. Durch die Interaktion mit ChatGPT löst man sich ebenfalls von der starren, einheitlichen Lehrform im Unterrichtsetting (Zhai, 2023, 2). Letzteres führt auch schon zu einer weiteren Transformation: Lernmaterialien und -aufgaben. Durch die Material- und Aufgabenvielfalt steigert man Motivation, Interesse und Selbstständigkeit der Schüler:innen. Dadurch steht individuelles, kreatives Lernen im Vordergrund (Zhai, 2023, 2). Transformationen gibt es ebenso in der Korrektur und Bewertung der Aufgabenstellungen: Diese werden differenzierter und individueller, da ChatGPT die Abgaben geeigneter analysiert und automatisiert Feedback geben kann. Um jedoch die automatisierte Bearbeitung der Aufgabenstellungen bei Schüler:innen entgegenzuwirken und die Bildungsziele zu erreichen, sollte vor allem kreatives, kritisches und urteilsfähiges Denken bei Aufgabenstellungen überprüft werden (Zhai, 2023, 3).

Die zunehmende Verwendung der künstlichen Intelligenz bieten mehrere Möglichkeiten, Unterricht und Arbeitsmaterialien an die technologischen und gesellschaftlichen Veränderungen der Welt anzupassen und zu optimieren. Weiteres erlangt das Thema

Sprache durch internationale empirische Studien wie PISA (*Programme for International Student Assessment*) im Bildungsbereich an Bedeutung und es wird verdeutlicht, dass Sprache einen Einfluss auf den Bildungserfolg hat. Durch Migration und Urbanisierung verändern sich die sprachlichen Anforderungen kontinuierlich (Bednorz, 2021, 12). Sprache dient dabei einerseits dem Denken und andererseits der Kommunikation und nimmt dadurch eine wesentliche Rolle im Unterricht ein (Bednorz, 2021, 11). Besonders im Mathematikunterricht ist die enge sprachliche und fachliche Verknüpfung ersichtlich, da mathematische Inhalte häufig über sprachlich anspruchsvolle Aufgabenstellungen vermittelt werden.

In dieser Masterarbeit wird untersucht, inwiefern künstliche Intelligenz zur Optimierung der Verständlichkeit mathematischer Textaufgaben beitragen kann. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass mathematische Textaufgaben nicht ausschließlich mathematische Kompetenzen erfordern, sondern zugleich sprachliche Anforderungen an Schüler:innen stellen. Denn Sprache übernimmt im Mathematikunterricht und im Lösen mathematischer Textaufgaben eine wesentliche Rolle: Sie dient als Denk-, Lern- und Kommunikationsmedium und bewegt sich im Spannungsfeld zwischen Alltags-, Bildungs- und Fachsprache.

In der Masterarbeit werden zunächst theoretische Grundlagen zur Sprache im Mathematikunterricht, sprachliche Anforderungen mathematischer Textaufgaben, sprachliche Schwierigkeiten in Textaufgaben, Modellierungsprozesse und konventionelle sprachensible Förderansätze aufgearbeitet. Wesentlich sind dabei sprachliche Verständnisschwierigkeiten und Unterstützungsmaßnahmen wie Scaffolding, Textaufgabenknacker und Info-Netze. Darauf aufbauend wird der Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Formulierung von Textaufgaben zur sprachlichen Optimierung betrachtet.

Im empirischen Teil der Arbeit werden traditionelle und von künstlicher Intelligenz generierte Textaufgaben gegenübergestellt. Mittels eines Fragebogens wird erhoben, wie Schüler:innen die sprachliche Verständlichkeit, den Aufbau sowie die Lösbarkeit der Aufgabenstellung wahrnehmen. Ziel der Untersuchung ist es herauszufinden, ob durch künstliche Intelligenz optimierte Textaufgaben von Schüler:innen tatsächlich verständlicher wahrgenommen werden.

Aus den theoretischen Überlegungen sowie der Zielsetzung der empirischen Untersuchung lassen sich daher folgende Hypothesen ableiten:

- 1.** Textaufgaben mit sprachlich optimierter Satzstruktur und erhöhter Kohärenz werden von Schüler:innen als verständlicher wahrgenommen als traditionelle Textaufgaben.
- 2.** Sprachliche Schwierigkeiten beeinflussen das Verstehen der Aufgabenstellung und die Bildung eines Situations- und Realmodells.
- 3.** Visuelle Strukturierungselemente erhöhen die subjektive Verständlichkeit mathematischer Textaufgaben.
- 4.** Durch künstliche Intelligenz sprachlich optimierte Textaufgaben reduzieren sprachliche Hürden, ohne die mathematischen Anforderung der Textaufgabe zu verändern.

2. Theoretischer Teil

Das Thema Sprache erhält insbesondere durch internationale empirische Studien wie PISA (*Programme for International Student Assessment*), die seit dem Jahr 2000 durchgeführt wird, zunehmend an Bedeutung. Im Rahmen internationaler Studien stehen soziale, heterogene, inklusive und bildungspolitischen Einflussfaktoren auf die Leistungen der Schüler:innen im Zentrum. Dabei zeigt sich in erster Linie, dass soziale Veränderungen durch Migration und Urbanisierung sprachliche Anforderungen verstärken und die Bedeutung sprachlicher Kompetenzen im Bildungsbereich zusätzlich hervorheben (Bednorz, 2021, 12). Dass Sprache eine entscheidende Rolle in Bezug auf Bildungsgleichheit einnimmt, ist zwar bekannt, jedoch ist der seit Beginn der PISA-Einführung bestehende Leistungsabstand zwischen Schüler:innen mit und ohne Migrationshintergrund in Deutschland nicht eindeutig kleiner geworden (Krosanke, 2021, 46).

Heinrich Winter widmete sich bereits 1975 der grundlegenden Überlegung, welche allgemeinen Lernziele für den Mathematikunterricht sinnvoll und erforderlich sind. Er vertritt die Auffassung, dass die Festlegung solcher Ziele nur im Kontext einer umfassenden pädagogischen Betrachtung des mathematischen Lernens erfolgen kann. Zudem macht Winter deutlich, dass das Verständnis von Mathematik und das zugrundeliegende Bild von Menschen miteinander verbunden sind und gemeinsam die Bestimmung der Lernziele beeinflussen (Winter, 1975, 107).

In den vier zugrundeliegenden Lernzielen Winters werden verschiedene zentrale Aspekte des Mathematikunterrichts thematisiert. Neben der Betonung der Förderung heuristischer Strategien im Sinne einer Auffassung der Mathematik als schöpferische Wissenschaft, neben der Bedeutung des begründenden und beweisenden Denkens, wobei die Mathematik als deduktive Wissenschaft verstanden wird und ergänzend dazu drittens, Mathematik als gestaltende und anwendbare Wissenschaft, die im Unterricht beiträgt, Nutzen und Verständnis in der Wirklichkeit zu vertiefen, beschreibt Winter schließlich Mathematik als formale Wissenschaft, deren Vermittlung insbesondere die Förderung der Sprachfähigkeit sowie das Erlernen des Formalisierens und spezifischer mathematischer Fertigkeiten umfasst (Winter, 1975, 106ff).

Der Mathematikunterricht lebt daher durch die Sprache. Die Rolle der Sprache ist dabei im Unterricht unterschiedlich und entscheidend. Denn Einklang findet im Mathematikunterricht die Alltagssprache, die Bildungssprache und die Fachsprache auf Wort-, Satz-, Text- und Diskursebene im Produzieren und Rezipieren (Krosanke, 2021, 48). Laut Cummins unterscheidet man zwischen Alltags- und Bildungssprache. Letzteres hebt sich hervor, da sie bei höheren Bildungskontexten verwendet wird und somit mehr kognitive Leistung beansprucht wird (*cognitive academic language proficiency* (kurz: CALP)). Dahingegen wird die Alltagssprache als *basic interpersonal communication skills* (kurz: BICS) bezeichnet (Krosanke, 2021, 49). Beherrscht man die Alltagskommunikation (BICS) in der Zweitsprache, so impliziert dies jedoch nicht das Können der Bildungssprache im Schulwesen (CALP). Da das Beherrschen der Bildungssprache für eine erfolgreiche Schulkarriere unerlässlich ist, haben meist Schüler:innen mit Migrationshintergrund oder Kinder mit bildungsfernen Eltern einen Nachteil (Prediger & Wessel, 2011, 164).

2.1 Mathematische Textaufgaben im schulischen Kontext

Sprache erfüllt in mathematischen Textaufgaben eine doppelte Funktion: Zum einen wirkt sie auf der kognitiven Ebene als Medium des Denkens, zum anderen dient sie auf der kommunikativen Ebene als Vermittlungsinstrument (Bednorz, 2021, 11). Die Bedeutung der Sprache im Mathematikunterricht lässt sich darüber hinaus in drei zentrale Dimensionen untergliedern: als Sprache des Lehrens und Lernens, als Lernmedium sowie als sprachliche Voraussetzung. In der Dimension „Sprache des Lehrens und Lernens“ liegt der Fokus auf dem korrekten Einsatz und das Verständnis fachlicher Begriffe. Die Funktion des Lernmediums verweist auf die Vermittlung mathematischer Inhalte mit dem Instrument Sprache. Im Rahmen der Dimension „sprachlichen Voraussetzung“ stehen sprachliche Kompetenzen der Schüler:innen, der maßgebliche Einfluss auf deren Lernprozess und -erfolg im Mathematikunterricht haben (Bednorz, 2021, 11f).

Freudenthal entwickelt mit dem Begriff der *Beziehungshaltigkeit* die Auffassung, dass Beziehungen in der Mathematik aus unterschiedlichen Perspektiven hervorgehen können. Vor allem steht die Anwendbarkeit der Mathematik im Vordergrund, die jedoch über eine bloße Reduktion auf reine Nutzbarkeit hinausgehen muss. Auch sollen innermathematische Verknüpfungen laut Freudenthal stets Bezug zur Realität aufweisen

und zudem sollte nicht das Auswendiglernen vorrangig sein, sondern das Fortwirken und die Wirksamkeit mathematischen Wissens. Daher versteht Freudenthal unter *Mathematik als Tätigkeit* das schrittweise logische Strukturieren von Beobachtungen der Wirklichkeit, welche zu Abstraktionen führen können. Eine vollständige axiomatische Strukturierung muss dabei nicht das zwingende Ziel sein. Mathematik beginnt daher am jeweiligen Wissensstand der Lernenden, fördert das aktive Ordnen lokaler Zusammenhänge und muss, wie bereits erwähnt, nicht zwingend in abgeschlossene Axiomsysteme münden (Neubrand et al., 2015, 62f).

Mathematik muss zudem laut Winter nicht als bloße Akzeptanz, Abspeicherung und Verwendung bei den Schüler:innen verkörpert werden, sondern Mathematik sollte erlebt werden. Darauf bauen auch seine drei Grunderfahrungen auf:

1. Die Welt um uns (Natur, Gesellschaft und Kultur) wahrnehmen und verstehen
2. Geistige Schöpfungen der mathematischen Gegenstände und Sachverhalte, wie Sprache, Symbole, Bilder und Formeln, kennenlernen und begreifen
3. Heuristische Fähigkeiten beim Lösen von Aufgabenstellung erwerben, die über die mathematische Problemlösefähigkeit hinausgehen (Neubrand et al., 2015, 69).

2.2 Sprache im Mathematikunterricht

Mathematik wird von vielen als sprachunabhängig aufgefasst, jedoch ist eine Trennung zwischen mathematischer und sprachlicher Begabung nicht möglich. Denn Sprache fungiert, wie im Kapitel 2.1 bereits erwähnt, als Medium des Lernens, Verstehens und kommunizieren von mathematischen Themen. Erst durch sprachliche Vermittlung kann Mathematik verstanden und angewendet werden. Somit sind sprachliche Interaktionen, mathematisches Denken und fachsprachliche Ausdrucksformen für das Verstehen von Mathematik im Unterricht nicht wegzudenken (Rösch & Paetsch, 2011, 58f).

Insbesondere für Schüler:innen mit Mehrsprachigkeit, wobei zwischen doppelten Erstsprachen und der Konstellation Erst- und Zweitsprache zu differenzieren ist, kann die Sprache im Unterricht eine besondere Herausforderung darstellen. Mehrsprachigkeit ist dabei funktional organisiert. Das heißt, die einzelnen Sprachen übernehmen im Alltag der Lernenden unterschiedliche kommunikative Rollen. Stattdessen dominiert die Unterrichtssprache, während die anderen sprachlichen Ressourcen weitgehend unberücksichtigt bleiben. Deswegen wird für Schüler:innen mit Migrationshintergrund

oftmals der Begriff *Quersprache* anstelle von *Mehrsprachigkeit* verwendet, um zu verdeutlichen, dass ihre sprachlichen Kompetenzen im Bildungssystem nicht gleichwertig eingebunden werden. Zeitgleich wird die deutsche Sprache bei Schüler:innen mit Migrationshintergrund meist als *Hybridsprache* beschrieben, da sie Elemente verschiedener Sprachen, Neuschöpfungen und eigene sprachliche Strukturen aufweist, die nicht vollständig den Normen der Bildungssprache entsprechen (Rösch & Paetsch, 2011, 55f). Denn Bildungssprache kennzeichnet sich dadurch aus, dass sie im Schulwesen beim Beschreiben, Erklären, Erörtern, Zusammenfassen, Argumentieren und Beurteilen Verwendung findet und differenzierten Wortschatz, komplexe Sätze und anspruchsvolle Texte besitzt (Rösch & Paetsch, 2011, 56).

Laut Leisen (2011, 143) entwickelt sich die Sprache jedoch im Fachunterricht mit den Fachinhalt mit. Daher ist die Sprache vom Fach nicht trennbar, wodurch die Sprachförderung laut Leisen in allen Fächern notwendig ist. Nutzt man den sprachsensiblen Unterricht, so wird das fachliche Lernen nicht durch Sprachschwierigkeiten erschwert. Dabei tritt Sprache mündlich, schriftlich, nonverbal, bildlich und symbolisch auf. Somit zeigt sich Sprache im Unterricht auf verschiedenen Darstellung- und Abstraktionsebenen:

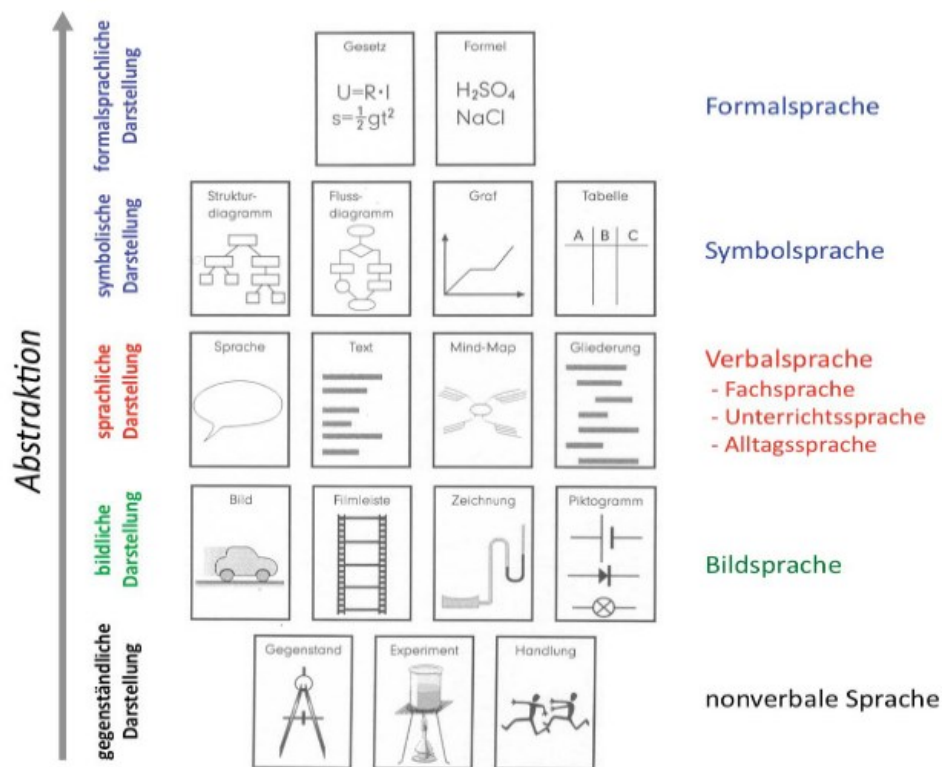


Abbildung 1 Wechsel der Darstellungsformen (Leisen, 2011, 145)

Wie in der Abbildung erkennbar, taucht Sprache bereits in auszuführenden Handlungen, Experimenten und in der Verwendung von Gegenständen auf, da hierbei meist Arbeitsaufträge (angeleitet) ausgeführt werden.

In der darauffolgenden Ebene, der Bildsprache, wird Sprache mit Hilfe von Skizzen, Zeichnungen, Grafiken und Diagrammen zum Ausdruck gebracht.

Auf Ebene der sprachlichen Darstellung findet man beispielsweise in Schulbüchern die Alltagssprache meist in der Einführung in ein neues Thema, da hierbei Alltagsgeschehnisse verwendet werden. Fachsprache taucht meist in Merksätzen und Definitionen auf und unterscheidet sich von der Alltagssprache durch ihre Dichte an Fachbegriffen sowie ihren Satz- und Textkonstruktionen. Verstanden werden diese meist dann, wenn die Schüler:innen bereits einiges über deren Thematik verinnerlicht haben. Die Unterrichtssprache ist mündlich und schriftlich ersichtlich und ist durch bildungssprachliche Elemente gekennzeichnet. Ein Beispiel hierfür ist das Tafelbild, weil hierbei der Lehr-Lern-Prozess im Fokus ist.

Die Symbol- und Formalsprache sind sehr abstrakt und meist in Fachtexten zu finden: Hierbei wird Sprache abstrahiert, indem sie in Form von Symbolen, Fachzeichen, Fachskizzen, Formeln und mathematischen Termen und Darstellungen auftreten (Leisen, 2011, 144ff).

Sprachförderung soll Schüler:innen ein Sprachbewusstsein entwickeln lassen, in welchen CALP-Fähigkeiten erlernt werden. Unter CALP-Fähigkeiten versteht man, wie in Kapitel 2 bereits genauer beschrieben, die Anwendung und das Verstehen von Bildungssprache, kognitive Sprachkenntnisse und Ausdrucksweise in der Schriftlichkeit (Leisen, 2011, 152).

Um Sprachschwierigkeiten als Lehrperson zu verstehen, hat Leisen diese in vier Bereiche gegliedert (Leisen, 2011, 147):

- Morphologie und Syntax der Fachsprache
- Fachtypische Sprachstruktur
- Fachinhalt
- Spezifische Struktur von Fachtexten

Morphologisch sind folgende Begriffe als Sprachschwierigkeit zu betrachten, da diese kaum in der Alltagssprache aufzufinden sind:

- viele Fachbegriffe,
- Adjektive mit Endungen auf *-bar*, *-los*, *-reich* und mit Präfixen wie *nicht*, *stark* und *schwach* wie etwa *energielos* und *stark wachsend*,
- Komposita wie *Funktionsgleichung*
- Substantivierte Infinitive wie *das Addieren*
- Zusammensetzungen und fachspezifische Abkürzungen wie *UV-Strahlung* und K_0 für *Startkapital* (Vgl. Leisen, 2011, 148).

Auf der Syntaxebene sind folgende Satzkonstruktionen schwierig im Verstehen:

- Verkürzte Nebensatzkonstruktionen
- Unpersönliche Ausdrucksweisen
- Komplexe Attribute anstelle von Attributsätzen wie beispielsweise *eine nach oben offener Parabel* und *rechtwinkeliges Dreieck*
- Passivverwendung und Passiversatzformen wie *Die Zahl wird nun addiert* (Vgl. Leisen, 2011, 148).

Unter fachtypischen Sprachstrukturen versteht man, dass Alltagssprache in der Fachsprache semantisch eine andere Bedeutung erhält, welche von Schüler:innen nicht erkannt wird. Beispiel hierfür ist anstelle der Fachsprache *eine Kraft ausüben* die Alltagssprache *eine Kraft zu machen* zu verwenden (Leisen, 2011, 149). Auch die Begriffe *Körper*, *Zylinder* und *Kurve* haben im Vergleich zur Alltagssprache in der Mathematik eine andere Bedeutung (Rösch & Paetsch, 2011, 60).

Verstehensprobleme in Fachinhalten beziehen sich auf die Darstellungsformen wie Tabellen, Diagrammen, Skizzen und Formeln. Aber auch die Dichte von Komplexität und Kompliziertheit von Sachtexten wie mathematische Textaufgaben fallen darunter. Schüler:innen verstehen dabei Bruchteile nicht, haben daher Fragen an den Text und können diese nicht mit Hilfe des Textes eigenständig beantworten (Leisen, 2011, 149).

Die Struktur von Fachtexten kann ebenso Sprachschwierigkeiten verdeutlichen, wenn Texte folgende Merkmale beinhalten: Text-Bild-Bezüge, eingefügte Beispiele, Verallgemeinerungen, bildliche Zusätze, Rückgriffe auf Vorwissen und verdichtete

Merksätze (Leisen, 2011, 150). Neben der Struktur ist der Mathematikunterricht zu anderen Fächern in der Hinsicht unterscheidbar, da das Argumentieren eine wesentliche Rolle in der formalen mathematischen Sprache hat (Rösch & Paetsch, 2011, 60).

Ebenso weisen bildhafte Ausdrücke wie *Zahlen herausheben* im Verstehen und Anwenden von Sprache Herausforderung auf (Rösch & Paetsch, 2011, 57). Eine weitere Herausforderung stellt die mathematische Bildsprache dar, welche bei Grafiken, Diagrammen und Skizzen notwendig ist. Hierbei benötigt man eine spezifische Lesekompetenz, um Informationen aus den mathematischen Texten zu erhalten (Rösch & Paetsch, 2011, 60f).

2.3 Sprachliche Anforderungen und Schwierigkeiten

Das Verstehen von Textaufgaben gilt als Voraussetzung für den Mathematikunterricht bei Schüler:innen (Duarte et al., 2011, 38). Ist somit eine sprachliche Barriere vorhanden, kann meist die Textaufgabe nicht verstanden werden und dies impliziert eine fehlerhafte oder lückenhafte Bearbeitung der Aufgabenstellung.

Mit Hilfe von Bildungsstandards versucht das Bundesministerium für Bildung seit 2009 eine Orientierungs-, eine Förderungs- und eine Evaluationsmöglichkeit für Lehrpersonen und Schüler:innen zu sein. Orientierung geben dabei die Bildungsstandards durch die Benennung von entscheidenden Kompetenzen, welche Schüler:innen nach der achten Schulstufe erlernt haben sollten. Diese sollten Lehrpersonen in ihre Unterrichtsplanung miteinbeziehen. Unter Förderung versteht man eine kontinuierliche Überprüfung des Leistungsstands der Schüler:innen und daraufhin angepasste Förderung. Österreichweit kann mit Hilfe der *IKM^{Plus}* seit 2022 eine wiederkehrende Überprüfung der Kompetenzen der siebten und achten Schulstufe verpflichtend in den Fächern Deutsch, Mathematik und Englisch durchgeführt werden (BMBWF, 2025a).

Durch das Betrachten des Modellierungskreislaufes von Leiss und Blum sind Hürden in der Bearbeitung von Textaufgaben erkennbar: Entscheidend für das Lösen einer Textaufgabe ist das Koalieren der Sprachkompetenz und der Textverstehensleistung (Leiss et al., 2010, 139). Begonnen wird mit der Realsituation, welche das zu lösende Problem als Aufgabenstellung darlegt. Dieses muss verstanden werden, indem Schüler:innen wiederholt lesen und wichtige Informationen von unwichtigen trennen. Entsteht eine mentale Vorstellung, so ist man im Situationsmodell angelangt, welches

man strukturieren bzw. vereinfachen soll. Dies gelingt beispielsweise durch eine Skizze, indem wichtige Informationen aus der Textaufgabe entnommen werden. Das Realmodell ist erkennbar, welches nun mathematisiert werden soll. Dabei wird das reale Problem mathematisiert. Während des Prozesses wird auf gewohnte Lösungsverfahren wie Operationen, Terme, Formeln, Gleichungen und Weiteres zurückgegriffen und das mathematische Modell bildet sich. Mit Hilfe der Operationen, wird nun das mathematische Modell bearbeitet und endet in einem mathematischen Resultat. Hierbei ist das Problem mathematisch gelöst und durch Interpretation gelangt man zu realen Resultaten. Eine Interpretation gelingt durch Hinzunahme von Einheiten und einem Antwortsatz, der sich auf die Realsituation bezieht. Durch Hervorrufen des Situationsmodells, wird dieses durch Hinzunahme der Resultate validiert. Beispielsweise kann hier das Ergebnis verglichen, kontrolliert und kritisch hinterfragt werden. Verläuft die Überprüfung negativ, werden Teilprozesse oder gar der gesamte Prozess wiederholt. Nach einer erfolgreichen Validierung wird die Lösung und der Lösungsprozess dargelegt und der passenden Realsituation zugeordnet (Greefrath, 2010, 52). Schwierigkeiten treten meist dann im Lösen von Textaufgaben auf, wenn Schüler:innen Teilprozesse auslassen (Greefrath, 2006,16).

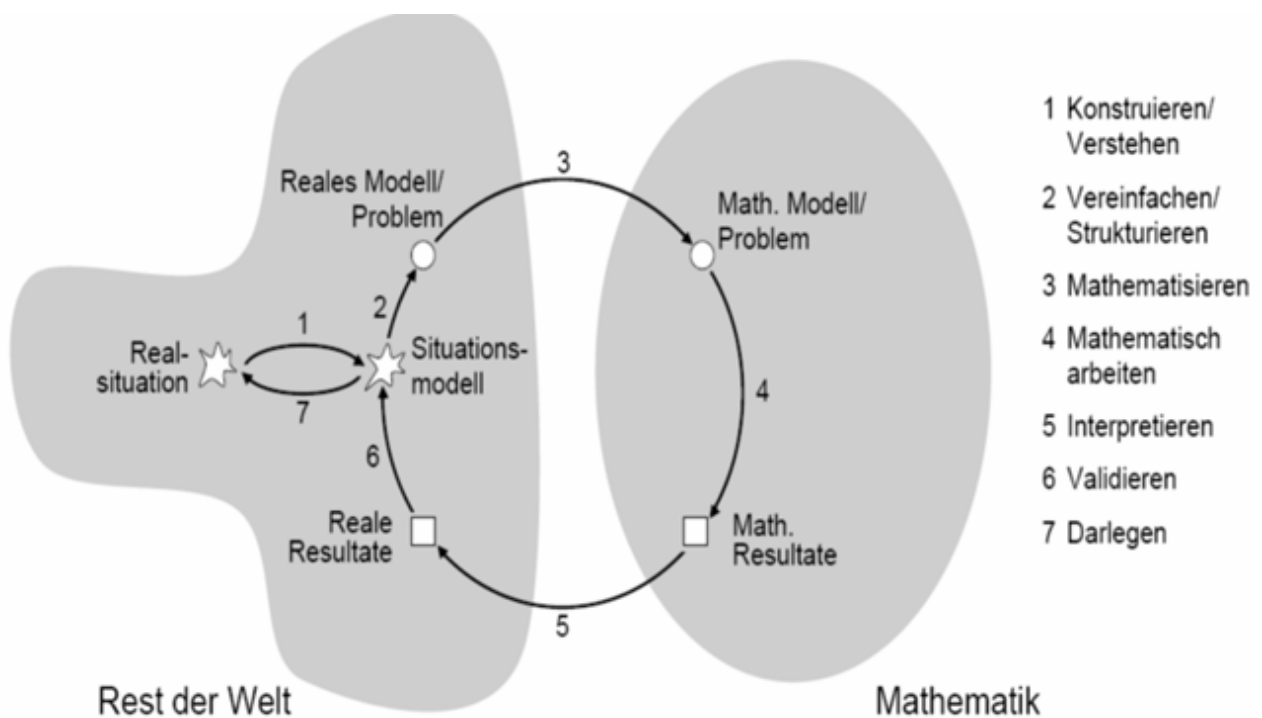


Abbildung 2 Modellierungskreislauf (Blum & Leiss, 2005, 19)

Schwierigkeiten treten jedoch auch in den einzelnen Schritten vom Lesen der Textaufgabe bis zum Validieren der Lösung auf: Um von der Realsituation zum mentalen Situationsmodell zu gelangen, sind Sprach- und Textverständnis notwendig. Zu Schwierigkeiten führen jedoch Lücken im Wortschatz und in der Lesekompetenz. Um nun das mentale Situationsmodell zu strukturieren, wird das Vorwissen und Vorerfahrungen von mathematischen Grundvorstellungen aktiviert. Die mathematischen Grundvorstellungen sind dabei an Sprache gebunden, da sie meist mit Hilfe von Sprache erklärt werden. Schüler:innen mit Schwächen in der Sprache können diese Grundvorstellungen kaum aufbauen, weswegen meist Merksätze und Regeln auswendig gelernt werden, ohne sie richtig zu verstehen. Beim mathematischen Arbeiten werden mathematische Operatoren verwendet. Um nun das Ergebnis zu interpretieren, muss das Ergebnis verstanden und erklärt werden, wofür wieder Vorwissen und Sprache notwendig ist. Somit besteht bei Textaufgaben die Schwierigkeit, dass Sprache und Mathematik gleichzeitig benötigt werden. Neben dieser Tatsache gibt es meist drei Hauptgründe, weswegen die mathematische Textaufgabe schwer zu lösen ist:

Einerseits muss semantisch die Situation verstanden werden, wobei unbekannte Informationen verwirren können. Andererseits können sprachliche Satzkonstruktionen, Formulierungen und bestimmte Wörter Probleme im Lösungsprozess hervorrufen. Und Letzteres kann das Rechnen selbst Probleme verursachen, da beispielsweise mehrere Schritte notwendig sind.

Wenn bei der Aufgabenlösung Schwierigkeiten auftreten, so wenden manche Schüler:innen Rechenoperationen an, die sie aktuell im Unterricht erlernen. Dabei wird nicht der Sachverhalt verstanden und es findet kein Verstehen der Realsituation zur mathematischen Situation statt (Rösch & Paetsch, 2011, 65ff).

Neben dem Modellierungskreislauf von Blum und Leiss gibt es noch viele weitere, welche die Real- und Situationsmodell meist nicht beachten. Dazu zählt beispielsweise der Modellierungsprozess von Ortlieb et al., welcher in der folgenden Abbildung auf der nächsten Seite zu sehen ist:

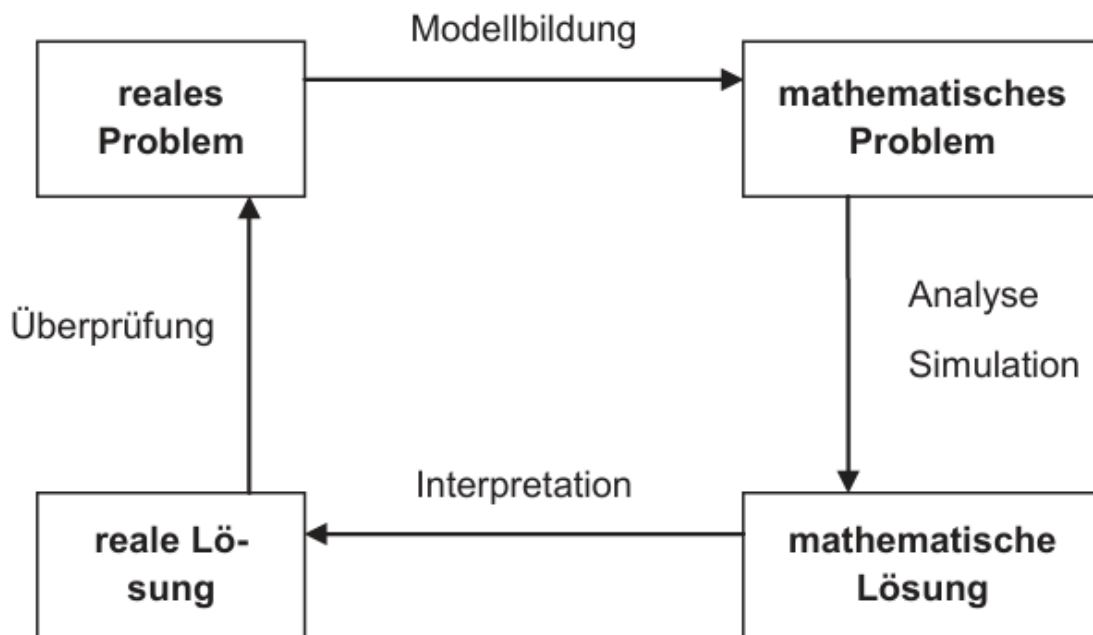


Abbildung 3 Modellierungsprozess (Ortlieb et al., 2009, 5)

Der Modellierungskreislauf von Ortlieb et al. (2009, 5) unterscheidet sich im Wesentlichen von jenem von Blum und Leiss, da dieser keine Real- und Situationsmodell beinhaltet. Zudem ist der Prozess vom mathematischen Problem zur mathematischen Lösung als *Analyse* bzw. *Simulation* beschrieben worden, hingegen bei Blum und Leiss findet hierbei das Anwenden der Mathematik ihren Raum. Zusätzlich ist neben der Analyse von Modellierungsprozessen bei Blum und Leiss auch die Aufschlüsselung von Textaufgaben gegeben.

Borromeo Ferri (2010, 5) ist der Ansicht, dass Modellierungskreisläufe individuelle Denkprozesse, welche verbal oder nicht-kommunikativ ausgetragen werden, näher analysiert und aufgelistet werden können.

Die ersten anwendungsorientierten Mathematikunterrichtspläne entwarf Felix Klein zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Auslöser war der rasante technologischer Fortschritt seit dem Ende des 19. Jahrhunderts, die realen Probleme aus dem Ingenieurwesen zunehmend in der Gesellschaft und somit auch im Mathematikunterricht einbrachte. Somit binden sich reale, lebensnahe Situationen vermehrt in den Bildungsbereich und dem mathematischen Verfahren ein – die Integration von anwendungsbezogenen mathematischen Themen in den Unterricht begann. Ein weiterer (didaktischer) Impuls für die Integration erfolgt durch Freudenthal, welcher mit seinem Begriff *Beziehungshaltigkeit* vermehrt die Anwendbarkeit der Mathematik im Unterricht betont. Dabei werden sowohl

innermathematische als auch anwendbare mathematische Problemstellungen behandelt (siehe Kapitel 2.1) (Kaiser et al., 2015, 360).

Im Jahr 1986 unterscheidet Kaiser-Meßmer zwei grundlegende Strömungen des Modellierens: die *pragmatische* und die *wissenschaftlich-humanistische* Richtung. Vertreter der pragmatischen ist Henry Pollak und dabei stehen mathematische Werkzeuge zum Lösen praktischer Probleme im Mittelpunkt. Mit einem Kreislaufmodell ist die Bearbeitung zu visualisieren. Bei der *wissenschaftlich-humanistische* ist der Vertreter der zuvor erwähnte Hans Freudenthal, der das Zusammenspiel von Mathematik und Realität und die Theorieentwicklung aus der erlebten Wirklichkeit als wesentlich erachtet. Dieses Wechselspiel zwischen Realität und Innermathematik kann als horizontale und vertikale Mathematisierung vorgestellt werden (Kaiser et al., 2015, 360f).

In den letzten Jahren lassen sich folgende sechs spezifische Modellierungsansätze beschreiben:

- (1) *Realistisches bzw. angewandtes* Modellieren: Entwickelt aus dem *pragmatischen* Ansatz sollen authentische Problemstellungen teils vereinfacht im Unterricht für das Verständnis der Realität angewendet werden.
- (2) *Epistemologisches oder theoretisches* Modellieren: Ausgehend von der *wissenschaftlich-humanistischen* Richtung steht hier das Ziel durch Anwenden der Mathematik in der Realität zur Theorieentwicklung im Vordergrund.
- (3) *Pädagogisches* Modellieren: Didaktisches und begriffliche Lernziele werden hierbei forciert. Daher werden mathematische Kompetenzen, Kommunikations- und Argumentationskompetenz, soziales Lernen, das Verständnis mathematischer Begriffe und Modellierungsprozesse gefördert.
- (4) *Model-Eliciting-Activities* (kurz: *MEA*): Im Fokus stehen realitätsnahe, komplexe Situationen, die durch Modellierungsaktivität simuliert werden und das Nachempfinden der Problemstellung nachvollziehen lassen.
- (5) *Sozialkritisches und soziokulturelles* Modellieren: Hier steht das kritische Betrachten der Welt und die Verantwortung der Mathematik in der Gesellschaft für das Reflektieren und Lösen von beispielsweise Umweltfragen und gesellschaftlichen Phänomenen im Fokus.

- (6) *Kognitives Modellieren*: Hier wird die Förderung von mathematischem Denken während dem Modellieren zentral betrachtet. Borromeo Ferri verfolgt beispielsweise diesen Ansatz (Kaiser et al., 2015, 362f).

2.4 Verständlichkeit mathematischer Textaufgaben

Schukajlow (2013, 126) versteht unter dem Begriff des *mathematischen Lesens* die Auffassungsgabe von informationshaltigen Darstellungen wie Tabellen, Graphen und Diagrammen. Diese Darstellungsformen bilden die Grundlage der Kompetenz *mathematische Darstellungen verwenden*, welche insbesondere den produktiven Umgang mit symbolischen und technischen Darstellungsformen in mathematischen Problemlöseprozessen hervorhebt.

Schukajlow (2013, 127) weist zudem darauf hin, dass es zu einer Diskrepanz zwischen intendierter Repräsentation des Sachverhalts durch Autor:innen und jener der Leserschaft kommen kann. Die Leser:innen entwickelt dabei eine Kohärenz, dies bedeutet eine innere Verknüpfung der Informationen im Kopf, welche jedoch nicht immer mit der Bedeutung des ursprünglichen Sachverhalts übereinstimmt. Diese Repräsentationsdifferenz kann zu fehlerhaften Lösungsansätzen in den weiteren Bearbeitungsschritten führen.

Beeinflussbar ist die Verständlichkeit einer Textaufgabe wesentlich durch den globalen und lokalen Aufbau, wobei beide Ebenen mit der Textkohärenz verknüpft sind. Gesichert ist, dass bestimmte sprachlich-strukturelle Textmerkmale den Schwierigkeitsgrad einer Textaufgabe und die kognitive Vertrautheit signifikant beeinflussen. Zur genauen Analyse dieser, folgt nun eine Unterscheidung in lokalen und globalen Textaufbau (Schukajlow, 2013, 132):

Auf globaler Ebene folgt eine Textaufgabe eine bestimmte, schematische Struktur: Zuerst ist eine Darstellung der realitätsbezogenen Ausgangssituation erkennbar und mündet dann in eine mathematische Fragestellung. Durchbricht man jedoch diese Struktur, so erschwert sich das Verstehen der Textaufgabe bei den Rezipient:innen.

Der lokale Textaufbau bezieht sich hingegen auf die Satzzusammenhänge, welche von den Leser:innen leicht erkennbar und nachvollziehbar sein sollten. Dabei stehen die lexikalischen Wiederaufnahmen, dies bedeutet das bestimmte Wörter wiederkehrend in der Textaufgabe aufscheinen, sowie das Hervorheben und gezielten Einsätzen von logistischen Konnektoren wie *weil, deshalb, darum, etc.* im Fokus und erleichtern und

fördern zugleich die Textverständlichkeit (Schukajlow, 2013, 132).

Aber nicht nur die lokale und globale Textstruktur wirken sich auf das Verstehen der Textaufgabe aus, sondern auch der Leistungsstand und die curricularen Lernziele. Kontextuelle Inkonsistenz, wie beispielsweise eine uneindeutige, beigelegte Visualisierung der Textaufgabe oder ein Wechsel der Zeitformen innerhalb der Aufgabe können zu Irritationen führen. Dadurch können sich sprachliche Verständnisprobleme festigen, welche wiederum sich negativ auf den mathematischen Problemlöseprozess auswirken können (Schukajlow, 2013, 133). Vor allem sind trennbare Verben eine Herausforderung für Kinder mit Deutsch als Zweit- bzw. Fremdsprache, aber auch Kasusmarkierungen, Präpositionalphrasen, unübliche Wortstellungen im Satz und Textsortenmerkmale (Rösch & Paetsch, 2011, 58).

Um eine intrinsische mathematische Motivation zu fördern, kann man mehr realitätsnahe Modellierungsaufgaben im Unterricht anbieten, die eine Brücke zwischen schulisches Lernen und außerschulischen Erfahrungen und Erlebnissen zu schlagen. Zudem kann eine nachhaltige Motivationsentwicklung begünstigt werden, wenn Schüler:innen das Handwerk gereicht wird, mathematische Strukturen in ihrem Alltag, wie beispielsweise in Zeitungen oder Alltagsphänomenen, selbstständig zu erkennen und lösen zu können. Diese realitätsnahen Beispiele sollten für die motivationale Wirkung ebenfalls im Unterricht aufgegriffen und bearbeitet werden. Die eben beschriebene didaktische Annahme zur längerfristigen motivationalen Stabilisierung ist zwar von Schukajlow (2013, 134) formuliert, jedoch bislang noch von keiner empirischen Validierung abgesichert.

Für das Verstehen von Textaufgaben wirken besonders Lesestrategien, die eine tiefere Verarbeitung der Inhalte erleichtern. Eine Strategie ist die *Elaborationsstrategie*, wobei das Vorwissen mit den Informationen aus der Textaufgabe verknüpft werden. Bei der *Organisationsstrategie* werden die Informationen aus dem Text miteinander in Verbindung gesetzt. Dies kann durch eine Skizze, eine Tabelle oder einem Graphen gelingen. *Wiederholungsstrategien* beziehen sich auf das Markieren, Unterstreichen und Ausschreiben der Angaben und dient als Selektion im Verstehen von wesentlichen Informationen zu unwesentlichen (Schukajlow, 2013, 135).

Um die Verständlichkeit einer mathematischen Textaufgabe zu überprüfen, kann das Hamburger Verständlichkeitsmodell angewendet werden. Das Verfahren fokussiert

dabei das semantische Verständnis der Schüler:innen. 1973 wird dieses Verfahren von den Hamburger Psychologen Inghard Langer, Friedemann Schulz von Thun und Reinhard Tausch entwickelt. Mit den vier Kriterien Einfachheit, Gliederung / Ordnung, Kürze / Prägnanz und anregende Zusätze sollen objektive Kriterien für die Textverständlichkeit gestaltet sein. Jedes dieser vier Kriterien hat einen Pol für die jeweilige Eigenschaft und einen Gegenpol. Für Einfachheit sprechen kurze, allgemein verständliche Sätze, anschauliche und konkrete Sprache und erklärte Fachwörter. Der Pol für Gliederung / Ordnung hebt sich mit erkennbaren Absätzen, Hervorhebungen von Wesentlichen vom Unwesentlichen und eine nachvollziehbare Reihenfolge der Informationen aus. Der Pol Kürze / Prägnanz umfasst das Fokussieren auf das Wesentliche und knappen, gedrängten Sätze mit den nötigsten Wörtern. Der Pol anregende Zusätze bezieht sich auf den Inhalt, welcher anregend, themenreich, interessant und persönlich sein soll (Liesem, 2015, 41ff).

Kritisch kann dieses Verfahren wie folgt beleuchtet werden: Manche Leser:innen werden zum Text ein Vorwissen haben. Dieses Vorwissen ist jedoch in keinem der vier erwähnten Pole aufgegriffen. Das Vorwissen kann daher der Verständlichkeit dienen, dieser jedoch auch eine Hürde sein (Friedrich, 2017, 77).

Das Karlsruher Verständlichkeitskonzept ist eine Vertiefung des Hamburger Verständlichkeitsmodells und hat zusätzlich die Kriterien Korrektheit und Perzipierbarkeit. Die Dimension Einfachheit ergänzt, dass die Wörter nicht mehrdeutig sein sollen, Fachwörter erklärt oder vermieden werden soll, der Satzbau soll variieren und der Syntax soll an die Sprachkompetenz der Leser:innen und der Textsorte angepasst sein. Die kognitive Ordnung, beim Hamburger Verständlichkeitsmodell wird dies als *Gliederung / Ordnung* verstanden, ergänzt, dass neben den Absätzen Überschriften und Zwischenüberschriften hilfreich sind und Zusammenhänge von Aussagen klar erkenntlich sein sollen. Das Kriterium *Kürze / Prägnanz* ist dieselbe wie beim Hamburger Verständlichkeitsmodell. Unter *anregende Zusätze* versteht das Karlsruher Verständlichkeitskonzept zudem, dass Abbildungen aus der Welt der Leser:innen die Motivation fördern können. Das zusätzliche Kriterium *Korrektheit* beschäftigt sich damit, dass Texte inhaltlich, sprachlich und formal korrekt und widerspruchsfrei sind. Unter der Kategorie *Perzipierbarkeit* fällt die leichte Wahrnehmbarkeit der Inhalte durch die Textgestaltung und das Hervorheben von inhaltlichen Strukturen durch nonverbale Mittel

wie Hervorheben, Überschriften, Aufzählungen, Schriftgröße und Abbildungen (Liesem, 2015, 45ff).

2.5 Sprachsensibler Unterricht – Fördermaßnahmen

Laut dem österreichischem Bildungsministerium sollte in allen Unterrichtsfächern ein sprachsensibler Unterricht geführt werden, um in allen Unterrichtsfächern Sprache und insbesondere die Bildungssprache und Fachsprache zu fördern (BMBWF, 2026). Jedoch gibt es konkret für die Eigenheiten des Unterrichtsfaches Mathematik kaum Förderansätze, wie man sprachliche und fachliche Hürden von mehrsprachigen Schüler:innen verringern kann und zudem beziehen sich Sprachförderungsansätze für den Mathematikunterricht kaum auf die Mehrsprachigkeit. Sprachensible Maßnahmen sollen dabei sprachliche Anforderungen sichtbar machen, damit ein Bearbeiten möglich ist, ohne die Anforderungen zu reduzieren (Prediger & Wessel, 2011, S. 163). Bildungssprache ist an der konzeptionellen Schriftlichkeit erkennbar, welche durch höhere Präzision und grammatikalischer Vielschichtigkeit gekennzeichnet ist. Dabei ist grammatikalisch besonders die Nominalkonstruktion, Komposita, Passivkonstruktionen und unpersönlichen Ausdrucksweisen eine Hürde. Sprachliche Mittel wie Mengen und Teil-Ganzes-Verhältnisse (beispielsweise *alle*, *manche*, *jeder* und *je*) als auch Präpositionen wie *neben*, *an* und *um*. Um die sprachlichen Hürden in Alltags-, Bildungs- und Fachsprache in Erst- und Zweitsprache erkenntlicher zu machen, entwickelte Clarkson ein sechsgliedriges Modell zum Sprachstand. Auch wenn farblich in diesem Modell eine Unterscheidung der Ebenen deutlich ist, so sind die Übergänge fließend (Prediger & Wessel, 2011, S. 165).

Die Abbildung auf der nächsten Seite visualisiert das sechsgliedrige Modell von Clarkson.

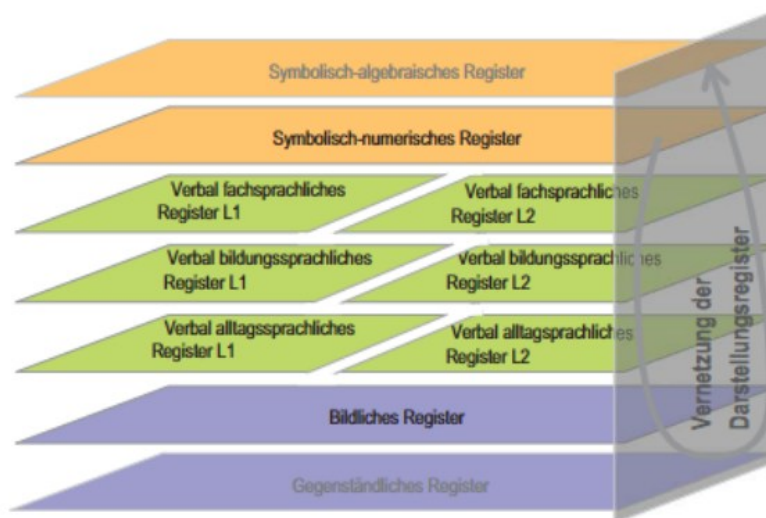


Abbildung 4 Unterschiedliche Darstellungsebenen von mathematischen Begriffen (Prediger & Wessel, 2011, 167)

Die Abbildung verdeutlicht insbesondere, dass ein hilfreicher, zentraler Förderansatz im Mathematikunterricht das Betrachten des mathematischen Verstehens nicht ausschließlich über die Sprache, sondern als Verknüpfung auf enaktiver (handelnder), ikonischer (bildlicher) und symbolischer Ebene ist. Dabei werden mathematische Begriffe im Zusammenspiel aller drei Ebenen erlernt, wobei sich diese in ihrem Abstraktionsgrad unterscheiden, aber gleichwertig zu betrachten sind. Hilfreich ist vor allem das Verbalisieren von Bildern und Formeln in der Alltagssprache. Im Modell ist die verbale Ebene differenziert nach Alltags-, Bildungs- und Fachsprache in Erstsprache (L1) und Zweitsprache (L2) und einzig als hierarchisch strukturiert zu verstehen. Auf der untersten, der lila Ebene, ist das enaktive (gegenständliche) und ikonische (bildliche) Darstellen und auf der obersten Ebene das Symbolische zu finden, welches sich auf die numerische und algebraische Thematik bezieht. Der seitliche Pfeil in der Abbildung markiert die Vernetzung der drei Ebenen, wodurch das Verstehen der Mathematik immer im Austausch und Übersetzen zwischen den Ebenen gelingt (Vgl. Prediger & Wessel, 2011, 166f).

Den Wechsel zwischen den Darstellungsformen bewusst im Lernprozess anzuwenden, ist eine Förderung, um mathematisches Verstehen zu vertiefen. Zur Problemlösung mathematischer Textaufgaben ist demnach das Unterscheiden, Übersetzen, Wechseln und in Beziehung setzen von den drei Darstellungsebenen notwendig. Dabei ist auch der Übergang von alltagssprachlichen zu bildungs- und fachsprachlichen inkludiert. Jedoch ist die verbale Ebene zwar für das inhaltliche Verständnis der Textaufgabe essentiell, jedoch für Schüler:innen mit Deutsch als Zweitsprache eine Herausforderung. Bildliche und

symbolische Darstellung unterstützt jedoch den Übergang von Alltags- zu Bildungs- und Fachsprache. Daher ist es notwendig, Bildungssprache aus dem Unterricht mit Hilfe von Alltagssprache zu erklären (Prediger & Wessel, 2011, 168f).

Um die Bedeutung hinter mathematischen Zeichen und Symbolen jedoch gänzlich zu verstehen, sollten diese im Lernprozess bei Visualisierung, Handlungserfahrungen und Begriffserklärung in der Unterrichtssprache verwendet werden. Kann ein mathematischer Begriff nicht anschaulich dargestellt werden, so wird die verbale Erklärung der Lehrperson von den Schüler:innen aufgrund ihrer Sprachkenntnisse und ihr Vorwissen unterschiedlich verstanden. Wird nun das neue Wissen von den Schüler:innen angewendet, können sie ihr Verständnis überprüfen (Rösch & Paetsch, 2011, 59).

2.6 konventionelle sprachliche Fördermaßnahmen im Mathematikunterricht

Da die sprachlichen Schwierigkeiten im Mathematikunterricht den Lehrpersonen bewusst sind, gibt es bereits einige sprachliche Fördermaßnahmen, welche von Lehrpersonen umgesetzt werden. Im Folgenden werden einige mögliche Fördermaßnahmen beschrieben, die primär der Verständlichkeit von Textaufgaben forcieren:

Eine weit verbreitete sprachliche Fördermaßnahme, die auch in vielen anderen Unterrichtsfächern Verwendung findet, ist *Scaffolding*.

Dabei bietet man Lernenden ein Baugerüst (auf Englisch *Scaffolding*) an, um ihre Lernentwicklung zu unterstützen. Dabei beschreibt Gibbons, dass man die Schüler:innen bei jenen Inhalten bzw. Kompetenzen abholt, welche sie bereits beherrschen und führt die Lernenden gemeinsam zur nächsten Entwicklungsstufe:

This sociocultural approach to learning recognizes that with assistance, learners can reach beyond what they can do unaided, participate in new situations, and take on new roles. [...] This assisted performance is encapsulated in Vygotsky's notion of the zone of proximal development, or ZPD, which describes the 'gap' between what learners can do alone and what they can do with help from someone more skilled. This situated help is often known as 'scaffolding' (Gibbons 2009, 15).

Im Mathematikunterricht bedeutet dies konkret, dass Schüler:innen mit Deutsch als Zweitsprache in neuen Inhalten Unterstützung erhalten, um diese sprachlich und fachlich zu verstehen und anwenden zu können. Oberstes Ziel ist die selbstständige Anwendung durch die Lernenden. Lehrpersonen füllen dabei die sprachliche und fachliche Lücke mit

Unterrichtsplanung und -interaktion, die Lernende zwischen bereits erreichten Kompetenzen und neu zu erlernenden Kompetenzen haben (Kniffka, 2010, 1).

Zu unterscheiden ist im sprachsensiblen Unterricht zwischen *Makro- und Mikro-Scaffolding*.

Makro-Scaffolding umfasst die Bedarfsanalyse, Lernstandserfassung und Unterrichtsplanung. In der Bedarfsanalyse wird das neu zu erarbeitende Thema von der Lehrperson auf sprachliche Besonderheiten und Hürden analysiert. Die Lernstandserfassung dient der Diagnose der sprachlichen Kompetenz der Lerngruppe und zur Überprüfung, inwiefern diese den Anforderungen des Unterrichts entsprechen. Auf Grundlage der Bedarfsanalyse und Lernstandserfassung wird der Unterricht geplant, bei der sprachliche und fachliche Aspekte verknüpft werden (Kniffka, 2010, 2ff).

Mikro-Scaffolding bezieht sich auf die Unterrichtsaktionen. Darunter zählen Maßnahmen wie ein verlangsamtes Sprachtempo für die bessere Verarbeitung neuer Inhalte, Einräumung zusätzlicher Planungszeit mündlicher Äußerungen der Schüler:innen, gezielter Einsatz der Lehrperson von authentischen Fragestellungen sowie ein aktives, responsives Zuhören der Lehrkraft. Bei Letzterem werden Schüler:innen Äußerungen aufgegriffen und in fachlich angemessener Sprache wiedergegeben, um den Erwerb fachsprachlicher Strukturen zu unterstützen (Kniffka, 2010, 2ff).

Eine weitere Fördermaßnahme, der sogenannte *Textaufgabenknacker*, nimmt Bezug auf *Scaffolding* und den Zielstrategien für ein besseres Leseverständnis. Die zugrundeliegenden Zielstrategien sind dabei folgende:

- (1) Lesestrategie: Finde relevante Informationen (Welche Informationen brauche ich?)
- (2) Fokus auf Informationen und Bedeutung (Was bedeuten die Informationen?)
- (3) Fokus auf Beziehungen zwischen Informationen (Wie hängen die Informationen zusammen?)
- (4) Einteilung in Schritte; systematisches Vorwärtsarbeiten (In welchen Schritten kann ich die Informationen verbinden?)
- (5) Vorwärts- und Rückwärtsarbeiten und Einteilung in mehrere Schritte (Was habe ich gegeben, und auf welche Zielfrage muss ich hinsteuern? Was brauche ich für die Beantwortung der Zielfrage, und wo her bekomme ich diese Information?)
- (6) Mathematisierungen einfach ausprobieren und überprüfen (Ich probiere mal aus und überlege dann: Was bedeuten meine Teil-Rechnungen und passt das so?) (Krägeloh & Prediger, 2015, 141).

Diese Strategien sollten systematisch und teilweise gleichzeitig Verwendung im Lese- und Verstehensprozess von mathematischen Textaufgaben finden. Zu diesem Zweck entwickelten Krägeloh & Prediger (2015, 141) das Scaffoldingwerkzeug *Textaufgabenknacker*.

Dieser strukturiert den Bearbeitungsprozess in Form einer Tabelle: In der linken Spalte halten Lernende wichtige Informationen fest, wobei nicht nur Zahlen, sondern auch deren Bedeutung verschriftlicht werden. Zudem wird die gesuchte Variable x zu Beginn bestimmt und semantisch geklärt. Die mittlere Spalte fungiert als Verbindung zwischen der linken und rechten Spalte und dient der Formulierung von Zwischenfragen und der Versprachlichung mathematischer Terme. Durch die Zeilenstruktur der Fördermaßnahme wird der Bearbeitungsprozess entschleunigt. Mit dem Feld im oberen Bereich können die Lernenden sowohl vorwärts als auch rückwärts arbeiten, da es den Fokus frühzeitig auf das Bearbeitungsziel lenkt und zielgerichtet eine Verknüpfung gegebener Informationen ermöglicht. Zusätzlich wird den Schüler:innen Raum für exploratives Ausprobieren gegeben, um unterschiedliche Lösungsansätze zu probieren und zu reflektieren (Krägeloh & Prediger, 2015, 142f). In der unten angeführten Abbildung kann man am Beispiel der Textaufgabe *Die Geburtstagsfeier* erkennen, wie zwei Schüler einer achten Klasse Gesamtschule in Deutschland die Fördermaßnahme für ein besseres Lese- und Verstehensverständnis anwenden:

Die Geburtstagsfeier
 Tim plant eine Geburtstagsfeier, zu der er seine Klassenkameraden einladen möchte. Für das Abendessen bestellte er Pizza, die pro Person 6 € kostet. Die Getränke kosten pro Person 4 €. Aufgrund der bestellten Menge, erhält Tim jedoch 20 € Rabatt.
 Nach dem Essen will er seine Freunde noch zu einer Partie Bowling einladen. Diese kosten pro Person 9 €. Leider können 2 von Tims Freunden an der Bowlingpartie nicht mehr teilnehmen. Die genaue Anzahl von Tims Gästen ändert sich noch, weil immer wieder Gäste zu und absagen.
 Kannst du ihm helfen einen Term zu finden, mit dem er für eine veränderbare Personenzahl die Kosten für die Feier berechnen kann?



Die Frage will ich beantworten:
die Kosten

x steht hier für:
die Gäste

	Diese Informationen verbinde ich:	Wenn ich die Informationen verbinde, bedeutet das ...	Das rechne ich mit dem Term:
Platz zum Ausprobieren Was kann ich alles miteinander verbinden?	<i>6€ Person 4€ Person - 20€ Rabatt</i> 	<i>die Kosten der Pizzen die Kosten der Getränke</i> <i>Kosten der Bowlingpartie</i>	$6 \cdot x$ $4 \cdot x$ $6 \cdot x + 4 \cdot x - 20$
So komme ich auf die Lösung	<i>9 Person - 2 Gäste Die Kosten der Pizzen + Kosten der Getränke + Bowling - 20€ Rabatt</i>	<i>Kosten der Bowlingpartie</i> <i>Gesamtkosten</i>	$9(x-2)$ $6 \cdot 4x - 20 + 9 \cdot (x-2)$ Lösungsterm:

Abbildung 5 Beispiel Textaufgabenknacker (Krägeloh & Prediger, 2015, 143)

Auch *Info-Netze* bauen auf die Strategie *Scaffolding* auf, wobei wieder folgende drei Punkte wesentlich für das positive Bearbeiten einer Textaufgabe entscheidend sind:

- (S1) Die im Hinblick auf die Frage relevanten Informationen identifizieren. (Was erfahre ich und was davon ist wichtig?)
 - (S2) Informationen (insbesondere Zahlen) immer auch im Sachzusammenhang deuten. (Was bedeuten die Zahlen/Aussagen?)
 - (S3) Auf Relationen zwischen Informationen fokussieren. (Wie hängen die Informationen zusammen?)
- (Dröse & Prediger, 2018, 8)

Der Leseplan unterstützt dabei die Schüler:innen mit Hilfe des *Info-Netzes* die Textaufgabe zu lösen. Vor dem Lösen von Textaufgaben mit dem *Info-Netz* müssen Lernende jedoch den Leseplan verstehen und lernen anzuwenden. Diese Strategie unterstützt visuell und arbeitet nach einem Schema (Dröse & Prediger, 2018, 8).

Das Einarbeiten in diese Strategie ist zwar zum Anwenden dieser Strategie notwendig, kann jedoch auch vielerlei Aspekte hilfreich sein:

Durch die schemenhafte Strukturierung, erhält man ein Gerüst, welches man als Lernende abarbeiten kann. Ebenso kann man durch das Netz Gedanken verbal und in Zeichen darstellen, was dem Ausdruck beim Begründen und Lösen der mathematischen Textaufgaben hilfreich sein kann. Zudem kann man durch das Netz in ein Gespräch gelangen und verschiedene Situationen und Unterschiede in der Formulierung besprechen. Auch aus Sicht der Lehrenden ist die Strategie für die individuelle Förderung wegweisend, da es den Lernstand der Schüler:innen anschaulich darstellt (Dröse & Prediger, 2018, 10). Wichtig ist, dass man das Netz als temporär begrenzt betrachtet und die Denkprozesse, welches man mit dem *Info-Netz* durchläuft, schließlich auch ohne diesen schafft. Ebenso sollte man auch die Leistungsdifferenz innerhalb einer Klasse achten: Leistungsschwächeren und Leistungsstarken sollte man unterschiedliche Textaufgaben geben, sodass alle Lernenden die Möglichkeit haben, für sich Gewinne aus der Strategie zu ziehen (Dröse & Prediger, 2018, 12).

Besonders und vor allem vorteilsbringend für das Sprachverständnis ist diese Strategie, da man auf die sprachlichen Besonderheiten eingehen und diese auch variieren kann. Aufgrund des *Info-Netztes* ist das sprachliche Verständnis der Schüler:innen auch für Lehrende nachvollziehbar und erkennbar, worin sprachlich Schwierigkeiten aufgetreten sind. Die sprachlichen Herausforderungen können und sollten auch im

Das *Info-Netz* wird konstruiert, sobald man die einzelnen Schritte des Leseplans durchlaufen hat:



In der nachstehenden Abbildung ist erkenntlich, wie man mit Hilfe des Leseplans zum Info-Netz gelangt:



Auf blaue Karten werden die Fragestellung der mathematischen Textaufgabe geschrieben, auf gelbe Karten die Informationen aus dem Fließtext (das bedeutet Zahlen mit Einheiten und notwendige Wörter für das Verständnis). Zusammenhänge werden mit Hilfe von Pfeilen dargestellt, sodass das Konstrukt an die Äste eines Baumdiagramms ähnelt. Zwischenergebnisse und Ergebnisse sollten auf die zusätzlichen blauen Kärtchen notiert werden.

2.7 Weitere Förderangebote für die Verständlichkeit von mathematischen Textaufgaben

Abseits konventioneller Förderangeboten gewinnt im Zuge der zunehmenden Verbreitung von künstlicher Intelligenz auch deren Einsatz im Schulwesen an Bedeutung, um die Verständlichkeit mathematischer Inhalte für Schüler:innen zu optimieren.

Eine vorabgedruckte Studie von Dai et al. (2023, 1) versucht zu enthüllen, inwiefern Lehrpersonen ChatGPT für das Generieren von Feedback in Form eines Textes verwenden kann. Dabei sind folgende drei Forschungsfragen relevant:

- **RQ 1** *To what extent is the feedback generated by ChatGPT readable?*
- **RQ 2** *To what extent does the ChatGPT-generated feedback agree with instructor-generated feedback when assessing students' performance?*
- **RQ 3** *To what extent does the ChatGPT-generated feedback contain effective feedback components to guide student learning?* (Dai et al., 2023, 1)

Dies impliziert, dass die Lesbarkeit des generierten Feedbacks, die Übereinstimmung zwischen der Rückmeldung von Lehrpersonen und ChatGPT sowie die effektiven Komponenten des Feedbacks im Fokus der Forschung stehen. Die Ergebnisse für die Forschungsfragen belegen, dass das generierte Feedback von Detailliertheit, sprachlicher Flüssigkeit und Kohärenz triumphierte. Häufige Übereinstimmungen mit den Bewertungen der Lehrpersonen zeigen sich im Bewertungsraster und das Feedback bezieht sich auf den Lernprozess (Dai et al., 2023, 1). Im Feedback von ChatGPT ist zudem erkennbar, dass die künstliche Intelligenz vermehrt auch den Prozess in das Feedback miteinfließen lässt, dahingegen achten darauf die Lehrpersonen kaum. Der Miteinbezug des Lernprozesses ist besonders für Lernstrategien wichtig. *Prompt Engineering* sollte in zukünftigen Studien eingesetzt werden, um die Zuverlässigkeit von ChatGPT bei der Bewertung zu verbessern. Weiterführende Studien sollten zudem erforschen, ob das Feedback nicht nur auf den Prozess, sondern auch auf die Aufgabe und Wirkung adressiert ist. In diesem Zusammenhang ist insbesondere das Feedback in Bezug auf individuelle und schulisch vorgegebene Lernziele zentral (Dai et al., 2023, 5).

2.8 Künstliche Intelligenz im Bildungsbereich

2.8.1 Entstehungsgeschichte der Künstlichen Intelligenz

Bereits der griechische Mathematiker und Ingenieur Heron von Alexandria entwickelte die ersten mechanischen Konzepte, die als Vorläufer heutiger Vorstellungen von künstlicher Intelligenz interpretiert werden können. Weiterentwickelt wurden dessen Visionen kontinuierlich über die Jahrtausende, bis in den 1930ern und 1940ern Alan Turing seinen fundamentalen Beitrag leistete. Er entwickelte die nach ihm benannte Turing-Maschine. Daraus folgten theoretische Grundlagen für spätere Programmiersprachen, Automatentheorien, grundlegende Verständnisse für algorithmische Prozesse sowie Grenzen der Computermathematik (Engelke & Engelke, 2024, 12f). Ebenso ist auch der Turing-Test zentral, welcher als methodisches Instrument zur Bestimmung dient, ob die Interaktion mit einer Maschine noch von jener mit einem Menschen unterscheidbar ist (Till, 2023, 11).

John McCarthy prägte 1955 den Begriff künstliche Intelligenz. In Folge entwickelte man erste Anwendungen wie Schachprogramme, Formen des maschinellen Lernens und des Sprachverarbeitungssystems *ELIZA* ((Engelke & Engelke, 2024, 13f). *ELIZA* ist dabei so konzipiert, dass es das sprachliche Verhalten von Psychotherapeuten simuliert. Durch die Reaktion und Eingabe der Menschen, entwickelt das System Dialoge mit dem Gegenüber. Dies führt zur Weiterentwicklung wie beispielsweise Chatbots und markiert die ersten Meilensteine für die menschenähnlichen Interaktionen mit künstlicher Intelligenz (Till, 2023, 11). In den 1970ern flaute das Interesse wieder ab. Eine Aufschwungsphase folgte in den 1980ern, insbesondere für Systeme in der Medizin entwickelte, die das heutige maschinelle Lernen vorbestimmten. Es folgten wieder Jahrzehnte der Rückläufigkeit, bis in den 2000ern durch die Verfügbarkeit von großen Datenmengen (*Big Data*) den Durchbruch der künstlichen Intelligenz markierte. Leistungsfähigere neuronale Netzwerke wurden erschaffen und auch komplexe Aufgaben werden mit hoher Effizienz bewältigt (Engelke & Engelke, 2024, 14). Eine Errungenschaft der 2000er ist beispielsweise das *Amazon Cloud-Computing-Service*, um große Datenmengen zu speichern und *Hadoop*, um große Datenmengen ebenso zu verarbeiten und zu analysieren (Till, 2023, 10). Durch die Einführung der Sprachassistenten wie Apples *Siri*, Amazons *Alexa* und Google *Assistant* wurde die künstliche Intelligenz immer populärer und fand immer mehr Einklang im Alltag (Engelke & Engelke, 2024, 15).

Wesentlich war die Gründung von OpenAI im Jahr 2015, wobei das Ziel war, Forschung im Bereich der künstlichen Intelligenz durchzuführen und der Nutzen sollte für alle Menschen verfügbar und brauchbar sein (Engelke & Engelke, 2024, 15).

2.8.2 ChatGPT im Detail

Entscheidend für die Entwicklung ChatGPTs war die veränderte Rollenverteilung zwischen Linguist:innen und Informatiker:innen in Hinblick auf regelbasierte, linguistische Ansätze für Textentstehungen. Somit trat ein fließender Übergang von der *Natural Language Processing*, welche in den 1950ern begann, zu *Deep-Learning*-Methoden auf. *Deep-Learning* ist dabei ein Teilbereich des *Machine-Learnings*, wobei das System bereits Algorithmen besitzt und keine menschlichen Korrekturen mehr benötigt (Till, 2023, 11f). Dabei wurde verzichtet, dem System grammatikalische Regeln vorzugeben, sondern große Mengen an Textdaten werden dem System für das Erlernen von statistischem Muster und Regularitäten gegeben (Engelke & Engelke, 2024, 45 und Ebinger et al, 2023, 7f). Ergänzt wurde der Lernprozess durch die Informatiker:innen, indem sie Lob und Korrekturen ergänzten (Engelke & Engelke, 2024, 45). Im Zentrum steht dabei das maschinelle Lernen (*Machine Learning*), ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz, bei dem Modelle auf Basis von Daten trainiert werden und keine expliziten Programmieranweisungen für jede Aufgabe gegeben werden. Konkret bedeutet dies, dass dem Computer große Datenmengen gestellt werden und es werden versucht, Algorithmen und statistische Zusammenhänge für das selbstständige Generieren von Textkriterien zu finden (Engelke & Engelke, 2024, 16f). Somit erstellt ChatGPT Texte, indem es sequenziell Wort für Wort ergänzt. Technisch erläutert bedeutet dies, dass jedes neue Wort durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung berechnet wird und dabei das jeweils wahrscheinlichste Wort verwendet wird. Vorstellbar ist dies durch das schrittweise Ergänzen eines Textes durch Verwendung von Wortlisten und deren Wahrscheinlichkeit, indem die nicht endenden Lücken am Satzende mit passenden Wörtern gefüllt werden. Erst durch die Trainingserfahrungen durch Milliarden von Beispielen und der Optimierung der Verlustfunktion kann ChatGPT die Lücke richtig füllen. Letztere misst die Differenz zwischen den vom Modell vorhergesagten und den tatsächlichen, festgelegten Wörtern der Trainingsdaten. Durch das Minimieren der Verlustfunktion lernt das Modell mit der Zeit, präzisere Vorhersagen zu treffen (Engelke & Engelke, 2024, 46). ChatGPT ist zudem ein autoregressives Sprachmodell. Vereinfacht bedeutet dies, dass es auf frühere

Aussagen Bezug nehmen kann (Till, 2023, 17). Sorgfalt sollte jedoch bei der Nutzung von künstlichen Intelligenzen geboten werden: Grundsätzlich generieren künstliche Intelligenzen durch Muster Antworten, weswegen das kritische Beleuchten der Resultate unumgänglich ist. Zudem werden die Modelle mit Hilfe von zuvor eingespielten Trainingsdaten trainiert, weswegen implizite Perspektiven oder Verzerrungen übernommen und folglich bei bestimmten Thematiken keine vollständige Neutralität gewährleistet wird. Schlussendlich löst das Eingeben von Daten im System aus, dass diese eingespeist, verarbeitet und zur Weiterentwicklung dienen, weswegen Eingaben der Nutzer:innen nicht nachverfolgbar und eine Löschung der bereits eingegeben Dateien nicht möglich ist (Ebinger et al, 2023, 8).

Grundlegend steht ChatGPT, ein KI-basiertes Sprachmodell, für *Generative Pre-Trained Transformer*, ein Ansatz aus dem Bereich des maschinellen Lernmodells zur Verarbeitung natürlicher Sprache. ChatGPT ist dabei ein textbasiertes, dialogfähiges System, ein Chatbot, welches fähig ist, auf Nutzereingaben, Prompts mit kohärenten, situationsangemessen und kontextbezogenen Texten zu antworten. Der Begriff *generativ* weist darauf hin, dass neue, syntaktisch und semantisch zusammenhängende Texte erzeugt werden, die sich auf die Prompts beziehen. *Pre-Trained* betont, dass dem Modell bereits riesige Mengen an Textdaten aus Trainingszwecken eingespielt wurden, wodurch ChatGPT Allgemeinwissen und Verständnis der sprachlichen Strukturen verfügt. Somit kann ChatGPT verständlich, sprachlich differenziert und inhaltlich auf den Prompt beziehend Texte generieren. *Transformer* wiederum hebt die Modellstrukturen, künstliche neuronale Netzwerke, hervor, welche *Self-Attention-Mechanik* nutzt (Till, 2023, 15f).

Jede Eingabe in ChatGPT wird als *Token* gefasst. Dies ist die kleinste Verarbeitungseinheit des Sprachmodells, bestehen aus ganzen Wörtern, Morpheme, Silben oder Wortteile und wird anschließend in *Embeddings* gewandelt. Mit Hilfe der Embeddings kann der Computer die Tokens, bestehend aus Teilen von Wörtern, numerisch darstellen und verarbeiten. Dadurch versteht der Computer die semantische Bedeutung einer jeder ChatGPT-Eingabe und kann diese interpretieren. Je nach Version variiert die maximale Anzahl an Tokens, welche verarbeitet werden können. Dies bedeutet, je höher die Kapazität, desto umfangreicher kann auf den Kontext geachtet werden, dass wiederum semantische Konsistenz und die mögliche Länge und Genauigkeit der generierten Antwort führt (Mittelstaedt, 2023, 4f). Mit Hilfe von NLP (*Natural Language Processing*)

verstehen die künstliche Intelligenz die menschliche Sprache und kann passend darauf reagieren (Ebinger et al, 2023, 10).

2.8.3 Versionen von ChatGPT

Seit der Veröffentlichung von ChatGPT werden fortlaufend weiterentwickelte Versionen veröffentlicht, die sich in Funktion und Fähigkeiten unterscheiden lassen. Im Folgenden werden ausgewählte Versionen aufgelistet und Vor- und Nachteile beleuchtet:

ChatGPT 3.5, auch als ChatGPT-3.5-Turbo bekannt, ist eine Erweiterung des ursprünglichen GPT-3-Modells. Es ist bekannt für die Generierung von menschenähnlichen Texten, ist fähig in mehrere Sprachen zu übersetzen, hat die Fähigkeit Kontexte zu verstehen und merkt sich diese über mehrere Dialogsequenzen. Einschränkend ist jedoch, dass es nur Zugriff auf Daten hat, mit denen es trainiert wurde. Dies kann zu Wissensständen führen, die für Nutzer*innen potenziell irreführend wirken (Mittelstaedt, 2023, 2).

ChatGPT 4 erweitert die Stärken von ChatGPT 3.5 in einer noch besseren Version: Es generiert komplexere und menschenähnlichere Texte. Auch ist die Gedächtnisleistung für das Merken einiger Informationen länger. Neu hinzu kommt, dass es eine gesteigerte Funktion in der Eigenleistung zum Entwickeln menschenähnlicher Texte besitzt.

ChatGPT Plus stellt eine kostenpflichtige Version dar und hat eine verbesserte Leistungsstabilität im Kontext von Übersetzungsanfragen, Beantwortung von Fragen und Lösen mathematischer Probleme. Zusätzlich bleibt die Leistungsfähigkeit dieser Version zu jeder Tageszeit konstant. Denn anders als die Gratisversionen, die bei intensiver Nutzung unterschiedlicher Menschen ihre Qualität minimiert werden kann, beeinträchtigt die Stoßzeiten die Ergebnisse nicht (Mittelstaedt, 2023, 2f).

In einer Studie von Chen, Zaharia und Zou (2023, 2) entstand ein Vergleichsergebnis von ChatGPT 3.5 und ChatGPT 4 aus den Monaten März und Juni 2023 in Bezug auf das Lösen mathematischer Problemstellungen: ChatGPT 3.5 hat sich im Lösen verbessert, wohingegen ChatGPT 4 generierten Antworten an Qualität verloren.

2.8.4 Prompt Engineering

Der Prompt, die Eingabe in das Eingabefeld von ChatGPT durch die Nutzer:innen, ist entscheidend für die Qualität und das Verständnis der künstlichen Intelligenz. Daher ist

es wesentlich, dass der Prompt die notwendigsten Informationen verständlich, prägnant und eindeutig beinhaltet (Ebinger et al, 2023, 13).

Ausgehend vom eingegebenen Prompt der Nutzer:innen reagiert ChatGPT auf deren Anfrage mit entsprechender Antwort. Dabei hängt Qualität und Präzision der Antwort von ChatGPT maßgeblich von der Formulierung des Prompts ab. Die Formulierungen lassen sich auf drei Ebenen unterscheiden: *Kommunikations-*, *Kontroll-* sowie *Personalisierungsebene*.

- Auf der *Kommunikationsebene* leitet der Prompt den Dialog und gibt inhaltliche Richtungen vor.
- Auf der *Kontrollebene* bestimmt der Prompt Qualität, Relevanz und Art der Informationsbeschaffung in der Reaktion von ChatGPT.
- Auf *Personalisierungsebene* können die User:innen mit ihrem Prompt gezielt individuelle Bedürfnisse angeben und dadurch auch personalisierte Antworten einfordern.

Schlussfolgernd ist der Prompt wesentlich für die Gestaltung der Antwort und bestimmt die Qualität dieser vor. Ein klarer, präzise und gut formulierter Prompt entscheidet die erwartende Reaktion (Mittelstaedt, 2023, 37f).

Für eine zielführende und qualitativ hochwertige Anwendung von ChatGPT sollte der Prompt laut Mittelstaedt (2023, 38) einige Informationselemente beinhalten, die im Folgenden systematisch dargestellt werden:

- 1) Rolle von Zielgruppen, Zielen und Schmerzpunkten: Die Erwähnung der Zielgruppe ermöglicht ChatGPT, die sprachliche Gestaltung und Inhaltsvermittlung passend an die Zielgruppe zu richten. Darüber hinaus sollte das übergeordnete Ziel der Interaktion spezifiziert werden. Beispielsweise ob die Antwort in Form einer Frage, ein Text, eines Artikels oder einer mathematischen Textaufgabe erwartet wird. Zudem sollte der Schmerzenspunkt erwähnt und von ChatGPT adressiert werden. So könnte bei mathematischen Textaufgaben beispielsweise das Problem eine unverständliche, nicht klar formulierte Problemstellung sein und dies sollte ChatGPT in der Formulierung beheben. Erwartet man zudem eine bereits visualisierte strukturell komplizierte Antwort von ChatGPT, so ist es hilfreich,

ChatGPT bereits durch exemplarische Vorgaben zu steuern (Mittelstaedt, 2023, 38f).

- 2) Ausreichender Kontext: Um die Performanz von ChatGPT vollkommen auszuschöpfen, sollte man in Prompts auch ein ausreichend umrissenes Szenario für den kreativen und fachlichen Kontext der generierten Antwort definieren. Beispielsweise kann das Szenario ein Mathematiklehrer sein, der eine Textaufgabe zu einem bestimmten Thema entwickeln möchte (Mittelstaedt, 2023, 39 und Ebinger et al, 2023, 14).
- 3) Klare und gut formulierte Prompts: Je exakter und eindeutiger ein Prompt formuliert ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass die generierte Antwort den Sachverhalt adressiert und die Antwort nicht irreführende Informationen enthält (Mittelstaedt, 2023, 40f und Ebinger et al, 2023, 14).
- 4) Ton, Design und Zielpublikum für personalisierte Antworten: Den Ton sollte man sich im Vorfeld überlegen und im Prompt bereits integrieren, sodass die generierte Antwort darauf Bezug nehmen kann. Das Format sollte im Prompt ebenso stehen, damit ChatGPT darauf reagieren kann. Beispielsweise eine Antwort als Tabelle oder Bild. Erwähnt man das Zielpublikum explizit, so kann ChatGPT die Antwort in eine Form generieren, die genau die Leser:innenschaft klar und verständlich empfindet (Mittelstaedt, 2023, 41f und Ebinger et al, 2023, 14). Damit die künstliche Intelligenz eine solche Antwort generiert, sollten zudem negative Aussagen vermieden werden (Ebinger et al, 2023, 14).

Hilfreich für ein Verständnis eines Prompts ist zudem die Unterscheidung von *Intent* und *Entity* in der Eingabe. Unter *Intent* versteht man das zu erwartende Ziel bzw. Reaktion der künstlichen Intelligenz, dahingegen unter *Entity* Informationen, die dem *Intent* als Unterstützung und zum Verstehen des *Intents* dienen (Ebinger et al, 2023, 14).

Die Kombination dieser Techniken verschafft den Prompt-Schreiber:innen kreativere, präzisere und stärker personalisierte generierte Antworten von ChatGPT (Mittelstaedt, 2023, 48).

Im Wesentlichen unterscheidet man in der Prompt-Gestaltung noch zwischen *Zero shot prompting* und *Few shot prompting*. Dabei nimmt *zero shot prompting* darauf Bezug, einen präzisen Prompt zu formulieren ohne Beispielvorgaben. Dabei wird das Modell auf

das in seinem Training erworbenen Kontext und Wissensstand zugreifen. Bei *few shot prompting* hingegen liefert man im Prompt ChatGPT einige Beispiele für die generierte Reaktion (Mittelstaedt, 2023, 52). Entscheidend bei *few shot prompting* ist die Qualität der Beispiele, denn diese liefern ebenso die Qualität der Antwort der künstlichen Reaktion. Verwendung findet diese Prompting-Gestaltung bei komplexeren Beispielen und wenn die künstliche Intelligenz diese Art von Beispiel in ihrer Entwicklung noch nicht gelöst hat. Empfehlenswert ist diese Gestaltung daher, wenn die künstliche Intelligenz die Anwendungsaufgabe in der Entwicklungsphase noch nicht erlebt hat (Mittelstaedt, 2023, 54).

Weitere Prompt-Gestaltungen lauten *Chain of Thoughts* und *Tree of Thoughts*. Ersteres besteht aus einer kohärenten, geradlinigen Verwendung von Prompts, welche als Glied einer Gedankenkette vorstellbar sind. Mit dieser Methode unterstützt man bei ChatGPT beispielsweise die Formulierung einer Geschichte mit Anfang, Hauptteil und Ende. Die zweite Gestaltung, die *Tree of Thought*-Methode, unterstützt die Strukturierung komplexere Prompts. Dabei besteht die Komplexität aus verschiedenen Gedankensträngen, die sich als Äste in einem Baumdiagramm repräsentieren lassen. Jeder Ast sollte von ChatGPT gleicherweise verfolgt werden (Mittelstaedt, 2023, 57). Verwendung findet letztere Methode, wenn man in einem Text unterschiedliche Aspekte beleuchten möchte (Mittelstaedt, 2023, 59).

Bezüglich der Formatgestaltung, insbesondere wenn man Texte oder mehrere Aspekte (unter Verwendung der *Tree of Thought*-Gestaltung) einbauen möchte, sollte man darauf achten, Befehle zu Beginn und einzufügende Texte mit *###* oder „“ hervorzuheben (Mittelstaedt, 2023, 60f).

Eine Erweiterung von ChatGPT ist der *Code Interpreter*, welcher Dateibearbeitung, Diagrammerstellung und Berechnungen von mathematischen Problemstellungen unterstützt (Mittelstaedt, 2023, 71).

2.8.5 Didaktik und ChatGPT

Für die Schule ist insbesondere ChatGPT ein vielseitiges, einsetzbares Werkzeug, da es mehrsprachige Fähigkeiten verfügt und auch zwischen verschiedenen Sprachstilen und Textsorten in kürzester Zeit wechseln kann. So erzeugt das System Gedichte, Kurzgeschichten, Songtexte, Mails, Briefe, Dialoge und Skripte in formeller, informeller,

neutraler, emotionaler, wissenschaftlicher, einfacher, bildlicher oder gar jugendlicher Sprache. Ebenso kann ChatGPT bestehende Texte auf Fehler oder Ausdrücke korrigieren, alternative Formulierungen vorschlagen, Übersetzungen in verschiedenen Sprachen anbieten sowie sprachliche Korrekturen abermals auf nachvollziehbarer Weise erklären (Engelke & Engelke, 2024, 47f).

Um von ChatGPT qualitativ hochwertige Antworten zu erhalten, sollten die Eingaben, die sogenannten Prompts, Qualität aufweisen. Effektive Prompts sind gekennzeichnet durch Klarheit, Prägnanz sowie korrekte Grammatik, Rechtschreibung oder Zeichensetzung. Überflüssige Wörter sollten minimiert werden, ebenso wie umgangssprachliche Ausdrücke, Abkürzungen und mehrdeutige Begriffe, die zu Missverständnissen im Output führen können. Durch die Verwendung des Aktivs werden Prompts prägnant und eindeutig formuliert. Zusätzlich gilt: Je mehr Hintergrundinformationen die künstliche Intelligenz erhält, desto klarer, spezifischer und relevanter die generierte Antwort im Output (Engelke & Engelke, 2024, 49). In Till (2023, 26) wird der Kontext eines Prompts durch sechs zentrale Parameter beschrieben. Diese Parameter beziehen sich einerseits auf die erwartende Formalität der Antwort durch den Stil, Ton Umfang und Form, andererseits auf die Zielgruppe und die Perspektive:

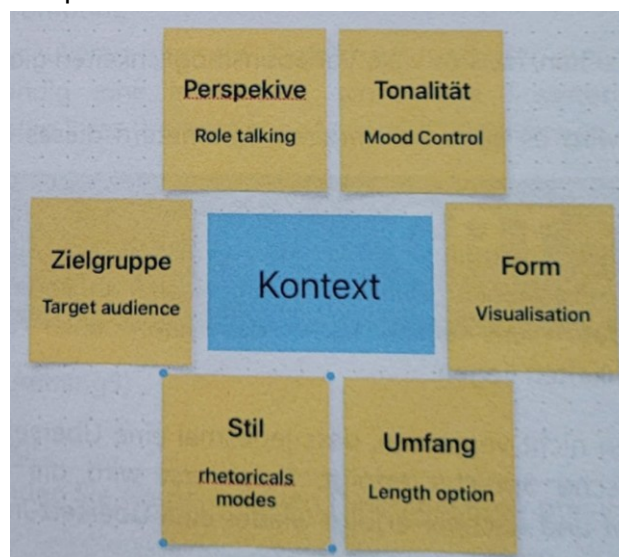


Abbildung 8 Parameter eines Prompts (Till, 2023, 26)

Im Bildungsbereich lässt sich der Einsatz von ChatGPT auf drei zentrale Ebenen differenzieren: Lern-, Lehr- und Verwaltungsebene. Auf der Lernebene steht das individuelle, wiederholte und vertiefende Lernen der Schüler:innen im Vordergrund. Auf der Lehrebene unterstützt ChatGPT Lehrpersonen im Vorbereiten, Durchführen und

Evaluieren von Unterrichtseinheiten sowie das Prüfen in Lerngruppen. Und auf der dritten Ebene, der Verwaltungsebene, wird die administrative Entlastung durch das Evaluieren, Planen, Organisieren, Dokumentieren und Steuern einer Schule durch Automatisierungs- und Planungsprozessen unterstützt (Till, 2023, 6). Somit kann mit Hilfe von ChatGPT gelingen, Lerninhalte verständnisvoll und leicht abrufbereit für Schüler:innen zu gestalten (Till, 2023, 39).

2.9 Potenziale und Herausforderungen von künstlicher Intelligenz bei mathematischen Textaufgaben

Textaufgaben im schulischen Kontext entstehen auf Grundlagen jener Kompetenzen, die im Unterricht bereits vermittelt wurden und deren Beherrschung durch Schüler:innen im Rahmen von Leistungsüberprüfungen wie Schularbeiten überprüft werden.

Die Konzeption dieser Textaufgaben ist somit mit dem didaktischen Entstehungskontext verknüpft: Die zugrundeliegende Kompetenz sollte von den Lernenden selbständig zum Lösen der Textaufgabe herangezogen werden. Entwickelt werden Textaufgaben somit auf Basis ihres Unterrichts, manche sogar sozial und kommunikativ, wenn Lehrpersonen miteinander interagieren (Ballweg, 2025, 74).

Werden Textaufgaben mit Hilfe von künstlicher Intelligenz überarbeitet, erweitert oder konstruiert, so ergibt sich eine kollaborative Autorenschaft zwischen Menschen und der künstlichen Intelligenz. Durch das Heranziehen der digitalen Welt in der Bearbeitung von Textaufgaben sollte daher bewusst gemacht werden, dass sich somit der Schreibprozess verändert (Ballweg, 2025, 75).

Untergliedert wird das Schreiben, sofern man dem normierten Textmuster folgt, in drei Kategorien: Planungs-, Verschriftlichungs- und Überarbeitungsphase (Ballweg, 2025, 76). Ergänzt werden kann der Schreibprozess durch *post-process writing*, wobei die soziale Interaktion im Schreibprozess hervorgehoben wird. Dabei gewinnt vor allem das Einbeziehen von der Schreibsituation, die Lesenden und die kommunikative Absicht von Bedeutung. Beeinflusst wird das Schreiben von kollaborativer, aushandelnder und interaktionaler Erfahrungen, Werte und Überzeugungen. Zusätzlich beinhaltet der Schreibprozess auch den Sprachstil und den eigenen Ausdruck (Ballweg, 2025, 77). Steinhoff (2025, 91) ist wiederum der Ansicht, dass es drei verschiedene Rollen der künstlichen Intelligenz im Schreibprozess gibt: *Ghostwriter*, *writing partner* und *writing*

tutors. Die Rolle der künstlichen Intelligenz als *Ghostwriter* verfasst nach Erhalt von menschlichen Prompts vollständig Texte (Steinhoff, 2025, 92). *Writing partner*, wobei Texte beispielsweise finalisiert und strukturiert werden (Steinhoff, 2025, 94) und *writing tutors*, wobei der Lernprozess oder die Überarbeitungsphase unterstützt wird (Steinhoff, 2025, 95). Fest steht, dass durch die Hinzunahme von künstlicher Intelligenz während des Schreibprozesses, die Eigenständigkeit der*des Verfasser:in verändert wird und dadurch die produzierten Texte einen anderen Stellenwert gewinnen (Ballweg, 2025, 75).

Auf Ebene der Verwendung von ChatGPT als *writing tutors* führte Ballweg eine Studie mit zwei Teilstudien durch. Die zweite Teilstudie nimmt dabei Bezug auf die Verwendung von Prompts und Feedback bei Textüberarbeitung von zwölf Studierenden, welche auf Niveau A1 deutsche Texte mit unterschiedlichen Erstsprachen verfassen sollten (Ballweg, 2025, 88). Als Vorgabe gab man den Studierenden die Bedingung, dass das Feedback von der kostenlosen Basisversion GPT-3.5 sich auf Inhalt, Struktur, Kreativität, Kohärenz, Lexik, Morphosyntax, Verständlichkeit, konstruktives Feedback, Rechtschreibung und Erläuterung der Fehler beziehen sollte. Die Studierenden sollten dabei selbst den Prompt formulieren (Ballweg, 2025, 89). Ergebnis dieser Teilstudie ist, dass sprachliche Korrekturen teilweise korrekt sind (Ballweg, 2025, 90), die Studierenden Feedback bezüglich Orthografie und Grammatik als sehr hilfreich und Feedback zu Inhalt, Struktur und Syntax als positiv empfanden (Ballweg, 2025, 92). Die Studie kommt zum Entschluss, dass mit Hilfe von ChatGPT auch inhaltliche und strukturelle Überarbeitung von Texten möglich ist (Ballweg, 2025, 92).

Der Begriff *Hybridisierung* verdeutlicht die kooperative Interaktion zwischen Menschen und Maschine(n) im Kontext computerbasierter Schreibprozesse. Teilautomatisierte Schreibpraktiken existieren bereits vor der Veröffentlichung von ChatGPT im November 2022, etwa Funktionen wie Kopieren, Einfügen, automatische Rechtschreibprüfung und die Diktierfunktion (Steinhoff, 2025, 86). Neben der Entwicklung der Schreibforschung im Handschreiben, entwickelt sich im deutschsprachigen Raum seit den 1980er Jahre zur gleichen Zeit die Schreibforschung mit digitalen Schreibpraktiken als interdisziplinäre Forschungsrichtung. Dennoch erscheinen empirische Untersuchungsergebnisse losgelöst vom analogen Schreiben und konzentrieren sich wiederkehrend auf Themenbereiche wie Tastaturschreiben und Überarbeitungsprozesse. Die *Hybridisierung* rückt erst in den letzten Jahren ins Zentrum wissenschaftlicher Forschungen. Dabei hat

man bislang den Einfluss des Computers auf die Schreibforschung unterbelichtet, sodass meist nur eine Erwähnung als entlastende Wirkung auf das Arbeitsgedächtnis, nicht jedoch die Rolle von Schreibmedien belichtet wurde. Meist stehen Schreibprozesse, Textsorten und Schreibaufgaben im Fokus der Wissenschaft (Steinhoff, 2025, 87f). Der Begriff *Gebrauchssuggestion* wiederum verdeutlicht das Phänomen, das eine Maschine trotz fehlenden Bewusstseins und Intentionalität in einer *Quasi-Interaktion* das Verhalten von Menschen beeinflussen kann. Die letztliche Entscheidung der Akzeptanz oder Ablehnung der maschinellen Impulse bleibt jedoch beim Menschen selbst. Das digitale (und auch analoge) Schreiben lässt sich laut Steinhoff (2025, 89) mit Hilfe von sechs Dimensionen beschreiben: technisch-mediale, physische, kognitive, soziale, semiotische und textuell-diskursive Dimensionen. Dabei sendet die Maschine Gebrauchssuggestionen aus, auf die der Mensch bewusst oder unbewusst reagiert. So kann die Maschine beispielsweise physisch die Sitzhaltung, kognitiv die Informationsverarbeitung durch Suchvorschläge, sozial die Interaktion auf Social-Media-Kanälen, semiotisch die multimodale Verknüpfung von Fotos, Emojis, Schrift und Links und textuell-diskursiv die Gestaltung und Veröffentlichung von Social Media-Posts, beeinflussen (Steinhoff, 2025, 89).

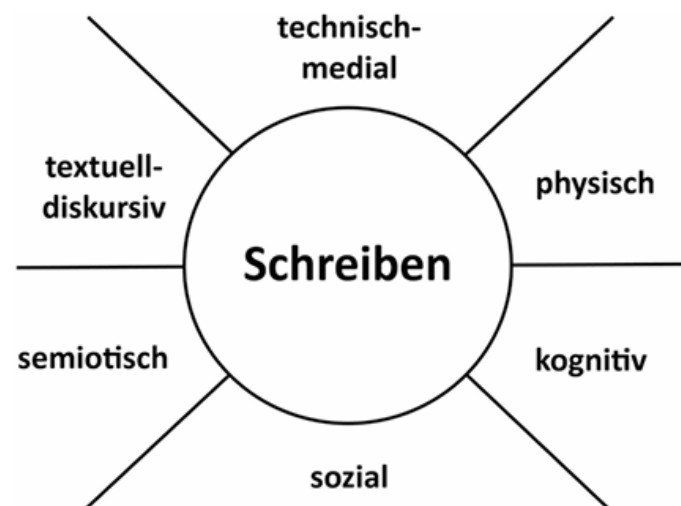


Abbildung 9 digitales Schreiben (Steinhoff, 2022, 145)

Eine *medienreflexive Schreibforschung* thematisiert theoretisch, methodisch und empirisch sich selbst und versucht, das Schreibmedium in Schreibkompetenzmodellen abzubilden. Ein Schreibkompetenzmodell entwickelt Schlicher (2023, 64) mit Johannes Wild und ist in der folgenden Abbildung zu sehen:

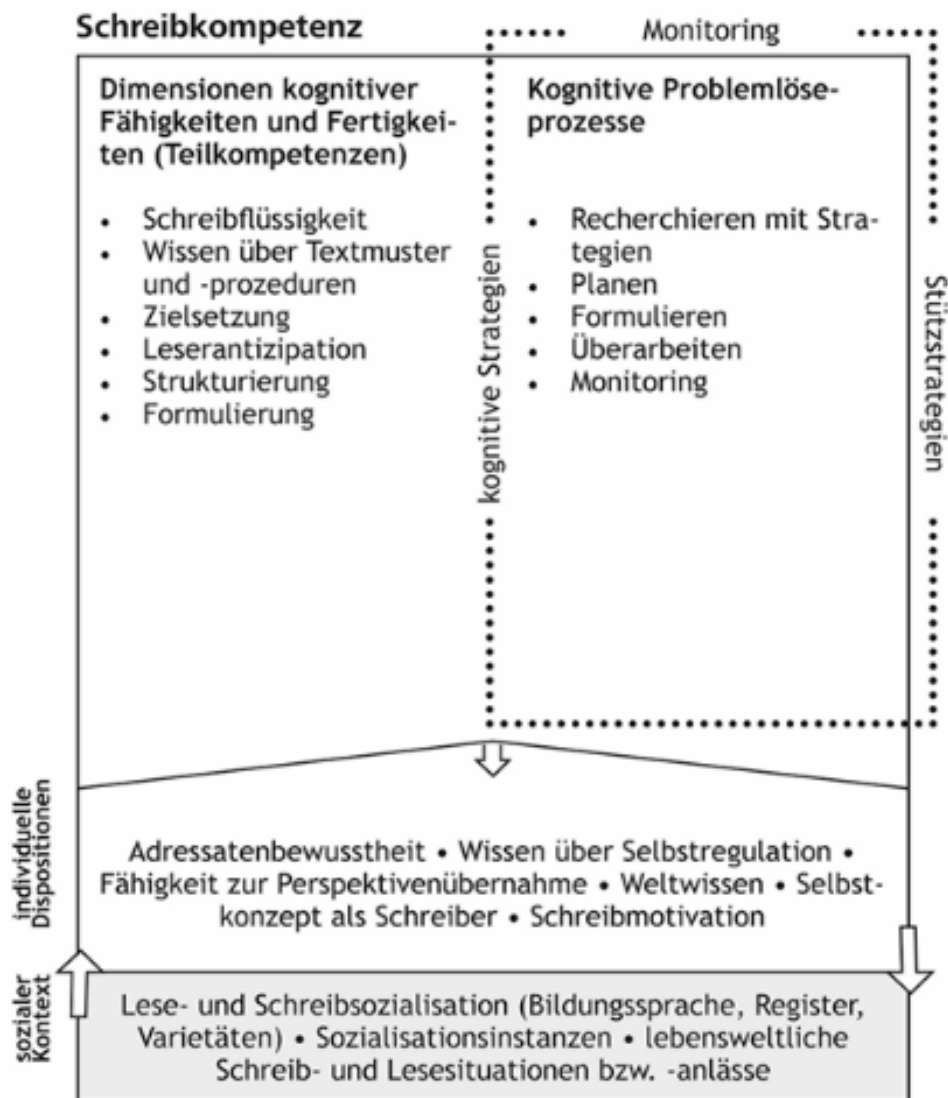


Abbildung 10 Schreibkompetenzmodell (Schilcher, 2023, 64)

Den Ausgangspunkt des Schreibkompetenzmodells bildet der soziale Kontext, welcher die kulturellen Praktiken und Normen des Schreibens bestimmen. Zusätzlich wirken die individuellen Dispositionen, die persönlichen Erfahrungen, Fähigkeiten und Voraussetzungen aufzugreifen. Beide Ebenen stehen in einem wechselseitigen Bedingungsverhältnis. Dies bedeutet, dass der soziale Rahmen die individuelle Schreibdisposition beeinflusst und diese wiederum bestimmt die Gestaltung und Aneignung von der eigenen Schreibkultur. Aus dem kognitiven Problemlöseprozess, bei dem die Strategieentwicklung beim Schreiben forciert wird, und der kognitiven Teilkompetenzen, welche die Kompetenzen zum Schreiben, Überarbeiten, Planen, Formulieren und Überarbeiten umfassen, ergeben sich die bereits zuvor beschriebenen Ebenen. Isoliert ist keine Ebene zu beachten, da das Geflecht soziale, individuelle und kognitive Dimensionen des Schreibens darstellt (Steinhoff, 2025, 90). Effizient für den

digitalen Schreibprozess erweist sich der Koaktivitätsansatz. Dabei steht das interaktive Zusammenspiel zwischen Menschen und Maschine im Zentrum, bei dem der Mensch physische, kognitive, soziale, semiotische und textuell-diskursive Unterstützung erfahren kann (Steinhoff, 2025, 97). Steinhoff (2025, 98) äußert in seinem Fazit, dass ein Einsatz von künstlicher Intelligenz im digitalen Schreibprozess als *Writing Tutors* einen Beitrag zur Erreichung bildungspolitischer Ziele sein kann. Voraussetzung sei jedoch eine kritische Reflexion von Technologie im Bildungssektor. Dieser Ansatz fördert ein aufgeklärtes und autonomes Handeln in der digitalen Welt.

2.10 Einblicke in die Verwendung Künstlicher Intelligenz für die Unterrichtsplanung

Seit 2022 ist ChatGPT für den Markt frei zugänglich und seitdem wird dies auch in vielen Bereichen des Lebens eingesetzt. Im Folgenden erheben Lee und Zhai (2024) Daten darüber, inwiefern man ChatGPT im Unterricht verwenden kann und welchen Einfluss es darauf hat.

In einer Studie untersuchten Lee und Zhai (2024), inwieweit Lehramtsstudierende ChatGPT für die Unterrichtsplanung von naturwissenschaftlichen Fächern einsetzen und welche Wirkung und Implikationen mit der Einbindung von künstlicher Intelligenz in didaktische Planungs-, Lehr- und Lernprozesse der Schüler:innen einhergehen. Während traditionell eine Lehrperson als Lernbegleiter:in und Schüler:innen als Wissensaufnehmer fungieren, stehen in der Interaktion der Mensch, die Umwelt und das Wissen in einem wechselwirkenden Zusammenhang. Seit jedoch die künstliche Intelligenz in vielen Bereichen zunehmend Einklang findet, erfährt dies auch der Bildungssektor mit vermehrtem Gebrauch und dieses Zusätzliche kann als weiteres intermediäres Element im Zusammenwirken für den Bildungsbereich verstanden werden. Dadurch wird sich in naher Zukunft Lernen und Lehren grundlegend verändern. Durch die Integration der künstlichen Intelligenz im Lernprozess kann das entdeckende Lernen, das kreative Problemlösen und das ganzheitliche Denken gefördert werden (Lee & Zhai, 2024, 1643). Jedoch bleibt die didaktische Steuerungskompetenz der Lehrperson zentral, indem diese entscheidet, wie, wann und welche die künstliche Intelligenz im Unterricht sinnvoll eingesetzt wird. Neben den Vorteilen der Integration sollten auch die kritischen Perspektiven seitens der Lehrpersonen nicht unbeachtet bleiben – man denke an mögliche Gefahren der Reduktion kognitiver Prozesse, mögliche fehlerhaft bearbeitete

Antworten der künstlichen Intelligenz, einen unkritischen Einsatz der Technologie sowie das Risiko eines Plagiats (Lee & Zhai, 2024, 1644).

Im Rahmen der Studie forderte man die Lehramtsstudierenden auf, eine Unterrichtseinheit für die Primarstufe der Fächer Biologie, Chemie, Geografie, Physik und Umweltwissenschaften zu erstellen und dabei Unterrichts- und Lernmethoden einzubringen, die sie zuvor erlernt haben. Zentraler Bestandteil der Planung ist die Interaktion mit ChatGPT durch Lehrpersonen oder den Schüler:innen. Dies ist der strukturelle Ausgangspunkt für die weiteren Unterrichtssequenzen. Neben der Unterrichtsplanung füllten die Studierenden einen Fragenkatalog mit drei Fragen zu ihrer Unterrichtsplanung aus:

- (1) Weshalb haben sie sich für diese Methode entschieden
- (2) Welchen Mehrwert versprechen sie sich durch die Integration von ChatGPT in der Unterrichtsstunde und
- (3) Welche Lernergebnisse sie in Hinblick auf Lernziele und -kompetenzen erwarten (Vgl. Lee & Zhai, 2024, 1646).

Ein Ergebnis der Studie zeigt, dass der technische Einsatz nicht nur für die Verdichtung von Rollenspielen, als zusätzliche Informationsquelle neben dem Lehrbuch und der Lehrperson(en) dient und zur Erstellung von Fragen geeignet ist, sondern sie listet ebenso Fehlanwendungen auf. Wie etwa bei der Recherche nach geeigneten YouTube-Videos, wobei ChatGPT nichtexistierende Links generiert (Lee & Zhai, 2024, 1648f). Begründungen für den Einsatz von Technologie von den Studierenden lautet beispielsweise, dass durch das sofortige Antworten von spontan auftauchenden Fragen der Schüler:innen durch ChatGPT die aktive Beteiligung gesteigert wird und somit das selbstgesteuerte Lernen begünstigt wird. Durch das dialogische System ChatGPTs wird das kritische Denken der Schüler:innen gefördert. Die hohe Benutzerfreundlichkeit steigert zudem Motivation und Interesse bei den Schüler:innen. Gleichzeitig weist man darauf hin, dass diese Leichtigkeit auch zu einer kritiklosen Nutzung führen kann, wobei irreführende oder gar fälschliche Informationen von ChatGPT ohne Überprüfung übernommen werden. Um dem entgegenzuwirken, solle man Schüler:innen zusätzlich die Aufgabe geben, die generierten Antworten mit Hilfe vom Internet, Lehrpersonen, Schulbücher und Peer-Feedback zu validieren. Zudem ist vielen Studierenden auch eine Erklärung des Lernprozesses mit ChatGPT für Schüler:innen wichtig. Dies bedeutet, dass

vor der Nutzung die Funktionsweise von ChatGPT und das kritische Denken der Schüler:innen adressiert werden soll. Während der Nutzung sollten strukturierte Gruppendiskussionen helfen, weiterhin kritisch zu denken und nach der Nutzung sollte die ChatGPT-Antwort mit anderen Ressourcen überprüft werden (Lee & Zhai, 2024, 1650f). Für eine nachhaltige Integration von ChatGPT im Unterricht sollten weiterentwickelte didaktische Kompetenzen und Strategien, Fortbildungen für das Lehrpersonal erforderlich sein, damit technische, administrative und didaktische Unterstützung geboten ist (Lee & Zhai, 2024, 1652). Positiv hervorzuheben ist, dass ChatGPT im Einsatz für Lehrziele und Methoden bereits geeignet ist. Entwicklungsbedarf benötigt noch die Funktionsauswahl und Zusammenführung von Ziel, Methode und ChatGPT-Nutzung im Unterricht (Lee & Zhai, 2024, 1652). Abschließend dokumentiert die Studie, dass bei der Zeitdauer der Durchführung von Mai bis Juni 2023 noch keine umfassende Prompting-Strategie für den didaktischen Einsatz existieren, weswegen dieser Aspekt in der Studie nicht beurteilt werden konnte. Darüber hinaus wird betont, dass die Entwicklung von Strategien relevant ist, um die Abhängigkeit von ChatGPT-Funktionen bei Lehrpersonen und Schüler:innen präventiv entgegenzuwirken (Lee & Zhai, 2024, 1653).

3 Methodik

Ziel der empirischen Untersuchung ist das Überprüfen, ob durch künstliche Intelligenz sprachlich optimierte mathematische Textaufgaben von Schüler:innen verständlicher wahrgenommen werden als traditionelle Textaufgaben. Weiters wird untersucht, welche sprachlichen Hürden beim Bearbeiten der mathematischen Textaufgaben auftreten. Fokussiert werden das Textverständnis, ausgewählte Phasen des Modellierungsprozesses und die eingesetzten Lösungsstrategien.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wird ein Fragebogen entwickelt, der quantitative und qualitative Elemente umfasst. Mit Hilfe des Fragebogens werden subjektive Wahrnehmungen der Schüler:innen zu ihrer Verständlichkeit, wahrgenommene sprachliche Hürden und die Anwendung von Lösungsstrategien dokumentiert. Ein Vergleich wird zwischen traditionellen Textaufgaben aus dem Schulbuch und sprachlich adaptierten Aufgaben der künstlichen Intelligenz gezogen.

Die Erhebung soll einerseits sprachliche Merkmale der Textaufgabe identifizieren, welche als hinderlich von Schüler:innen wahrgenommen werden und andererseits wird analysiert, inwiefern die künstliche Intelligenz die Anforderungen eines sprachsensiblen Mathematikunterrichts unterstützt. Die empirischen Ergebnisse dienen zudem der Überprüfung der im theoretischen Teil abgeleiteten Hypothesen.

Im Durchführungsprozess der Untersuchung bearbeiten Schüler:innen jeweils entweder eine traditionelle oder eine sprachlich optimierte Version der Textaufgabe. Im Anschluss wird der Fragebogen ausgefüllt, um Einblicke zum Lösungsprozess, zur Verständlichkeit der Aufgabe sowie zu möglichen sprachlichen Hürden zeitnah und unverfälscht zu gewinnen.

3.1 Forschungsdesign

Im Detail ist das Untersuchungsziel ein Vergleich von traditionellen Textaufgaben mit einer sprachlich optimierten Version der künstlichen Intelligenz, um Wahrnehmungen zur Verständlichkeit zu erfassen, sprachliche Hürden zu erkennen und den Umgang mit diesen in Lösungsstrategien zu untersuchen.

Der eingesetzte Fragebogen beinhaltet quantitative und qualitative Erhebungen. Letztes wird durch offene Antworten ermöglicht, welche tiefere Einblicke in die individuelle Verständlichkeit, sprachliche Hürden und Lesestrategien der Schüler:innen liefern

können. Die quantitative Erhebung ermöglicht eine statistische Auswertung von Teilbereichen des sprachsensiblen Unterrichts. Durch die Kombination dieser Elemente können die Ergebnisse des Fragebogens im Detail analysiert werden.

Die Daten werden als mehrfache querschnittliche Erhebung aufgenommen, da sie zu einem einzigen Erhebungszeitpunkt mittels Fragebogens festgehalten werden. Denn die Datenerhebung wird unmittelbar nach der Bearbeitung der mathematischen Textaufgaben erfasst, sodass keine Unterbrechung des Denk- und Verständnisprozesses bei den Schüler:innen vorliegt.

Dabei ist der Fragebogen an die Forschungsfragen angepasst. Dies bedeutet, dass die Frage, inwiefern künstliche Intelligenz die Verständlichkeit von mathematischen Textaufgaben optimieren kann, auf den Grund gegangen wird. Abgeleitet von dieser Fragestellung entwickelten sich folgende vier Hypothesen:

1. Textaufgaben mit sprachlich optimierter Satzstruktur und erhöhter Kohärenz werden von Schüler:innen als verständlicher wahrgenommen als traditionelle Textaufgaben.
2. Sprachliche Schwierigkeiten beeinflussen das Verstehen der Aufgabenstellung und die Bildung eines Situations- und Realmodells.
3. Visuelle Strukturierungselemente erhöhen die subjektive in Verständlichkeit mathematischer Textaufgaben.
4. Durch künstliche Intelligenz sprachlich optimierte Textaufgaben reduzieren sprachliche Hürden, ohne die mathematischen Anforderung der Textaufgabe zu verändern.

3.2 Stichprobe

Die Datenerhebung erfolgt an einem Gymnasium, wobei die Unterstufe als Modellversuch Mittelschule geführt wird. Dies bedeutet, in den Schularbeitsfächern Deutsch, Mathematik und Englisch werden die Leistungsniveaus „Standard“ und „Standard AHS“ angeboten. Unabhängig vom jeweiligen Leistungsniveau werden alle Schüler:innen nach dem Lehrplan der AHS-Unterstufe unterrichtet, die Schularbeiten unterscheiden sich am Notenschlüssel. Beurteilt kann gegebenenfalls nach dem Leistungsniveau „Standard“ erfolgen.

Die Umfrage umfasst insgesamt 77 Schüler:innen der Sekundarstufe I, die im Schuljahr 2025/26 die 7. beziehungsweise 8. Schulstufe besuchen. An der Untersuchung nehmen jeweils zwei Parallelklassen pro Schulstufe teil, wobei die Klassen aus der gleichen Schulstufe nicht von denselben Lehrpersonen unterrichtet werden. Die Stichprobe ermöglicht einen Einblick in die Wahrnehmung sprachlicher Anforderungen mathematischer Textaufgaben innerhalb der Sekundarstufe I.

Die Gruppe der 7. Schulstufe besteht aus 38 Schüler:innen, davon 14 weibliche und 24 männliche Lernenden. Acht Schüler:innen werden im Leistungsniveau „Standard“ beurteilt.

Aus der 8. Schulstufe nehmen 39 Schüler:innen teil, darunter 19 weibliche und 20 männliche Lernende. Dabei werden sieben Schüler:innen nach dem Leistungsniveau „Standard“ beurteilt.

Die Wahl der Schüler:innen aus der Sekundarstufe I erfolgt deshalb, da mathematische Textaufgaben in diesen Jahrgangstufen zunehmend komplexere sprachliche Anforderungen aufweisen. Mit steigender Abstraktion mathematischer Inhalte werden Fachsprache, Bildungssprache und Textverständnis bedeutsamer. Zudem haben Schüler:innen dieser Altersgruppe bereits ausreichende Lösungsstrategien, Lese- und Reflexionskompetenzen angeeignet und können sprachliche Schwierigkeiten und Lösungsstrategien wahrnehmen und verschriftlichen.

Die Teilnahme an der Untersuchung erfolgte freiwillig, mit Erlaubnis der Erziehungsberechtigten und die erhobenen Daten werden anonymisiert ausgewertet. Die Daten werden dabei im Mai und Juni 2026 erfasst, wobei die fachlichen Inhalte zuvor im Unterricht erlernt werden. Als Vertiefung und Festigung lösten die Schüler:innen die mathematische Textaufgabe eigenständig mit Unterstützung eines Taschenrechners. Der Fragebogen wurde für die jeweilige Textaufgabe angepasst.

3.3 Erhebungsinstrument

Für die vorliegende Forschungsfrage liegt kein bestehendes Instrument zur Datenerhebung vor, weswegen ein theoriegeleiteter Fragebogen entwickelt wird.

Der Fragebogen nimmt Bezug auf die theoretische Grundlage dieser Arbeit. Insbesondere fließen Erkenntnisse zur Rolle der Sprache im Mathematikunterricht von Leisen, zu sprachlichen Anforderungen mathematischer Textaufgaben, zum Modellierungskreislauf

nach Leiss und Blum sowie sprachensible Unterstützungsmaßnahmen aus dem traditionellen Unterricht wie Scaffolding und Info-Netze ein.

Zur Orientierung baut sich der Fragebogen aus sechs Aufgabenbereiche auf, welche unterschiedliche Aspekte des Lösungs- und Verständnisprozesses der Schüler:innen erfassen.

Nach dem Lösen der Textaufgabe beginnt der Fragebogen damit, dass Schüler:innen in eigenen Worten erklären, was genau berechnet werden soll. Diese Frage liefert Hinweise, ob die zentrale Fragestellung der Textaufgabe und das Aufgabenverständnis beim Lernenden vorliegen. Zudem kann erkannt werden, ob bereits in einer frühen Phase des Modellierungskreislaufs Schwierigkeiten aufgetreten sind. Wie zum Beispiel fehlendes Textverständnis und die Bildung eines Situationsmodells. Die Antworten werden qualitativ mit Hilfe einer Excel-Datei ausgewertet, wobei Werte von 0 (Angabe kann nicht in eigenen Worten wiedergegeben werden) bis 2 (Angabe wurde korrekt wiedergegeben) vergeben werden.

Die zweite Fragestellung wird quantitativ ausgewertet, da Schüler:innen eine vierstufige Skala von „trifft völlig zu“ (entspricht für die Auswertung die Ziffer 4) bis „trifft nicht zu“ (entspricht in der Auswertung die Ziffer 1) bei der jeweiligen Frage eindeutig ankreuzen sollen. Auf eine neutrale Mittelkategorie wird verzichtet, um Schüler:innen anzuregen, eindeutige Einschätzungen zu liefern. Dabei variieren die Aussagen je nach mathematischer Textaufgabe. Generalisiert beziehen sie sich jedoch auf das subjektive Einschätzen des Verständnisses, auf subjektive Überforderung beim Lösen, Lesbarkeit, Übersichtlichkeit, sprachliche Schwierigkeiten und auf das schnelle Erkennen des mathematischen Lösungsweges.

Die Aussagen dienen zur Überprüfung der Hypothesen zur sprachlichen Vereinfachung und zu Auswirkungen auf den Modellierungsprozess.

Die dritte Fragestellung nimmt Bezug auf sprachliche Hürden, welche Schüler:innen in den zuvor gelösten Textaufgaben markieren sollen. Im Wesentlichen sollen unbekannte Wörter eingekreist, mehrmals gelesene Sätze bzw. Satzteile unterstrichen und verwirrende Wörter unterwellt werden.

Mit Hilfe dieser Aufgabenstellung können sprachliche Schwierigkeiten, welche in der Aufgabe zuvor kurz thematisiert werden, konkret identifiziert werden. Dies bedeutet, dass

diese Aufgabestellung an die vorherige anschließt und zur Anregung dient, über sprachliche Hürden nachzudenken und diese zu markieren.

Die Ergebnisse werden anschließend nach Inhalten aus dem theoretischen Teil kategorisiert. Eine Kategorie kann beispielsweise der Satzbau sein.

Die vierte Fragestellung ist wieder quantitativ, da Schüler:innen zur Auswahl stehende Lösungs- und Bearbeitungsstrategien ankreuzen sollen, welche sie zum Lösen angewendet haben. Diese sind beispielsweise das Anfertigen einer Skizze, das Erstellen einer Tabelle, das Markieren wichtiger Informationen oder das Anwenden von Formeln. Ergänzend gibt es die Möglichkeit im offenen Antwortfeld weitere Lösungsstrategien zu notieren. Diese Frage nimmt Bezug auf die Schritte „verstehen“, „vereinfachen“ und „mathematisieren“ vom Modellierungskreislauf.

Hierbei sollen die Angaben der Schüler:innen Rückschlüsse geben, welche, die in der Theorie beschriebenen Unterstützungsmaßnahmen, tatsächlich genutzt werden und ob sprachlich optimierte Textaufgaben den Einsatz von Lösungsstrategien begünstigen.

In der vorletzten Fragestellung wird die Einschätzung der Schüler:innen zur verwendeten Sprache quantitativ erfasst. Dabei sollen sie entscheiden, ob die sprachlichen Merkmale primär der Alltags-, Bildungs- oder Fachsprache zuzuordnen sind.

Diese Fragestellung gibt Auskunft, wie die Unterscheidung von Alltags-, Bildungs- und Fachsprache von Schüler:innen wahrgenommen wird und kann zeigen, ob die sprachlich optimierte Textaufgabe mehr Orientierung an der Alltagssprache aufweist.

Auch die letzte Fragestellung ist quantitativ und erfasst die individuelle Schwierigkeit der Schüler:innen. Zur Auswahl stehen dabei, ob die Sprache oder das mathematische Lösen oder beide Aspekte gleichermaßen schwierig sind.

Aus dieser Fragestellung kann man Schlüsse zu Bearbeitungsschwierigkeiten und dem Verhältnis zwischen sprachlichen und mathematischen Anforderungen von Lernenden wahrnehmen.

Die Fragebögen sind an die jeweiligen Textaufgaben angepasst und sind im Anhang dargestellt.

3.4 Untersuchungsmaterial

In den vier an der Untersuchung beteiligten Schulklassen erfolgt der Mathematikunterricht auf Grundlage der Schulbücher *Lösungswege 3* beziehungsweise

Lösungswege 4, des Verlages *Österreichischer Bundesverlag (öbv)*. Da die Schüler:innen mit dem Aufbau, der sprachlichen Gestaltung sowie dem Anforderungsniveau der darin enthaltenen Aufgaben vertraut sind, werden die traditionellen Textaufgaben für die Untersuchung aus diesen Schulbüchern entnommen.

Die Auswahl geeigneter Textaufgaben wird fortlaufend während des Unterrichtens getroffen. Dabei werden vor allem Aufgaben fokussiert, die sich aufgrund ihrer sprachlichen Gestaltung und ihres Modellierungscharakters für die Untersuchung der Forschungsfragen am besten eignen. Nach der Erarbeitungsphase in einer Unterrichtseinheit wird die ausgewählte Textaufgabe in der anschließenden Übungs- beziehungsweise Festigungsphase verwendet, sodass sichergestellt wird, dass der zugrundeliegende mathematische Inhalt den Lernenden bereits bekannt ist. Dadurch soll der Einfluss fachlicher Wissenslücken auf die Untersuchungsergebnisse reduziert werden.

Für die Untersuchung werden insgesamt sechs mathematische Textaufgaben ausgewählt. Drei Textaufgaben sind aus dem Schulbuch der 7. Schulstufe (Beispiele 1090, 977 und 979) und weitere drei aus dem Schulbuch der 8. Schulstufe (Beispiele 935, 1000 und 1048). Die Aufgaben decken unterschiedliche mathematische Lerninhalte ab und werden jeweils in einer traditionellen sowie einer generierten Version verwendet. Eine vollständige Darstellung der verwendeten Textaufgaben (inklusive Quellenangabe) befindet sich im Anhang.

Für die Durchführung der Untersuchung wird die Textaufgabe den Schüler:innen auf separaten Arbeitsblättern zur Bearbeitung ausgehändigt. Dabei erhält jeweils etwa die Hälfte der Schüler:innen die traditionelle, ursprüngliche Textaufgabe aus dem Schulbuch, während die anderen eine sprachlich adaptierte Version derselben Aufgabe generiert mittels ChatGPT erhalten. Die Zuteilung erfolgt innerhalb der Klasse alternierend, sodass vergleichbare Rahmenbedingungen für beide Gruppen gewährleistet sind. Beide Versionen der Textaufgabe werden auf je ein Arbeitsblatt gedruckt, sodass die Schüler:innen nicht bereits im Vorfeld erkennen, wer welche Version erhält. Ebenso ist die Nummerierung der Textaufgabe aus dem Schulbuch nicht mit abgebildet. Ist die Aufgabe gelöst, wird der jeweils zur Aufgabenvariante passende

Fragebogen ausgefüllt, um die Wahrnehmung unmittelbar nach dem Lösen zeitnah zu erfassen. Zur Bearbeitung der Textaufgabe ist ein Taschenrechner erlaubt.

Erstellt werden die sprachlich angepassten Textaufgaben mit Hilfe der künstlichen Intelligenz ChatGPT. Grundlage für die Auswahl der Ausgangsaufgaben bildet die im theoretischen Teil dieser Arbeit dargestellten sprachlichen Merkmale mathematischer Textaufgaben. Insbesondere werden Aufgaben ausgewählt, die hinsichtlich des Satzbaues, der Fach- und Alltagssprache, des Kontextes, der Informationsdichte und der weiteren sprachlichen Merkmale analysiert werden können.

Ein standardisierter Prompt sollte die Vergleichbarkeit der erzeugten Aufgabenvarianten sicherstellen. Ziel der sprachlichen Adaptierung ist, die Verständlichkeit zu erhöhen, ohne die mathematische Kompetenz und den Schwierigkeitsgrad zu verändern. Dabei erhielt der standardisierte Prompt den Auftrag, die Sprache an die jeweilige Schulstufe anzupassen, Satzlängen zu reduzieren, Satzstrukturen bei Bedarf zu vereinfachen, Informationen zu strukturieren, lokale und globale Kohärenz zu erhöhen und wenn nötig, Tabellen und Abbildungen zur bildlichen Darstellung einzufügen.

Wie in Kapitel 2.8.4 beschrieben wird, wird bei der Formulierung des Prompts auf die Qualität geachtet. Eine klare und präzise Arbeitsanweisung, Informationen zur Zielgruppe, zum gewünschten Sprachstil und zur Zielsetzung der sprachlichen Optimierung wird im Prompt erklärt. Zusätzlich werden die Rolle der künstlichen Intelligenz und die Anforderungen an die sprachliche Gestaltung festgelegt. Dadurch soll gewährleistet sein, dass die generierte Aufgabenstellung möglichst konsistent, verständlich und zielgruppenadäquat formuliert wird. Für die Generierung der Textaufgaben wird ein *zero shot prompt* verwendet. Dies bedeutet, dass keine Beispielaufgaben vorgegeben werden, sondern die Optimierung ausschließlich auf Grundlage der vom Schulbuch formulierten Textaufgabe und die im Prompt erwähnten Anweisungen erfolgt. Auf den Einsatz von *few shot prompting* wird verzichtet, um die Qualität der Antwort nicht durch die Qualität und Auswahl der bereitgestellten Beispiele zu beeinflussen und somit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu beeinträchtigen. Generiert werden die Textaufgaben durch ChatGPT Plus, um vorzubeugen, dass die Tageszeit die Qualität der Antwort beeinflusst (siehe Kapitel 2.8.3).

Vor der Speicherung der generierten Textaufgabe als Word-Dokument, erfolgt eine Überprüfung hinsichtlich der Unveränderbarkeit der mathematischen Inhalte, der erforderlichen Lösungswege und der notwendigen Modellierungsprozesse. Somit soll sichergestellt sein, dass ausschließlich die Anpassung der sprachlichen Hürden dient und keine Veränderung des mathematischen Kerns erfolgt ist. Die sprachliche Veränderung orientiert sich an die Prinzipien des sprachsensiblen Unterrichts, welche im theoretischen Teil dargestellt werden.

Der für die Generierung der sprachlich optimierten Textaufgabe Prompt wird im Folgenden dargestellt:

*Du bist eine erfahrene Mathelehrperson. Korrigiere folgende mathematischen Textaufgabe (inklusive beigefügter Abbildung) für deine Schüler*innen, welche 13 bzw. 14 Jahre alt sind (8. Schulstufe), in der Formulierung, sodass diese sprachlich klarer und eindeutiger für die Schüler*innen sind. Vom Inhalt und des Schwierigkeitsgrads sollte die Textaufgabe gleichbleiben. Achte dabei auf Sprachschwierigkeiten in der Struktur der Textaufgabe, der Morphologie, im Syntax, in der Fachsprache und in der Dichte von Komplexität. Wenn notwendig, verwende Bilder oder Tabellen, um die sprachlichen Schwierigkeiten der Textaufgaben verständlicher, klarer und eindeutiger zu gestalten.*

Textaufgabe: “[...]”

3.5 Durchführung der Untersuchung

Wie bereits dargestellt, wird der Fragebogen ergänzend zu mathematischen Textaufgaben eingesetzt, die im regulären Mathematikunterricht bearbeitet werden. Die Erhebung wird demnach in das Unterrichtsgeschehen eingebettet. Dadurch soll gewährleistet sein, dass die Bearbeitungszeit der tatsächlich benötigten Bearbeitungszeit entspricht und die Wahrnehmung der Lernenden in einer gewöhnlichen Lernumgebung erhoben wird. Für die Bearbeitung der Textaufgabe mit dem dazugehörigen Fragebogen werden durchschnittlich etwa zehn Minuten benötigt.

Da der Fragebogen sowohl in der 7. als auch in der 8. Schulstufe bei jeweils insgesamt drei unterschiedlichen Textaufgaben zum Einsatz kommt, erstreckt sich die Datenerhebung auf die Monate Mai und Juni des Schuljahres 2025/26.

Vor Beginn der Bearbeitungszeit der Textaufgaben und des Fragebogens, werden die Teilnehmer:innen über den Ablauf informiert. Ebenso, dass die Bearbeitung eine Einzelarbeit ist. Während der Bearbeitung sollen zudem keine Fragen gestellt werden. Ein

Taschenrechner ist zum Lösen der Beispiele erlaubt. Somit soll der Fragebogen die individuellen Wahrnehmungen der Textaufgabe aufgreifen können.

3.6 Auswertungsmethode

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgt qualitativ und quantitativ. Die quantitative Auswertung umfasst die Berechnung prozentualer Häufigkeiten und der Mittelwerte. Zusätzlich werden für ausgewählte Aussagen ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Da die Schüler:innen entweder die traditionelle oder genierte Aufgabe bearbeiten, liegt eine unabhängige Gruppe vor. Der t-Test wird genutzt, um Mittelwerte bei Aussagen auf ihre signifikante Unterscheidung zu überprüfen. Ist der Signifikanzwert p kleiner als 0,05, so ist der Unterschied der Mittelwerte statistisch signifikant. Ist der p -Wert größer gleich 0,05 so ist der Unterschied nicht signifikant. Mittelwerte werden verwendet, um einen Vergleich der durchschnittlichen Einschätzungen zu ermöglichen. Durch die statistischen Kennzahlen wird ermöglicht, Aussagen über die Verteilung der Antworten sowie über Unterschiede zwischen den traditionellen und jenen, die von der künstlichen Intelligenz generierten Version der Textaufgaben.

Die offenen Fragen werden qualitativ mit Hilfe von Kategorien ausgewertet. Dabei erfolgt die Kategorienbildung auf Grundlage der theoretisch beschriebenen Sprachhürden im Vorfeld. Dadurch können, die von den Schüler:innen markierten Wörter und Sätze einer Kategorie, beispielsweise Alltag, mathematischer Begriff, Operator und Satzdichte, zugeordnet werden. Offene Antworten werden manuell der identifizierten Kategorie zugeordnet.

Die Aussagen erhalten in der Auswertung eine numerische Zuordnung: „trifft völlig zu“ entspricht die Ziffer 4 und beispielsweise „trifft nicht zu“ die Ziffer 1. Durch die Zifferngebung lassen sich die Aussagen miteinander vergleichen, da Median und Mittelwert berechnet werden können.

Auch die offene Frage „Was genau soll berechnet werden?“ wird für die Auswertung mit den Werten 0, 1 oder 2 bewertet. Dadurch lassen sich auch hier die Antworten statistisch auswerten und analysieren. Die Kategorie 0 beschreibt, dass die Schüler:innen nicht oder unzureichend in eigenen Worten die Zielsetzung der Aufgabe erkennen können. 1 beschreibt die Antworten, bei denen die grundsätzliche mathematische Fragestellung erkannt wird, die Beschreibung jedoch unvollständig oder nur teilweise korrekt verläuft.

Der Wert 2 wird vergeben, wenn die Fragestellung vollständig und fachlich korrekt in eigenen Worten wiedergegeben werden kann. Dies ermöglicht eine differenzierte Einschätzung des Aufgabenverständnisses und ist als Indikator hilfreich, inwieweit die mathematische Zielsetzung der Textaufgabe von den Lernenden erkannt wird.

3.7 Hypothesengeleitete Auswertung

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgt hypothesengeleitet. Dabei wird systematisch, die in der theoretischen Arbeit entwickelten Hypothesen, mit den Ergebnissen der quantitativen und qualitativen Erhebungen in Verbindung gesetzt. Ziel ist das Überprüfen, inwiefern die theoretischen Annahmen durch die Empirie gestützt werden können.

Zur Auswertung der Ergebnisse der quantitativen Daten werden prozentuelle Häufigkeiten und Mittelwerte herangezogen. Die qualitativen Daten werden kategoriengleitet ausgewertet und theoriebezogen interpretiert. Die Ergebnisse der einzelnen Textaufgaben werden anschließend miteinander verglichen und dienen als Grundlage für die Beurteilung der Hypothesen. Eingeordnet werden die Hypothesen als bestätigt, teilweise bestätigt und nicht bestätigt.

4. Empirischer Teil

Im Folgenden werden, die im theoretischen Teil formulierten Hypothesen einzeln betrachtet. Dazu wird die Auswertung aus dem Fragebogen dargestellt, analysiert und im Kontext der Theorie interpretiert. Ziel ist die Überprüfung, inwiefern die empirischen Befunde die entwickelten Hypothesen stützen.

Bezug nimmt die Untersuchung auf die Datengrundlage, welche insgesamt 77 Schüler:innen der Sekundarstufe I umfasst. Die Zusammensetzung der Schüler:innen ist in folgender Tabelle abgebildet:

Schulstufe	weibliche	männliche	Gesamtanzahl
7.	14	24	38
8.	19	20	39
Gesamtanzahl	33	44	77

Jede Schulstufe bearbeitet im Rahmen der Untersuchung drei Textaufgaben und füllen für die entsprechende Aufgabenstellung den entsprechenden Fragebogen aus. Da circa die Hälfte der Schüler:innen jeweils entweder eine traditionelle oder eine von der künstlichen Intelligenz optimierte Aufgabenstellung erhält, kann ein Vergleich der sprachlichen Hürden gezogen werden. Die Daten werden sowohl quantitativ als auch qualitativ ausgewertet.

4.1 erste Hypothese

4.1.1 Analyse erste Hypothese

Die erste Hypothese thematisiert, dass Textaufgaben mit klarer Satzstruktur und reduzierter sprachlicher Komplexität dazu beitragen, dass Schüler:innen die Textaufgabe als verständlicher wahrnehmen.

Im Fragebogen beziehen sich folgende Aussagen auf diese Hypothese:

- Ich habe die Textaufgabe verstanden.
- Die Textaufgabe war einfach zu lesen.
- Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.
- Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.

Auch die offene Frage, was genau berechnet werden soll, wird analysiert.

Ergänzend werden jene Sätze analysiert, die mehrmals gelesen werden.

Wirft man einen Blick in die Wahrnehmungen der 7. Schulstufe aus den Fragebögen, so fällt Folgendes auf:

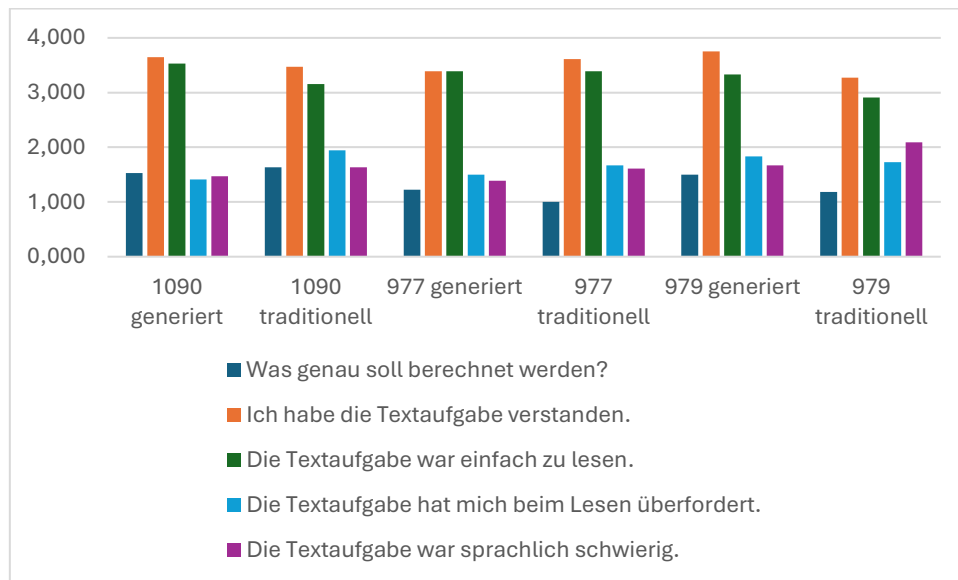


Abbildung 11 Textverständlichkeit und Sprachfertigkeit; 7. Schulstufe

Dieses und alle weiteren Diagramme stellen die Mittelwerte der Aussagen gegenüber. Dabei werden jeweils die traditionellen mit den dazu passenden generierten Versionen verglichen.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt eine Tendenz zugunsten der sprachlich optimierten mathematischen Textaufgaben in der 7. Schulstufe. Hervorzuheben ist Beispiel 977, welches einzig sowohl in der traditionellen als auch in der generierten Textaufgabe denselben Mittelwert bei der Aussage „Die Textaufgabe war einfach zu lesen“ aufweist. Bei derselben Textaufgabe, welche den mathematischen Inhalt lineare Wachstumsprozesse aufweist, zeigt sich bei der Aussage „Ich habe die Textaufgabe verstanden“, dass der Mittelwert der traditionellen Textaufgabe (3,611) höher als jener der generierten Aufgabe (3,389) liegt.

Mit der zuvor erwähnten Aussage „Die Textaufgabe war einfach zu lesen“ zeigt sich deutlich die Lesbarkeit der Aufgabenstellung. Besonders auffällig sind neben den zuvor erwähnten Ergebnissen bei Textaufgabe 977 jene der anderen beiden Textaufgaben. Denn hierbei zeigt sich stets ein Vorteil der Version, welche von der künstlichen Intelligenz erstellt wurde.

Deutliche Unterschiede zeigen sich bei der Aussage „Die Textaufgabe war sprachlich schwierig“ bei Beispiel 979. Denn hierbei beträgt die Differenz der Einschätzung der Schüler:innen zwischen traditioneller und generierter Textaufgabe 0,424. Dies weist darauf hin, dass eine Reduktion der Sprachschwierigkeiten bei den Schüler:innen erkennbar ist. Auch bei den anderen beiden Textaufgaben liegen die Werte der generierten Version durchgehend unter jenen der traditionellen Aufgabenstellungen.

In der Kategorie „Überforderung beim Lesen“ entsteht ein ähnliches Bild: Alle drei Aufgabenstellungen der künstlichen Intelligenz werden als weniger überfordernd eingeschätzt. Bei Beispiel 1090 sind die Unterschiede am höchsten. Dieses Ergebnis erweist sich auch statistisch als signifikant ($p = 0,037$).

Betrachtet man die Frage „Was genau soll berechnet werden?“ im Kontext der Auswertungen der Aussagen, so zeigen sich keine einheitlichen Unterschiede zwischen den Aufgabenvarianten. Die Werte liegen zugunsten der generierten Version, außer bei Textaufgabe 1090, denn hierbei weist die traditionelle Version einen geringfügigen höheren Mittelwert auf.

Insgesamt zeigt sich, dass Beispiel 977 die geringsten Unterschiede zwischen traditioneller und generierter Version aufweist. Demgegenüber treten bei Beispiel 979 die deutlichsten Abweichungen zugunsten der generierten Version hinsichtlich der wahrgenommen sprachlichen Schwierigkeiten und des Verständnisses auf. Die Unterschiede bei der Aussage „Ich habe die Textaufgabe verstanden“ erweist sich auch statistisch als signifikant ($p = 0,009$).

Mit Blick auf die mehrfach gelesenen Sätze in der 7. Schulstufe, lässt sich folgendes Ergebnis darstellen:

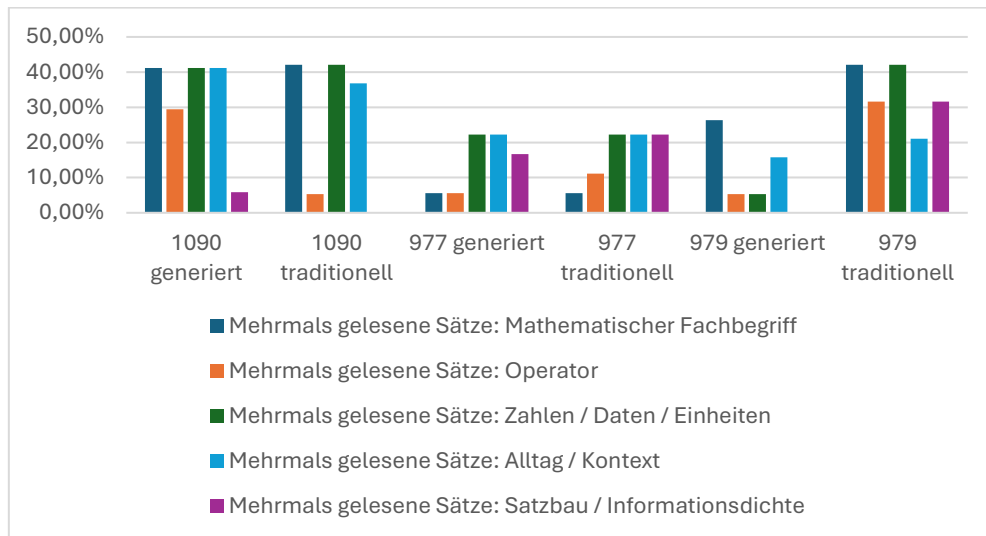


Abbildung 12 mehrmals gelesene Satzteile; 7. Schulstufe

Auffallend ist, dass bei den Textaufgaben 1090 und 979 die höchsten Werte zu mehrmals gelesene mathematischen Begriffe, Zahlen-, Daten-, Einheitenangaben und Begriffe aus dem Alltag und Kontext zu finden sind. Demgegenüber erreicht der Satzbau wenige Prozente bei den Textaufgaben und bleiben bei den meisten Aufgaben unter 20 %. Ausnahme bildet die traditionelle Version der Aufgabe 979.

Bei Beispiel 1090 zeigen sich kaum Unterschiede zwischen den Versionen, außer bei den mehrmals gelesenen Operatoren, welche in der generierten Version oftmals gelesen werden und auch der Satzbau wird hierbei mehrmals gelesen, hingegen in der traditionellen Version kein einziges Mal. Deutliche Unterschiede zeigen sich in Beispiel 979, indem in der traditionellen Version besonders mathematische Fachbegriffe, Zahlenangaben und der Satzbau häufiger gelesen werden. Vor allem ist das mehrmalige Lesen von Elementen des Satzbaues in der generierten Version kaum sichtbar.

Die Aufmerksamkeit der Schüler:innen ergreift somit vor allem die Fachbegriffe, Zahlenangaben und Kontextinformationen. Die generierte Version zeigt nur teilweise eine Verringerung mehrfach gelesener Satzteile. Bei Beispiel 979 ist dies erkennbar, bei den Beispielen 1090 und 977 sind die Unterschiede geringfügig.

Bei Betrachtung der Ergebnisse der 8. Schulstufe zeigt sich folgendes Bild:

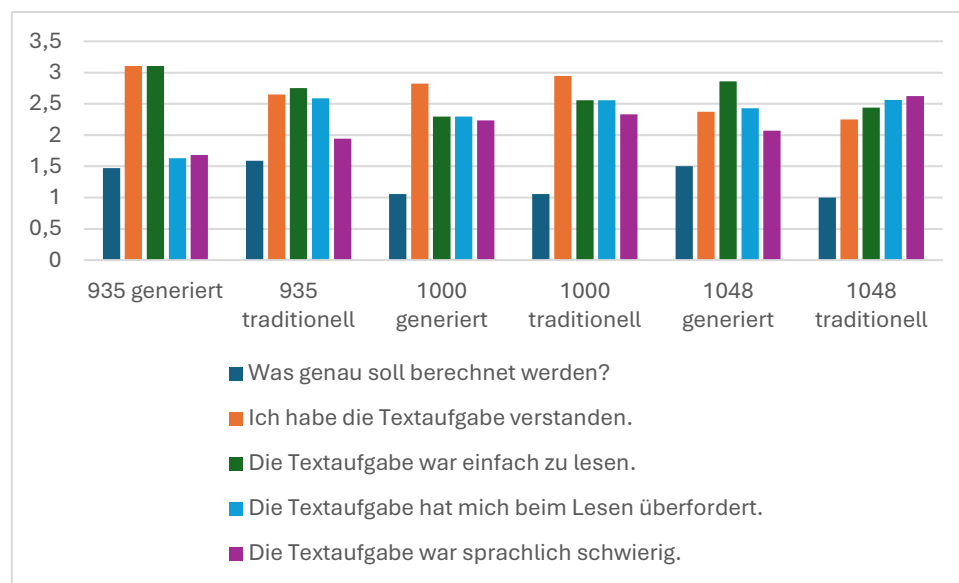


Abbildung 13 Textverständnis und Sprachfertigkeit; 8. Schulstufe

Insgesamt liegt eine Ausgewogenheit bezüglich der eigenständigen Formulierung, was genau bei der Aufgabenstellung zu berechnen ist, vor.

Bei der Wahrnehmung der Schüler:innen, ob sie die Textaufgabe verstanden haben, hat insgesamt die generierte Version einen erhöhten Wert, welcher bei Beispiel 1000 nahezu identisch, bei Beispiel 1048 erhöht ist.

Vergleicht man die drei Textaufgaben miteinander, fällt auf, dass Beispiel 935 die deutlichsten Unterschiede zwischen den Versionen aufweist. Die generierte Version wird dabei hinsichtlich des Verständnisses und der Lesbarkeit bevorzugt und als weniger überfordernd (der p -Wert liegt bei 0,002) und als weniger sprachlich schwierig eingestuft. Beispiel 1000 ist eine Ausnahme, da hier die traditionelle Version bei mehreren Aussagen leicht höhere Mittelwerte erreicht. Bei Beispiel 1048 hat die generierte Version hinsichtlich der sprachlichen Schwierigkeit und Lesbarkeit einen Vorteil.

Die quantitativen Ergebnisse zu der offenen Fragestellung, mehrmals gelesene Sätze zu unterwellen, werden in folgender Tabelle dargestellt:

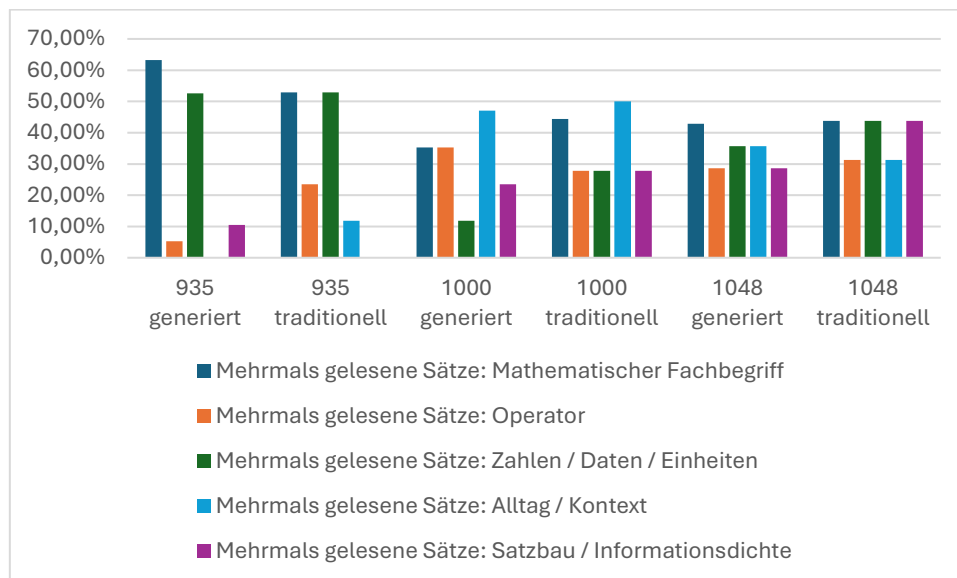


Abbildung 14 mehrmals gelesene Satzteile; 8. Schulstufe

Im Vergleich zur 7. Schulstufe werden mehr Markierungen in der 8. Schulstufe gesetzt.

Mathematische Fachbegriffe zeigen nahezu durchgehend die höchsten Werte an und werden sowohl in der traditionellen als auch in der generierten Version mehrmals markiert. Bei Beispiel 935 ist dies besonders erkennbar, wo beide Versionen in der Kategorie der Fachbegriffe Prozente über 50 % erreichen.

Bezüglich der Operatoren zeigt sich, dass diese in den traditionellen Versionen von 935 und 1048 mehrmals gelesen werden, hingegen in Beispiel 1000 werden die Operatoren in der generierten Version geringfügig öfters gelesen.

Hingegen weisen die Daten zu Zahlen- und Einheitenangaben auf, dass es bei Beispiel 935 kaum Veränderung in den Varianten gibt. Bei Beispiel 1000 und 1048 werden diese Angaben in der traditionellen Version mehrmals markiert.

Begriffe aus dem Alltag und des Kontextes werden in den Beispielen 935 und 1000 oftmals mehrmals gelesen. Bei Beispiel 1000 ergibt dies einen minimalen Unterschied. Bei Beispiel 1048 werden diese Begriffe in der generierten Version öfters gelesen.

Von Beispiel zu Beispiel weichen die vergleichbaren Werte bezüglich Satzbau und Informationsdichte immer mehr voneinander ab. Bei Beispiel 1048 erreicht diese Kategorie in der traditionellen Version sogar einen Wert über 40 %, während sie in der

generierten Version deutlich niedriger liegt. Beispiele 1000 und 1048 zeigen einen leichten Vorteil zugunsten der generierten Versionen, hingegen 935 einen Vorteil für die traditionelle Version.

4.1 2 Interpretation erste Hypothese

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass bei sprachlich optimierten Textaufgaben bezüglich der Kohärenz und Satzstruktur die Lernenden ein überwiegend besseres Textverständnis wahrnehmen. Dies spiegelt sich in der verbesserten Lesbarkeit und weniger sprachliche Schwierigkeiten in den generierten Varianten wider. Zeitgleich verdeutlichen die dargestellten Ergebnisse, dass unterschiedliche sprachliche Merkmale zum Textverständnis beitragen. Die nachfolgende Interpretation ordnet diese Ergebnisse auf Basis der theoretischen Grundlage ein und stellt dar, welche Faktoren für die wahrgenommene Verständlichkeit besonders bedeutsam sind.

Die Ergebnisse stützen die Annahme von Leisen (siehe Kapitel 2.2), dass mathematisches Lernen stets auch Lernen von Sprache in allen Fächern umfasst. Besonders Markierungen von fachlichen Begriffen machen deutlich, dass fachliches Verstehen nicht unabhängig vom sprachlichen Verstehen erfolgt. Somit liegt die größte Hürde nicht im Lesen des Satzes, sondern im Verständnis der mathematischen Terminologie. Da die generierten Versionen in allen Textaufgaben die geringsten Mittelwerte zur sprachlichen Schwierigkeit und auch in der Überforderung die geringsten Werte aufweisen (außer in den Beispielen 1090 und 979), impliziert dies, dass die sprachlich optimierten Textaufgaben den Zugang zu mathematischen Inhalten erleichtern.

Hinsichtlich Verständlichkeit und Lesbarkeit kann ein Zusammenhang mit Kapitel 2.4 gesehen werden, da in diesem Kapitel beschrieben ist, dass die Textkohärenz von globalem und lokalem Aufbau abhängig ist. Auf globaler Ebene münden stets beide Versionen einer Textaufgabe von der realitätsbezogenen Ausgangssituation in eine mathematische Fragestellung. Der lokale Aufbau konzentriert sich auf die Satzzusammenhänge, welche für Schüler:innen eindeutig erkannt werden sollen. Dabei sollen wichtige Wörter immer wieder aufgegriffen werden und bewusst Konnektoren wie *weil* und *deshalb* verwendet werden. Die erhöhte subjektive Einschätzung zur Verständlichkeit und Lesbarkeit bei den Aufgaben 1090, 979, 935 und 1048 lassen vermuten, dass die Kohärenz der Aufgabenstellungen verbessert wird.

Bei Beispiel 979 ist die lokale Kohärenz klar zu erkennen: In der traditionellen Textaufgabe wird der erste Operator wie folgt dargestellt:

Erstelle eine Tabelle und einen Graphen, wobei x die Menge in Kilogramm und y für den Gesamtpreis stehen. [siehe Anhang 2: Lösungswege 3; Beispiel 979 traditionell]

In diesem Satz sind Informationen zum Erstellen der Tabelle und des Graphens sowie die Bedeutung von x und y komprimiert in einem Satz dargestellt. In der generierten Version werden die Handlungsschritte einzeln in mehreren Sätzen aufgelistet:

Erstelle eine Tabelle. Trage verschiedene Mengen an Käse in Kilogramm ein und berechne jeweils den Gesamtpreis.

- *Zeichne danach den passenden Graphen.*
- x steht für die Menge des Käses in Kilogramm.
- y steht für den Gesamtpreis in Euro. [siehe Anhang 2: Lösungswege 3; Beispiel 979 generiert]

Durch das Aufteilen in mehreren Sätzen werden die Beziehung zwischen den Informationen klarer sichtbar, was als Merkmal einer erhöhten lokalen Kohärenz im Sinne Schukajlows interpretiert werden kann. Dabei inkludiert die generierte Version auch Bearbeitungsschritte aus Kapitel 2.6 und der Fördermaßnahme *Textaufgabenknacker*. Denn in dieser Förderung wird erklärt, dass sich Schüler:innen die Textaufgabe nach Informationen strukturieren, die Aufgabe in Schritte zerlegen und relevante Informationen identifizieren sollen. Die ersten beiden Bearbeitungsschritte hat bereits die generierte Version in ihrem Aufbau inkludiert. Ebenso erfüllt die generierte Version die in Kapitel 2.4 erwähnte Kategorie *Perzipierbarkeit* des Karlsruher Verständlichkeitsmodells, indem betont wird, dass wichtige Informationen, in diesem Falle die Bedeutung der Achsen, durch Aufzählungen hervorgehoben werden können.

Bei Textaufgabe 1000 zum Drehzylinder in der 8. Schulstufe ist eine Veränderung auf globaler Sicht deutlich zu sehen: Die Arbeitsaufträge rücken an das Ende der Aufgabenstellung, wohingegen die Angabe zu Längen und Höhen des Silos und des Tank-LKWs mittig in der Textaufgabe als Tabellen dargestellt werden. Hinzu kommt, dass die Unterpunkte der Aufgabenstellung nicht wie gewöhnlich als Unteraufgaben a) bis d) beschriftet werden, sondern als Tabelle mit der Nummerierung von 1) bis 4) gegeben ist. Dies kann bereits beim Lösen der Aufgabenstellung bei vielen Schüler:innen zu Unsicherheiten führen, sodass sie nachfragen müssen, mit welchen Werten genau zu rechnen ist. Mit Arbeitsauftrag 2) generierte ChatGPT auch die Aufgabenstellung der traditionellen Version um, indem es verlangt, mit allen Silos zu berechnen, wie viele voll

beladenen Tank-LKWs möglich sind. In den anderen Arbeitsaufträgen hat ChatGPT die ursprüngliche Version meist gänzlich übernommen. In Hinblick auf Schukajlow (Kapitel 2.3) lässt sich somit deuten, dass die Darstellungsformen (Angabe der Werte für Silos und LKW-Tanks als Tabelle) für Schüler:innen verwirrend sein können.

Dies bedeutet, dass hier die sprachliche Optimierung allein nicht zu einer höheren Verständlichkeit führt, wenn neue Anforderungen in die Orientierung innerhalb der Aufgabe gestellt werden. Zudem zeigt sich ein Zusammenhang zu den Darstellungsformen aus Kapitel 2.5 beim Clarkson-Modell. Tabellen können als Strukturierungsmittel dienen, erfordern aber auch Interpretationsleistung der Schüler:innen und können bei ungewohnter Verwendung Verständnishürden erzeugen.

Die Ergebnisse der Aussagen „Die Textaufgabe war sprachlich schwierig“ und „Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert“ deuten darauf hin, dass die sprachliche Optimierung die kognitive Belastung teilweise reduziert. Denn wie Cummins in Kapitel 2 und 2.2 beschreibt, können sprachliche Anforderungen eine kognitive Belastung darstellen.

In der generierten Version von 935 müssen Schüler:innen die Bedeutung hinter den mathematischen Begriffen *Basis* und *Schenkel* nicht aus der zusätzlichen Information im ergänzenden Kästchen erschließen, sondern können die Bedeutung aus der Abbildung und aus dem Fließtext erschließen. Zusätzlich kann die kognitive Leistung für den Verarbeitungsaufwand der Fachbegriffe reduziert werden, da die Fachbegriffe erklärt und visualisiert werden. Zudem verwendet diese generierte Aufgabe das Zusammenspiel verschiedener Darstellungsebenen (siehe Kapitel 2.5 im Clarkson-Modell). Die sprachliche Ebene ist die Textaufgabe, die bildliche die Dreiecksskizze und die symbolische ist die Angabe *1,5-mal*.

Die Analyse mehrfach gelesener Satzteile zeigt entgegen der ursprünglichen Annahme von Rötsch & Paetsch und Schukajlow (Kapitel 2.3), dass der Satzbau und die Informationsdichte vergleichsweise selten als Ursache für wiederholtes Lesen markiert werden und somit wird die Annahme, dass die Satzkonstruktion und die Informationsdichte das Verständnis einer Textaufgabe minimieren können, hier nicht bestätigt. Da die traditionelle Version in allen Textaufgaben außer 935 und 1090 mehr Markierungen im Satzbau und in der Informationsdichte haben, impliziert dies auch, wie

die Aussagen zur Verständlichkeit und Lesbarkeit, dass die optimierten Aufgaben eine Verbesserung in der sprachlichen Strukturierung aufweisen. Insbesondere ist dies bei Beispiel 1048 erkennbar.

In der traditionellen Version sind die wesentlichen Informationen in zwei längeren Sätzen zu finden:

Runde Lehmhütten mit gegebener Länge des Durchmessers werden mit kegelförmigen Strohdächern mit gegebener Länge der Höhe bedeckt. Berechne, wie viele m^2 bedeckt werden müssen, wenn mit 4 % Verschnitt gerechnet wird. [siehe Anhang 6: Lösungswege 4; Beispiel 1048 traditionell]

Hierbei müssen mathematische Fachbegriffe wie *Durchmesser, Höhe, Kegel, bedeckte Fläche, Verschnitt* und *gesuchte Größe* neben dem Verstehen der Aufgabenstellung gleichzeitig verarbeitet werden. In der generierten Version sind diese Information in mehrere Sätze und Tabellen unterteilt und zusätzlich findet man in der generierten Version Elemente von Scaffolding (siehe Kapitel 2.6): Die Größen Durchmesser und Höhe werden mit ihrem mathematischen Symbol angegeben. Durch das Angeben der gegebenen Größen unterstützt die generierte Version ebenso das Aufbauen eines Situationsmodells (siehe Kapitel 2.3).

Auch die mehrfach gelesenen Begriffe aus Alltag und Kontext sind theoretisch einzuordnen. Die Ergebnisse zeigen wie in Beispiel 1090 erhöhte Werte in beiden Versionen an. Dadurch sind nicht nur mathematische Fachbegriffe, sondern auch die Einbettung der Aufgabe in einem Sachkontext wesentlich für die Verständlichkeit und für die sprachlichen Hürden. Dies knüpft an die Überlegungen von Freudenthal und dessen Begriff *Beziehungshaltigkeit* an (siehe Kapitel 2.1), da Mathematik die reale Lebenswelt einbinden soll, unbekannte Kontextbegriffe können aber Verständnishürden verursachen.

In Beispiel 1090 sind dies Alltagsbegriffe wie *Restaurant, bewerten* und *Online-Plattform* in beiden Versionen markiert.

Aus der Datenerhebung zu Beispiel 1090 fallen unter mehrmals gelesene mathematische Wörter der generierten Version aber auch Wörter wie *Wahrscheinlichkeit* und *zufällig* und in der traditionellen Version *Schätzwert* und *Stichprobe*. Auffallend ist, dass die Begriffe aus der traditionellen Version Komposita sind, die von Leisen in Kapitel 2.2 als sprachliche Hürde eingestuft werden. Fachbegriffe müssen verstanden werden, bevor die eigentliche mathematische Bearbeitung einer Aufgabe erfolgen kann. Weiters weisen die

Ergebnisse darauf hin, dass Operatoren sowie Zahlen-, Daten- und Einheitenangaben wiederholt gelesen werden. Ein Operator, welcher bei Aufgabe 1090 zu einer großen sprachlichen Hürde in der generierten Version wird, ist der Operator *Schätze*. Leisen beschreibt in Kapitel 2.2, dass Alltagssprache, welche in der Fachsprache semantisch eine andere Bedeutung erlangt, ein großes Risiko für eine sprachliche Herausforderung bietet. Dennoch hat die künstliche Intelligenz den Operator aus der traditionellen Textaufgabe *Gib einen Schätzwert an*, welcher ebenso die sprachliche Hürde von trennbaren Verben (siehe Kapitel 2.4) erzeugt, zu diesem sprachlichen Risiko verändert.

Wie bereits erwähnt, müssen Fachbegriffe, Operatoren und Alltagsbegriffe mehrmals gelesen werden. Dies bedeutet, dass bereits vor dem eigentlichen mathematischen Bearbeitungsproblem Sprachschwierigkeiten vorliegen. Bereits im Modellierungskreislauf (siehe Kapitel 2.3) wird ersichtlich, dass sprachliche Schwierigkeiten vor dem mathematischen Arbeiten auftreten können. Dies bedeutet, bevor überhaupt ein Real- oder Situationsmodell aufgebaut werden kann. Damit bestätigt die Auswertung die theoretischen Annahmen des Modellierungskreislaufs. Sprachliche Optimierungen können unterstützen, dass Schüler:innen von Real- zu Situationsmodell gelangen, sie beseitigen jedoch fachsprachliche Hürden nicht vollständig.

Bemerkenswert ist, dass die Analyse mehrfach gelesene Satzteile nicht die ursprünglich zu erwartenden Ergebnisse von Rösch & Paetsch und Schukajlow (siehe Kapitel 2.3) zu Satzbau und Informationsdichte als Sprachhürden bestätigt. In beiden Schulstufen werden wesentlich häufiger mathematische Fachbegriffe, Operatoren, Zahlen, Daten- und Kontextangaben markiert. Die Ergebnisse deuten daher eher darauf hin, dass das Textverständnis weniger von einer Vereinfachung der Satzstruktur und der erhöhten Textkohärenz abhängig ist, sondern vielmehr eine gezielte Unterstützung im Umgang mit mathematischen Fachbegriffen benötigt. Sprachliche Optimierungen sind demnach am meisten wirksam, wenn Fachbegriffe erläutert und Informationen transparenter strukturiert werden. Somit verschiebt sich der Fokus von einer reinen Optimierung der Satzstruktur und Erhöhung der Textkohärenz zu einer gezielten Unterstützung beim Umgang mit mathematischer Fachsprache.

Resümierend kann die erste Hypothese teilweise bestätigt werden. Die Mittelwerte deuten darauf hin, dass die generierten Versionen weitgehend von Schüler:innen als

verständlicher, als weniger überfordernd und sprachlich als weniger schwierig eingeschätzt werden. Signifikante Unterschiede treten dabei nicht bei allen Aussagen auf. Insbesondere wird jedoch die wahrgenommene Überforderung beim Lesen bei den Beispielen 1090 und 935 sowie bei der Übersichtlichkeit der Aufgaben 935 und 1090 wahrgenommen. Die sprachliche Optimierung scheint somit vor allem die Strukturierung und Orientierung der Textaufgaben unterstützen. Grund für die Einschätzung der Verbesserung der Verständlichkeit ist jedoch nicht ausschließlich die vereinfachte Satzstruktur und die Textkohärenz, sondern vor allem der Umgang mit Fachwörtern, Operatoren, Angaben zu Zahlen und Daten und Alltagsbegriffen. Sprachliche Optimierungen unterstützen somit das Textverständnis, fachsprachliche Herausforderungen werden jedoch nicht vollständig reduziert.

4.2 zweite Hypothese

4.2.1 Analyse zweite Hypothese

Die zweite Hypothese thematisiert, dass sprachliche Schwierigkeiten das Verstehen der Aufgabenstellung sowie das Konstruieren eines Situations- und Realmodells beeinflussen.

Zur Überprüfung dieser Annahme werden insbesondere die Antworten der offenen Fragen „Was genau soll berechnet werden?“, die Markierungen unbekannter und verwirrender Wörter sowie die Analyse mehrfach gelesener Satzteile herangezogen werden. Um die subjektive Einschätzung der Schüler:innen zu berücksichtigen, werden ergänzend die Ergebnisse der Aussagen „Ich habe die Textaufgabe verstanden“ und „Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll“ verwendet.

Auf der nächsten Seite werden die Ergebnisse der Benennung der Aufgabenstellung in beiden Schulstufen mit Hilfe eines Säulendiagramms und ihren Mittelwerten dargestellt.

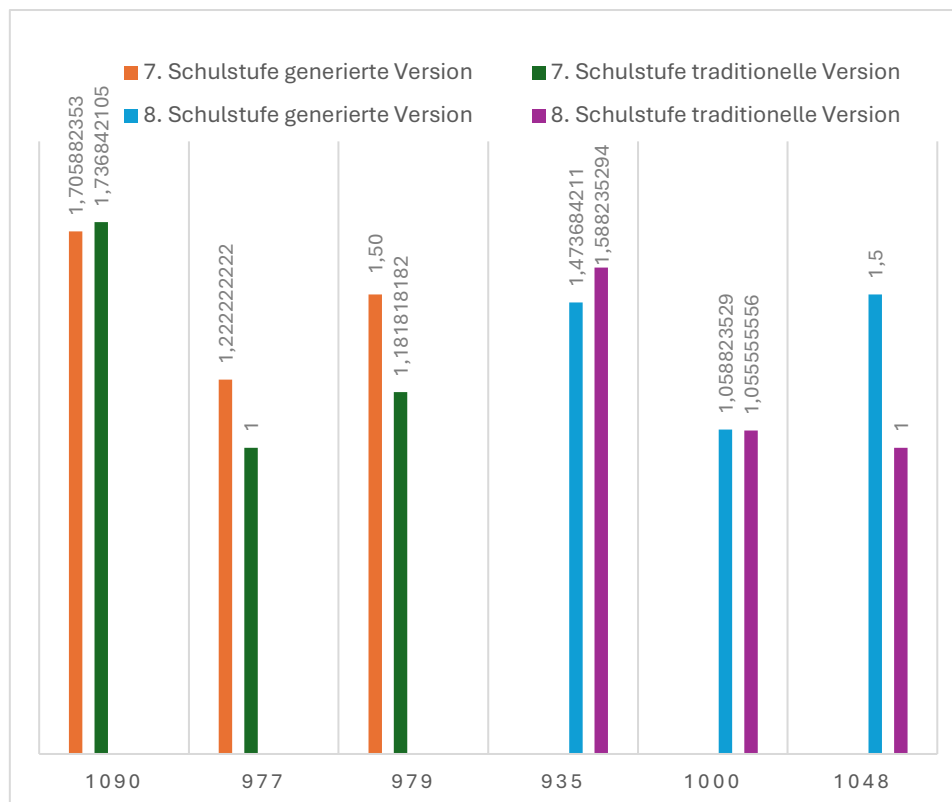


Abbildung 15 Benennung der Aufgabenstellung

Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass die Fertigkeit, eine Aufgabenstellung in eigenen Worten zu beschreiben, zwischen den Schulstufen unterschiedlich ausfällt. In der 7. Schulstufe weisen die generierte Version in zwei von drei Fällen eher höhere Mittelwerte auf als die traditionellen Textaufgaben. Wiederum in der 8. Schulstufe zeigt sich, dass bei Textaufgabe 935 (lineares Gleichungssystem), die Aufgabenstellung der traditionellen Textaufgabe eher in eigenen Worten beschreibbar ist und bei Beispiel 1000, dass in beiden Versionen die Aufgabenstellung wiedergegeben werden kann. Bei Textaufgabe 1048, bei welcher der Mantel eines Kegels zu berechnen ist, kann die Aufgabestellung der generierten Version um das 1,5-fache besser in eigenen Worten beschrieben werden. Daher zeigt sich in der 7. Schulstufe eine Tendenz zugunsten der generierten Version, während die Ergebnisse der 8. Schulstufe kein einheitliches Bild ergeben.

Mit Blick auf die Auswertung der nicht verstandenen Wörter wird Folgendes verdeutlicht:

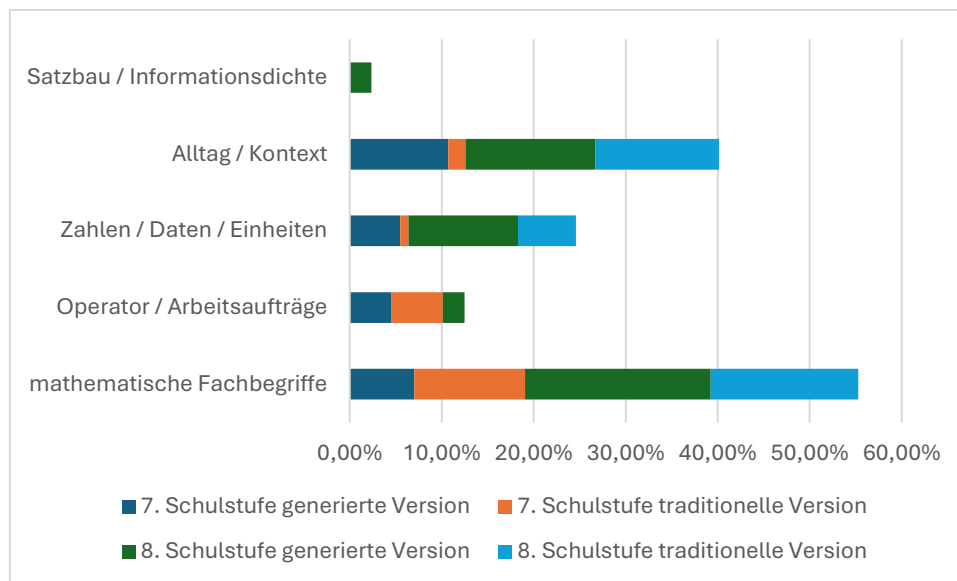


Abbildung 16 nicht verstandene Wörter

Es ergibt sich ein deutlicher Unterschied in der Auswertung der beiden Schulstufen hinsichtlich nicht verstandener Wörter. Aus dem Balkendiagramm ist erkenntlich, dass in der 8. Schulstufe wesentlich mehr nicht verstandene Wörter markiert werden. Von beiden Schulstufen werden insbesondere mathematische Fachbegriffe, Wörter aus Alltag und Kontext sowie Zahlen-, Daten- und Einheitenangaben gekennzeichnet.

Auffallend ist, dass in der 8. Schulstufe bei den generierten Versionen 20,17 % aller Markierungen auf mathematische Fachbegriffe, bei den traditionellen Versionen 16,03 %, entfallen. Ein gegenteiliger Trend zeigt sich in der 7. Schulstufe: Hier werden in traditionellen Versionen um fünf Prozentpunkte mehr mathematische Fachbegriffe markiert als in der generierten Version.

Operatoren und Arbeitsaufträge werden vor allem in der 7. Schulstufe als nicht verstanden markiert und beide Aufgabenvarianten erreichen dabei Werte von 5 %. Hingegen treten in der 8. Schulstufe nicht verstandene Operatoren nur in der generierten Version auf. Nicht verstandene Zahlen, Daten und Einheiten werden überwiegend in der generierten Version markiert. Auch die Begriffe aus dem Alltag und dem Kontext der Aufgabenstellung werden vermehrt in der generierten Version markiert. Vergleichsweise hohe Werte zeigen auch die traditionellen Versionen in der 8. Schulstufe auf.

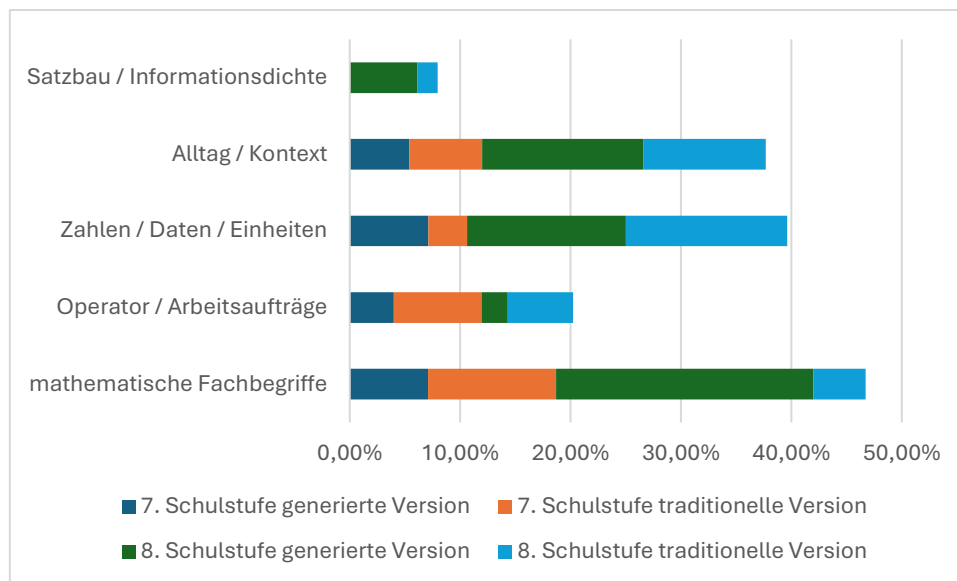


Abbildung 17 verwirrende Wörter

Auch bei den verwirrend markierten Wörtern fällt auf, dass Alltags- und Kontextbegriffe, sowie Angaben zu Zahlen/Daten und Einheiten in der generierten Version häufiger markiert werden als in der traditionellen Version. Eine Ausnahme bildet die 8. Schulstufe bezüglich der Zahlen, Daten und Einheiten: Hierbei liegt der Anteil der Markierungen in der traditionellen Version um 0,7 Prozentpunkte höher als in der generierten Version. Ähnlich wie bei den nicht verstandenen Begriffen, stellen sich in beiden Schulstufen mathematische Fachbegriffe als die größte Kategorie dar, welche verwirrend sind. Während in der 7. Schulstufe die Anzahl der verwirrenden Fachbegriffe abnimmt, nehmen sie in der 8. Schulstufe in der generierten Version deutlich zu. Operatoren und Arbeitsaufträge werden eher in der traditionellen Version markiert. Auffällig ist jedoch, dass Satzbau und Informationsdichte insgesamt einen vergleichsweise geringen Anteil der Markierungen ausmachen. Der Satzbau wird dabei von der 8. Schulstufe als verwirrend gekennzeichnet und der Wert ist bei der generierten Version deutlich erhöht.

Auch die Analyse der mehrfach gelesenen Satzteile zeigt ein ähnliches Muster wie die Auswertungen der nicht verstandenen und verwirrenden Wörter. Unabhängig von Schulstufe und Beispielvariante werden besonders mathematische Fachbegriffe sowie Zahlen-, Daten- und Einheitenangaben wiederholt gelesen. Satzbau und Informationsdichte haben dagegen kaum Markierungen.

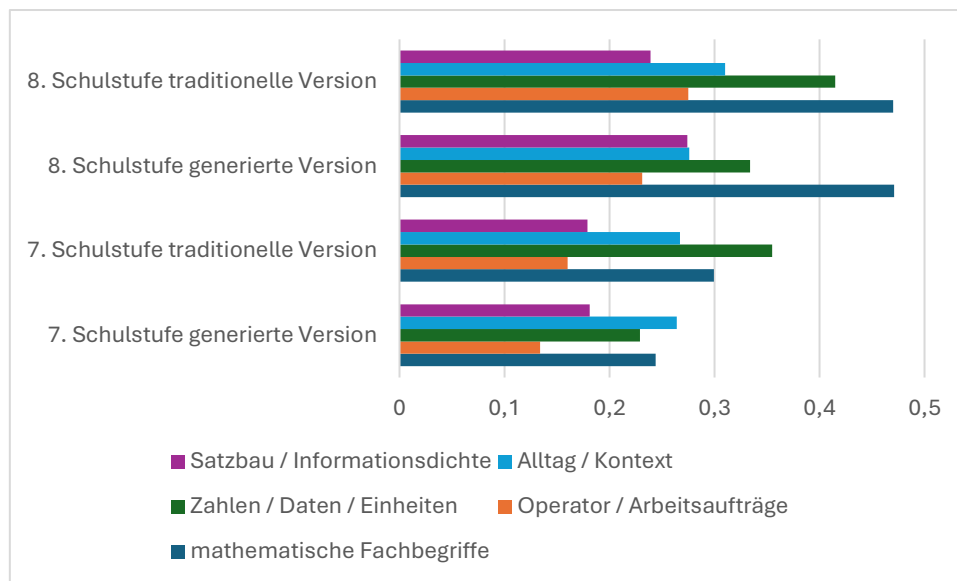


Abbildung 18 mehrmals gelesene Satzteile

Auch die Analyse der mehrmals gelesenen Satzteile gibt Auskunft, dass mathematische Fachbegriffe, Angaben zu Zahlen, Daten und Einheiten sowie Begriffe aus dem Alltag und Kontext mehrmals markiert werden. Eine hohe Informationsdichte wird besonders in den generierten Versionen von den Lernenden wahrgenommen. Angaben zu Zahlen, Daten und Einheiten werden zwar meist als verwirrender in der generierten Version markiert, mehrmals gelesene werden diese jedoch in der traditionellen Version. Mathematische Fachbegriffe werden deutlich öfters in der traditionellen Version mehrmals gelesen.

Die subjektiven Wahrnehmungen der Schüler:innen hinsichtlich ihres Lösungsprozesses werden abschließend anhand der Aussagen „Ich habe die Textaufgabe verstanden.“ und „Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.“ betrachtet.

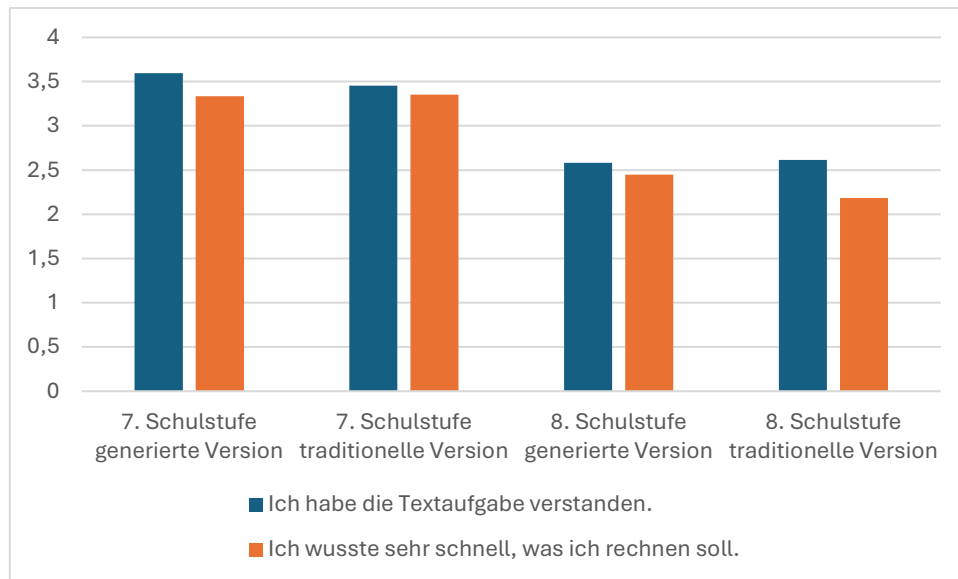


Abbildung 19 Verständlichkeit und schnelles Erkennen des Lösungswegs der Textaufgabe

Das Säulendiagramm zeigt den Durchschnitt der jeweils drei gelösten Textaufgaben der Schüler:innen in beiden Schulstufen und wird mit Hilfe des Mittelwertes angezeigt. Deutlich wird gemacht, dass die subjektive Wahrnehmung bei der generierten Version sich lediglich minimal von jener der traditionellen Version unterscheidet. In der 7. Schulstufe ist das Aufgabenverständnis bei den generierten Versionen geringfügig höher eingeschätzt (Differenz: 0,142). Hingegen ist diese Wahrnehmung in der 8. Schulstufe bei der traditionellen Version etwas höher (Differenz: 0,032). Deutlichere Unterschiede zeigen sich bei der Aussage „Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll“. Hier erreicht in der 8. Schulstufe die generierte Version einen Mittelwert von 2,448 und ist somit um 0,264 Skalapunkte höher als jener der traditionellen Aufgabenstellung. In der 7. Schulstufe weist diese Aussage kaum Unterschiede auf.

4.2.2 Interpretation zweite Hypothese

Die Ergebnisse legen nahe, dass sprachliche Schwierigkeiten das Verstehen mathematischer Textaufgaben und folglich auch das Entstehen eines Situations- und Realmodells beeinflussen. Werden Fachbegriffe, Operatoren und Kontextbegriffe nicht verstanden, kann bereits das Erfassen der Realsituation nach dem Modellierungskreislauf (siehe Kapitel 2.2) beeinträchtigt werden. Wie die Analyse zeigt, sind vor allem Fachbegriffe und Kontextbegriffe eine sprachliche Hürde. Die mathematische Bearbeitung scheitert demnach nicht notwendigerweise an mathematischen Kompetenzen, sondern bereits zuvor am sprachlichen Verständnis. Die zentrale Annahme der Hypothese ist somit zwar belegt, eine vollständige Bestätigung lässt sich aus folgender Interpretation der Auswertung jedoch nicht ableiten. Denn die

Ergebnisse zeigen auch, dass trotz mehrmaliger Markierung verwirrender oder nicht verstandene Wörter die Unterschiede in der Auswertung zu den Aussagen zum Verständnis und zum Erkennen der Bearbeitungsschritte in den Versionen meist nur geringfügig sind.

Insgesamt können in mehr generierten Aufgabenstellungen die mathematische Fragestellung in eigenen Worten wiedergegeben werden. Die offene Frage „Was genau soll berechnet werden?“ verdeutlicht dies. Daraus lässt sich schließen, dass sprachliche Vereinfachungen den Aufbau eines Situationsmodell unterstützen können. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, stellt das Situationsmodell eine mentale Repräsentation der beschriebenen Realsituation nach dem Modellierungskreislauf von Leiss und Blum dar. Damit das Situationsmodell entstehen kann, müssen sprachliche Informationen der Aufgabenstellung verstanden werden.

Ein Hinweis auf sprachliche Schwierigkeiten, bevor überhaupt eine mathematische Bearbeitung der Textaufgabe möglich ist, zeigt sich durch die mehrmals gelesenen mathematischen Fachbegriffe. Dies bestätigt auch die theoretische Annahme des Modellierungskreislaufes, dass sprachliche Realsituationen verstanden werden müssen, bevor ein Situationsmodell entstehen kann.

Sprachliche Informationen werden unter anderem aus den Fachbegriffen entnommen. Auffällig ist, dass in der 8. Schulstufe diese Begriffe den größten Anteil der Markierungen ausmachen. Dies lässt sich nach den Theorien von Leisen (Kapitel 2.2) folglich begründen: Zum Lernen mathematischer Inhalte ist die Sprache ein Informationsträger und daher sind mathematische Fachbegriffe nicht nur ein notwendiges sprachliches Element, sondern auch ein Kommunikationsträger mathematischer Inhalte. Werden die mathematischen Begriffe nicht entschlüsselt, so wird erschwert, ein Verständnis zu den mathematischen Inhalten aufzubauen. Zur Folge liegt eine Erschwerung im Aufbau eines Situationsmodells und eines Realmodells vor. Dies bedeutet, dass sprachliche Hürden bereits vor dem eigentlichen mathematischen Bearbeitungsprozess auftreten können. Bestätigt wird damit, dass mathematische Textaufgaben zunächst sprachlich verarbeitet werden müssen, bevor mathematische Operationen möglich sind.

Ein Beispiel hierfür ist Aufgabe 1048 zum Drehkegel aus der 8. Schulstufe. Sowohl in der traditionellen als auch in der generierten Version wird der Begriff *Verschnitt* häufig als

unbekannt markiert. Da in der generierten Version der Begriff weder umformuliert noch ergänzend beschrieben wird, bleibt die fachsprachliche Schwierigkeit auch in der optimierten Version bestehen. Ähnliches bei Beispiel 1000 mit den Tanksilos: Der mathematische Fachbegriff *Fassungsvermögen* wird nicht sprachlich vereinfacht dargestellt, es wird jedoch die Einheit ergänzt. Die Fragestellung der traditionellen Version lautet „Berechne das Fassungsvermögen eines Tanks.“ und jene der generierten Version „Berechne das Fassungsvermögen des Tank-LKWs in Kubikmetern.“ Trotz der Ergänzung der Einheit Kubikmeter in der generierten Version, welche als Hilfestellung zum Verstehen des Begriffes *Fassungsvermögen* dient, wird der Begriff *Fassungsvermögen* weiterhin als unverständlich wahrgenommen. Hierbei fehlt gleichzeitig die enge Verknüpfung von sprachlichem und fachlichem Lernen (siehe Kapitel 2.2), da nicht lediglich ein Wort im Textverständnis fehlt, sondern gleichzeitig der Zugang zur mathematischen Idee des Volumens nicht aufgebaut wird. Somit lassen sich sprachliches und fachliches Verständnis nicht voneinander trennen. Dieses Ergebnis untermauert daher Leisens Annahme, dass mathematisches Lernen immer auch Sprachlernen ist.

Demgegenüber umschreibt die generierte Version in der 7. Schulstufe den mathematischen Begriff *Stichprobe* bei Beispiel 1090. Anstelle von „Eine Stichprobe von 300 Personen wurde zufällig ausgewählt, um das Restaurant zu bewerten.“ wird diese Version generiert: „Insgesamt wurden 300 Personen zufällig ausgewählt und befragt.“ Hier wird der fachsprachliche Begriff durch eine Beschreibung seiner Bedeutung ersetzt. Die geringe Anzahl entsprechender Markierungen in der generierten Version lässt daraus schließen, dass das Verständnis durch diese Umschreibung erleichtert wird. Diese Analyse deutet darauf hin, dass sprachliche Optimierungen dann wirken, wenn sie fachsprachliche Inhalte vereinfacht zugänglich machen.

Leisen ist in Kapitel 2.2 der Ansicht, dass Fachsprache das Verstehen erschweren. Hierzu zählen neben Fachbegriffen auch fachspezifische Handlungsanweisungen. Operatoren und Arbeitsaufträge werden oft als nicht verstandene oder verwirrende Wörter markiert. Besonders deutlich wird dies bei Aufgabe 1090 in der 7. Schulstufe. Der in der traditionellen Version verwendete Operator *Gib einen Schätzwert an* wird in der generierten Version zu *schätze* umformuliert. Schüler:innen haben in der generierten Version mehrmals den Operator markiert, dahingegen in der traditionellen Version kein einziges Mal. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass das Verb *schätzen* im

schulischen Kontext mehrdeutig verwendet wird und sowohl ungefähre Vermutungen als auch eine mathematisch begründete Rechnung bezeichnen kann. Obwohl die Formulierung der generierten Version sprachlich kürzer ist, führt sie zu einer Zunahme der Markierungen. Rückzuführen lässt sich dies darauf, dass das Verb *schätzen* sowohl im alltäglichen als auch im mathematischen Kontext verwendet wird, jedoch mit unterschiedlichen Bedeutungen. Leisen beschreibt unter fachtypischen Sprachstrukturen (siehe Kapitel 2.2), dass Alltagsbegriffe in der Fachsprache eine andere Bedeutung erlangen. Dies impliziert, dass Wörter in Textaufgaben, welche im Alltag eine andere Bedeutung haben, zu sprachlichen Hürden führen können. Auf Basis des Hamburger Verständlichkeitsmodells (siehe Kapitel 2.4) lässt sich diese Analyse auch wie folgt beschreiben: Eine Dimension dieses Modells, nämlich *Kürze und Prägnanz*, beschreibt, dass man nur wesentliche Wörter verwenden soll und diese bewusst wählen soll. Aufgrund der Mehrdeutigkeit des Wortes *schätze* ist hier eine sprachliche Vereinfachung nicht gelungen.

Auffällig ist, dass Satzbau und Informationsdichte insgesamt nur einen vergleichsweise geringen Anteil der Markierungen ausmachen. In der 8. Schulstufe erhält diese Kategorie jedoch einen höheren Anteil als in der 7. Schulstufe. Beispielsweise bei Aufgabe 935 werden die Dichte der Informationen in „die beiden gleich langen Schenkel“ oder in Beispiel 1000 „voll beladene Tank-LKWs“ markiert. In der traditionellen Version von Beispiel 1000 beinhalten folgende Sätze viele Informationen und besitzen daher eine Informationsdichte: „Ein zylindrischer Behälter auf dem LKW hat einen Durchmesser von $d = 2,6\text{ m}$ und eine Länge von $l = 12\text{ m}$.“ und „Dieses Öl wird dann zum Transport an die Kundinnen und Kunden in Tank-LKWs abgefüllt“ aufgrund der Passivkonstruktion und den Präpositionalphrasen. Wie Rösch und Paetsch in Kapitel 2.4 beschreiben, sind neben der lokalen und globalen Textstruktur auch die Wortstellung, die Präpositionen und trennbare Verben für Schüler:innen mit Deutsch als Zweit- oder Fremdsprache sprachlich herausfordernd. Prediger und Wessel sind jedoch der Meinung, dass Präpositionen nicht nur für Kinder mit Deutsch als Zweitsprache, sondern auch für jene mit Deutsch als Erstsprache eine Herausforderung darstellen können (siehe Kapitel 2.5). Daher soll man auf diese sprachlichen Phänomene auch im Unterricht achten und in der Erarbeitungsphase näher darauf eingehen.

Die Schwierigkeiten bei den Alltagsbegriffen *Silo* und *Raffinerie* in Aufgabe 1000 zeigen zudem, dass reale Kontexte allein nicht ausreichen, wenn die verwendeten Kontextbegriffe selbst unbekannt sind. Die Begriffserklärung zu *Silos* entfällt in der generierten Version. Dies führt dazu, dass der Begriff *Silo* in der generierten Version mehrmals markiert wird. Sprachliche Vereinfachungen führen daher nicht immer zur Minderung sprachlicher Hürden, wenn dabei wichtige Kontextinformationen verloren gehen. Dieses Ergebnis verdeutlicht die von Cummins (siehe Kapitel 2) beschriebene Differenz zwischen Alltags-, Bildungs- und Fachsprache. Ein Beherrschen der Alltagskommunikation impliziert daher nicht das Verstehen der Bildungssprache in derselben Sprache.

Obwohl Freudenthal (siehe Kapitel 2.1) in der Beziehungshaltigkeit betont, dass mathematische Aufgaben aus Lebenswelten der Lernenden anknüpfen sollen, verdeutlicht das Ergebnis, dass reale Kontexte gleichzeitig neue sprachliche Anforderungen erzeugen. Das Einbetten lebensnaher Situationen führt daher nicht ausschließlich zu einer Unterstützung, sondern kann auch zu einer Sprachhürde führen.

Auch im Hamburger Verständlichkeitsmodell (siehe Kapitel 2.4) wird betont, dass die Verständlichkeit durch eine Anknüpfung an die Lebenswelt der Schüler:innen erhöht wird. Aber wie Beispiel 1000 zeigt, sind manche Situationen einer Textaufgabe nicht die Lebenswelt aller Schüler:innen und wird zusätzlich in der optimierten Version die Begriffserklärung gestrichen, so können Alltagsbegriffe eine große sprachliche Herausforderung sein.

Abseits der Analyse mehrmals gelesener Satzteile urteilen die Schüler:innen darüber, wie schnell sie wissen, was zu berechnen ist. Die Einschätzung der Schüler:innen lässt Einblicke in die Gedankenwelt der Schüler:innen zu, um zu erkennen, ob sprachliche Hürden das Bilden eines Situations- und Realmodells verzögern. Bei der Aussage „Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.“ haben mehrere generierte Aufgabenstellungen einen erhöhten Wert. Dies deutet darauf hin, dass sprachliche Optimierungen nicht zwingend zu einem anderen Verständnis der Aufgabenstellung führen, jedoch den Zugang zur mathematischen Zielsetzung erleichtern können. Das Erkennen der mathematischen Fragestellung ist wesentlich im Übergang von Situations- zu Realmodell (siehe Kapitel 2.3). Erst wenn erkannt wird, welche mathematische Größe

gesucht und welche Informationen relevant sind, kann aus der Realsituation ein mathematisches Modell entstehen. Die erhöhten Werte bei der Aussage bei den generierten Textaufgaben sprechen dafür, dass sprachliche Optimierungen diesen Übergang unterstützen können.

Die nahezu identischen Werte bei den Varianten der Textaufgaben zur Aussage „Ich habe die Textaufgabe verstanden.“ zeigen hingegen, dass sprachliche Vereinfachungen nicht automatisch ein verbessertes Aufgabenverständnis hervorrufen. Dies legt nahe, dass die wahrgenommene Verständlichkeit nicht ausschließlich von sprachlichen Faktoren abhängt. Eine Aufgabe ist dann schwierig zu lösen, wenn mathematische Fachbegriffe, Operatoren und Alltagsbegriffe für die mathematische Bearbeitung interpretiert werden. Dies verdeutlicht, dass sprachliche Hürden nicht nur das Textverständnis betreffen, sondern insbesondere die Bildung eines Realmodells beeinflussen.

Die Ergebnisse zeigen, dass sprachliche Schwierigkeiten den Aufbau von Situations- und Realmodellen beeinflussen. Die Daten ergeben, dass insbesondere mathematische Fachbegriffe, Operatoren und Kontextbegriffe als Hürden bezeichnet werden. Gleichzeitig verdeutlicht die Analyse, dass nicht alle sprachlichen Merkmale gleichermaßen die Verständlichkeit beeinflussen. Die größte sprachliche Hürde entsteht demnach nicht, wie in der Theorie festgestellt, in der Syntax, sondern auf der Bedeutungsebene. Sprachliche Optimierungen scheinen dann wirksam zu sein, wenn sie fachsprachliche und kontextbezogene Anforderungen reduzieren oder explizit erklären, ohne wichtige Informationen zu kürzen. Das Bilden eines Situations- und Realmodells kann trotz sprachlichen Schwierigkeiten gelingen, wie auch die Einschätzung der Schüler:innen zeigt, jedoch können diese das Erkennen der Aufgabenstellung erschweren oder erleichtern. Somit ist die zweite Hypothese teilweise bestätigt.

4.3 dritte Hypothese

4.3.1 Analyse dritte Hypothese

Die dritte Hypothese überprüft, ob visuelle Strukturierungselemente wie Abbildungen, Tabellen und Übersichtlichkeit die subjektive Verständlichkeit zum Lösen mathematischer Textaufgaben erhöhen. Bezug nimmt die Hypothese auf folgende Aussagen des Fragebogens, welche auf der nächsten Seite aufgelistet sind:

- Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.
- Die Abbildung hat mir nicht geholfen.
- Die Tabelle hat mir geholfen.
- Bilder haben mir geholfen.
- Die Textaufgabe war einfach zu lesen.
- Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.
- Die vorgegebene Beschriftung der Achsen war hilfreich.

Wenn visuelle Strukturierungselemente tatsächlich die Verständlichkeit erhöhen, so werden sich diese möglicherweise auch in der Nutzung visueller Lösungsstrategien zeigen. Daher werden auch die Angaben der Schüler:innen zu den Lösungsstrategien analysiert, indem folgende Kategorien beleuchtet werden:

- Wichtige Infos markiert
- Bildlich vorgestellt
- Skizze gemacht
- Tabelle erstellt
- In die Abbildung/Skizze die gegebenen Längen eingezeichnet

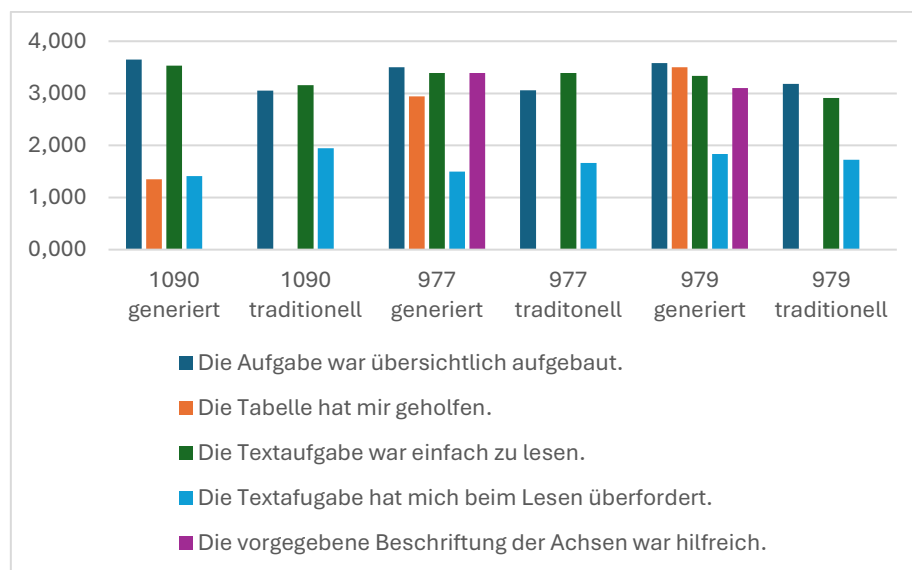


Abbildung 20 Aussagen zur Visualisierungsstruktur; 7. Schulstufe

Im oben angeführten Säulendiagramm ist erkennbar, dass die generierte Textaufgabe der drei Textaufgaben in der 7. Schulstufe in der Übersichtlichkeit und in der Einfachheit im Lesen in der individuellen Wahrnehmung der Schüler:innen höher ist als bei den Wahrnehmungen bei den traditionellen Aufgaben. Einzig bei Beispiel 977, der direkten

Verhältnisse, war die Einfachheit in der Sprache von der traditionellen und der generierten Version gleich hoch. In der generierten Version haben die Schüler:innen auch den Eindruck, dass sie das Lesen der Textaufgabe weniger überfordert. Die eingefügte Tabelle, um die Werte zu den entsprechenden Bewertungen des Restaurants in Aufgabe 1090 übersichtlich lesen zu können, wird von einigen Schüler:innen als hilfreich wahrgenommen. Der p -Wert zeigt signifikante Ergebnisse für die generierte Version, nämlich den Wert 0,041. Wiederum bei den anderen beiden Beispielen ist erkennbar, dass die Tabellen zum Ausfüllen als hilfreich eingeschätzt werden. Bei diesen Beispielen ist auch die Angabe der Beschriftung der Achsen als hilfreich eingestuft.

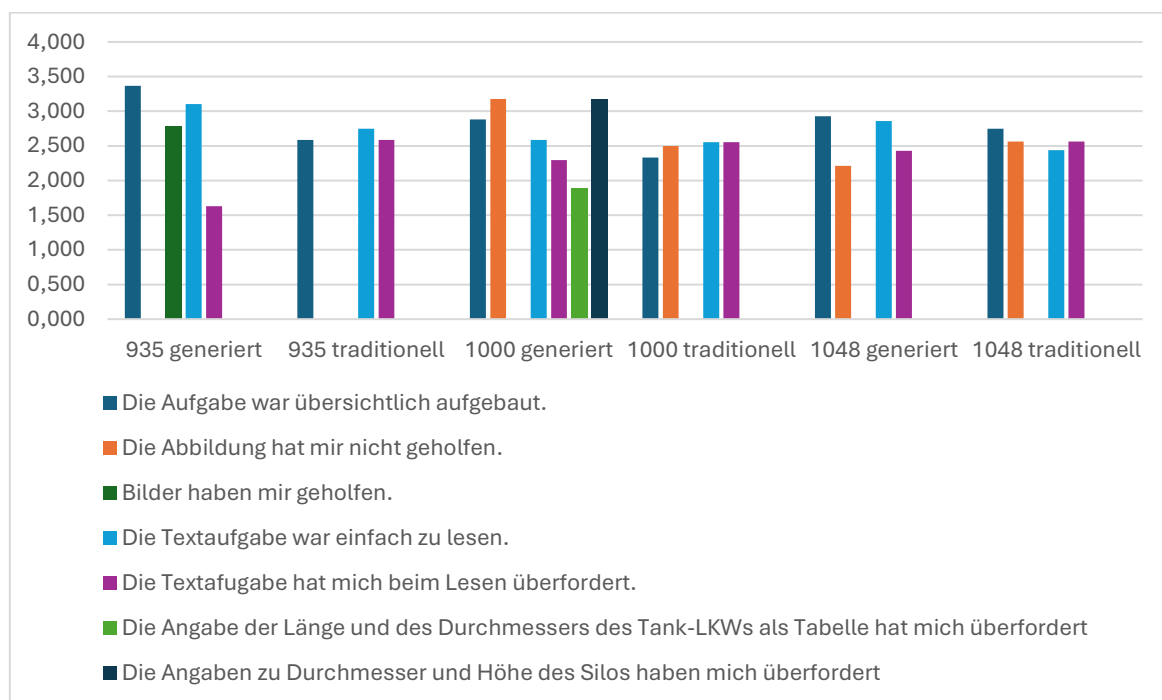


Abbildung 21 Aussagen zur Visualisierungsstruktur; 8. Schulstufe

In der 8. Schulstufe zeigt sich ein ähnliches Bild: Die generierte Aufgabe wird hinsichtlich der Übersichtlichkeit positiver bewertet als die traditionelle Version. Dies zeigt sich insbesondere beim p -Wert von Beispiel 935, denn dieser liegt bei 0,037. Ebenso bewerten die Schüler:innen die Lesbarkeit bei der Version von ChatGPT mehrheitlich höher und auch die Wahrnehmung der Schüler:innen beim Lesen, welches überfordert, ist bei der generierten Version geringer als in der traditionellen. Das zusätzliche Bild in der generierten Aufgabe 935, um ein gleichschenkeliges Dreieck darzustellen, ist bei den Schüler:innen als hilfreich angeführt worden. Generell zeigt sich bei der Übersichtlichkeit bei Beispiel 935 signifikante Ergebnisse zugunsten der generierten Version ($p = 0,003$).

Jedoch zeigt sich, dass in der 8. Schulstufe das Angeben von Längen und Einheiten als Tabelle anstelle eines Fließtextes überfordernd ist.

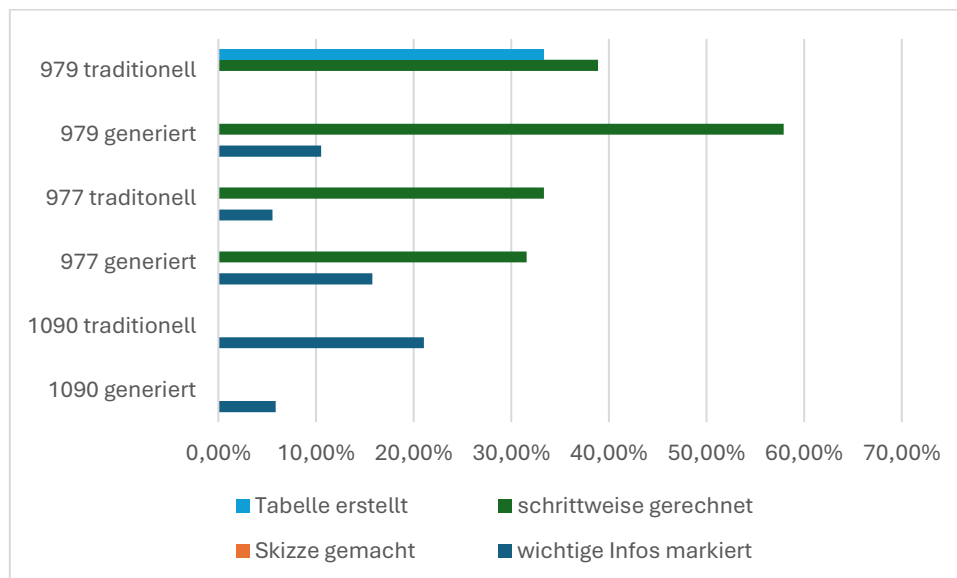


Abbildung 22 visuelle Lösungsstrategien; 7. Schulstufe

Bezüglich der visuellen Lösungsstrategien in der 7. Schulstufe ist erkennbar, dass visuelle Lösungsstrategien nicht von der Mehrheit der Schüler:innen verwendet werden. Eine Tabelle für das Erstellen eines Graphens als Lösungsstrategie wird in der traditionellen Version von Aufgabe 979 oftmals verwendet. Zudem ist dies bei Aufgabe 979 auch als Aufgabenstellung verlangt. Schrittweise gerechnet wird vor allem in der generierten Version von Aufgabe 979. Verursacht kann dies durch die Angabe einer Tabelle inklusive Beschriftung der x -Werte sein. Hingegen bei Beispiel 977, in der auch in der generierten Version die x -Werte der Tabelle ausgefüllt ist, jedoch die Schrittweite unterschiedlich gewählt wird, wird in beiden Versionen gleich oft schrittweise gerechnet. Wichtige Infos werden in zwei von drei Fällen eher bei der traditionellen Aufgabe markiert. Einzig bei Aufgabe 1090, der relativen Häufigkeit, wird in der generierten Version mehr Informationen markiert.

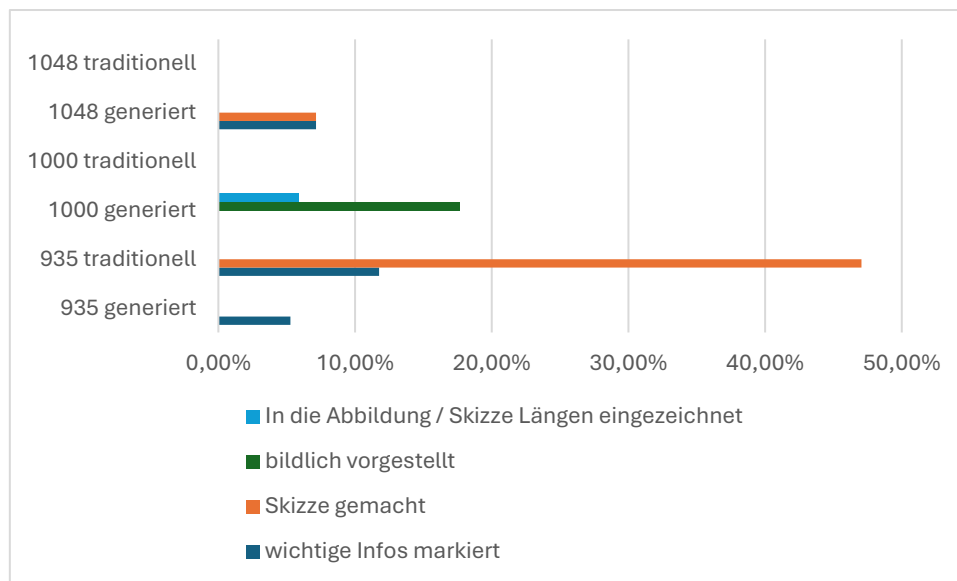


Abbildung 23 visuelle Lösungsstrategien; 8. Schulstufe

Auch in der 8. Schulstufe ist erkennbar, dass kaum visuelle Lösungsstrategien verwendet werden. Einzig bei Aufgabe 935 in der traditionellen Version konstruiert sich fast die Hälfte der Schüler:innen eine Skizze. Bei den Aufgaben 1000 und 1048, welche sich auf die Körper Drehzylinder und Drehkegel beziehen, gibt es Abbildungen mit den Körpern. Dennoch wird in der generierten Version von Aufgabe 1048 von einer Person eine Skizze gemacht. Wiederum wird in der generierten Version von Beispiel 1000 von einer Person in die Abbildung Längen eingezeichnet, um sich die Angaben besser vorzustellen. Wichtige Infos werden in der 8. Schulstufe im Vergleich zur 7. Schulstufe deutlich weniger eingesetzt, insbesondere bei den generierten Versionen.

4.3.2 Interpretation dritte Hypothese

Wie in Kapitel 2.5 mit Hilfe der Darstellungsebenen nach Clarkson beschrieben ist, kann das Darstellen von Informationen als Tabellen und Abbildungen dazu beitragen, dass mathematische Inhalte strukturiert und sichtbar gemacht werden. Darüber hinaus kann das Vermengen sprachlicher, symbolischer und ikonischer Darstellungsebenen das Verständnis mathematischer Inhalte unterstützen.

In den generierten Versionen ist erkennbar, dass bewusst ein Wechsel zwischen den Darstellungsformen angewendet wird. Beispielsweise wird in Aufgabe 935 der 8. Schulstufe, in der ein lineares Gleichungssystem zu einem gleichschenkeligen Dreieck erstellt werden soll, ergänzend zu den mathematischen Begriffen *gleichschenkeliges Dreieck*, *Schenkel* und *Basis* ein passendes Dreieck abgebildet und die Seiten werden beschriftet. Die Ergebnisse der Aussagen zur Übersichtlichkeit und Lesbarkeit deuten

darauf hin, dass die Gestaltung von den Schüler:innen positiver wahrgenommen wird. Denn die Differenz in der Übersichtlichkeit beträgt 0,780 Skalapunkte und in der Lesbarkeit 0,355. Zusätzlich weist die generierte Version Merkmale auf, die dem Pol *Gliederung* und *Ordnung* des Hamburger Verständlichkeitsmodells (siehe Kapitel 2.4) zugeordnet werden können. Denn der bewusste Einsatz von Absätzen und Hervorhebungen von mathematischen Begriffen und Symbolen ist in der Aufgabe klar ersichtlich. Da in dieser Textaufgabe die wesentlichen mathematischen Fachbegriffe, mathematischen Symbole, Längeneinheiten und der Operator hervorgehoben werden und zusätzlich eine Abbildung das Schriftliche ergänzt, werden Elemente sprachsensibler Gestaltung sichtbar. Dies zeigt sich bei der Aussage „Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.“, da hier die generierte Version mehr Skalapunkte aufweist und somit eine Differenz von 0,956 Skalapunkten besteht. Weiters wird durch das Ergänzen einer Skizze der Prozess des Vereinfachens und Strukturierens, um vom Situations- ins Realmodell zu gelangen (siehe Kapitel 2.3) unterstützt. Die Ergebnisse legen somit nahe, dass die Verbindung sprachlicher und visueller Informationen das Verständnis mathematischer Zusammenhänge fördern kann. Ähnliche Überlegungen finden sich auch bei Rösch und Paetsch (siehe Kapitel 2.5).

Ein vergleichbares Bild zeigt sich bei Beispiel 1000 zum Drehzylinder. Mathematische Informationen werden als Fließtext und als Tabelle dargestellt. Dabei stellt die Tabelle numerische Informationen strukturiert dar. Wesentlichen Begriffe wie *zylinderförmigen Tanks* und *Fassungsvermögen des Tank-LKWs* werden hervorgehoben. Diese Gestaltung entspricht den Prinzipien des Hamburger Verständlichkeitsmodells (siehe Kapitel 2.5). Die Lesbarkeit von traditioneller und generierter Version wird nahezu gleich bewertet, aber hinsichtlich der Überforderung im Lesen wird die generierte Version günstiger eingeschätzt. Dies könnte ein Indiz sein, dass die visuelle Strukturierung die Orientierung innerhalb der Aufgabe unterstützt.

Auch bei Beispiel 1090 werden wesentliche Informationen, welche in der traditionellen Aufgabenstellung als Fließtext dargestellt werden, in der generierten Version als Tabelle dargestellt. Obwohl viele Schüler:innen die Tabelle selbst nicht ausdrücklich als hilfreich bewerten, deuten die Unterschiede bei der Übersichtlichkeit (0,594 Skalapunkte), der Lesbarkeit (0,371 Skalapunkte) und in der Überforderung beim Lesen (0,371

Skalapunkten) darauf hin, dass die tabellarische Strukturierung ein möglicher Einflussfaktor für die positivere Wahrnehmung sein könnte.

Die generierten Aufgabenstellungen nutzen insgesamt die zusätzlichen Darstellungsebenen häufiger und strukturieren Informationen zusätzlich oftmals durch Aufzählungen und Tabellen. Dadurch werden die Informationen nicht nur als Fließtext dargestellt, sondern auf mehreren Darstellungsformen. Wie Leisen in Kapitel 2.2 betont, ist das Verwenden unterschiedlicher Darstellungsformen für das Vermitteln von mathematischen Inhalten hilfreich.

Auffällig ist, dass sich die positiven Bewertungen der Übersichtlichkeit nicht unmittelbar in der Nutzung visueller Lösungsstrategien widerspiegeln. In beiden Schulstufen werden Skizzen, Tabellen oder Eintragungen in die Abbildungen vergleichsweise selten gemacht. Dies deutet darauf hin, dass Schüler:innen visuelle Strukturierungshilfen zwar als positiv wahrnehmen, diese jedoch nicht automatisch in ihrem Lösungsprozess aktiv anwenden. Die subjektive Verständlichkeit eines Beispiels und die tatsächliche Nutzung visueller Darstellungsformen scheinen somit nicht automatisch miteinander verbunden zu sein.

Besonders ist dies im zuvor erwähnten Beispiel 1000 und auch im Beispiel 1048 erkenntlich: Obwohl in beiden Versionen eine Abbildung zusätzlich zum Fließtext vorhanden ist, werden kaum ergänzende Skizzen gemacht oder passende Längen in die Abbildung eingezeichnet. Die vorhandenen Darstellungen scheinen hier die Funktion einer selbst erstellten Visualisierung zu übernehmen.

Demgegenüber steht das Beispiel 935. Die traditionelle Version hat keine Skizze zum gleichschenkeligen Dreieck abgebildet, die generierte Version jedoch schon. Beinahe die Hälfte der Schüler:innen skizzieren in der traditionellen Version ein Dreieck. Dies kann bedeuten, dass Schüler:innen gezielt visuelle Darstellungsformen verwenden, wenn es für das Verständnis benötigt werden.

Beispiel 979 verdeutlicht Folgendes: In der generierten Version wird eine Tabelle vorgestellt, die im Rahmen der ersten Unteraufgabe ausgefüllt werden soll. Gleichzeitig zeigen die Auswertungen, dass die Strategie des schrittweisen Rechnens häufiger verwendet wird als in der traditionellen Version. Dies lässt vermuten, dass es einen Zusammenhang zwischen der vorgegebenen Tabelle und der häufigeren Verwendung der Strategie schrittweises Rechnen gibt. Die Tabelle könnte dabei eine Orientierungshilfe

bieten, um die schrittweise Bearbeitung bei der gesamten Aufgabe zu verwenden. Denn im Vergleich dazu wird das schrittweise Rechnen in der traditionellen Version, wo keine Tabelle zum Ausfüllen dargestellt ist, weniger verwendet.

Durch das Einbringen von Tabellen in die Aufgabenstellung werden auch wesentliche Zielstrategien der Fördermaßnahme *Textaufgabenknacker* (siehe Kapitel 2.6) unterstützt: Durch die Tabelle können wesentliche Informationen hervorgehoben werden, zudem werden Beziehungen zwischen den Größen sichtbar gemacht und die Struktur der Aufgabe erkenntlich. Ist die Tabelle zum Ausfüllen (wie Beispiel 979), so wird das Vorwärts- und Rückwärtsarbeiten unterstützt. Dies kann auch ein Grund sein, weswegen im Beispiel 979, vor allem in der generierten Version, die Strategie schrittweise Rechnen öfters als in der traditionellen Version verwendet wird. Wie aber im Kapitel 2.6 erwähnt wird, müssen Schüler:innen die Fertigkeit lernen, wie eine Fördermaßnahme einzusetzen ist. Dies gilt auch für Tabellen: Das Lesen von Tabellen muss im Unterricht im Vorfeld besprochen und vertieft werden, bevor diese im selbstständigen Lösen von Textaufgaben als Hilfsmittel eingesetzt wird.

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass visuelle Strukturierungselemente insbesondere die Orientierung innerhalb einer Textaufgabe und die subjektive Wahrnehmung der Übersichtlichkeit unterstützen können. Jedoch zeigen die Daten auch, dass die visuellen Elemente nicht allein für eine höhere Verständlichkeit verantwortlich sind. Ihr Nutzen hängt davon ab, wie sie in der Aufgabenstellung eingebettet sind und ob die Schüler:innen die jeweilige Darstellungsform sinnvoll nutzen können und auch wollen. Die dritte Hypothese kann somit teilweise bestätigt werden. Generierte Aufgabenstellungen werden überwiegend als übersichtlicher, einfacher lesbar und weniger überfordernd wahrgenommen. Die statistischen Auswertungen bestätigen den Eindruck bezüglich der Übersichtlichkeit bei den Aufgaben 935 und 1090 deutlich. Diese Wahrnehmungen können als eine erhöhte subjektive Verständlichkeit der Textaufgabe interpretiert werden. Dies zeigt, dass visuelle Strukturierungselemente die subjektive Verständlichkeit unterstützen können. Jedoch zeigt die Untersuchung deutlich, dass visuelle Hilfsmittel kaum aktiv genutzt werden und nicht alle visuellen Elemente gleichermaßen als hilfreich wahrgenommen werden. Daher gilt die Hypothese als teilweise bestätigt.

4.4 vierte Hypothese

4.4.1 Analyse vierte Hypothese

Die vierte Hypothese geht davon aus, dass durch künstliche Intelligenz sprachliche optimierte Textaufgaben sprachliche Hürden reduzieren können, ohne dabei die mathematische Anforderung der Aufgabenstellung zu verändern.

Theoretische Grundlage der Annahme bilden die Überlegungen von Leisen zu sprachlichen Hürden im Fachunterricht und das Zusammenspiel von Alltags-, Bildungs- und Fachsprache nach Cummins. Sprachliche Hürden treten durch Fachbegriffe, Kontextbegriffe, Operatoren, Satzstrukturen und Informationsdichte auf und können das Lösen von Textaufgaben erschweren. Das Optimieren der Sprache einer Textaufgabe soll jedoch nicht die verlangte mathematische Kompetenz oder Schritte des Modellierungskreislaufes verändern.

Zur Überprüfung der Hypothese werden Merkmale für sprachliche Hürden und Merkmale zur Einschätzung mathematischer Anforderungen herangezogen. Analysiert werden folgende Aussagen des Fragebogens:

- Die Textaufgabe war einfach zu lesen.
- Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.
- Die Textaufgabe war übersichtlich aufgebaut.
- Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.

Zudem wird analysiert, ob für Schüler:innen die Wörter der Aufgabenstellung eher aus dem Alltag oder aus der Bildungs- und Fachsprache kommen und ob das Lösen der Textaufgabe durch Sprache, durch die Rechnung oder durch beides schwierig ist. Ist bei der generierten Version die Sprache weniger schwierig und die Rechnung aber gleich schwierig, so unterstützt dies die Hypothese.

Ob mathematische Anforderungen im Vergleich zur traditionellen Version weiterhin bestehen, wird durch die Fragestellung „Was genau soll berechnet werden?“ und die dokumentierte Korrektheit der Lösung untersucht. Dabei wird analysiert, ob Schüler:innen die Aufgabenstellung zutreffend in eigenen Worten formulieren und die Aufgabenstellung auch mathematisch richtig lösen können. Gelingt den Schüler:innen beides, so ist dies ein Indikator dafür, dass die sprachliche Optimierung den mathematischen Kern der Aufgaben nicht wesentlich verändert.

Durch die Bearbeitungsstrategien ist erkennbar, ob durch die generierte Version andere Lösungswege erzeugt werden. Dies könnte ein Hinweis sein, dass die mathematischen Anforderungen verändert werden. Zu beachten ist, dass keine Frage des Fragebogens direkt nach der Veränderung der mathematischen Anforderungen fragt. Dies bedeutet, dass sich die Frage nach der Veränderung der mathematischen Inhalte rein aus Hinweisen deuten lässt.

Im folgenden Säulendiagramm sind die Aussagen zu sprachlichen Hürden in der 7. Schulstufe dargestellt:

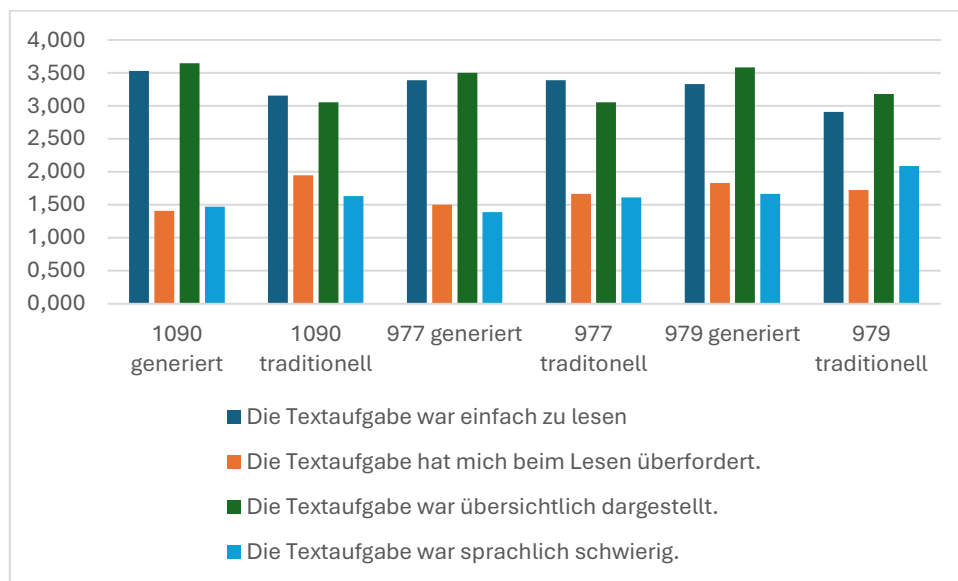


Abbildung 24 Aussagen zu sprachlichen Hürden; 7. Schulstufe

Erkenntlich ist, dass Schüler:innen die generierte Version einfacher zum Lesen wahrnehmen. Gleiches gilt für die Übersichtlichkeit der Textaufgaben. Signifikante Ergebnisse zeigen sich insbesondere bei Beispiel 1090 ($p = 0,041$). In der sprachlichen Schwierigkeit ist stets die traditionelle Version als herausfordernder eingestuft. In Beispiel 979 ist die Differenz jedoch am höchsten. Auch ist dieses Beispiel das einzige, wo die generierte Version die Schüler:innen beim Lesen mehr überfordert als die traditionelle Version.

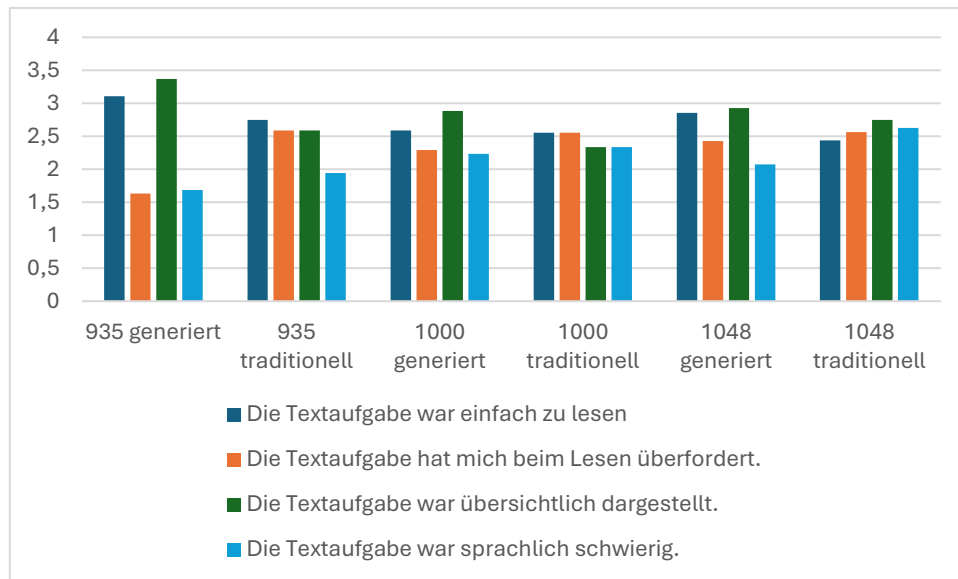


Abbildung 25 Aussagen zu sprachlichen Hürden; 8. Schulstufe

In der 8. Schulstufe zeigt sich in der Übersichtlichkeit und in der Einfachheit beim Lesen ein ähnliches Bild: Die generierte Version ist leichter zu lesen und übersichtlicher aufgebaut. Auch die Schwierigkeit in der Sprache wird bei den Schüler:innen bei der generierten Version als weniger schwierig eingestuft, auch wenn der Unterschied zur traditionellen Version minimal ist. Beim Lesen hat die traditionelle Version die Schüler:innen eher überfordert, die Differenz ist bei Beispiel 935 am größten und wird mittels dem p -Wert zusätzlich verdeutlicht ($p = 0,002$).

In Hinblick darauf, was genau berechnet werden soll und die Korrektheit der Lösung, lassen sich die Ergebnisse wie folgt veranschaulichen:

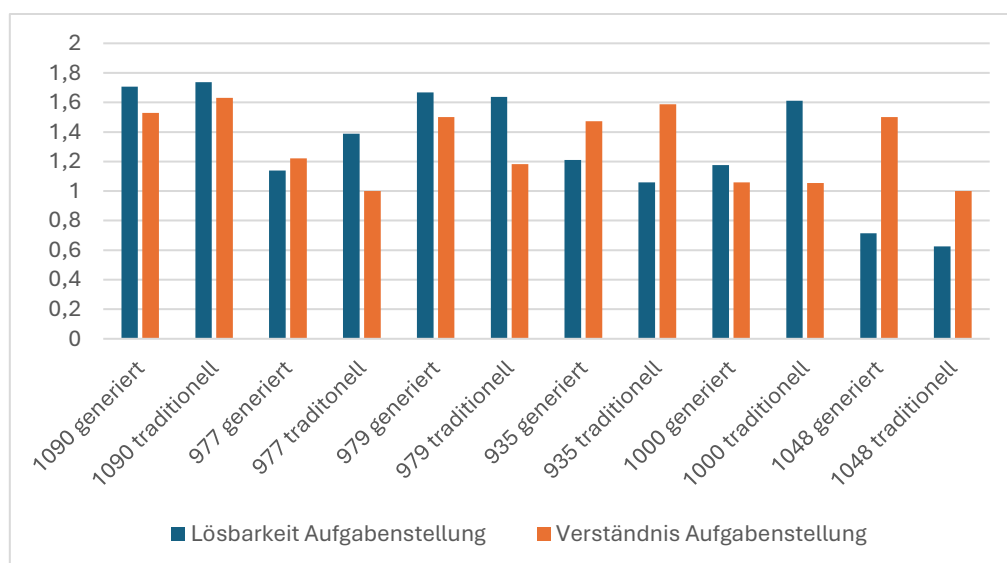


Abbildung 26 Lösbarkeit und Verständnis Aufgabenstellung; 7. und 8. Schulstufe

Die ersten drei Beispiele (1090, 977 und 979) werden in der 7. Schulstufe gelöst und demonstrieren, dass die Lösbarkeit der Aufgabenstellung eher gelingt als das Beschreiben der Aufgabenstellung in eigenen Worten. Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass einige Schüler:innen im Fragebogen die Aufgabe überlesen haben, die Aufgabenstellung in eigenen Worten wieder zu geben. Einzig bei der generierten Version von 977 ist das Verständnis, was zu tun ist, eher vorhanden als das korrekte Lösen der Aufgabenstellung.

In der 8. Schulstufe ist bei zwei Beispielen, nämlich 935 und 1048, das Verständnis über die Fragestellung der Beispiele verständlicher als das tatsächliche korrekte Lösen. Bei Beispiel 1000 wiederum gelingt das Lösen besser, jedoch ist die Differenz des Verständnisses und der Lösbarkeit in der traditionellen Version größer als in der generierten.

In der Einschätzung der verwendeten Sprache der Textaufgabe zeigt sich kein einheitliches Bild wie im Säulendiagramm veranschaulicht wird:

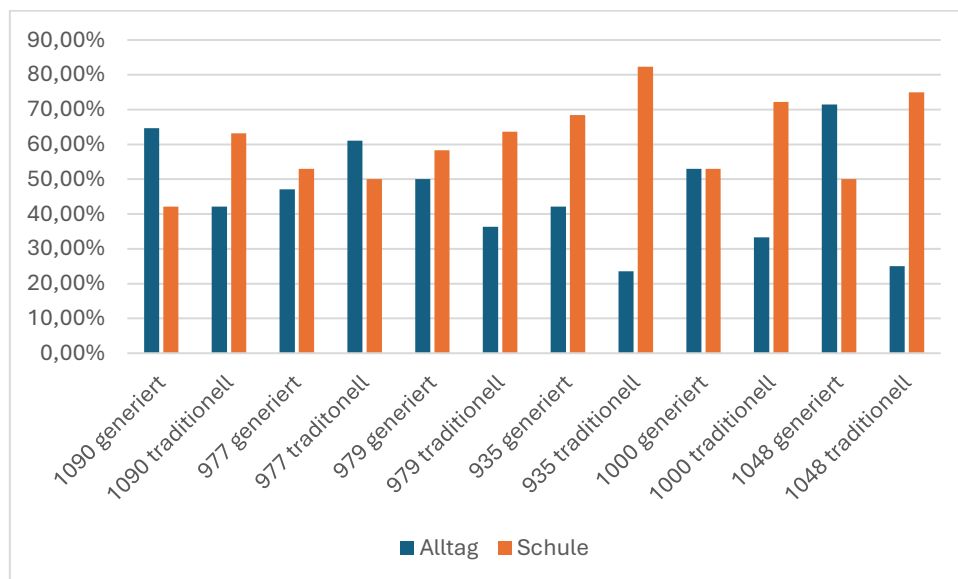


Abbildung 27 Subjektive Einordnung der Sprache der Textaufgabe

In zwei der sechs generierten Aufgaben wird die Sprache der Textaufgabe mit großem Abstand der Alltagssprache zugeordnet (Beispiel 1090 und 1048). Bei einer generierten Aufgabe, nämlich Beispiel 1000, ist die Zuordnung zu Alltags- und Schulsprache gleich hoch. Beim generierten Beispiel 935 ist die Differenz sehr hoch, die meisten ordnen die Sprache jedoch der Schulsprache zu.

Hingegen bei den traditionellen Beispielen zeigt sich in fünf von sechs Beispielen, dass die Schulsprache mit großem Abstand zur Alltagssprache zugeordnet wird. Einzig bei der traditionellen Aufgabe 977 nehmen die Schüler:innen die Wörter der Textaufgabe als jene aus dem Alltag wahr.

Auch die Einschätzung der Schüler:innen, ob die Sprache, die Rechnung oder beides gleich schwierig für das Lösen ist, ist unterschiedlich:

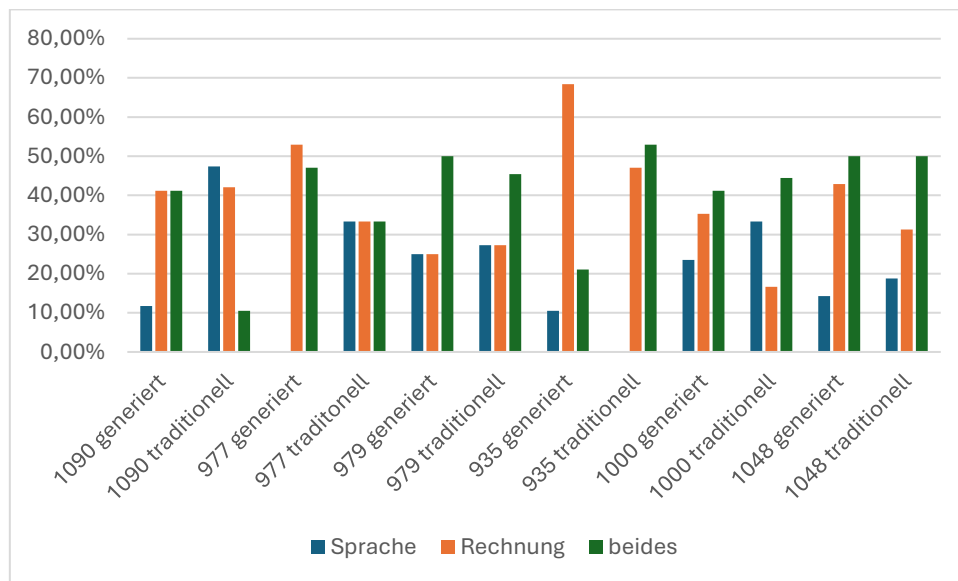


Abbildung 28 Subjektive Einordnung der Schwierigkeit der Textaufgabe

Bei den Beispielen 977, 935, 1000 und 1048 wird in der generierten Version das Rechnen als schwieriger eingeschätzt. Außer bei Beispiel 935 wirkt für die Schüler:innen die Sprache der traditionellen Textaufgabe schwieriger als jene der generierten Version. Über nahezu alle sechs Aufgaben fällt auf, dass die Kategorie „beides“ meist den höchsten oder zweitgrößten Wert annimmt. Die Schüler:innen nehmen somit überwiegend die Schwierigkeit als Zusammenspiel sprachlicher und mathematischer Herausforderung wahr.

Die Lösungsstrategien lassen sich nach folgenden zwei Schritten des Modellierungskreislafes (siehe Kapitel 2.3) einteilen: Sprachbezogene Strukturierungsstrategien (im Modellierungskreislauf als strukturieren und vereinfachen erkennbar) und mathematische Bearbeitungsstrategien (im Modellierungskreislauf als mathematisieren ersichtlich). Dabei sind sprachbezogene Strukturierungsstrategien das Markieren wichtiger Infos, das Erstellen einer Skizze und das bildliche Vorstellen.

Bearbeitungsstrategien sind der Einsatz von Formeln, das Aufstellen von Gleichungen, das schrittweise Rechnen und das Ablesen des Änderungsfaktors am Graphen.

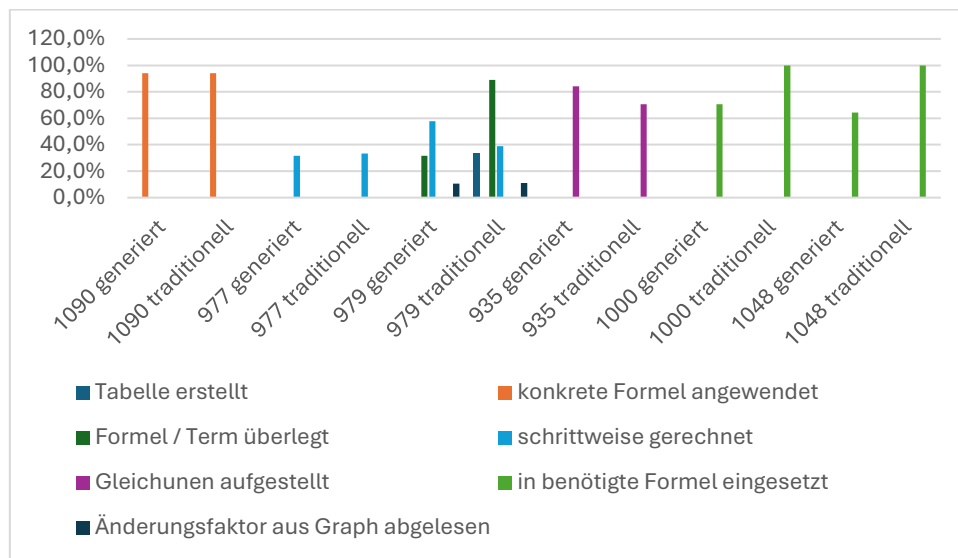


Abbildung 29 Bearbeitungsstrategien; 7. und 8. Schulstufe

Die Bearbeitungsprozesse zeigen, dass es in den Beispielen 1090 und 977 kaum Unterschiede gibt. Hingegen wird im Beispiel 935 in der generierten Version etwas mehr der Bearbeitungsprozess des schrittweisen Rechnens verwendet. Wesentlich öfters wird in den traditionellen Versionen der Beispiele 1000 und 1048 in die benötigte Formel eingesetzt. Auch in Beispiel 979 wird sich in der traditionellen Version öfters eine Formel überlegt, jedoch wird in der generierten Version mehrmals das schrittweise Rechnen angewendet.

4.4.2 Interpretation vierte Hypothese

Die vierte Hypothese geht davon aus, dass generierte Versionen sprachliche Hürden bei Textaufgaben reduzieren können. Weiters behandelt die Hypothese, dass bei der sprachlichen Optimierung die mathematische Anforderung erhalten bleibt und nicht verändert wird.

Somit wird für diese Hypothese zuerst mit Hilfe der Analyse interpretiert, ob die sprachliche Hürde bei mathematischen Textaufgaben reduziert wird. Im Anschluss wird die mathematische Anforderung der Versionen der Textaufgaben forciert.

Die subjektiven Einschätzungen der Schüler:innen zeigen, dass in der 7. Schulstufe die generierte Version der Textaufgabe eindeutig einfacher zu lesen ist, die Aufgabe überwiegend beim Lesen weniger überfordert, die Textaufgabe deutlich übersichtlicher

dargestellt ist und die Textaufgabe sprachlich weniger schwierig ist. Wie in den Hypothesen zuvor bereits erläutert, erfüllt die generierte Version die Elemente, welche laut Leisen (siehe Kapitel 2.2) Sprachschwierigkeiten minimieren können: Es werden verschiedene Darstellungsformen für das Verständnis der Aufgabenstellung in der Textaufgabe inkludiert, wobei auf der morphologischen Ebene ähnlich viele Fachbegriffe verwendet und von den Schüler:innen als nicht verstanden oder verwirrend markiert werden. Zudem werden Komposita wie *Schätzwert* und *Stichprobe* (siehe Beispiel 1090) nicht in der generierten Version eingesetzt. Durch das Wegfallen des Begriffs *Schätzwert* in der generierten Version und das Umschreiben des Begriffs *Stichprobe* kann dies als Reduktion fachsprachlicher Komplexität interpretiert werden. Auf der Syntaxebene gelingt in den generierten Versionen, dass verkürzte Nebensatzkonstruktionen weniger eingesetzt werden. Insbesondere entfallen die hypothetischen Einleitungen sowie der Nebensatz, welcher mit *wobei* eingeleitet wird. Dadurch werden die Informationen weniger verdichtet den Schüler:innen dargelegt. In der traditionellen Version wird die Situation der Textaufgabe wie folgt beschrieben:

Angenommen, ein bestimmtes Restaurant hat Bewertungen auf einer Online-Plattform erhalten, wobei die Bewertungen „gut“, „mittel“ oder „schlecht“ sein können. [...]. [siehe Anhang 1: Lösungswege 3; Beispiel 1090 traditionell]

In der generierten Version wird die Situation in einem kurzen Satz geschildert, wobei die Bewertung und die jeweilige Anzahl der Personen, die für eine Bewertung abgestimmt haben, als Tabelle ergänzt wird:

*Ein Restaurant wurde auf einer Online-Plattform bewertet. Die Person konnte zwischen drei Bewertungen wählen: [...] Insgesamt wurden **300 Personen** zufällig ausgewählt und befragt. [siehe Anhang 1: Lösungswege 3; Beispiel 1090 generiert]*

Auffallend ist, dass die generierte die unpersönliche Ausdrucksweise, nämlich *angenommen*, in der generierten Version nicht verwendet wird. Dadurch entfällt eine weitere gedankliche Ebene. Die Alltagssprache, welche durch die Bewertungen *gut*, *mittel* und *schlecht* in der traditionellen Version im Fließtext dargestellt ist und im Alltag eine subjektive Wertung, im mathematischen Kontext jedoch Kategorien einer Häufigkeitsverteilung sind, wird in der generierten Version durch die Tabelle bewusst anders dargestellt, sodass die semantische Veränderung des Alltagswortes zum Fachbegriff besser erkenntlich ist.

Auch in der 8. Schulstufe wird jede Aussage zur Einfachheit, Überforderung,

Übersichtlichkeit und sprachliche Schwierigkeit in der generierten Version weniger problematisch von den Schüler:innen kategorisiert als von jenen, die ihre Wahrnehmung für die traditionelle Version abgegeben haben.

Aus den Ergebnissen der Analyse und der genaueren Auswertung von Beispiel 1090 lässt sich deuten, dass die optimierte Version eine Reduktion von sprachlichen Hürden aufweist. Jedoch ergibt die Auswertung der zweiten Hypothese auch, dass sprachliche Hürden vor allem in Fachsprache, bei den Operatoren und bei Alltagsbegriffen bestehen und erst dann eine sprachliche Vereinfachung gelingt, wenn fachsprachliche und kontextuelle Begriffe reduziert oder ergänzend beschrieben werden.

Um zu überprüfen, ob der mathematische Kern der Aufgabenstellung verstanden wird, wird die offene Frage näher betrachtet, in der die Schüler:innen die Aufgabenstellung in eigenen Worten wiedergeben sollen. Bei drei von sechs Aufgaben können die Schüler:innen, welche die generierten Textaufgaben lösen, die Aufgabenstellung besser in eigenen Worten wiedergeben. In einer Aufgabe ist das Wiedergeben vergleichsweise gleich hoch wie in der traditionellen Version. Dies deutet darauf hin, dass die mathematische Fragestellung in einigen generierten Versionen leichter erkannt werden kann. Die Ergebnisse zeigen jedoch kein einheitliches Muster. Vergleicht man nun die korrekte Lösung der generierten mit der traditionellen Aufgabe fällt auf, dass Schüler:innen in drei Fällen der generierten Version die mathematische Anforderung bearbeiten können, obwohl sie die Aufgabenstellung weniger oft in eigenen Worten wiedergeben können. In der traditionellen Version gelingt dies in vier von sechs Fällen. Dieses Ergebnis liefert keine eindeutigen Hinweise, ob die mathematischen Anforderungen durch sprachliche Optimierungen reduziert werden können. Die zugrundeliegenden mathematischen Inhalte und Bearbeitungsschritte bleiben in beiden Varianten weiterhin vergleichbar. In drei von sechs Fällen ist das Verständnis der Aufgabenstellung und die Lösbarkeit in der generierten Version höher als in der traditionellen. Dies kann als Hinweis unterstützen, dass sprachlich optimierte Aufgaben den Zugang zur Aufgabenstellung erleichtern können. Ob die Aufgabenstellung in der generierten Version verändert wird, kann nicht abgeleitet werden. In Aufgabe 977 ist auffallend, dass das Verständnis der Aufgabenstellung in der generierten Version wesentlich mehr gegeben ist als in der traditionellen. Dennoch wird die Aufgabe in der traditionellen Version wesentlich öfters richtig gelöst als in der generierten. Dieses

Ergebnis ist dahingegen spannend, da die Aussagen zur Lesbarkeit, Übersichtlichkeit, Einfachheit im Lesen und zur sprachlichen Schwierigkeit bei der generierten Version mehr Skalapunkte erhalten als in der traditionellen Version. Wirft man einen Blick auf die nicht verstandenen Wörter beider Versionen fällt auf, dass nur in der generierten Version mathematische Fachbegriffe wie *Gesamtpreis* und *Graph*, Operatoren wie *gib eine Formel an* und die Bedeutung der x und y –Achsen markiert werden. Hingegen werden in der traditionellen Version alle Wörter verstanden. Auch mathematische Fachbegriffe und Datenangaben für die Achsenbeschriftung sind in der generierten Version verwirrender als in der traditionellen. Vor allem die Tatsache, dass die Hälfte der Beispiele der generierten Version öfters korrekt berechnet werden und das Wiedergeben der Aufgabenstellung in drei von fünf Fällen bei der generierten Version eindeutig besser ist und bei Aufgabe 1000 gleich hoch ist, verdeutlicht, dass die generierte Version durch ihre sprachliche Optimierung nicht eindeutig öfters gelöst werden kann oder das mathematische Problem besser in eigenen Worten wiedergegeben werden kann. Es zeigt sich, dass sprachliche Optimierungen und mathematischer Lösungserfolg nicht voneinander abhängen. Während einzelne generierte Aufgabenstellungen ein besseres Verständnis der Problemstellung ermöglichen, führt dies nicht automatisch zu einer höheren Lösbarkeit der Textaufgabe. Insgesamt bedeutet dies, dass sprachliche Optimierungen den Zugang zur Aufgabenstellung beeinflussen. Für eine Veränderung oder Erhalt des mathematischen Inhalts der Aufgabe finden sich in den Daten keine eindeutigen Hinweise.

Ein Blick auf die Einordnung der Schüler:innen, ob die Textaufgabe eher an Alltags-, Bildungs- oder Fachsprache anknüpft zeigt, dass in zwei Aufgabenstellungen bei der generierten Version empfunden wird, dass diese eher aus dem Alltag stammt. Dies deutet darauf hin, dass die sprachliche Optimierung nicht gleichbedeutend mit der Alltagssprache ist.

Dieses Ergebnis kann mit Cummins' These zur Unterscheidung zwischen Alltags- und Bildungssprache in Verbindung gebracht werden. Obwohl die generierte Version als sprachlich vereinfacht wahrgenommen wird und somit Elemente einer weniger komplexen Sprache wie die Alltagssprache aufweist, wird diese Version nicht stärker der Alltagssprache zugeordnet. Verständlichkeit scheint somit nicht ausschließlich mit einer stärkeren Verwendung von Alltagssprache in Verbindung gesetzt werden, sondern auch

eine klare Strukturierung bildungssprachlicher Inhalte kann die Verständlichkeit erhöhen (siehe Kapitel 2).

Einblicke in die Schwierigkeit der Textaufgabe zeigen, dass die Sprache bei den generierten Versionen weniger das Problem war als die Rechnung. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass die Rechnung und die Sprache in vier von sechs Fällen als schwierig eingestuft werden. Hingegen zeigt sich bei der traditionellen Version, dass Sprache in zwei Fällen am meisten Schwierigkeiten verursacht und in zwei Fällen durchaus gleich schwierig wie Rechnen empfunden wird. Dies lässt darauf schließen, dass die generierte Version teilweise die sprachliche Hürde reduzieren kann. Die mathematische Anforderung wird jedoch weiterhin als Schwierigkeit wahrgenommen. Die Ergebnisse sprechen somit dafür, dass sprachliche Optimierungen das Erkennen der Aufgabenstellung erleichtern, ohne dass eindeutige Hinweise auf eine Reduktion der mathematischen Anforderungen wahrgenommen werden.

Mit Bedacht muss die Analyse der verschiedenen Bearbeitungsprozesse betrachtet werden, da ein unterschiedliches Verwenden von Bearbeitungsschritten nicht automatisch eine Veränderung der mathematischen Anforderung impliziert. Besonders aussagekräftig sind jene Strategien, die Modellierungs- und Bearbeitungsschritte betreffen wie das Aufstellen von Gleichungen und das Einsetzen in Formeln. Eine mathematische Anforderung gilt als verändert, wenn Modellierungsschritte wegfallen oder eine Formel zum Einsetzen vorgegeben ist. Dies ist bei keiner der gegebenen Textaufgaben der Fall.

Betrachtet man die Ergebnisse von Beispiel 979 genauer, fällt auf, dass die Aufgabenstellung der traditionellen Version in der generierten Version erhalten bleibt. Jedoch wird die Aufgabe verändert aufbereitet, indem Arbeitsschritte strukturiert, Variable erläutert werden und eine Tabelle vorgegeben wird. Somit unterstützt die generierte Version das Organisieren und Strukturieren des Lösungsprozesses. Die mathematischen Inhalte bleiben somit unverändert, jedoch verändern die vorgegebenen Strukturierungshilfen einzelne Anforderungen an die Organisation des Lösungsprozesses. Die Ergebnisse zeigen, dass der Änderungsfaktor in beiden Varianten ähnlich häufig verwendet wird. Es scheint daher, als wären die mathematischen Ideen durch sprachliche Optimierung erhalten geblieben. Die sprachliche und visuelle Gestaltung der generierten Version deuten darauf hin, dass diese Version stärker zur Nutzung der Tabelle

anregt und in der traditionellen Version häufiger eine Formel eigenständig entwickelt wird. Die sprachliche Optimierung verändert somit nicht automatisch die mathematische Idee, kann jedoch den Zugang und die Wahl der Lösungsstrategie beeinflussen.

Ähnliches zeigen die Beispiele 1000 und 1048. In beiden Aufgaben wird wesentlich öfters in der traditionellen Version in die Formel eingesetzt. Die generierte Version wiederum wird als weniger überfordernd, einfacher lesbar und sprachlich entlastender wahrgenommen. Dies lässt vermuten, dass sprachliche Entlastung nicht automatisch zu einer Veränderung mathematischer Bearbeitungsprozesse führt, den Zugang zur Aufgabe aber erleichtern kann. Mit Blick auf den Modellierungskreislauf (siehe Kapitel 2.3) deutet dies darauf hin, dass sprachliche Optimierungen den Verstehensprozess der Realsituation unterstützen und den Aufbau eines Situations- und Realmodells vereinfachen, während die Ergebnisse der Lösungsstrategien vermuten lassen, dass die mathematische Bearbeitung in den traditionellen Versionen stärker über Formeln erfolgt. Für eine eindeutige Veränderung der mathematischen Anforderungen finden sich hingegen keine klaren Hinweise.

Entscheidend für die Hypothese ist die subjektive Einordnung der Schwierigkeit der Textaufgabe. In vier der sechs generierten Aufgabenstellungen wird das Rechnen häufiger als die Sprache als Herausforderung genannt. Sprache nimmt in der generierten Version meist geringere Werte an als in der traditionellen Version. Implizieren kann man, dass sprachliche Optimierungen sprachliche Hürden reduzieren können, während mathematische Herausforderungen bestehen bleiben. Das Ergebnis liefert somit den Hinweis, dass Schüler:innen die mathematische Anforderung bei generierten Versionen gleich beurteilen wie bei den traditionellen, auch wenn die sprachliche Hürde reduziert wird und so auch von Schüler:innen wahrgenommen wird.

Wesentlich zum Verschriftlichen ist: Obwohl die generierte Version als verständlicher, übersichtlicher und weniger sprachlich schwierig wahrgenommen wird, verbessert sich die Lösbarkeit nicht automatisch. Dies impliziert, dass das Minimieren von sprachlichen Hürden allein nicht ausreicht, um mathematische Lösungserfolge zu erhöhen.

Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass sprachliche Optimierungen vor allem den ersten Phasen des Modellierungskreislaufes dienen (siehe Kapitel 2.3). Denn durch die Optimierung wird der Zugang zu Realsituation und zum Erstellen eines Situationsmodells erleichtert. Jedoch zeigt sich auch, dass die sprachliche Optimierung allein nicht

ausreicht, dass man im Modellierungskreislauf weiter zum Mathematisieren und zum Mathematischen Arbeiten gelangt.

Im Gesamten stützt das Ergebnis Leisens Annahme, dass Sprache nicht nur ein Transportmittel mathematischer Inhalte, sondern ein wesentlicher Teil des mathematischen Lernprozesses ist. Somit kann durch sprachliche Optimierungen der Zugang zu Textaufgaben erleichtert werden, nicht jedoch das mathematische Auseinandersetzen mit den Inhalten (siehe Kapitel 2.1).

Somit sprechen die Ergebnisse dafür, dass sprachliche Optimierungen sprachliche Hürden der Lernenden minimieren können. Es zeigt sich aber auch kein direkter Hinweis darauf, dass mathematische Anforderungen durch die sprachliche Optimierung verändert werden. Ebenso wird in dieser Untersuchung nicht der Erhalt mathematischer Anforderungen direkt untersucht, weswegen die Hypothese nicht eindeutig bestätigt werden kann. Insgesamt ist sie somit teilweise bestätigt.

5. Fazit

Diese Masterarbeit legt ihren Fokus darauf, inwiefern künstliche Intelligenz zur Reduktion sprachlicher Hürden in mathematischen Textaufgaben beitragen kann. Im theoretischen Teil wird auf die Strategie des Modellierungskreislaufs und auf Fördermaßnahmen wie Scaffolding, der Textaufgabenknacker und das Info-Netz näher eingegangen. Ebenso wird thematisiert, dass das Hamburger Verständlichkeitsmodell und das Karlsruher Verständlichkeitsmodell die Verständlichkeit von mathematischen Textaufgaben überprüfen und messen können. Seit einigen Jahren ist ein Wandel im Bildungsbereich spürbar: Die künstliche Intelligenz findet auch in diesem Sektor immer mehr Bedeutung und kann Textaufgaben generieren, die sprachlich differenziert sind.

Im theoretischen Teil wird erklärt, wie ein passender Prompt zum Optimieren von mathematischen Textaufgaben gewählt werden soll. Im Anschluss werden Textaufgaben aus dem Schulbuch ausgewählt und mit Hilfe von ChatGPT sprachlich optimiert. Dadurch wird zu einer traditionellen Textaufgabe aus dem Schulbuch *Lösungswege 3* bzw. *Lösungswege 4* eine sprachlich optimierte Version generiert. Mit Hilfe der anonymen Fragebögen, wobei sich die Fragen auf die Annahmen der Theorie dieser Arbeit beziehen, und Schüler:innen aus einem Wiener Gymnasium mit Modellversuch Mittelschule miteinbezogen werden, werden die Hypothesen mit den passenden Fragestellungen aus dem Fragebogen überprüft.

Die erste Hypothese thematisiert, dass sprachlich optimierte Textaufgaben von Schüler:innen als verständlicher wahrgenommen werden, wenn sie bezüglich der Satzstruktur und der Kohärenz optimiert sind. Nach Analyse der Ergebnisse zeigt sich, dass die generierten Textaufgaben von Schüler:innen überwiegend positiver bewertet werden als die traditionellen Versionen. Es scheint, dass die generierten Beispiele auf Schüler:innen überwiegend als verständlicher, übersichtlicher und wenig überfordernd wirken. Die t-Test-Ergebnisse verdeutlichen aber, dass signifikante Unterschiede nicht bei allen Aussagen zutreffen. Statistisch signifikante Unterschiede werden in der wahrgenommenen Überforderung beim Lesen und in der Übersichtlichkeit einzelner Aufgaben erkannt. Eine klare Strukturierung der Textaufgabe, die Aufteilung der komplexen Inhalte in einzelne Bearbeitungsschritte sowie das Hervorheben wesentlicher Informationen macht eine Textaufgabe für Lernende verständlicher. Sprachliche Optimierungen erleichtern somit den Zugang zu mathematischen Textaufgaben. Die

sprachliche Optimierung hängt jedoch nicht allein von einer Vereinfachung oder Veränderung der Satzstruktur und einer erhöhten Textkohärenz ab, sondern das Optimieren von mathematischen Fachbegriffen, Operatoren und Angaben von Zahlen, Daten und Einheiten hilft dem Verständnis. Diese Schwierigkeiten treten bereits vor dem mathematischen Bearbeiten auf und beeinflussen somit das Verständnis. Diese Ergebnisse stützen die Hypothese, dass Strukturieren und Hervorhebungen dem Verständnis helfen. Festzuhalten ist dennoch, dass fachsprachliche Herausforderungen dadurch nicht vollständig minimiert werden. Eine der Stärken der generierten Version ist daher, dass diese eine bessere Strukturierung zur Organisation der weiteren Lösungsschritte bietet.

Die zweite Hypothese bezieht sich vor allem auf den Modellierungskreislauf von Leiss und Blum. Denn sprachliche Schwierigkeiten beeinflussen laut diesem Modell die Bildung von Situations- und Realmodell. Die Analyse zeigt, dass sprachliche Schwierigkeiten durch mathematische Fachbegriffe, Zahlen-, Daten- und Einheitsangaben, Operatoren und Begriffen aus dem Alltag und Kontext entstehen. Wird die Textaufgabe auf sprachlicher Ebene optimiert, so unterstützt dies die Bildung eines Situations- und Realmodells. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die künstliche Intelligenz nicht alle sprachlichen Hürden minimieren kann und weiterhin in der generierten Version bestehen oder sogar neue Hürden entstehen können. Daher ergeben sich auch keine durchgängig eindeutigen Vorteile der generierten Version hinsichtlich des Aufgabenverständnisses. Einige Beispiele deuten darauf hin, dass eine erleichterte Orientierung und ein schnelles Erkennen des Lösungsweges auf eine Bildung des Real- und Situationsmodells hindeuten. Jedoch fallen die Unterschiede zwischen den Versionen insgesamt gering aus. Sprachliche Schwierigkeiten beeinflussen demnach das Verständnis und die Bildung eines Real- und Situationsmodell, eine vollständige Bestätigung der Hypothese bleibt jedoch aus. Die zweite Hypothese kann somit teilweise bestätigt werden.

Da die künstliche Intelligenz mehrmals die Daten und Einheiten als Tabelle darstellt, wesentliche Informationen hervorhebt und Absätze zwischen der Situation und der Aufgabenstellung einfügt, thematisiert die dritte Hypothese, ob die visuellen Strukturierungselemente die subjektive Verständlichkeit der Schüler:innen erhöhen kann. Auch das Hamburger Verständlichkeitsmodell nimmt durch die vier Dimensionen darauf Bezug, dass erkennbare Absätze, Hervorhebungen und eine nachvollziehbare

Reihenfolge für das Verständnis wesentlich sind. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass zusätzliche Strukturierungselemente wie Tabellen, Abbildungen oder eine klare Gliederung überwiegend positiv bewertet werden. Besonders bei Aufgaben 935 und 1090 wird die Übersichtlichkeit der generierten Versionen signifikant höher eingeschätzt. Dies deutet darauf hin, dass visuelle Strukturierungselemente der Orientierung innerhalb einer Textaufgabe unterstützen. Festgestellt wird aber auch durch die Analyse der Lösungsstrategien, dass die bereitgestellten visuellen Hilfsmittel nicht von allen Lernenden aktiv genutzt werden. Dennoch deuten die Ergebnisse darauf hin, dass visuelle Strukturierungselemente zur Orientierung der Aufgabenstellung unterstützen können. Die dritte Hypothese ist somit teilweise bestätigt.

Cummins hält fest, dass Alltags-, Bildungs- und Fachsprache unterschiedlich anspruchsvoll sind. Die künstliche Intelligenz soll in dieser Arbeit die Textaufgabe sprachlich optimieren, sodass sie für Schüler:innen zugänglicher ist, ohne dabei den mathematischen Inhalt zu verändern. Erhalten bleiben die mathematischen Anforderungen, wenn Realmodell und mathematisches Modell erhalten bleiben. Leisen, Prediger und Weissel sind der Meinung, dass sprachliche Unterstützung den Zugang zu mathematischen Inhalten erleichtern kann, nicht jedoch den mathematischen Inhalt vereinfacht. Daher bildet sich die vierte Hypothese besonders auf den Annahmen Leisens und Cummins und thematisiert, dass sprachliche Hürden das mathematische Lernen erschweren können, ohne jedoch selbst Teil der mathematischen Anforderung zu sein. Die vierte Hypothese geht daher davon aus, dass sprachliche Optimierungen sprachliche Hürden reduzieren, ohne die mathematischen Anforderungen zu verändern. Sprachlich werden die Textaufgaben vor allem in der Formulierung, Strukturierung und Aufbereitung optimiert. Grundsätzlich bleiben mathematische Inhalte, Anforderungen und Lösungswege erhalten, jedoch werden die mathematischen Anforderungen in dieser Untersuchung nicht direkt untersucht. Es scheint jedoch, dass Schüler:innen von den sprachlichen Anforderungen profitieren, da Textaufgaben dadurch zugänglicher werden, ohne dass dabei eine inhaltliche Vereinfachung erfolgt. Die vierte Hypothese wird daher auch teilweise bestätigt.

Resümierend zeigt die vorliegende Untersuchung das Potenzial, welches ChatGPT hat, um mathematische Textaufgaben sprachlich zugänglicher zu gestalten und somit der Zugang zum mathematischen Lösen einer Textaufgabe zu erleichtern. Die Untersuchung

zeigt, dass eine verbesserte Struktur, sprachliche Vereinfachungen und Hervorhebungen sprachliche Hürden minimieren können. Festzuhalten ist dennoch, dass in den generierten Versionen nicht alle sprachlichen Hürden reduziert werden und auch neue Sprachschwierigkeiten beinhalten können. Daher benötigt die Nutzung von ChatGPT eine kritische und didaktische Prüfung der Fachlehrperson.

Zentral für die schulische Zukunft ist, dass die Entwicklung der künstlichen Intelligenz auch in der Gestaltung von Materialien und Unterrichtsplanungen Einklang findet. Künstliche Intelligenz soll dabei aber keineswegs als Ersatz zur pädagogischen Expertise gesehen werden. Vielmehr soll die künstliche Intelligenz der Planung, Anpassung und Differenzierung von Lernmaterialien dienen. Somit wächst mit der zunehmenden Bedeutung von künstlicher Intelligenz im Bildungsbereich nicht nur die digitalen Kompetenzen und Fähigkeiten der Schüler:innen, sondern auch jene der Lehrpersonen. Kritisches Denken und ein reflektierter Umgang mit generierten Materialien sind Bestandteil eines professionellen Handelns der Zukunft. ChatGPT soll daher als Chance zur Unterstützung von Lehrperson in der Gestaltung eines verständlicheren, zugänglicheren und lernförderlichen Mathematikunterrichts gesehen werden.

Literaturverzeichnis

Ballweg, S. (2025). KI-gestützter Umgang mit Textprodukten im prozessorientierten DaF-Unterricht. In: Erträge des JGG-Seminars für Deutsch als Fremdsprache, 3, 72–96.

Bednorz, D. (2021). Sprachliche Variationen von mathematischen Textaufgaben: Entwicklung eines Instruments zur Textanpassung für Textaufgaben im Mathematikunterricht. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Blum, W. & Leiss, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der „Tanken“-Aufgaben. In: mathematik lehren (128), 18-21.

Borromeo Ferri, R. (2010). Wege zur Innenwelt des mathematischen Modellierens - Analysen und empirische Rekonstruktionen. In: Wege zur Innenwelt des mathematischen Modellierens, 101–167. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

BMBWF (2026). Bildungssprache Deutsch. URL: [Bildungssprache Deutsch](#) [letzter Zugriff: 25.04.2026].

BMBWF (2025a). Bildungsstandards in der Allgemeinbildung. URL: [Bildungsstandards in der Allgemeinbildung](#) [letzter Zugriff: 17.05.2026].

BMBWF (2025b). Bundesrecht konsolidiert: Lehrpläne – allgemeinbildende Schulen Anl. 1, tagesaktuelle Fassung. URL: [RIS - Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen Anl. 1 - Bundesrecht konsolidiert, tagesaktuelle Fassung](#) [letzter Zugriff: 25.07.2025].

Chen, L., Zaharia, M., & Zou, J. (2023). How is ChatGPT's behavior changing over time? Berkeley: Stanford University & University of California.

Dai, W., Lin, J., Jin, H., Li, T., Tsai, Y.-S., Gasevic, D., & Chen, G. (2023). Can Large Language Models provide Feedback to Students? A Case Study on ChatGPT. In: IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 323–325.

Dröse, J., Prediger, S. (2018). Strategien für Textaufgaben – Fördern mit Info-Netzen und Formulierungsvariationen. In: Mathematik lehren, 206, 8-12.

Duarte, J., Gogolin, I. & Kaiser, G. (2011). Sprachlich bedingte Schwierigkeiten von mehrsprachigen Schülerinnen und Schülern bei Textaufgaben. In: Prediger, S. & Özdil, E. (Hrsg.), Mathematiklernen unter Bedingungen der Mehrsprachigkeit. Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung in Deutschland, 35–54. Münster: Waxmann.

Ebinger, J., Kaufmann, S. (2023). Künstliche Intelligenz im Unterricht: sprachgesteuerte KI praxisorientiert einsetzen (1. Auflage). Berlin: Cornelsen.

Engelke, U., Engelke, B. (2024). ChatGPT : mit KI in ein neues Zeitalter : wie KI-Tools unser Leben und die Gesellschaft verändern (1. Auflage). Frechen: mitp Verlags GmbH & Co. KG, & Verlag.

Fobizz (2025). Was ist fobizz? URL: [Was ist fobizz? Die Plattform für Lehrerfortbildungen, KI & Material](#) [letzter Zugriff: 21.06.2026].

Friedrich, M. (2017). Textverständlichkeit und ihre Messung: Entwicklung und Erprobung eines Fragebogens zur Textverständlichkeit. Münster: Waxmann.

Gibbons, P. (2009). English Learners, Academic Literacy, and Thinking. Portsmouth, NH: Heinemann.

Greefrath, G. (2006). Modellieren lernen – mit offenen realitätsnahen Aufgaben. Köln: Aulis Verlag Deubner.

Greefrath, G. (2010). Didaktik des Sachrechnens in der Sekundarstufe. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Lee, G.-G., & Zhai, X. (2024). Using ChatGPT for Science Learning: A Study on Pre-service Teachers' Lesson Planning. In: IEEE Transactions on Learning Technologies, 17, 1643–1660.

Leisen, J. (2011). Sprachsensibler Fachunterricht. Ein Ansatz zur Sprachförderung im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Prediger S, Özdil E (Hrsg.) Mathematiklernen unter Bedingungen der Mehrsprachigkeit. Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung, 153-162. Münster: Waxmann.

Leiss, D., Schukajlow, S., Blum, W., Messner, R., & Pekrun, R. (2010). The Role of the Situation Model in Mathematical Modelling—Task Analyses, Student Competencies, and Teacher Interventions. In: Journal Für Mathematik-Didaktik (Internet), 31(1), 119–141.

Liesem, K. (2015). Professionelles Schreiben für den Journalismus. Köln: Springer VS, 40–47.

Kaiser, G., Blum, W., Borromeo Ferri, R., Greefrath, G., Schmidt-Thieme, B., Weigand, H.-G., Hefendehl-Hebeker, L., & Bruder, R. (2015). Anwendungen und Modellieren. In: Handbuch der Mathematikdidaktik, 357–383. Berlin / Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Krägeloh, N. & Prediger, S. (2015). Der Textaufgabenknacker – Ein Beispiel zur Spezifizierung und Förderung fachspezifischer Lese- und Verstehensstrategien. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 68 (3), 138–144.

Krosanke, N. (2021). Bedeutung von Sprache im Mathematikunterricht. In: Entwicklung der Professionellen Kompetenz Von Mathematiklehramtsstudierenden Zur Bedeutung Von Sprache, 45–60. Wiesbaden: Springer Fachmedien GmbH.

Kniffka, G. (2010). Scaffolding. Uni Duisburg-Essen. URL: [Microsoft Word - ProDaZ Scaffolding](#) [letzter Zugriff: 26.04.2026].

Knodel, D. (2024). Frühzeitige KI-Kompetenz: Ein Schlüssel zur Zukunftsbildung. Warum wir Künstliche Intelligenz aktiv im Unterricht einbinden sollten. In: SEMINAR, 30, 58–61.

Mittelstaedt, M. (2023). Künstliche Intelligenz Grundlagen: KI Chatbots verstehen mit Prompt Engineering, Code Interpreter, Plugins und vieles mehr. Scientific Economies.

Neubrand, M., Schmidt-Thieme, B., Weigand, H.-G., Hefendehl-Hebeker, L., & Bruder, R. (2015). Bildungstheoretische Grundlagen des Mathematikunterrichts. In: Handbuch der Mathematikdidaktik, 51–73. Berlin / Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Ortlieb, C. P., v. Dresky, C., Gasser, I., Günzel, S. (2009). Mathematische Modellierung. Eine Einführung im zwölf Fallstudien. Studium. Wiesbaden: Vieweg.

Prediger, S., & Wessel, L. (2011). Darstellen – deuten – Darstellungen vernetzen. Ein fach- und sprach integrierter Förderansatz für mehrsprachige Lernende im Mathematikunterricht. In: Prediger, S., Özdi, E. (Hrsg.) Mathematiklernen unter Bedingungen der Mehrsprachigkeit. Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung. Münster: Waxmann, 163–184.

Rösch, H., & Paetsch, J. (2011). Sach- und Textaufgaben im Mathematikunterricht als Herausforderung für mehrsprachige Kinder. In: Prediger, S., Özdi, E. (Hrsg.) Mathematiklernen unter Bedingungen der Mehrsprachigkeit. Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung. Münster: Waxmann, 55–76.

Schilcher, A. (2023). Kompetenzorientiert unterrichten. In Schilcher, A., Finkenzeller, K. Knott, C., Pronold-Günthner, F. & Wild J. (Hrsg.) Schritt für Schritt zum guten Deutschunterricht. Praxisbuch für Studium und Referendariat: Strategien und Methoden für professionelle Deutschlehrkräfte, 37–72. Klett Kallmeyer.

Schukajlow, S., Borromeo Ferri, R., Greefrath, G., & Kaiser, G. (2013). Lesekompetenz und mathematisches Modellieren. In Mathematisches Modellieren für Schule und Hochschule, 125–143. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Schukajlow, S., & Leiss, D. (2011). Selbstberichtete Strategienutzung und mathematische Modellierungskompetenz. In: Journal für Mathematik-Didaktik (Internet), 32(1), 53–77.

Steinhoff, T. (2025). Künstliche Intelligenz als Ghostwriter, Writing Tutor und Writing Partner. Zur Modellierung und Förderung von Schreibkompetenzen im Zeichen der Automatisierung und Hybridisierung der Kommunikation am Beispiel des Schreibens mit ChatGPT. In: Albrecht, C., Brüggemann, J., Kretschmann, T. & Meier, C (Hrsg.). Personale und funktionale Bildung im Deutschunterricht. Theoretische, empirische und praxisbezogene Perspektiven. Stuttgart: Metzler.

Till, H. (2023). KI im Unterricht: neue Didaktik mit ChatGPT4, BARD, Bing und Copilot. Torrazza Piemonte: Amazon Italia Logistica S.r.l.

Winter, H. (1975). Allgemeine Lernziele für den Mathematikunterricht? In: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, 7, 106–116.

Zhai, X. (2022). ChatGPT User Experience: Implications for Education. University of Georgia: AI4STEM Education Center.

Zhai, X. (2023). ChatGPT and AI: The Game Changer for Education. University of Georgia: AI4STEM Education Center.

Anhang

Hinweis: Der Anhang ist einheitlich nach Schulstufe und der Reihenfolge der gerechneten Textaufgaben aufgebaut. Zu jeder Textaufgabe wird zunächst die traditionelle und anschließend die generierte Version dargestellt. Danach folgen die entsprechenden Fragebögen in derselben Reihenfolge.

Die Quelle der Schulbücher ist folgende:

Bortenschlager, M., Fischer, A., Koller, M., Marsik, J., Olf, M., & Wittberger, M.(2025). Lösungswege 3, Schulbuch + E-Book. Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG.

Bortenschlager, M., Fischer, A., Koller, M., Marsik, J., Olf, M., & Wittberger, M.(2024). Lösungswege 4, Schulbuch + E-Book. Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG.

Anhang 1: Lösungswege 3; Beispiel 1090; (Quelle: Bortenschlager et al., 2025, 243)

Textaufgabe

Angenommen, ein bestimmtes Restaurant hat Bewertungen auf einer Online-Plattform erhalten, wobei die Bewertungen „gut“, „mittel“ oder „schlecht“ sein können. Eine Stichprobe von 300 Personen wurde zufällig ausgewählt, um das Restaurant zu bewerten. Die Ergebnisse zeigen, dass 180 Personen das Restaurant als „gut“, 80 Personen als „mittel“ und 40 Personen als „schlecht“ bewertet haben.

- a) Gib einen Schätzwert für die Wahrscheinlichkeit an, dass das Restaurant auf der Online-Plattform die Bewertung „gut“ erhält.
- b) Gib einen Schätzwert für die Wahrscheinlichkeit an, dass das Restaurant auf der Online-Plattform die Bewertung „schlecht“ erhält.

Quelle: generierte Version durch ChatGPT von Beispiel 1090

Textaufgabe:

Ein Restaurant wurde auf einer Online-Plattform bewertet.
Die Personen konnten zwischen drei Bewertungen wählen:

Bewertung	Anzahl der Personen
gut	180
mittel	80
schlecht	40

Insgesamt wurden **300 Personen** zufällig ausgewählt und befragt.

1. Schätze die Wahrscheinlichkeit, dass eine zufällig ausgewählte Person das Restaurant mit „**gut**“ bewertet.
2. Schätze die Wahrscheinlichkeit, dass eine zufällig ausgewählte Person das Restaurant mit „**schlecht**“ bewertet.

(1) **Was** genau soll berechnet werden?

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ Skizze gemacht
- ☐ eine Tabelle erstellt
- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ konkrete Formel angewendet
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe

Angenommen, ein bestimmtes Restaurant hat Bewertungen auf einer Online-Plattform erhalten, wobei die Bewertungen „gut“, „mittel“ oder „schlecht“ sein können. Eine Stichprobe von 300 Personen wurde zufällig ausgewählt, um das Restaurant zu bewerten. Die Ergebnisse zeigen, dass 180 Personen das Restaurant als „gut“, 80 Personen als „mittel“ und 40 Personen als „schlecht“ bewertet haben.

- c) Gib einen Schätzwert für die Wahrscheinlichkeit an, dass das Restaurant auf der Online-Plattform die Bewertung „gut“ erhält.
- d) Gib einen Schätzwert für die Wahrscheinlichkeit an, dass das Restaurant auf der Online-Plattform die Bewertung „schlecht“ erhält.

(1) **Was** genau soll berechnet werden?

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Tabelle hat mir geholfen.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ Skizze gemacht
- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ konkrete Formel angewendet
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe:

Ein Restaurant wurde auf einer Online-Plattform bewertet.

Die Personen konnten zwischen drei Bewertungen wählen:

Bewertung	Anzahl der Personen
gut	180
mittel	80
schlecht	40

Insgesamt wurden **300 Personen** zufällig ausgewählt und befragt.

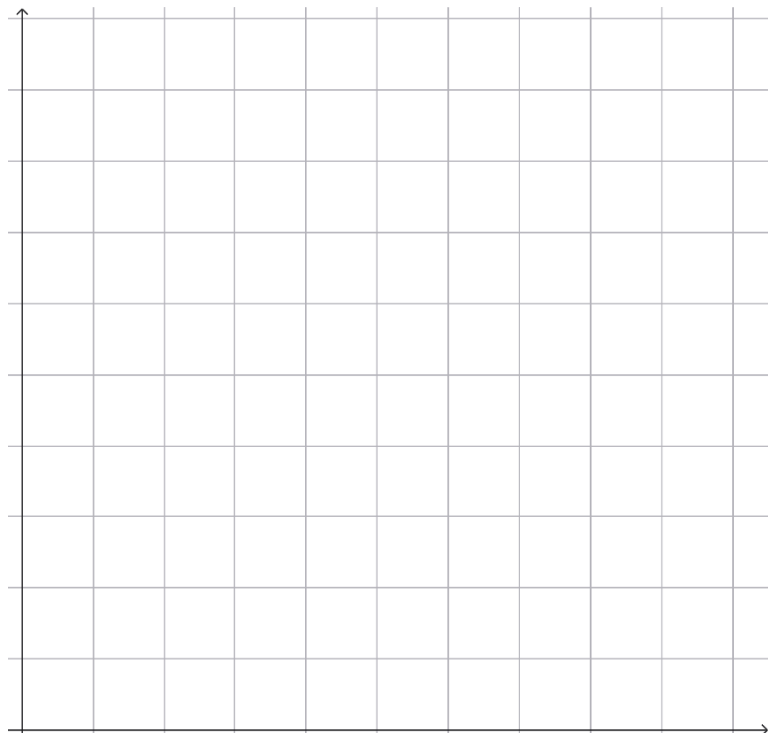
- Schätze die Wahrscheinlichkeit, dass eine zufällig ausgewählte Person das Restaurant mit „gut“ bewertet.
- Schätze die Wahrscheinlichkeit, dass eine zufällig

Anhang 2: Lösungswege 3; Beispiel 977; (Quelle: Bortenschlager et al., 2025, 207)

Textaufgabe:

In einem Tank für Regenwasser sind 600 Liter Wasser. Mit einem Schlauch werden zusätzlich pro Minute 150 Liter Wasser eingelassen.

Veranschauliche den Zusammenhang „Zeit (in Minuten) – Wassermenge (in Liter)“ **i)** mit einer Tabelle und **ii)** einem Graphen. **iii)** Wie viel Liter Wasser sind nach 10 Minuten im Tank? **iv)** Nach wie vielen Minuten sind 3 000 Liter Wasser im Tank?



Quelle: generierte Version durch ChatGPT von Beispiel 977

Textaufgabe:

In einem Regenwassertank sind **am Anfang 600 Liter Wasser**.

Durch einen Schlauch fließen **jede Minute 150 Liter Wasser** zusätzlich in den Tank.

a) Trage die fehlenden Werte in die Tabelle ein.

Zeit in Minuten Wassermenge in Litern

0 600

1

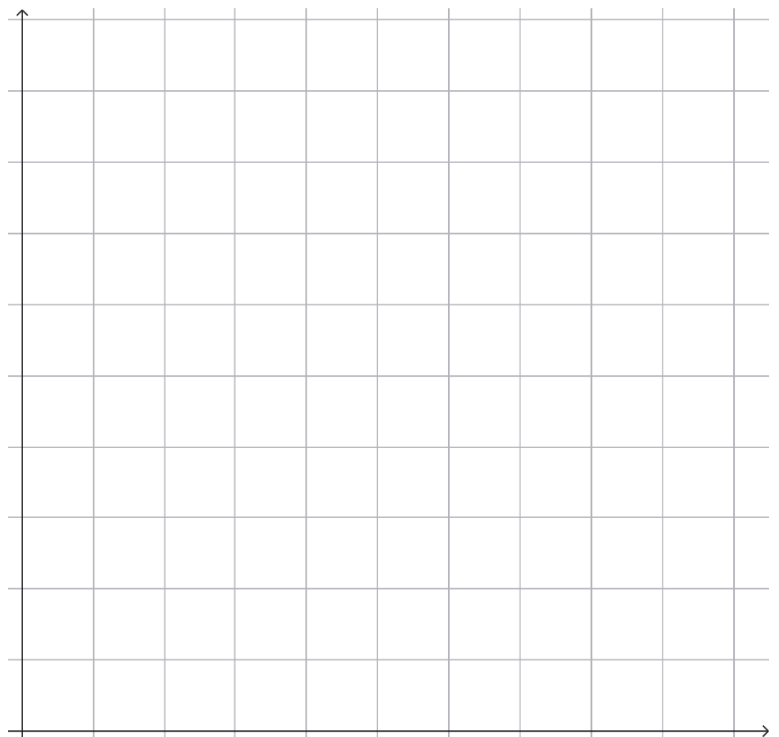
2

5

10

b) Zeichne den Zusammenhang zwischen Zeit und Wassermenge in ein Koordinatensystem.

- x-Achse: Zeit in Minuten
- y-Achse: Wassermenge in Litern



c) Wie viele Liter Wasser sind nach 10 Minuten im Tank?

d) Nach wie vielen Minuten sind 3000 Liter Wasser im Tank?

(1) **Was** genau soll berechnet werden?

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Tabelle zum Ausfüllen hat mir geholfen.				
Die vorgegebene Beschriftung der Achsen war hilfreich.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ Skizze gemacht
- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ ich habe mir eine Formel / Term überlegt
- ☐ schrittweise gerechnet
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe:

In einem Regenwassertank sind **am Anfang 600 Liter Wasser**.

Durch einen Schlauch fließen **jede Minute 150 Liter Wasser** zusätzlich in den Tank.

a) Trage die fehlenden Werte in die Tabelle ein.

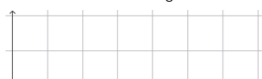
Zeit in Minuten	Wassermenge in Litern
0	600
1	
2	
5	
10	

c) Wie viele Liter Wasser sind nach 10 Minuten im Tank?

d) Nach wie vielen Minuten sind 3000 Liter Wasser im Tank?

b) Zeichne den Zusammenhang zwischen Zeit und Wassermenge in ein Koordinatensystem.

- x-Achse: Zeit in Minuten
- y-Achse: Wassermenge in Litern



nenne genau!

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ Skizze gemacht
- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ Tabelle erstellt
- ☐ ich habe mir eine Formel / Term überlegt
- ☐ schrittweise gerechnet
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe:

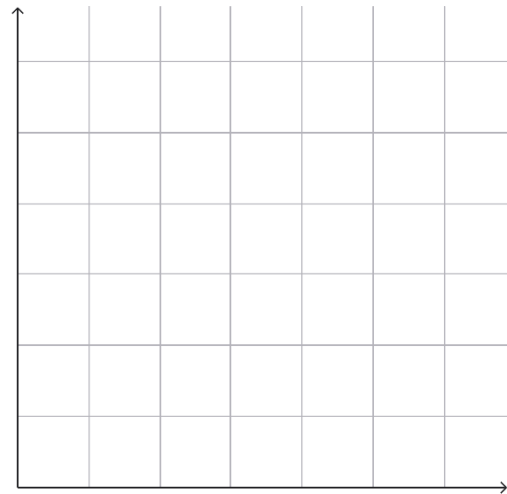
In einem Tank für Regenwasser sind 600 Liter Wasser. Mit einem Schlauch werden zusätzlich pro Minute 150 Liter Wasser eingelassen.

Veranschauliche den Zusammenhang „Zeit (in Minuten) – Wassermenge (in Liter)“ **i)** mit einer Tabelle und **ii)** einem Graphen. **iii)** Wie viel Liter Wasser sind nach 10 Minuten im Tank? **iv)** Nach wie vielen Minuten sind 3 000 Liter Wasser im Tank?

Textaufgabe:

Der Preis für ein Kilogramm einer bestimmten Käsesorte beträgt 12 €.

- a) Erstelle eine Tabelle und einen Graphen, wobei x die Menge in Kilogramm und y für den Gesamtpreis stehen.
- b) Gib eine Formel für den Gesamtpreis y an, wenn x Kilogramm Käse gekauft werden.



Quelle: generierte Version durch ChatGPT von Beispiel 979

Textaufgabe:

Eine Käsesorte kostet **12 € pro Kilogramm**.

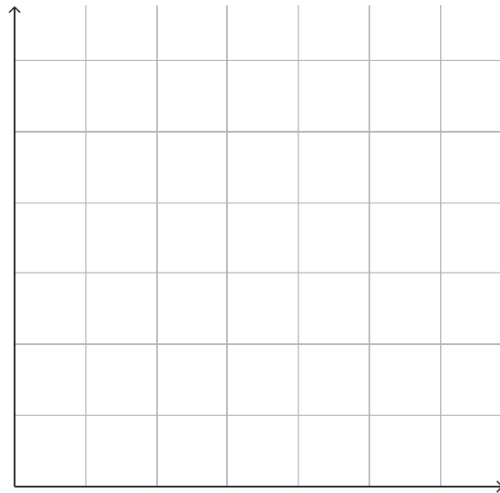
a) Erstelle eine Tabelle.

Trage verschiedene Mengen an Käse in Kilogramm ein und berechne jeweils den Gesamtpreis.

Zeichne danach den passenden Graphen.

- x steht für die Menge des Käses in Kilogramm.
- y steht für den Gesamtpreis in Euro.

Menge Käse x in kg	Gesamtpreis y in €
0	
1	
2	
3	
4	



b) Gib eine Formel an, mit der man den Gesamtpreis y berechnen kann, wenn man x Kilogramm Käse kauft.

(1) **Was** genau soll gemacht werden? Benenne genau!

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ Tabelle erstellt
- ☐ ich habe mir eine Formel überlegt
- ☐ schrittweise gerechnet
- ☐ Änderungsfaktor (Steigungsdreieck) aus Graph abgelesen
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe:

Der Preis für ein Kilogramm einer bestimmten Käsesorte beträgt 12 €.

- Erstelle eine Tabelle und einen Graphen, wobei x die Menge in Kilogramm und y für den Gesamtpreis stehen.
- Gib eine Formel für den Gesamtpreis y an, wenn x Kilogramm Käse gekauft werden.

(1) **Was** genau soll berechnet werden? Benenne genau!

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Tabelle zum Ausfüllen hat mir geholfen.				
Die vorgegebene Beschriftung der Achsen war hilfreich.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ ich habe mir eine Formel überlegt
- ☐ schrittweise gerechnet
- ☐ Änderungsfaktor (Steigungsdreieck) aus Graph abgelesen
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe:

Eine Käsesorte kostet 12 € pro Kilogramm.

a) Erstelle eine Tabelle.

Trage verschiedene Mengen an Käse in Kilogramm ein und berechne jeweils den Gesamtpreis.

Zeichne danach den passenden Graphen.

- x steht für die Menge des Käses in Kilogramm.
- y steht für den Gesamtpreis in Euro.

Menge Käse x in kg	Gesamtpreis y in €
0	
1	
2	
3	
4	



b) Gib eine Formel an, mit der man den Gesamtpreis y berechnen kann, wenn man x Kilogramm Käse kauft.

Anhang 4: Lösungswege 4; Beispiel 935; (Quelle: Bortenschlager et al., 2024, 208)

Textaufgabe

Die beiden gleich langen
Seiten nennt man Schenkel.

Ein gleichschenkeliges Dreieck hat einen Umfang von $u = 70 \text{ cm}$. Die Basis ist 1,5 mal so lang wie jeder der Schenkel. Berechne die Länge der Basis und die Längen der beiden Schenkel.

Textaufgabe

Ein gleichschenkeliges Dreieck hat einen Umfang von **70 cm**.

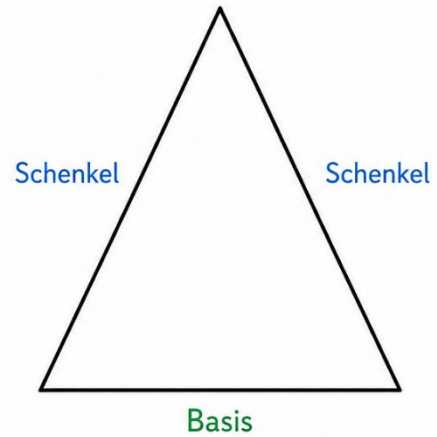
Die beiden gleich langen Seiten heißen **Schenkel**.

Die dritte Seite heißt **Basis**.

Die Basis ist **1,5-mal** so lang wie ein Schenkel.

Berechne:

- die Länge der Basis
- die Länge der beiden Schenkel



Was genau soll berechnet werden?

(1) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(2) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(3) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ Skizze gemacht
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ Gleichungen aufgestellt
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(4) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(5) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe

Die beiden gleich langen
Seiten nennt man Schenkel.

Ein gleichschenkeliges Dreieck hat einen Umfang von $u = 70 \text{ cm}$. Die Basis ist 1,5 mal so lang wie jeder der Schenkel. Berechne die Länge der Basis und die Länge der beiden Schenkel.

(1) **Was** genau soll berechnet werden?

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Bilder haben mir geholfen.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ Gleichungen aufgestellt
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe

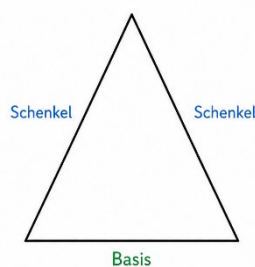
Ein gleichschenkeliges Dreieck hat einen Umfang von **70 cm**.

Die beiden gleich langen Seiten heißen **Schenkel**.
Die dritte Seite heißt **Basis**.

Die Basis ist **1,5-mal** so lang wie ein Schenkel.

Berechne:

- die Länge der Basis
- die Länge der beiden Schenkel



Anhang 5: Lösungswege 4; Beispiel 1000; (Quelle: Bortenschlager et al., 2024, 223)

Textaufgabe:

In Raffinerien wird Öl in zylindrischen Tanks (Silos) gelagert. Dieses Öl wird dann zum Transport an die Kundinnen und Kunden in Tank-LKWs abgefüllt. Ein zylindrischer Behälter auf dem LKW hat einen Durchmesser von $d = 2,6 \text{ m}$ und eine Länge von $l = 12 \text{ m}$.



- i) Berechne das Fassungsvermögen eines Tanks.
- ii) Berechne, wie viele LKW-Fahren möglich wären.
- iii) Überlege: Gäbe es klimafreundlichere Transportmöglichkeiten?

a) Silo 1: $d = 41 \text{ m}$; $h = 14 \text{ m}$

b) Silo 2: $d = 30,5 \text{ m}$; $h = 14 \text{ m}$

c) Silo 3: $d = 41 \text{ m}$; $h = 17 \text{ m}$

d) Silo 4: $d = 44 \text{ m}$; $h = 18 \text{ m}$

Quelle: generierte Version durch ChatGPT von Beispiel 1000

Textaufgabe:

In einer Raffinerie wird Öl in großen **zylinderförmigen Silos** gelagert. Für den Transport zu den Kundinnen und Kunden wird das Öl in **Tank-LKWs** gefüllt.

Der Tank eines LKW ist ebenfalls zylinderförmig.



Angaben zum Tank-LKW

Größe	Wert
Durchmesser	$d = 2,6 \text{ m}$
Länge	$l = 12 \text{ m}$

Silos

Silo	Durchmesser d	Höhe h
1	41 m	14 m
2	30,5 m	14 m
3	41 m	17 m
4	44 m	18 m

Arbeitsaufträge

1. Berechne das **Fassungsvermögen des Tank-LKWs** in Kubikmetern.
2. Berechne für jedes Silo, wie viele **voll beladene Tank-LKWs** mit dem darin gelagerten Öl gefüllt werden könnten.
3. Überlege: Welche **klimafreundlicheren Möglichkeiten** gäbe es, um große Mengen Öl zu transportieren?

(1) **Was** genau soll berechnet werden?

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Abbildung hat mir nicht geholfen.				
Die Angaben zu Durchmesser und Höhe des Silos hat mich überfordert.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze alles an**, was du gemacht hast!

- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ bildlich vorgestellt
- ☐ in benötigte Formel eingesetzt
- ☐ Skizze gemacht
- ☐ in die Abbildung / Skizze die gegebenen Längen eingezeichnet
- ☐ Überprüfung, ob die Lösung sinnvoll ist
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe:

In Raffinerien wird Öl in zylindrischen Tanks (Silos) gelagert. Dieses Öl wird dann zum Transport an die Kundinnen und Kunden in Tank-LKWs abgefüllt. Ein zylindrischer Behälter auf dem LKW hat einen Durchmesser von $d = 2,6 \text{ m}$ und eine Länge von $l = 12 \text{ m}$.



- i) Berechne das Fassungsvermögen eines Tanks.
- ii) Berechne, wie viele LKW-Fuhren möglich wären.
- iii) Überlege: Gäbe es klimafreundlichere Transportmöglichkeiten?

a) Silo 1: $d = 41 \text{ m}$; $h = 14 \text{ m}$

b) Silo 2: $d = 30,5 \text{ m}$; $h = 14 \text{ m}$

c) Silo 3: $d = 41 \text{ m}$; $h = 17 \text{ m}$

d) Silo 4: $d = 44 \text{ m}$; $h = 18 \text{ m}$

(1) **Was** genau soll berechnet werden?

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Abbildung hat mir nicht geholfen.				
Die Angabe der Länge und des Durchmessers des Tank-LKWs als Tabelle hat mich überfordert.				
Die Angabe des Durchmessers und der Höhe der Silos als Tabelle war übersichtlich.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ bildlich vorgestellt
- ☐ in benötigte Formel eingesetzt
- ☐ Skizze gemacht
- ☐ in die Abbildung / Skizze die gegebenen Längen eingezeichnet
- ☐ Überprüfung, ob die Lösung sinnvoll ist
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe:

In einer Raffinerie wird Öl in großen **zylinderförmigen Silos** gelagert. Für den Transport zu den Kundinnen und Kunden wird das Öl in **Tank-LKWs** gefüllt.

Der Tank eines LKW ist ebenfalls zylinderförmig.

Angaben zum Tank-LKW

Größe	Wert
Durchmesser	$d = 2,6 \text{ m}$
Länge	$l = 12 \text{ m}$



Silos

Silo	Durchmesser d	Höhe h
1	41 m	14 m
2	30,5 m	14 m
3	41 m	17 m
4	44 m	18 m

Arbeitsaufträge

- Berechne das **Fassungsvermögen des Tank-LKWs** in Kubikmetern.
- Berechne für jedes Silo, wie viele **voll beladene Tank-LKWs** mit dem darin gelagerten Öl gefüllt werden könnten.
- Überlege: Welche **klimafreundlicheren Möglichkeiten** gäbe es, um große Mengen Öl zu transportieren?

Anhang 6: Lösungswege 4; Beispiel 1048; (Quelle: Bortenschlager et al., 2024, 230)

Textaufgabe:

Runde Lehmhütten mit gegebener Länge des Durchmessers werden mit kegelförmigen Strohdächern mit gegebener Länge der Höhe bedeckt.

Berechne, wie viele m^2 bedeckt werden müssen, wenn mit 4 % Verschnitt gerechnet wird.



a) $d = 4,5 \text{ m}; h = 1,8 \text{ m}$

b) $d = 6,3 \text{ m}; h = 2,4 \text{ m}$

Quelle: generierte Version durch ChatGPT von Beispiel 1048

Textaufgabe:

Runde Lehmhütten haben ein kegelförmiges Strohdach.
Das Dach soll neu mit Stroh bedeckt werden.



Berechne jeweils die Fläche des Daches.
Rechne zusätzlich mit **4 % Verschnitt**.

Gegeben sind:

- d ... Durchmesser der Hütte
- h ... Höhe des kegelförmigen Daches

a)

$$d = 4,5 \text{ m}$$

$$h = 1,8 \text{ m}$$

b)

$$d = 6,3 \text{ m}$$

$$h = 2,4 \text{ m}$$

Berechne, wie viele Quadratmeter Stroh insgesamt benötigt werden.

(1) **Was** genau soll berechnet werden?

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Abbildung hat mir nicht geholfen.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ in benötigte Formel eingesetzt
- ☐ Skizze gemacht
- ☐ in die Abbildung / Skizze die gegebenen Längen eingezeichnet
- ☐ Schlussrechnung
- ☐ Überprüfung, ob die Lösung sinnvoll ist
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe:

Runde Lehmhütten mit gegebener Länge des Durchmessers werden mit kegelförmigen Strohdächern mit gegebener Länge der Höhe bedeckt. Berechne, wie viele m^2 bedeckt werden müssen, wenn mit 4 % Verschnitt gerechnet wird.



a) $d = 4,5 \text{ m}; h = 1,8 \text{ m}$

b) $d = 6,3 \text{ m}; h = 2,4 \text{ m}$

(1) **Was** genau soll berechnet werden?

(2) **Kreuze an**, wie sehr die Aussagen für dich stimmen.

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
Ich habe die Textaufgabe verstanden.				
Die Textaufgabe hat mich beim Lesen überfordert.				
Die Textaufgabe war einfach zu lesen.				
Ich wusste sehr schnell, was ich rechnen soll.				
Die Aufgabe war übersichtlich aufgebaut.				
Die Abbildung hat mir nicht geholfen.				
Die Textaufgabe war sprachlich schwierig.				

(3) **Markiere** nun in der unten angefügten Textaufgabe Folgendes:

- **Kreise** Wörter **ein**, die du nicht verstanden hast!
- **Unterstreiche** Sätze, welche du mehrmals lesen musstest!
- **Unterwelle** die Wörter, welche dich verwirrt haben!

(4) **Wie** hast du die Textaufgabe gelöst? **Kreuze** alles **an**, was du gemacht hast!

- ☐ wichtige Infos markiert
- ☐ im Kopf gelöst
- ☐ in benötigte Formel eingesetzt
- ☐ Skizze gemacht
- ☐ in die Abbildung / Skizze die gegebenen Längen eingezeichnet
- ☐ Schlussrechnung
- ☐ Überprüfung, ob die Lösung sinnvoll ist
- ☐ nichts davon, sondern: _____

(5) Waren die Wörter eher:

- ☐ aus dem Alltag
- ☐ aus der Schule (Fachwörter aus dem Mathematikunterricht)

(6) Was war für dich schwieriger:

- ☐ die Sprache der Textaufgabe
- ☐ die Rechnung
- ☐ beides gleich

Textaufgabe:

Runde Lehmhütten haben ein kegelförmiges Strohdach.
Das Dach soll neu mit Stroh bedeckt werden.



Berechne jeweils die Fläche des Daches.
Rechne zusätzlich mit **4 % Verschnitt**.

Gegeben sind:

- d ... Durchmesser der Hütte
- h ... Höhe des kegelförmigen Daches

a)

$$d = 4,5 \text{ m}$$

$$h = 1,8 \text{ m}$$

b)

$$d = 6,3 \text{ m}$$

$$h = 2,4 \text{ m}$$

Berechne, wie viele Quadratmeter Stroh insgesamt benötigt werden.