



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Farbe bekennen im Mathematikunterricht
Eine empirische Untersuchung zum Einfluss farbiger Tafelbilder
auf SchülerInnenmotivation und -verständnis

verfasst von | submitted by

Cornelia Braith 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 199 520 525 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree pro-
gramme as it appears on the student record
sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Mathematik Unterrichtsfach Psychologie und Phi-
losophie

Betreut von | Supervisor:

Mag. Dr. Andreas Ulovec

Abstract

Mathematik gilt für viele Schülerinnen und Schüler als besonders anspruchsvolles Unterrichtsfach, da es ein hohes Maß an Abstraktionsvermögen, Konzentration und logischem Denken erfordert. Um Lernprozesse zu unterstützen, wird in der didaktischen Forschung häufig der Einsatz visueller Gestaltungselemente, insbesondere von Farben, empfohlen. Farben sollen dabei helfen, Inhalte zu strukturieren, Aufmerksamkeit zu lenken und das Verständnis zu fördern. Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist es daher, empirisch zu untersuchen, welchen Einfluss farbig gestaltete Tafelbilder im Mathematikunterricht auf die Motivation, das subjektive Verständnis sowie die Wahrnehmung der Übersichtlichkeit durch Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I haben.

Die Untersuchung wurde im schulischen Kontext durchgeführt und folgte einem experimentellen Design mit zwei Vergleichsgruppen. Insgesamt nahmen 173 Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I im Alter von 10 bis 14 Jahren an der Studie teil. Eine Gruppe arbeitete mit einem farbig gestalteten Tafelbild, während die Vergleichsgruppe ein inhaltlich identisches Tafelbild in schwarz-weißer Darstellung erhielt. Die Datenerhebung erfolgte mithilfe eines standardisierten Online-Fragebogens, der Einschätzungen zu Motivation, Aufmerksamkeit, Übersichtlichkeit und subjektivem Verständnis erfasste, sowie durch Aufgaben zur Überprüfung des fachlichen Verständnisses. Die Auswertung der Daten erfolgte mittels deskriptiver und inferenzstatistischer Verfahren.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich zwischen farbigen und schwarz-weißen Tafelbildern keine statistisch signifikanten Unterschiede in Bezug auf Motivation, Aufmerksamkeit, Konzentration oder subjektives Verständnis feststellen lassen. Die berechneten Effektstärken fallen insgesamt gering aus. Gleichzeitig zeigt sich jedoch ein deutlicher Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Nützlichkeit der Farben und dem subjektiv eigenen Verständnis der Inhalte. Zudem wiesen ältere Schülerinnen und Schüler unabhängig von der Farbgestaltung häufiger richtige Lösungen auf als jüngere Lernende.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass farbige Tafelbilder im Mathematikunterricht keinen pauschalen Lerneffekt bewirken, jedoch als unterstützendes Gestaltungselement sinnvoll sein können, wenn sie gezielt, sparsam und funktional eingesetzt werden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Farben vor allem in ihrer didaktischen

Einbettung wirksam werden und liefern wichtige Hinweise für eine reflektierte Gestaltung des Mathematikunterrichts sowie für zukünftige unterrichtsnahe Forschungsarbeiten.

Abstract (Englisch)

Mathematics is often perceived by students as a particularly demanding school subject, as it requires a high level of abstract thinking, concentration and logical reasoning. In order to support learning processes, educational research frequently highlights the potential benefits of visual design elements, especially the use of colour. Colours are assumed to help structure information, guide learners' attention and support understanding. The aim of this master's thesis is therefore to empirically examine the influence of coloured blackboard presentations in mathematics lessons on students' motivation, subjective understanding and perceived clarity of the content in lower secondary education.

The study was conducted in a school context and followed a quasi-experimental between-subjects design. A total of 173 students from Year 6, aged between 10 and 14 years, participated in the study. The students were randomly assigned to one of two conditions. One group worked with a coloured blackboard presentation, while the comparison group was presented with an identical blackboard layout in black and white. Data were collected using a standardised questionnaire assessing students' perceptions of motivation, attention, clarity and subjective understanding, as well as tasks designed to assess mathematical understanding. The data were analysed using descriptive and inferential statistical methods.

The results indicate that there were no statistically significant differences between coloured and black-and-white blackboard presentations with regard to motivation, attention, concentration, perceived clarity or subjective understanding. The calculated effect sizes were consistently small. However, a significant positive relationship was found between students' evaluation of the usefulness of colours and their subjective reported understanding of the mathematical content. In addition, older students solved the mathematical tasks correctly more often than younger students, regardless of the presentation format.

Overall, the findings suggest that coloured blackboard presentations do not constitute a generally effective instructional measure in mathematics teaching. Instead, colour should be understood as a supportive design element whose effectiveness depends on its purposeful, restrained and didactically meaningful use. The study contributes to a more differentiated understanding of the role of colour in mathematics education and provides valuable implications for classroom practice and future research.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	8
2	Theoretischer Hintergrund.....	10
2.1	Aktueller Forschungsstand.....	10
2.1.1	Farbenpsychologische Wirkung im schulischen Lernen.....	14
2.1.2	Kognitive Effekte von Farben im Lernen	14
2.1.3	Emotionale und motivationale Effekte	15
2.1.4	Kulturelle Unterschiede	16
2.1.5	Neurowissenschaftliche Effekte	17
2.1.6	Farben in Lern- und Unterrichtsräumen	17
2.2	Farbgestaltung im Tafelbild.....	18
2.2.1	Didaktische Funktionen von Farben im Tafelbild	19
2.2.2	Farben als Werkzeug der Visualisierung	19
2.2.3	Grenzen und Risiken der Farbverwendung.....	20
2.2.4	Zusammenfassung und Implikationen für die Unterrichtspraxis	21
3	Methodik.....	21
3.1	Forschungsdesign	21
3.2	Erhebungsinstrument und Stichprobe	22
3.2.1	Wahrnehmung und Motivation	23
3.2.2	Kleine Verständnisaufgaben.....	23
3.2.3	Farbenbezogene Einschätzungen.....	23
3.2.4	Farbenpräferenzen.....	23
3.3	Ablauf der Online-Befragung	24
3.4	Datenanalyseverfahren	24
3.5	Erwartete Ergebnisse und Implikationen	25
4	Ergebnisse	25

4.1	Pretest.....	25
4.2	Analyse der Ergebnisse der beiden Vergleichsgruppen	26
4.2.1	Subjektives Verständnis der Inhalte (H1)	26
4.2.2	Motivation, Aufmerksamkeit und Konzentration (H2 & H5)	27
4.2.3	Wahrnehmung und Strukturierung des Tafelbildes (H3)	27
4.2.4	Korrelation subjektives Verständnis und Farben (H4)	28
4.2.5	Effektstärken (Cohen's d) und Reliabilität (Cronbach's Alpha)	28
4.2.6	Begründung der Verwendung der Skalen trotz niedriger Reliabilität ...	29
4.2.7	Zusammenfassende Ergebnisdarstellung	30
4.3	Analyse der Farbpräferenzen	31
4.3.1	Quantitative Auswertung der Farbpräferenzen.....	31
4.4	Einordnung und Diskussion der Nullbefunde	32
4.5	Zusammenfassendes Fazit	33
4.6	Zukünftige Forschungsperspektiven.....	35
4.7	Praxisbezug.....	36
5	Anwendung der Untersuchungsergebnisse	37
5.1	Beispiele für gute Tafelbilder im Mathematikunterricht der Sekundarstufe I	37
5.1.1	Rechnen mit Brüchen.....	37
5.1.2	Gleichungen lösen	38
5.1.3	Zusammengesetzte Flächen	39
5.1.4	Besondere Punkte im Dreieck.....	40
6	Literaturverzeichnis	41
7	Anhang.....	45
7.1	Übersicht der Variablen und Auswertungsstrategie	45
7.2	Fragebogen Gruppe 1: farbiges Tafelbild	49
7.3	Fragebogen Gruppe 2: schwarz-weiß Tafelbild	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Häufigkeit als hilfreich empfundener Farben im Mathematikunterricht.	31
Abbildung 2 Häufigkeit als störend empfundener Farben im Mathematikunterricht..	32
Abbildung 3 Rechnen mit Brüchen	37
Abbildung 4 Gleichungen lösen	38
Abbildung 5 Zusammengesetzte Flächen.....	39
Abbildung 6 Besondere Punkte im Dreieck	40

1 Einleitung

Das Unterrichtsfach Mathematik ist ein zentraler Gegenstand in schulischen Einrichtungen. Die Beherrschung mathematischer Fähigkeiten ist nicht nur für den schulischen Erfolg Voraussetzung, sondern geht mit grundlegenden Problemlösungsfähigkeiten und abstraktem Denken einher (Er, 2024). Der Mathematikunterricht erfordert ein hohes Maß an Abstraktionsvermögen, logischem Denken und Konzentration, was viele Schülerinnen und Schüler vor besondere Herausforderungen stellt. Wie Helmke (2012) hervorhebt, liegt ein wesentlicher Grund hierfür in der kognitiven Komplexität des Faches, die häufig dazu führt, dass Lernende Schwierigkeiten haben, Inhalte mit ihrer Lebenswelt in Verbindung zu bringen. Auch Schiefele und Schaffner (2015) zeigen, dass Mathematik von vielen SchülerInnen als abstrakt, schwierig und wenig alltagsnah erlebt wird. Diese Einstellung führt häufig zu geringerem intrinsischem Interesse und weiter zu oberflächlichem Lernen und Leistungsrückgang (Schiefele & Schaffner, 2015).

Um mathematische Lerninhalte erfahrbarer zu gestalten, betonen Witmann & Müller (2010) den Einsatz anschaulicher Beispiele sowie konkreter Visualisierungen im Mathematikunterricht. Nichtsdestotrotz stellen die komplexe Fachsprache und der hohe Abstraktionsgrad des Mathematikunterrichts für viele Schülerinnen und Schüler erhebliche Hürden dar, die zu Verständnisschwierigkeiten und Motivationsproblemen führen können (Klieme, Schümer & Knoll, 2001). Wittmann und Müller (2010) betonen, dass nachhaltiges mathematisches Lernen gezielte didaktische Hilfestellungen erfordert, durch die Lernprozesse aktiv unterstützt und langfristige Denk- und Handlungskompetenzen aufgebaut werden können.

Ein vielversprechender Ansatz besteht im gezielten Einsatz von Farben in Unterrichtsmaterialien, vor allem im Tafelbild (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). Sie können die Aufmerksamkeit der SchülerInnen lenken, Informationen strukturieren und die kognitive Belastung im Gehirn verringern (Paivio, 1986; Sweller et al., 2017). Im Bereich der Lernumgebung können sie sich positiv auf das Lernklima und die Lernbereitschaft auswirken, da ihnen zusätzlich zur kognitiven Komponente eine emotionale Wirkung zugeschrieben wird (Elliot & Maier, 2014; Diachenko, Kudrin & Komarov, 2022). Studien in der Lernerforschung konnten des Weiteren zeigen, dass Farben beziehungsweise visuelle Hervorhebungen die Informationsverarbeitung erleichtern und den Erwerb von Wissen fördern (Mayer, 2009; Schnotz, 2014).

Empirische Befunde bestätigen, dass farbliche Hervorhebungen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Kontext das Verständnis fördern, die Informationsverarbeitung erleichtern und die Lernleistung verbessern können (Mayer, Ozcelik & Kalyuga, 2009; Dillon, Carr & Guo, 2024). Ebenso gibt es im Bereich der Eye-Tracking-Studien Belege dafür, dass farbliche Unterstreichungen die Führung des Blicks verbessert und es SchülerInnen leichter fällt wesentliche Inhalte zu erkennen (Ozcelik, Karakus, Kursun & Cagiltay, 2009).

Diese positiven Belege lassen sich jedoch nicht auf Lernende der Sekundarstufe I in Mathematik übertragen und eröffnen somit eine weitere differenzierte Untersuchung. Es konnte noch nicht herausgefunden werden, wie Schülerinnen und Schüler farbig gestaltete Tafelbilder wahrnehmen und wie diese ihre Motivation beeinflussen oder ob sie dazu beitragen das mathematische Verständnis zu verbessern (Skulmowski & Rey, 2020). Aus diesem Grund untersucht die vorliegende Arbeit den Einfluss von farbig strukturierten Tafelbildern im Mathematikunterricht auf die SchülerInnenmotivation und das fachliche Verständnis. Ziel der empirischen Untersuchung ist es, konkrete Handlungsempfehlungen für eine visuell farblich gestützte und lernförderliche Unterrichtsgestaltung zu entwickeln, sodass die Motivation der SchülerInnen gesteigert und das mathematische Verständnis verbessert wird.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Aktueller Forschungsstand

Wie wichtig visuelle Darstellungen beim Lernen sind, wurde in der Vergangenheit schon mehrfach untersucht und bestätigt. Paivio entwickelte 1986 mit seiner Dual-Coding-Theorie einen Ansatz, der davon ausgeht, dass Informationen über zwei miteinander verbundene Kanäle verarbeitet werden: einen verbalen und einen visuellen. Ausgangspunkt seiner Forschung war die Frage, ob Lerninhalte besser behalten werden, wenn sie nicht nur sprachlich, sondern zusätzlich bildlich dargestellt werden (Paivio, 1986). Grundlage der Theorie bilden mehrere experimentelle Studien, die überwiegend mit jungen erwachsenen Studierenden durchgeführt wurden (Paivio, 1986). Diese Untersuchungen fanden vor allem im nordamerikanischen Raum insbesondere in den USA und Kanada, statt. Die Ergebnisse zeigten deutlich, dass Lernende Informationen besser erinnern, wenn Text und Bild miteinander kombiniert werden, als wenn Inhalte ausschließlich verbal präsentiert werden. Farben können in diesem Zusammenhang als visuelle Hervorhebungen dienen, die Inhalte strukturieren, Aufmerksamkeit lenken und Beziehungen zwischen Informationen verdeutlichen (Paivio, 1986).

Die Cognitive Load Theorie knüpft an Paivios Theorie an, indem sie die Gestaltung von Lernunterlagen beschreibt, um begrenzten Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses effizient zu nutzen (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). In dieser Studie untersuchte man, wie Lernmaterial gestalten werden kann, um die Anstrengung des Arbeitsgedächtnisses zu entlasten (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). Durchgeführt wurden diese Untersuchungen überwiegend mit Studierenden und Lernenden in schulischen oder universitären Kontexten in Australien sowie in weiteren westlichen Ländern. Die Ergebnisse zeigen, dass Hervorhebungen durch Farben dabei helfen die extrinsische kognitive Belastung zu verringern (Sweller et al., 2011).

Empirische Unterstützung für die Wirkung farblicher Hervorhebungen liefern Studien zum sogenannten Signaling-Prinzip (Mayer, 2009). Mayer (2009) untersuchte in mehreren experimentellen Studien die Wirkung visueller Signale auf den Lernerfolg. Seine zentrale Forschungsfrage lautete, ob Lernen erfolgreicher ist, wenn Lernmaterialien zusätzliche Hinweise wie farbliche Markierungen oder Symbole enthalten, die den Blick der Lernenden gezielt auf relevante Informationen lenkt (Mayer, 2009). Die Untersuchungen fanden hauptsächlich in den USA statt und wurden überwiegend mit

Studierenden im jungen Erwachsenenalter durchgeführt (Mayer, 2009). Die Ergebnisse zeigen, dass visuelle Reize beim Lernmaterial Ablenkungen reduzieren und die geistige Verarbeitung entlasten, was wiederum zur Aussage führt, dass farbige Hervorhebungen helfen den Lernstoff übersichtlicher zu gestalten, sodass Zusammenhänge besser erkannt werden können (Mayer, 2009).

Schnotz (2014) kommt mit seinem Modell des Text- und Bildverstehens auf ähnliche Ergebnisse. Ausgangspunkt seiner Arbeiten ist die Forschungsfrage, wie sprachliche und bildliche Informationen mental repräsentiert und miteinander verknüpft werden. Das Durchschnittsalter der SchülerInnen betrug 16 Jahre, wobei die Studie vorüberwiegend in Deutschland stattfand (Schnotz, 2014). Schnotz (2014) konnte zeigen, dass visuelle Hinweise die Verbindung zwischen sprachlichen und bildlichen Informationen erleichtern und dadurch das Verständnis sowie die Behaltensleistung verbessern (Schnotz, 2014).

Diese Annahmen wurden unter anderem durch Chang, Lin und Lin (2016) bestätigt, indem sie zeigten, dass farbliche Hervorhebungen in Lernvideos signifikant positive Ergebnisse auf das Behalten und Verstehen von Inhalten haben. Untersucht wurde dabei die Frage, ob visuelle Signale in Videos die Aufmerksamkeit der Lernenden gezielt lenken und dadurch das Lernen unterstützen können. An der Studie nahmen Studierende im jungen Erwachsenenalter aus den USA teil, die universitäre Lernvideos bearbeiteten (Chang et al., 2016).

Des Weiteren konnten Dillon, Carr und Guo (2024) positive Effekte farblicher Hervorhebungen im naturwissenschaftlichen Unterricht nachweisen. In ihrer Studie untersuchten sie, wie Farbcodierungen in Lehrmaterialien zur Mechanik das Verständnis abstrakter Zusammenhänge beeinflussen (Dillon, Carr, & Guo, 2024). Die Untersuchung wurde mit Lernenden im Sekundar- und frühen Hochschulbereich in den USA durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass farbliche Hervorhebungen das Erkennen abstrakter Zusammenhänge fördern. In ihrer Studie wurde der Einsatz von Farbcodierung in Lehrmaterialien zur Mechanik überwiegend positiv bewertet. Rund 40% gaben an, dass Farben ihnen halfen zusammengehörige Informationen zu erkennen und verschiedene Inhalte klar zu unterscheiden, insbesondere bei der Verknüpfung mathematischer Symbole, Definitionen und Diagrammelemente (Dillon, Carr, & Guo, 2024).

Auch im schulischen Kontext liegen Belege für die Wirksamkeit farblicher Hervorhebungen vor. Kercood, Zentall, Vinh und Tom-Wilkinson (2009) untersuchten den Einsatz von Leuchtstiften zur farblichen Hervorhebung auf Mathematik-Arbeitsblättern. Die Studie richtete sich an Grundschulkinder mit Aufmerksamkeitsproblemen in den USA, die sich überwiegend im Alter zwischen acht und zwölf Jahren befanden. Ziel war es zu prüfen, ob farbliche Markierungen die Rechenleistung verbessern und zugleich das Off-Task-Verhalten reduzieren können. Sie konnten zeigen, dass farbliche hervorgehobene Aufgaben sowohl zu besseren Rechenleistungen führen als auch das ablenkende Verhalten deutlich verringern (Kercood et al., 2009).

Im Bereich der Mathematik, insbesondere der Bruchrechnung, konnten positive Effekte farblicher Hervorhebungen festgestellt werden. Valinote (2002) untersuchte, ob farblich unterschiedlich markierte Zähler und Nenner das Verständnis von Brüchen verbessern können. Es nahmen Schülerinnen und Schüler der 5. Jahrgangsstufe (Grundschule im US-Bildungssystem), die sich überwiegend im Alter zwischen 11 und 13 Jahren befanden, teil. In der Studie erhielten Lernende Arbeitsblätter, auf denen Zähler und Nenner farblich unterschiedlich hervorgehoben waren. Die Ergebnisse zeigten, dass SchülerInnen mit farbcodierten Symbolen signifikant besser beim Erkennen, Vergleichen und Rechnen mit Brüchen abschnitten, als die Kontrollgruppe ohne Farbcodierung (Valinote, 2002).

Ebenso empirisch untersucht wurde der Einsatz von Farbcodierungen in mathematischen Aufgabenstellungen unter anderem von Nilsson und Eckert (2019). Die Studie wurde im schwedischen Schulkontext durchgeführt und bezieht sich auf Schülerinnen und Schüler der achten Jahrgangsstufe. Die Untersuchung ist Teil eines skandinavischen mathematikdidaktischen Forschungsprojekts und wurde im Rahmen einer europäischen Fachkonferenz zur Mathematikdidaktik veröffentlicht. Die Autoren gingen der Frage nach, ob farbliche Hervorhebungen mathematischer Muster, Relationen und Lösungsstrategien für Lernende transparenter machen können. Die Ergebnisse zeigen, dass Farben dazu beitragen, relevante Strukturen hervorzuheben und mathematische Zusammenhänge verständlicher darzustellen (Nilsson & Eckert, 2019).

Nicht nur kognitiv konnten positive Effekte beim Einsatz von Farben gefunden werden, auch emotional sind einige signifikante Ergebnisse aufzulisten. Farben können die Motivation, Aufmerksamkeit und Erregung beeinflussen, da sie emotionale Reaktionen auslösen (Elliot & Maier, 2014). Diese Studie stellte einen theoretisch-empirischen

Überblick über zahlreiche psychologische Untersuchungen, die überwiegend mit Jugendlichen und Erwachsenen in westlichen Ländern durchgeführt wurden. Die Autoren zeigen, dass Farben je nach Kontext sowohl aktivierende als auch beruhigende emotionale Zustände hervorrufen können, die sich direkt auf Aufmerksamkeit und Leistung auswirken (Elliot & Maier, 2014).

Konkrete empirische Hinweise zur emotionalen Wirkung von Farben liefern Untersuchungen zu Farbtemperaturen. Diachenko, Kudrin & Komarov (2022) beschäftigten sich mit der Frage, wie unterschiedliche Farbtöne emotionale Aktivierung und Konzentration beeinflussen. Ihre Arbeiten wurden im osteuropäischen Raum durchgeführt und beziehen sich auf erwachsene Lernende im Hochschulkontext. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass warme Farbtöne wie Rot oder Orange aktivierend wirken, während kühlere Farben wie Blau oder Grün vergleichsweise beruhigen und die Konzentration fördern (Diachenko et al., 2022). Aufgrund begrenzter Angaben zur Stichprobe lassen sich die Befunde jedoch nur vorsichtig auf schulische Lernkontexte übertragen.

Die Tafel ist im Bereich der Didaktik, vor allem im Unterrichtsfach Mathematik, seit jeher ein zentrales Unterrichtsmedium. Padberg und Benz (2011) beschreiben die Tafel als wesentliches Instrument zur schrittweisen und anschaulichen Darstellung mathematischer Lösungswege. Auch neuere didaktische Arbeiten betonen die Bedeutung visueller Darstellungen für die Strukturierung mathematischer Inhalte und das Sichtbarmachen von Denkprozessen (Prediger, Link & Weinert, 2018).

An dieser Stelle soll nochmals auf die Studie von Dillon, Carr und Guo (2024) hingewiesen werden, die im Hochschulbereich zeigte, dass Farbcodierungen im naturwissenschaftlichen Unterricht das mathematische Denken wirksam unterstützen können. Inwieweit diese Untersuchungen auf jüngere Lernende und speziell auf das Fach Mathematik übertragbar sind, ist jedoch offen und bedarf einer weiteren Erforschung.

Aufgrund der oben beschriebenen Studien besteht weiterer Forschungsbedarf in Bezug auf den Einsatz von Farben im Mathematikunterricht. Vor allem die Perspektive der SchülerInnen sollte vermehrt im Vordergrund stehen. Bisherige Untersuchungen fokussieren sich oft auf Leistungsmessungen, während subjektive Wahrnehmungen weniger Beachtung finden. Die Motivation, das Verständnis und die Übersichtlichkeit der Darstellung von Lerninhalten sollte höhere Aufmerksamkeit erhalten. Es fehlen empirische Belege dafür, wie Farben im Tafelbild konkret von SchülerInnen der Sekundarstufe I aufgenommen und erlebt werden und ob sie tatsächlich die Motivation oder

kognitive Vorteile bringen. Gerade im schulischen Umfeld fehlen jedoch systematische empirische Studien, die die Wirkung von Farben im Unterrichtsgeschehen untersuchen. Um diese Forschungslücke zu schließen, bedarf es an weiteren Untersuchungen direkt im schulischen Kontext, um essenzielle und verlässliche Empfehlungen zum Einsatz von Farben im Mathematikunterricht geben zu können.

2.1.1 Farbenpsychologische Wirkung im schulischen Lernen

Farben dienen nicht nur als Gestaltungselement im Unterricht, sondern wirken auf Wahrnehmung, Kognition, Emotion und Verhalten (Elliot & Maier, 2014). Sie können psychologische Prozesse beeinflussen, die Aufmerksamkeit steuern und emotionale Reaktionen hervorrufen (Elliot & Maier, 2014).

Diese Wirkung ist vor allem in der Schule besonders relevant, da Lernen immer auch mit emotionalen und motivationalen Prozessen verbunden ist (Pekrun, Goetz, Titz, & Perry, 2002).

2.1.2 Kognitive Effekte von Farben im Lernen

Farben wirken aus der kognitionspsychologischen Perspektive allgemein als Reize, die die visuelle Informationsverarbeitung unterstützen, indem sie essenzielle Fakten hervorheben, die Aufmerksamkeit der Lernenden lenken und irrelevante Aspekte ausblenden (Ozcelik, Karakus, Kursun, & Cagiltay, 2009). Die Wirkung von Farben im Unterricht kann durch zentrale Theorien der Kognitionspsychologie erklärt werden, insbesondere durch die bereits angesprochene Dual-Coding-Theorie von Paivio (1986) und die Cognitive Load Theorie von Sweller (1988).

Nach der Dual-Coding-Theorie werden Informationen besser behalten, wenn sie über zwei Kanäle, einen verbalen (sprachlichen) und einen nonverbalen (visuellen), verarbeitet werden. Wenn Lernmaterialien sprachliche und bildliche Informationen kombinieren, erhöhen sich die Abrufmöglichkeiten im Gedächtnis (Paivio, 1986). Farben können in diesem Zusammenhang als visuelle Signale dienen, die Informationen strukturieren und den Bezug zwischen Text und Bild verdeutlichen (Mayer, 2009). Studien zum multimedialen Lernen belegen, dass die Kombination aus verbaler und visueller Darstellung, der sogenannte Multimedia-Effekt, das Verständnis und Behalten von Lerninhalten fördert (Mayer & Moreno, 2003; Mayer, 2009).

Die Cognitive Load Theorie beschreibt, dass das Arbeitsgedächtnis nur eine begrenzte Menge an Informationen gleichzeitig verarbeiten kann (Sweller, 1988). Diese Annahme

basiert auf das Mehrkomponentenmodell von Baddeley (1992), welcher das Arbeitsgedächtnis als begrenztes System beschreibt. Lernen wird erleichtert, wenn Materialien so gestaltet sind, dass sie diese Kapazitäten nicht überfordern. Sweller, van Merriënboer und Paas (1998) unterscheiden drei Arten von kognitiver Belastung:

- Intrinsic load: Sie beschreibt die Schwierigkeit des Lernstoffs selbst.
- Extraneous load: Hier wird die zusätzliche Belastung durch ungünstige Präsentation beschrieben.
- Germane load: Das ist die mentale Anstrengung beim Verstehen und Strukturieren.

Ergebnisse zeigen, dass visuelle Signale, wie farbliche Hervorhebungen oder Markierungen, helfen können, die Aufmerksamkeit auf zentrale Informationen zu lenken und so die extraneous load zu reduzieren (de Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2009). Auch Eye-Tracking-Studien bestätigen, dass farblich codierte Elemente die Lernleistung verbessern, weil sie das Auffinden wichtiger Informationen erleichterten (Ozcelik, Karakus, Kursun, & Cagiltay, 2009). Solche Ergebnisse decken sich mit der Cognitive Load Theorie, wonach Signale wie Farbmarkierungen die Belastung des Arbeitsgedächtnisses reduzieren und damit effizienteres Lernen ermöglichen (Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011).

Damit ergänzen sich die Dual-Coding-Theorie von Paivio (1986) und die Cognitive Load Theorie von Sweller (1988). Während Paivio (1986) beschreibt, wie Sprache und Bilder gemeinsam das Behalten fördern, betont Sweller (1988), wie eine klare, signalorientierte Gestaltung das Arbeitsgedächtnis entlastet. Farben sind in diesem Sinne ein didaktisch wirksames Mittel, um visuelle Struktur, Aufmerksamkeit und kognitive Entlastung miteinander zu verbinden und so das Verständnis und die Behaltensleistung zu fördern (Mayer, 2009; Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011). Diese Erkenntnisse sind essenziell, um Lernmaterialien so zu gestalten, dass das Verständnis gefördert und das Behalten von Inhalten erleichtert wird (Mayer, 2009).

2.1.3 Emotionale und motivationale Effekte

Farben ist ebenfalls eine emotionale Komponente zuzuschreiben. Sie können Stimmungen beeinflussen, die wiederum auf Motivation und Leistung wirken. Valdez und Mehrabian (1994) untersuchten experimentell, wie Farbattribute wie Helligkeit und Sättigung emotionale Reaktionen beeinflussen, indem sie subjektive Bewertungen von

Farbreizen analysierten. Die Untersuchung wurde mit erwachsenen Versuchspersonen durchgeführt und konnte zeigen, dass helle und gesättigte Farben meist als angenehmer empfunden werden, während dunkle oder matte Farbtöne eher negativ bewertet werden.

Einige Farbtöne lösen emotionale Assoziationen aus, so wird Rot häufig mit Erregung, Gefahr oder Dominanz verbunden. Die Farbe Blau wird mit Ruhe, Vertrauen und Gelassenheit assoziiert, während Grün mit Natur, Sicherheit und Balance verbunden ist (Elliot & Maier, 2014). In ihrer Übersicht zur Farbpsychologie fassen Elliot und Maier (2014) zahlreiche empirische Arbeiten zusammen, die zeigen, dass Farben in Abhängigkeit vom Kontext, Emotion, Motivation und Verhalten beeinflussen können. Zu diesen Arbeiten gehört unter anderem die Studie von Elliot et al. (2007), in der mit Hilfe von jüngeren Erwachsenen geprüft wurde, ob die Wahrnehmung der Farbe Rot vor einer Leistungssituation Vermeidungsverhalten auslöst und die Leistung beeinträchtigt. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Farbeffekte stark kontextabhängig sind und nicht unabhängig von der jeweiligen Situation interpretiert werden können. In Leistungssituationen kann die Farbe Rot zum Beispiel zu Vermeidungsverhalten führen und die Leistung mindern, während sie in sozialen Kontexten Attraktivität und Status signalisiert (Elliot et al., 2007).

2.1.4 Kulturelle Unterschiede

Des Weiteren ist der kulturelle Aspekt bei der Wirkung von Farben zu berücksichtigen. In einer kulturvergleichenden Studie untersuchten Hupka, Zaleski, Otto, Reidl und Tarabrina (1997), ob Farben in unterschiedlichen kulturellen Kontexten mit vergleichbaren Emotionen assoziiert werden. Die Studie wurde mit erwachsenen Teilnehmenden, überwiegend Studierenden im jungen Erwachsenenalter, in den USA, Deutschland, Polen und Russland durchgeführt. Ziel war es zu prüfen, ob emotionale Bedeutungen von Farben kulturübergreifend stabil sind oder kulturell variieren. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die Farbe Rot je nach kulturellem Kontext unterschiedlich interpretiert wird und mit verschiedenen emotionalen Bedeutungen verbunden sein kann (Hupka et al., 1997). Daraus lässt sich ableiten, dass bei der Gestaltung von Unterrichtsmaterialien möglichst kulturelle Unterschiede in der Farbwahrnehmung berücksichtigt werden sollten, um unbeabsichtigte Reaktionen oder Missverständnisse zu vermeiden.

2.1.5 Neurowissenschaftliche Effekte

Auch aus neurowissenschaftlicher Perspektive lässt sich erklären, warum Farben im Lernkontext wirksam sein können. Conway (2014) beschreibt, dass die Verarbeitung von Farbinformationen im Gehirn eng mit neuronalen Systemen verknüpft ist, die emotionale und motivationale Reaktionen steuern. Seine Ausführungen basieren auf Befunden aus der kognitiven Neurowissenschaft und zeigen, dass visuelle Reize wie Farben nicht isoliert verarbeitet werden, sondern mit emotionaler Bewertung und Aktivierung verbunden sind (Conway, 2014).

Einen zusammenfassenden Überblick über empirische Studien liefern Dzulkifli und Mustafar (2013). Sie gingen der Frage nach, wie Farben Aufmerksamkeit, emotionale Aktivierung und Gedächtnisprozesse beeinflussen. In ihrer Übersichtsarbeit, die Forschungsergebnisse aus verschiedenen Ländern mit unterschiedlichen Altersgruppen (vor allem Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen) einbezieht, kommen sie zu dem Schluss, dass farblich gestaltete Lernmaterialien die Erinnerungsleistung fördern können. Dies wird darauf zurückgeführt, dass Farben die Aufmerksamkeit erhöhen und emotionale Aktivierung auslösen, was wiederum die Speicherung von Informationen im Gedächtnis unterstützt (Dzulkifli & Mustafar, 2013).

2.1.6 Farben in Lern- und Unterrichtsräumen

Auch die Farbgestaltung der Lernumgebung kann das emotionale Erleben und die Leistungsfähigkeit von Lernenden beeinflussen. In einer international angelegten Studie untersuchten Küller, Ballal, Laike, Mikellides und Tonello (2006), wie Farben in Lern- und Arbeitsräumen auf emotionale Zustände, Aktivierung und Konzentration wirken. Die Untersuchung wurde in mehreren europäischen Ländern durchgeführt und bezog unterschiedliche Altersgruppen ein, darunter auch Kinder und Jugendliche in schulnahen Lernumgebungen. Die Autoren gingen der Frage nach, ob bestimmte Farbgestaltungen das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit fördern können. Die Ergebnisse zeigen, dass kühle Farben wie Blau oder Grün eher eine ruhige Atmosphäre schaffen und die Konzentration unterstützen, während warme Farben wie Rot oder Gelb als aktivierend wahrgenommen werden, bei hoher Intensität jedoch auch Unruhe hervorrufen können (Küller et al., 2006).

Die Bedeutung emotionaler Faktoren für den Lernerfolg wird auch von Pekrun, Goetz, Titz und Perry (2002) hervorgehoben. In ihrer überwiegend in Deutschland

entwickelten Kontroll-Wert-Theorie beschreiben sie, wie positive Emotionen die intrinsische Motivation fördern und sich dadurch günstig auf Lernprozesse auswirken. Farben werden zwar nicht direkt untersucht, können jedoch als ein Gestaltungsmerkmal der Lernumgebung verstanden werden, dass solche emotionalen Zustände begünstigt. Zusammenfassend zeigen Forschungsarbeiten, dass Farben im Unterricht nicht nur der Strukturierung von Inhalten dienen, sondern auch Motivation und Konzentration beeinflussen können (Pekrun et al., 2002). Diese Wirkung ist jedoch abhängig von Faktoren wie Farbauswahl, Intensität, Kontrast, kulturellen Kontext und der Einbettung in ein didaktisches Gesamtkonzept (Elliot & Maier, 2014).

2.2 Farbgestaltung im Tafelbild

Trotz zunehmender Digitalisierung bleibt das Tafelbild gleich ob klassisch oder als Smartboard im Mathematikunterricht ein zentrales didaktisches Instrument. Es ermöglicht mathematische Inhalte schrittweise gemeinsam zu entwickeln, flexibel auf Beiträge der Lernenden einzugehen und Denk- sowie Lernprozesse für die Klasse sichtbar zu machen (Padberg & Benz, 2011). Diese Bedeutung visueller, gemeinsam entwickelter Darstellungen wird in der Mathematikdidaktik unter anderem von Prediger, Link und Weinert (2018) hervorgehoben. Ihre Arbeiten basieren auf mathematisch didaktischer Forschung und Unterrichtsanalysen, die überwiegend im deutschen Schulkontext durchgeführt wurden und sich auf Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe sowie deren Lernprozesse im Mathematikunterricht beziehen. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, wie mathematisches Denken durch sichtbare Darstellungen unterstützt und für Lernende nachvollziehbar gemacht werden kann (Prediger et al., 2018). Ihre Ergebnisse zeigen, dass Lernprozesse erfolgreicher sind, wenn mathematische Inhalte sichtbar gemacht werden (etwa durch Tafelbilder oder Skizzen) und der schrittweise Aufbau von Darstellungen entscheidend ist (Prediger et al., 2018).

In diesem Zusammenhang kommt auch der Farbgestaltung eine besondere Rolle zu. Aus kognitionspsychologischer Perspektive zeigt Mayer (2009), dass visuelle Hervorhebungen (etwa durch Farben) Lernende dabei unterstützen können, relevante Informationen schneller auszuwählen, Inhalte besser zu strukturieren und die kognitive Belastung zu reduzieren. Diese Erkenntnisse beruhen auf zahlreichen experimentellen Studien, die überwiegend mit jungen erwachsenen Studierenden in den USA durchgeführt wurden und der Frage nachgingen, wie Lernmaterialien gestalten sein müssen, um das Lernen effektiver zu machen.

Ergänzend dazu weisen Elliot und Maier (2014) in ihrer Übersicht zur Farbpsychologie darauf hin, dass Farben nicht nur kognitive Prozesse beeinflussen, sondern auch emotionale und motivationale Reaktionen auslösen können. Ihre Arbeit fasst empirische Studien aus verschiedenen Ländern zusammen, die überwiegend mit Jugendlichen und Erwachsenen durchgeführt wurden, und geht der Frage nach, wie Farbwahrnehmung Aufmerksamkeit, Motivation und Leistung beeinflusst (Elliot & Maier, 2014). Daraus lässt sich ableiten, dass eine gezielte Farbgestaltung von Tafelbildern sowohl zur inhaltlichen Strukturierung als auch zur emotionalen Lernunterstützung beitragen kann, sofern sie bewusst und didaktisch eingebettet eingesetzt werden.

2.2.1 Didaktische Funktionen von Farben im Tafelbild

Farben im Tafelbild fungieren zunächst zur Strukturierung von Inhalten und helfen, Bezüge zwischen einzelnen Elementen herzustellen. Durch farbliche Hervorhebungen können beispielsweise Variablen, Rechenwege oder geometrische Beziehungen voneinander abgegrenzt und so leichter erfasst werden (Nilsson & Eckert, 2019). Besonders im Mathematikunterricht unterstützen Farben das Erkennen von Mustern und Strukturen, was wiederum für das Verständnis der Lernenden zentral ist (Padberg & Benz, 2011). Des Weiteren können Farben die Aufmerksamkeit auf relevante Informationen lenken und erleichtern somit die mentale Organisation des Lernmaterials (Mayer, 2009). Farben im Tafelbild sind eine konkrete Anwendungsform der theoretischen Prinzipien von Mayer (2009) und Sweller (1988).

2.2.2 Farben als Werkzeug der Visualisierung

Obwohl Farben selbst keine eigenständige Form der Visualisierung darstellen, nehmen sie als didaktisches Gestaltungselement innerhalb der Visualisierungen eine besondere Rolle ein. Verschiedene Forschungsarbeiten zeigen, dass Farben Lernprozesse unterstützen können, indem sie Aufmerksamkeit lenken, Informationen strukturieren und kognitive sowie emotionale Prozesse beeinflussen (Mayer, 2009; Nilsson & Eckert, 2019; Elliot & Maier, 2014; Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011).

Das Tafelbild stellt ein zentrales Kommunikations- und Strukturierungsmedium im Unterricht dar, das der Visualisierung und Strukturierung von Lerninhalten dient (Tulodziecki & Herzig, 2010). Es macht Denkprozesse sichtbar und schafft einen gemeinsamen Bezugspunkt für den Unterricht (Jank & Meyer, 2019; Tulodziecki & Herzig, 2010). Farben können diese Funktion verstärken, indem sie visuelle Hierarchien

erzeugen und die Lesbarkeit komplexer Darstellungen verbessern. So kann beispielsweise eine konsequente Farbzuoordnung (z. B. Rot = Variable, Blau = Ergebnis, Grün = Kommentar) die Orientierung erleichtern und die Wiedererkennung von Strukturen fördern (Nilsson & Eckert, 2019). Solche konsistenten Farbkonventionen tragen zur Anschlussfähigkeit zwischen Tafel, Arbeitsblättern und digitalen Medien bei, wodurch Lernende Zusammenhänge leichter herstellen können (de Koning et al., 2009).

2.2.3 Grenzen und Risiken der Farbverwendung

Der Einsatz von Farbe im Tafelbild sollte sorgfältig geplant werden. Eine Forschung zur kognitiven Belastung zeigt, dass ein übermäßiger oder inkonsistenter Farbeinsatz das Arbeitsgedächtnis unnötig beanspruchen und dadurch zu Ablenkung führen kann (Sweller et al., 2011). Sweller, Ayres und Kalyuga (2011) untersuchten in überwiegend australischen und internationalen Studien mit Lernenden im jungen Erwachsenenalter, wie Gestaltungsmerkmale von Lernmaterialien die kognitive Belastung beeinflussen. Ihre Ergebnisse zeigen, dass visuelle Elemente wie Farben nur dann lernförderlich sind, wenn sie klar funktional eingesetzt werden, andernfalls erhöhen sie die extrinsische kognitive Belastung (Sweller et al., 2011).

In diesem Zusammenhang weisen Skulmowski und Rey (2021) auf den sogenannten Guidance Reversal Effekt hin. In ihren experimentellen Studien mit Studierenden im europäischen Hochschulkontext gingen sie der Frage nach, wann unterstützende Hinweise im Lernprozess hilfreich sind und wann sie hinderlich werden. Die Ergebnisse zeigen, dass farbliche Hervorhebungen insbesondere Lernende mit geringer Vorerfahrung unterstützen, bei fortgeschrittener Expertise jedoch zu Abhängigkeiten führen können. Fehlen diese Hinweise später, kann dies zu Leistungseinbußen führen (Skulmowski & Rey, 2021).

Zusätzlich warnen Mayer und Moreno (2003) auf Grundlage experimenteller Studien mit Studierenden in den USA vor einer visuellen Überlastung durch zu viele gleichzeitige Hervorhebungen. Sie zeigen, dass konkurrierende visuelle Signale die Aufmerksamkeit der Lernenden zerstreuen und die Verarbeitung der Inhalte erschweren. Insgesamt wird deutlich, dass Farben im Tafelbild didaktisch vor allem dann wirksam sind, wenn sie gezielt, sparsam und konsistent eingesetzt werden (Mayer & Moreno, 2003).

2.2.4 Zusammenfassung und Implikationen für die Unterrichtspraxis

Farben im Tafelbild können ein didaktisch wirkvolles, aber sensibles Gestaltungselement sein. Sie können die Strukturierung mathematischer Inhalte, die Fokussierung der Aufmerksamkeit, die emotionale Aktivierung der Lernenden und die Kommunikation im Klassenzimmer unterstützen. Ihre Wirksamkeit basiert auf Prinzipien der Dual-Coding-Theorie (Paivio, 1986) und der Cognitive Load Theorie (Sweller, 1988).

Trotz der theoretisch gut belegten Erkenntnisse zur Wirkung von Farben auf Wahrnehmung, Kognition und Emotion ist bislang wenig empirisch erforscht, wie sich farbig gestaltete Tafelbilder konkret auf Motivation und Verständnis im Mathematikunterricht auswirken. Der überwiegende Teil der vorliegenden Studien beziehen sich auf multimediale Lernumgebungen (Mayer, 2009; Ozcelik et al., 2009) oder fasst laborbasierte Befunde zur emotionalen Wirkung von Farben zusammen (Elliot & Maier, 2014). Unterrichtsnah, schulpraktische Studien, die den Einsatz von Farben im Tafelbild systematisch untersuchen, liegen bislang nur in sehr begrenztem Umfang vor.

Aus diesen theoretischen und empirischen Lücken ergibt sich die Notwendigkeit, den Einfluss farbiger Tafelbilder im schulischen Kontext gezielt zu erforschen. Die vorliegende Arbeit greift diese Forschungslücke auf und untersucht, in welcher Weise der gezielte Einsatz von Farbe im Tafelbild das Verständnis und die Motivation von SchülerInnen im Mathematikunterricht beeinflusst.

3 Methodik

3.1 Forschungsdesign

Aus den oben beschriebenen bisherigen Forschungsstand und den daraus resultierenden Überlegungen ergibt sich nun folgende zentrale Forschungsfrage:

„Welchen Einfluss hat der Einsatz von Farben in Tafelbildern des Mathematikunterrichts auf die Motivation und das fachliche Verständnis von SchülerInnen der Sekundarstufe I?“

Um diese Frage zu beantworten, wird ein quantitatives, hypothesengeleitetes Forschungsdesign eingesetzt. Ziel ist es herauszufinden, ob farbig gestaltete Tafelbilder im Mathematikunterricht die Motivation und das Verständnis von SchülerInnen positiv beeinflussen. Konkrete Antworten liefert ein Vergleichsexperiment, wobei Schülerinnen und Schüler jeweils ein Tafelbild zum gleichen mathematischen Inhalt erhalten,

eine Gruppe in einfarbiger Darstellung und die andere Gruppe in einer farbig hervorgehobenen Version. Der mathematische Inhalt ist bewusst einfach gewählt, um es in allen Schulstufen der Sekundarstufe I anwenden zu können. Zum Einsatz kommt daher die Umfangsberechnung von Rechteck und Quadrat. Ob Lernende das farbiges Tafelbild sehen oder das einfarbige, wird zufällig zugeteilt. So lässt sich untersuchen, ob Unterschiede in der Wahrnehmung, Motivation und im Verständnis tatsächlich auf die Farbgestaltung zurückzuführen sind. Dieser Art von Forschungsdesign nennt man auch Between-Subject-Vergleich, daher ein Vergleich zwischen zwei unabhängigen Gruppen. Folgende Hypothesen sollen verifiziert oder falsifiziert werden:

- H1: Farbig gestaltete Tafelbilder steigern das subjektive Verständnis.
- H2: Farbig gestaltete Tafelbilder erhöhen die Lernmotivation.
- H3: Farbige Tafelbilder werden als übersichtlicher und ansprechender wahrgenommen.
- H4: Die wahrgenommene Farbstrukturierung korreliert positiv mit dem subjektiven Verständnis.
- H5: Farbige Tafelbilder lenken die Aufmerksamkeit stärker auf relevante Inhalte.

3.2 Erhebungsinstrument und Stichprobe

Um die Stichprobe zu beschreiben, wurden am Beginn des Fragebogens Soziodemografische Daten erhoben, dazu zählen die Schulstufe, das Geschlecht und das Alter der Teilnehmenden. Diese sowie alle weiteren Daten werden anonym behandelt. Der standardisierte Fragebogen wurde speziell für diese Untersuchung entwickelt und enthält insgesamt 18 Items zu den Bereichen Soziodemografie, Wahrnehmung, Motivation, Verständnis (subjektiv und objektiv) sowie der Farbenpräferenz. Der Großteil der Items wird nach einer fünfstufigen Likert-Skala von „1 = stimme gar nicht zu“ bis „5 = stimme voll zu“ beurteilt. Zuvor wurden zwei Verständnisfragen zur Berechnung des Umfangs von Rechteck und Quadrat gestellt. Gruppe 1 (farbiges Tafelbild) erhielt zusätzliche drei Items zur wahrgenommenen Wirkung der Farben im Tafelbild. In der vorliegenden Arbeit wird der Fokus auf weiße Tafeln, auch als Smartboards bezeichnet, gelegt. Die Befragung richtet sich an Lernenden der Jahrgangsstufen fünf bis acht der Sekundarstufe I. Eine Stichprobengröße von etwa 100-150 Schülerinnen und Schülern wäre wünschenswert zu erreichen, um eine angemessene Datenbasis für deskriptive Analysen zu gewährleisten.

Die Teilnahme erfolgt im schulischen Kontext mit der Forschenden. Diese Umfrage erfolgt freiwillig, anonym und unter Einhaltung datenschutzrechtlicher Vorgaben. Die Bearbeitung dauert in etwa 10 bis 15 Minuten. Vor der tatsächlichen Befragung soll ein Pretest mit etwa 6 – 8 SchülerInnen durchgeführt werden, hierbei wird vorab geprüft, ob die Fragen verständlich formuliert sind.

Ein vollständiger Überblick der Fragebögen beider Gruppen befindet sich im Anhang. Es folgt eine Erläuterung der relevanten Bereiche. Eine tabellarische Darstellung der Items inklusive Auswertungsstrategie ist dem Anhang zu entnehmen.

3.2.1 Wahrnehmung und Motivation

Hier bewerten SchülerInnen geschlossene Fragen auf einer Skala von 1 („stimme gar nicht zu“) bis 5 („stimme voll zu“), wie übersichtlich und ansprechend sie das Tafelbild finden. Des Weiteren beurteilen sie, ob sie motivierter waren und ob sie die dargestellten Inhalte besser verstanden haben oder nicht. Diese Fragen orientieren sich nach den etablierten Skalen von Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001) zur Erfassung von Motivation.

3.2.2 Kleine Verständnisaufgaben

Um nun auch das tatsächliche Verständnis zu erfassen, bearbeiten die SchülerInnen zwei kurze Multiple-Choice-Aufgaben zur Berechnung des Umfangs von Rechteck und Quadrat. So soll herausgefunden werden, ob die farbige Darstellung beim inhaltlichen Lernen unterstützend wirkt. Wichtig zu erwähnen ist, dass diese Fragen inhaltlich sehr einfach gehalten sind, sodass sie keinen Leistungstest im engeren Sinn darstellen, sondern nur Hinweise auf das Verständnis geben.

3.2.3 Farbenbezogene Einschätzungen

Hier möchte man herausfinden, ob der farbliche Einsatz den Lernenden beim Verständnis der Aufgabe geholfen hat oder ob die Farben nützlich waren, um Unterschiede besser wahrzunehmen, beziehungsweise ob sie als angenehm empfunden worden sind oder nicht.

3.2.4 Farbenpräferenzen

Abschließend werden die Schülerinnen und Schüler nach ihren Farbpräferenzen gefragt, welche Farben sie im Mathematikunterricht als hilfreich empfinden und welche

eher störend wirken. Hier gibt es eine Vorauswahl von Farben, eigene Antworten können ebenso gegeben werden.

3.3 Ablauf der Online-Befragung

Die Erhebung der Daten erfolgt mit Hilfe der App Microsoft Forms, da dieses Programm eine benutzerfreundliche Gestaltung von Fragebögen ermöglicht. Des Weiteren eignet sich Microsoft Teams hervorragend für den schulischen Kontext, da die SchülerInnen oftmals einen Zugang besitzen. Die Versuchspersonen dieser Befragung verfügen über ein Schultablet und sind mit dem Programm vertraut. Eine Teilnahme über mobile Endgeräte wie Smartphones wäre ebenso möglich. Zu Beginn der Erhebung erhalten die TeilnehmerInnen eine kurze Information über den Zweck der Studie und werden darauf hingewiesen, dass die Online-Befragung anonym sowie freiwillig ist.

Um den Einfluss von Farben im Tafelbild zu untersuchen, wird die Stichprobe in zwei Vergleichsgruppen eingeteilt. Gruppe 1 erhält einen Fragebogen mit einem farbigen Tafelbild während Gruppe 2 Fragen zu einem schwarz-weißen Tafelbild bearbeitet. Microsoft Forms erlaubt keine automatische Zufallsverteilung, daher erfolgt die Gruppeneinteilung nach dem Zufallsprinzip durch die Forschende selbst. Dies geschieht durch eine Losziehung im Klassenverband, indem die Kinder entweder einen Zettel mit dem Link zur Umfrage der Gruppe 1 oder einen Link zur Umfrage der Gruppe 2 erhalten. Somit wird sichergestellt, dass die Zuteilung der Teilnehmenden zu den Bedingungen (Gruppen) nicht systematisch verzerrt ist.

3.4 Datenanalyseverfahren

Nach Abschluss der Datenerhebung werden die Ergebnisse beider Fragebögen in Excel exportiert und ausgewertet. Die Auswertung der Daten erfolgt mithilfe deskriptiver und inferenzstatistischer Verfahren. Es werden Mittelwerte, Standardabweichungen, Häufigkeiten und Gruppenvergleiche durchgeführt, um mögliche Unterschiede in der Wahrnehmung, Motivation und im Verständnis zwischen den beiden Bedingungen zu identifizieren. Außerdem werden Zusammenhänge zwischen der wahrgenommenen Farbstrukturierung, der Motivation und dem Verständnis analysiert, um erste Hinweise auf den Einfluss farblicher Gestaltung im Mathematikunterricht zu gewinnen. Es folgt eine Auflistung, wie die genannten Hypothesen explizit untersucht werden sollen:

- H1-H3: Um die Hypothesen H1-H3 zu untersuchen, werden Gruppenvergleiche zwischen farbige und einfarbige Tafelbilder mittels t-Tests für unabhängige

Stichproben durchgeführt. So lässt sich feststellen, ob die Unterschiede in Motivation, Verständnis und Wahrnehmung (Items 6-13) statistisch bedeutsam sind.

- H4: Um zu untersuchen, ob Farben positiv mit dem subjektiven Verständnis korrelieren, werden die Korrelationen zwischen der Skala „Farben“ (Items 14-16) und den Skalen „subjektives Verständnis“ (Items 12-13) berechnet.
- H5: Gruppenvergleiche (t-Test) der Items zu Aufmerksamkeit (Items 7 und 11) und farbige Tafelbilder werden untersucht, um herauszufinden, ob farbige Tafelbilder die Aufmerksamkeit stärker auf relevante Inhalte lenken oder nicht.

Die Zuverlässigkeit der Fragebogen-Skalen wird mit Cronbach's Alpha überprüft. Die Angaben zu den Farbpräferenzen werden sowohl quantitativ (Häufigkeiten der gewählten Farben) als auch qualitativ (Analyse der offenen Antworten) ausgewertet.

3.5 Erwartete Ergebnisse und Implikationen

Aufgrund der bisherigen Forschungen wird erwartet, dass Schülerinnen und Schüler farbig gestaltete Tafelbilder als übersichtlicher und ansprechender wahrnehmen als einfarbige Tafelbilder. Es wird angenommen, dass Farben einen positiven Effekt auf die Motivation der Lernenden in der Sekundarstufe I im Fach Mathematik haben. Schülerinnen und Schüler könnten sich somit besser auf die Inhalte konzentrieren und mehr Interesse entwickeln, wenn mathematische Inhalte mit Farben unterstützt werden.

Des Weiteren wird erwartet, dass farbige Tafelbilder das Verständnis über mathematische Inhalte erleichtern, sowohl auf subjektiver Ebene als auch auf kurze Verständnisfragen. Schließlich hofft man auf einen Zusammenhang zwischen wahrgenommenen Farben an der Tafel und besseren Ergebnissen bei Verständnisfragen.

Die Ergebnisse können wichtige Hinweise für die Unterrichtspraxis liefern und Lehrkräften eine essenzielle Stütze im Angstfach Mathematik sein. Farben könnten gezielt eingesetzt werden, um Strukturen sichtbar zu machen, Lerninhalte klarer zu vermitteln und die Lernmotivation zu fördern.

4 Ergebnisse

4.1 Pretest

Zur Sicherstellung der Gütekriterien des verwendeten Fragebogens wurde vor der Hauptuntersuchung ein Pretest durchgeführt. An diesem nahmen sechs Schülerinnen

und Schüler der sechsten Schulstufe im Alter zwischen 11 und 13 Jahren teil. Der Pretest diente insbesondere der Überprüfung der Inhaltsvalidität und der Verständlichkeit der Items.

Durch eine mündliche Nachbefragung im Anschluss an das Ausfüllen der Online-Fragebögen wurde erhoben, ob die Fragestellungen sowie die verwendeten Begriffe von der Zielgruppe eindeutig verstanden wurden. Dabei wurde ausschließlich auf die Verständlichkeit der Aussagen geachtet. Die Rückmeldung der Teilnehmenden zeigen, dass sowohl Fragebogen 1 als auch Fragebogen 2 von allen sechs Schülerinnen und Schülern gut verstanden wurden. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Fragebogen die intendierten Konstrukte altersgemessen erfasst.

Aussagen zur Reliabilität können auf Grundlage des Pretests wegen der geringen Stichprobengröße nicht getroffen werden. Diese wird im Rahmen der Hauptuntersuchung anhand der erhobenen Daten überprüft.

4.2 Analyse der Ergebnisse der beiden Vergleichsgruppen

Zur Untersuchung des Einflusses farbiger Tafelbilder wurden die Ergebnisse zweier Vergleichsgruppen gegenübergestellt. Eine Gruppe arbeitete mit einem farbig gestaltetem Tafelbild ($n = 90$), die andere mit einem schwarz-weißen Tafelbild ($n = 83$). Die Stichprobe umfasste insgesamt 173 Schülerinnen und Schüler, davon 90 männliche und 83 weibliche Teilnehmende im Alter von 10-14 Jahren (Sekundarstufe I). Die Auswertung basiert auf numerisch codierten Likert-Antworten (1 = stimme gar nicht zu bis 5 = stimme voll zu). Im Folgenden werden zunächst die deskriptiven Ergebnisse dargestellt und anschließend durch inferenzstatistische Analysen ergänzt.

4.2.1 Subjektives Verständnis der Inhalte (H1)

Auch im Bereich des subjektiven Verständnisses ergaben sich nur geringe Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Nachvollziehbarkeit der Lösungswege wurde in der schwarz-weißen Bedingung minimal höher eingeschätzt ($M = 4,30$) als in der farbigen ($M = 4,21$). Ähnlich verhielt es sich bei der Einschätzung, ob die Darstellung beim Verständnis der Aufgabe geholfen hat (farbig: $M = 4,21$; schwarz-weiß: $M = 4,27$).

Die inferenzstatistischen Analysen bestätigen diese Beobachtungen. Weder die Nachvollziehbarkeit der Lösungswege ($t(\approx 169) = -0,79$, $p = 0.431$) noch für die Unterstützung des Verständnisses ($t(\approx 168) = -1,14$, $p = 0.258$) ergaben sich signifikante

Unterschiede zwischen den Gruppen. Damit konnte auch Hypothese H3 nicht bestätigt werden.

4.2.2 Motivation, Aufmerksamkeit und Konzentration (H2 & H5)

Auch im Bereich der Motivation zeigten sich in den deskriptiven Ergebnissen lediglich geringe Unterschiede. Teilnehmende der farbigen Bedingungen gaben etwas häufiger an, durch das Tafelbild mehr Lust gehabt zu haben, sich mit der Aufgabe zu beschäftigen ($M = 3,84$), als Teilnehmende der schwarz-weißen Gruppe ($M = 3,75$). Die Aufmerksamkeit wurde ebenfalls im farbigen Tafelbild geringfügig höher eingeschätzt ($M = 4,04$) als im schwarz-weißen ($M = 3,99$).

Die Unterschiede erwiesen sich jedoch ebenfalls als nicht signifikant. Für die motivationale Wirkung des Tafelbildes ergab der t-Test keinen signifikanten Unterschied zwischen der farbigen ($M = 3,84$, $SD = 0,84$) und der schwarz-weißen Bedingung ($M = 3,75$, $SD = 0,76$, $t (\approx 171) = 0,62$, $p = 0.533$). Auch hinsichtlich der Aufmerksamkeit zeigte sich kein signifikanter Gruppenunterschied, $t (\approx 170) = 0,44$, $p = 0.663$. Damit konnte Hypothese H5 nicht bestätigt werden.

Bei der Konzentration zeigt sich deskriptiv ein leicht umgekehrtes Muster: Teilnehmende der schwarz-weißen Bedingung bewerteten ihre Konzentration etwas höher ($M = 4,36$) als jene der farbigen Bedingung ($M = 4,21$). Dieser Unterschied war jedoch ebenfalls nicht signifikant, $t (\approx 170) = -1,20$, $p = 0.231$.

4.2.3 Wahrnehmung und Strukturierung des Tafelbildes (H3)

Die deskriptiven Ergebnisse zeigen, dass beide Gruppen das Tafelbild insgesamt als sehr übersichtlich wahrnahmen. Teilnehmende der farbigen Bedingung bewerteten die Übersichtlichkeit im Mittel etwas höher ($M = 4,49$) als jene der schwarz-weißen Bedingung ($M = 4,35$). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Einschätzung, ob weitere Schritte leicht erkennbar waren (farbig: $M = 4,33$, schwarz-weiß: $M = 4,28$) sowie bei der ansprechenden Gestaltung des Tafelbildes (farbig: $M = 4,27$; schwarz-weiß: $M = 4,18$). Diese deskriptiven Befunde deuten darauf hin, dass Farben die visuelle Strukturierung tendenziell unterstützen können, auch wenn die Unterschiede zwischen den Gruppen gering ausfallen.

Zur statistischen Überprüfung dieser Beobachtungen wurden t-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Für keines der Items zur Wahrnehmung und Strukturierung ergaben sich signifikante Gruppenunterschiede. So zeigte sich für die Übersichtlichkeit

kein signifikanter Unterschied zwischen farbigen ($M = 4,49$, $SD = 0,67$) und der schwarz-weißen Bedingung ($M = 4,35$, $SD = 0,73$), $t(\approx 171) = 1,26$, $p = .210$. Auch die Erkennbarkeit wichtiger Schritte ($t(\approx 170) = 0,44$, $p = 0.663$) sowie die Ansprechbarkeit der Darstellung ($t(\approx 168) = 0,68$, $p = 0.500$) unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen. Hypothese H1 konnte somit nicht bestätigt werden.

4.2.4 Korrelation subjektives Verständnis und Farben (H4)

Zur Überprüfung von Hypothese H4 wurde eine Pearson-Korrelation zwischen der Skala „Farben“ (Items 14-16) und der Skala „subjektives Verständnis“ (Items 12-13) berechnet. Die Analyse ergab einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen beiden Variablen, $r(157) = .50$, $p < .001$. Lernende, die die farbliche Gestaltung des Tafelbildes positiver bewerteten, berichteten demnach auch von einem höheren subjektiven Verständnis. Es wurden demnach keine signifikanten Gruppenunterschiede (farbig vs. schwarz-weiß) gefunden werden, aber innerhalb der Gesamtstichprobe besteht ein starker Zusammenhang zwischen wahrgenommener Farbstrukturierung und subjektivem Verständnis.

4.2.5 Effektstärken (Cohen's d) und Reliabilität (Cronbach's Alpha)

Zur Ergänzung des Signifikanztests wurden für alle Gruppenvergleiche Effektstärken nach Cohen (Cohen's d) berechnet, um die praktische Relevanz der Unterschiede unabhängig von der Stichprobengröße einzuschätzen. Nach gängigen Konventionen gelten Werte von $d \approx 0,20$ als kleiner, $d \approx 0,50$ als mittlerer und $d \approx 0,80$ als großer Effekt.

Die berechneten Effektstärken lagen für alle untersuchten Items im kleinen Effektbereich. Für die wahrgenommene Übersichtlichkeit des Tafelbildes zeigte sich ein kleiner positiver Effekt zugunsten der farbigen Bedingung ($d = 0,20$). Auch für die Erkennbarkeit wichtiger Schritte ($d = 0,07$), die ansprechende Gestaltung ($d = 0,11$) sowie die motivierende Wirkung ($d = 0,11$) fielen die Effekte gering aus. Für die Variablen Konzentration ($d = -0,19$), Nachvollziehbarkeit der Lösungswege ($d = -0,13$) und Unterstützung des Verständnisses ($d = -0,19$) zeigten sich kleine Effekte zugunsten der schwarz-weißen Bedingung. Keiner der Effekte erreichte jedoch ein mittleres oder großes Ausmaß.

Die interne Konsistenz der Skala „Farben“ (Items 14-16) lag bei $\alpha = .54$. Für die Skala „subjektives Verständnis“ (Items 12-13) ergab sich ein Cronbach's Alpha von $\alpha = .53$. Die Werte weisen auf eine niedrige interne Konsistenz hin, was insbesondere auf die

geringe Anzahl der Items zurückzuführen ist. Der signifikante Zusammenhang zwischen wahrgenommener Farbgestaltung und subjektivem Verständnis ist vor dem Hintergrund der begrenzten Reliabilität der verwendeten Skalen vorsichtig zu interpretieren.

Konstrukt / Item	Gruppe	n	M	SD	Cohen's d
Übersichtlichkeit	farbig	81	4.49	0.67	0.20
	schwarz-weiß	74	4.35	0.73	
Wichtige Schritte erkennbar	farbig	83	4.33	0.70	0.07
	schwarz-weiß	72	4.28	0.65	
Ansprechende Darstellung	farbig	79	4.27	0.71	0.11
	schwarz-weiß	71	4.18	0.78	
Motivation	farbig	61	3.84	0.84	0.11
	schwarz-weiß	63	3.75	0.76	
Konzentration	farbig	84	4.21	0.76	-0.19
	schwarz-weiß	73	4.36	0.71	
Aufmerksamkeit	farbig	67	4.04	0.81	0.07
	schwarz-weiß	69	3.99	0.78	
Nachvollziehbarkeit	farbig	82	4.21	0.73	-0.13
	schwarz-weiß	67	4.30	0.67	
Subjektives Verständnis	farbig	73	4.12	0.78	-0.19
	schwarz-weiß	70	4.27	0.78	

Tabelle 1 Deskriptive Kennwerte und Effektstärken

Skala	Items	Cronbach's α
Farben	Items 14–16	$\alpha = .54$
Subjektives Verständnis	Items 12–13	$\alpha = .53$

Tabelle 2 Reliabilität der Skalen (Cronbach's Alpha)

4.2.6 Begründung der Verwendung der Skalen trotz niedriger Reliabilität

Die interne Konsistenz der Skalen „Farben“ ($\alpha = .54$) und „subjektives Verständnis“ ($\alpha = .53$) liegt unter den in der Literatur häufig genannten Richtwerten für akzeptable Reliabilität. Dennoch wurden die Skalen in der vorliegenden Untersuchung weiterverwendet. Diese Entscheidung ist aus mehreren methodischen Gründen begründbar.

Erstens ist zu berücksichtigen, dass Cronbach's Alpha stark von der Anzahl der Items abhängig ist. Beide Skalen bestehen aus nur zwei bzw. drei Items. Für derart kurze Skalen werden in der Forschung regelmäßig niedrigere Alpha-Werte berichtet, ohne

dass dies zwangsläufig auf eine unzureichende Messqualität hinweist. Insbesondere bei Skalen mit weniger als vier Items gilt Cronbach's Alpha als nur eingeschränkt aussagekräftig.

Zweitens verfolgen die eingesetzten Items das Ziel, inhaltlich nahe, aber nicht vollständig identische Aspekte eines Konstrukts zu erfassen. Die Skala „Farben“ bildet unterschiedliche Facetten der wahrgenommenen farblichen Gestaltung ab, während die Skala „subjektives Verständnis“ sowohl das Nachvollziehen von Lösungswegen als auch das allgemeine Verständnis der Aufgabe erfasst. Diese inhaltliche Breite kann zu geringeren Alpha-Werten führen, ohne die inhaltliche Validität der Skalen grundsätzlich zu beeinträchtigen.

Drittens ist die vorliegende Studie explorativ angelegt und zielt darauf ab, erste empirische Hinweise zum Einsatz farbiger Tafelbilder im schulischen Kontext zu gewinnen. In explorativen Untersuchungen, insbesondere im schulpraktischen Feld, werden geringere Reliabilitätswerte häufig akzeptiert, sofern diese transparent berichtet und bei der Interpretation der Ergebnisse angemessen berücksichtigt werden.

Vor diesem Hintergrund werden die Ergebnisse der Skalenanalysen vorsichtig interpretiert. Insbesondere der gefundene Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Farbgestaltung und dem subjektiven Verständnis wird nicht als kausaler Effekt verstanden, sondern als Hinweis auf einen möglichen Zusammenhang, der in zukünftigen Studien mit reliableren Messinstrumenten weiter untersucht werden sollte.

4.2.7 Zusammenfassende Ergebnisdarstellung

Zusammenfassend zeigen sowohl die deskriptiven als auch die inferenzstatistischen Analysen, dass keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen farbigen und schwarz-weißen Tafelbildern in Bezug auf Wahrnehmung, Motivation, Aufmerksamkeit, Konzentration und subjektives Verständnis festgestellt werden konnten. Die Effektstärken bestätigen diese Befunde und weisen darauf hin, dass die beobachteten Unterschiede auch inhaltlich gering sind. Die Ergebnisse deuten somit weiter, dass Farben im Tafelbild zwar wahrgenommen werden, unter den angegebenen Bedingungen jedoch keinen signifikanten und praktisch relevanten Einfluss auf die untersuchten Variablen ausüben.

Ergänzend zeigt die Überprüfung von Hypothese H4 jedoch, dass auf individueller Ebene ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen wahrgenommener

Farbgestaltung und dem subjektiven Verständnis besteht. Lernende, die die farbliche Strukturierung des Tafelbildes als hilfreich einschätzten, berichteten auch ein höheres subjektives Verständnis.

4.3 Analyse der Farbpräferenzen

Ergänzend zu den quantitativen Skalen wurden die Farbpräferenzen der Schülerinnen und Schüler erhoben, um subjektive Wahrnehmungen und individuelle Einschätzungen zum Einsatz von Farben im Mathematikunterricht zu erfassen. Diese Daten wurden sowohl quantitativ anhand der Häufigkeiten genannter Farben analysiert.

4.3.1 Quantitative Auswertung der Farbpräferenzen

Die quantitative Analyse der offenen Nennungen zeigt, dass bestimmte Farben deutlich häufiger als hilfreich wahrgenommen wurden als andere. Am häufigsten wurde die Farbe blau genannt ($n = 55$), gefolgt von Rot ($n = 48$) und Grün ($n = 39$). Ebenfalls häufig wurden Violett ($n = 19$), Gelb ($n = 18$), Türkis ($n = 15$) und Orange ($n = 14$) als unterstützend beim Lernen genannt. Farben wie Rosa ($n = 5$) oder Schwarz ($n = 2$) spielten hingegen eine untergeordnete Rolle.

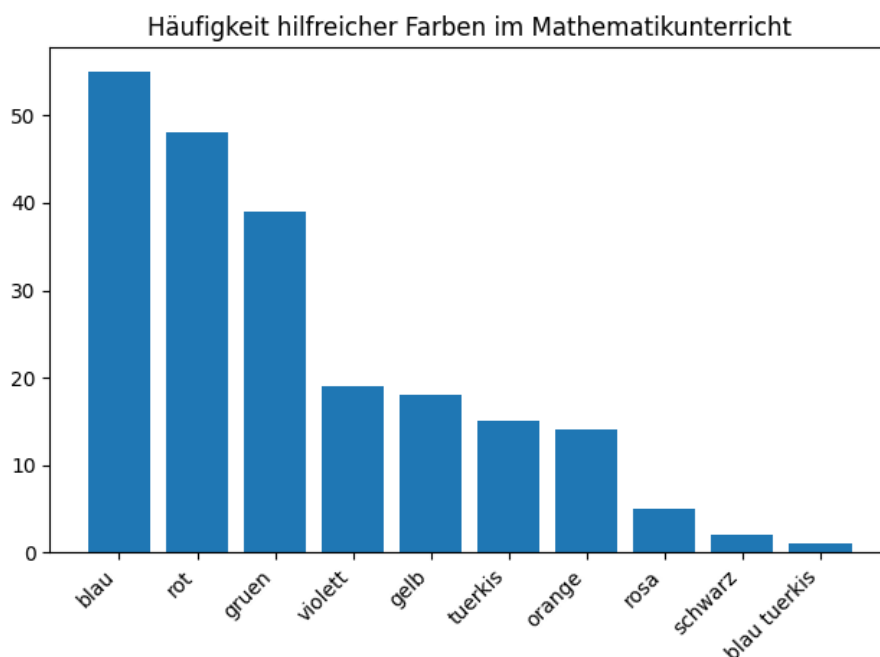


Abbildung 1 Häufigkeit als hilfreich empfundener Farben im Mathematikunterricht.

In Bezug auf als störend empfundene Farben zeigte sich ein anderes Bild. Am häufigsten wurde Gelb als störend genannt ($n = 44$), gefolgt von Türkis ($n = 35$), Violett ($n = 31$) und Orange ($n = 27$). Auch Rot wurde von einem Teil der Schülerinnen und

Schüler als störend empfunden ($n = 21$). Farben wie Blau ($n = 8$) und Grün ($n = 5$) wurden deutlich seltener als störend wahrgenommen.

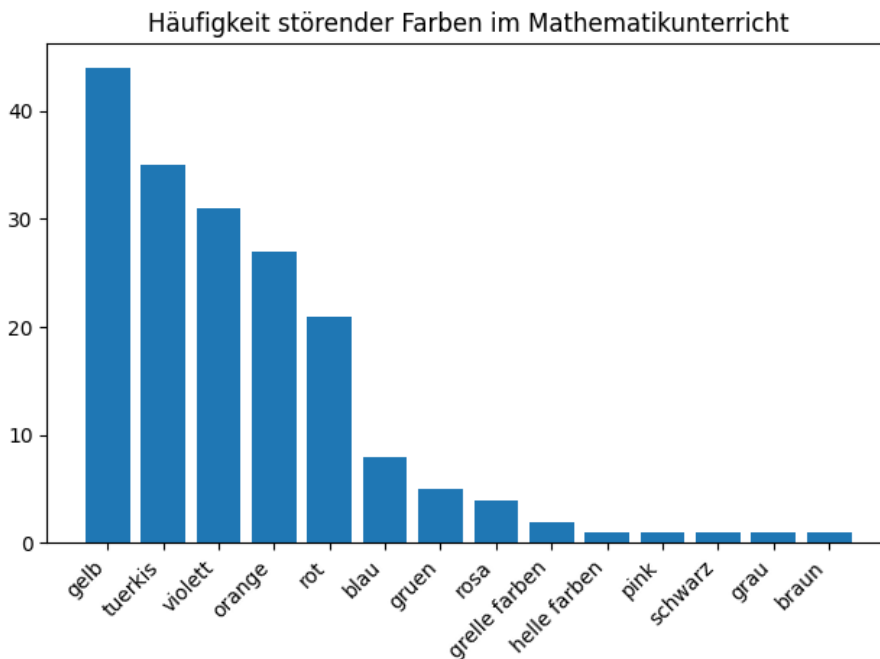


Abbildung 2 Häufigkeit als störend empfundener Farben im Mathematikunterricht.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Farben nicht einheitlich bewertet werden, sondern je nach Farbton sowohl unterstützend als auch störend wirken.

4.4 Einordnung und Diskussion der Nullbefunde

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass sich zwischen farbigen und schwarz-weißen Tafelbildern keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Bereichen Wahrnehmung, Motivation, Aufmerksamkeit, Konzentration und subjektives Verständnis feststellen ließen. Diese Nullbefunde stehen zunächst im Gegensatz zu theoretischen Annahmen, die davon ausgehen, dass Farben als visuelle Signale lernförderlich wirken können (Mayer, 2009; Sweller, 1988). Eine nähere Betrachtung der Befunde zeigt jedoch, dass die Ergebnisse durchaus mit bestehenden theoretischen Modellen vereinbar sind.

Ein möglicher Erklärungsansatz ergibt sich aus der Cognitive Load Theorie. Sweller (1988) betont, dass visuelle Gestaltungselemente nur dann lernförderlich wirken, wenn sie eine klare funktionale Rolle übernehmen. In der vorliegenden Studie waren sowohl farbige als auch das schwarz-weiße Tafelbild inhaltlich klar strukturiert, wodurch möglicherweise bereits ein hohes Maß an Verständlichkeit erreicht wurde. Unter solchen Bedingungen kann zusätzlicher Farbeinsatz keinen messbaren Mehrwert bieten, da

die kognitive Belastung bereits gering ist. Farben wirken in diesem Fall unterstützend, jedoch nicht stark genug, um signifikante Unterschiede hervorzurufen.

Auch aus der Perspektive der Multimedia-Lerntheorie lässt sich der Befund erklären. Mayer (2009) zeigt, dass Signaling-Effekte insbesondere dann wirksam sind, wenn Lernmaterialien komplex oder übersichtlich sind. Da die untersuchten Tafelbilder offenbar gut strukturiert und für die Zielgruppe verständlich waren, bestand möglicherweise kein Bedarf an zusätzlicher visueller Führung durch Farben. Die geringe Differenz zwischen den Gruppen spricht dafür, dass die Lernenden auch ohne Farbcodierung in der Lage waren, die relevanten Informationen zu identifizieren.

Darüber hinaus könnten Deckeneffekte eine Rolle gespielt haben. Die hohen Mittelwerte in beiden Gruppen deuten darauf hin, dass die Tafelbilder insgesamt sehr positiv bewertet wurden. Wenn die Bewertungen bereits nahe am oberen Skalenende liegen, verringert sich die Möglichkeit, Unterschiede zwischen den Bedingungen statistisch abzubilden. In solchen Fällen können vorhandene Effekte durch die Messinstrumente nur eingeschränkt erfasst werden.

Ein weiterer möglicher Einflussfaktor ist die Expertise der Lernenden. Der Guidance Reversal Effekt (Skulmowski & Rey, 2011) beschreibt, dass unterstützende Hinweise, wie farbliche Hervorhebungen, vor allem für weniger erfahrende Lernende hilfreich sind. Falls die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler bereits über ausreichende Vorerfahrungen im behandelten Themenbereich verfügten, könnte der zusätzliche Farbeinsatz keinen nennenswerten Effekt mehr gehabt haben.

Schließlich ist zu berücksichtigen, dass ein Tafelbild im realen Unterrichtskontext nur ein Element unter vielen ist, die Lernen beeinflussen. Faktoren wie Erklärungen der Lehrperson, Interaktion im Unterricht oder individuelle Lernvoraussetzungen können den Einfluss einzelner Gestaltungselemente überlagern. Die vorliegenden Nullbefunde sprechen daher nicht gegen den Einsatz von Farben im Tafelbild, sondern deuten vielmehr darauf hin, dass deren Wirkung kontextabhängig und begrenzt ist.

4.5 Zusammenfassendes Fazit

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, der Forschungsfrage nachzugehen, in welcher Weise der gezielte Einsatz von Farbe im Tafelbild das Verständnis und die Motivation von Schülerinnen und Schüler im Mathematikunterricht beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen farbigen und schwarz-weißen Tafelbildern keine

statistisch signifikanten Unterschiede in den untersuchten Dimensionen festgestellt werden konnten. Damit konnte ein direkter, messbarer Einfluss von Farbe auf Motivation, Aufmerksamkeit und subjektives Verständnis unter den gegebenen Bedingungen nicht nachgewiesen werden.

Die Nullbefunde der Studie legen nahe, dass farbige Tafelbilder unter günstigen Gestaltungsbedingungen keinen signifikanten Vorteil gegenüber schwarz-weißen Darstellungen bieten müssen. Farben scheinen vor allem dann wirksam zu sein, wenn sie gezielt eingesetzt werden, um komplexe oder unübersichtliche Inhalte zu strukturieren.

Gleichzeitig liefern Ergebnisse zu Hypothese H4 eine wichtige Differenzierung dieser Befunde. Die Korrelationsanalyse zeigte einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Farbgestaltung und dem subjektiven Verständnis. Lernende, die die farbliche Strukturierung des Tafelbildes als hilfreich wahrnahmen, berichteten demnach auch ein höheres subjektives Verständnis. Dieser Befund verdeutlicht, dass Farbe nicht unabhängig von der individuellen Wahrnehmung wirkt, sondern ihre Bedeutung insbesondere auf der subjektiven Ebene entfaltet. Vor dem Hintergrund der eingeschränkten Reliabilität der verwendeten Skalen ist der gefundene Zusammenhang vorsichtig zu interpretieren. Dennoch liefert die Studie wertvolle Hinweise darauf, dass farbliche Gestaltung im Mathematikunterricht vor allem eine strukturierende und wahrnehmungsbezogene Funktion einnimmt und weniger direkt leistungssteigernd wirkt.

Die Forschungsfrage wird insofern beantwortet, als dass der Einsatz von Farbe allein, ohne zusätzliche Variation der Komplexität oder der inhaltlichen Struktur, keinen entscheidenden Einfluss auf die untersuchten Lernvariablen auszuüben scheint. Vielmehr deutet sich an, dass Farben vor allem eine unterstützende Funktion übernehmen, deren Effekt von weiteren Faktoren wie Vorwissen, Aufgabenart oder Unterrichtsgestaltung abhängt. Die Ergebnisse unterstreichen somit die Bedeutung einer funktionalen und didaktisch begründeten Gestaltung von Tafelbildern und liefern wichtige Hinweise für zukünftige, differenzierter angelegte Untersuchungen.

Zusätzlich wurde explorativ geprüft, ob das Alter der Schülerinnen und Schüler mit der Lösungsrichtigkeit zusammenhängt, dabei zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Alter und korrekten Antworten, während keine Interaktion zwischen Alter und Farbbedingung festgestellt wurde.

4.6 Zukünftige Forschungsperspektiven

Für zukünftige Forschung ergeben sich aus diesen Ergebnissen mehrere Ansatzpunkte. Zum einen wäre es sinnvoll, den Einfluss farbiger Tafelbilder in komplexen oder weniger stark strukturierten Lernsituationen zu untersuchen, in denen visuelle Hervorhebungen möglicherweise einen größeren Mehrwert bieten. Zum anderen könnten unterschiedliche Farbkonventionen (z. B. systematische Zuordnung bestimmter Farben zu mathematischen Bedeutungen) gezielt variiert werden, um deren Wirkung auf Orientierung und Verständnis genauer zu analysieren. Auch eine differenzierte Betrachtung verschiedener Altersstufen oder Leistungsniveaus könnte dazu beitragen, mögliche Effekte sichtbar zu machen.

Ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt betrifft die Differenzierung der Zielgruppe. Zukünftige Studien könnten gezielt verschiedene Altersstufen oder Leistungsniveaus vergleichen, um zu überprüfen, ob farbliche Gestaltung insbesondere für jüngere Lernende oder für Schülerinnen und Schüler mit geringem Vorwissen eine stärkere Unterstützung darstellt. Eine solche differenzierte Betrachtung könnte dazu beitragen, mögliche Effekte sichtbar zu machen, die in einer heterogenen Gesamtstichprobe verborgen bleiben.

Darüber hinaus wäre es von Interesse, zukünftige Studien stärker unterrichtsnah anzulegen, etwa durch längere Beobachtungszeiträume oder durch die Kombination quantitativer Fragebogendaten mit qualitativen Methoden wie Unterrichtsbeobachtungen oder Interviews. Auf diese Weise könnten nicht nur unmittelbare Wahrnehmungen, sondern auch längerfristige Effekte des Farbeinsatzes im Mathematikunterricht erfasst werden.

Obwohl kein direkter Effekt farbiger Tafelbilder auf Motivation oder Verständnis zeigt, wies das Alter der Lernenden einen signifikanten Zusammenhang mit der Lösungsrichtigkeit auf. Dieser Befund deutet darauf hin, dass entwicklungsbedingte Unterschiede im mathematischen Verständnis eine größere Rolle spielen könnten als gestalterische Merkmale des Tafelbildes. Zukünftige Studien könnten daher untersuchen, ob der Einsatz von Farbe insbesondere für jüngere Lernende oder bei geringerem Vorwissen eine stärkere Wirkung entfaltet.

Zusammenfassend zeigt der Ausblick, dass die vorliegende Studie einen ersten empirischen Beitrag zur Untersuchung farbiger Tafelbilder leistet, gleichzeitig, aber deutlich macht, dass der Einfluss von Farben im Mathematikunterricht differenziert und

kontextabhängig betrachtet werden muss. Diese Forschungsfrage eröffnet damit weitere Perspektiven für zukünftige Untersuchungen, die den gezielten Einsatz von Farbe im Tafelbild vertiefend erforschen könnten.

4.7 Praxisbezug

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung liefern wichtige Hinweise für die schulische Praxis, insbesondere für den bewussten Einsatz von Farben im Mathematikunterricht. Die Befunde zeigen, dass farbige Tafelbilder nicht automatisch zu einem höheren Verständnis oder einer gesteigerten Motivation führen, wenn die Inhalte bereits klar strukturiert und verständlich dargestellt sind. Für die Praxis bedeutet dies, dass Farbe nicht als Selbstzweck, sondern als gezielt didaktisches Mittel eingesetzt werden sollte.

Lehrkräfte können aus den Ergebnissen ableiten, dass eine klare inhaltliche Struktur des Tafelbildes wichtiger ist als dessen farbliche Gestaltung. Farben entfalten ihre Wirkung vor allem dann, wenn sie dazu beitragen, Zusammenhänge sichtbar zu machen, zentrale Informationen hervorzuheben oder Orientierung zu bieten. Ein sparsamer und konsistenter Einsatz, etwa durch feste Farbzusordnungen für bestimmte mathematische Bedeutungen (z. B. Variablen, Ergebnisse oder Kommentare), kann die Lesbarkeit und Übersichtlichkeit unterstützen, ohne Lernende visuell zu überfordern.

Darüber hinaus legen die Ergebnisse nahe, dass farbliche Hervorhebungen insbesondere in komplexeren Lernphasen sinnvoll sein können, beispielsweise bei der Einführung neuer Inhalte oder beim Bearbeiten mehrschrittiger Lösungswege. In solchen Situationen können Farben helfen, den Blick gezielt auf relevante Aspekte zu lenken. In Übungs- oder Vertiefungsphasen hingegen, in denen Lernende bereits über ein gewisses Maß an Routine verfügen, scheint der zusätzliche Einsatz von Farbe weniger bedeutsam zu sein.

Für den Unterrichtsalltag bedeutet dies auch, dass Lehrkräfte flexibel auf die jeweilige Lerngruppe reagieren sollten. Je nach Vorwissen, Alter und Leistungsstand der Schülerinnen und Schüler kann der Nutzen farblicher Gestaltung variieren. Ein reflektierter Einsatz von Farbe, der an den Lernzielen und der Unterrichtssituation orientiert ist, erscheint daher sinnvoller als eine durchgehend intensive Farbgestaltung.

Zusammenfassend unterstreicht die vorliegende Arbeit, dass Farben im Mathematikunterricht ein unterstützendes Werkzeug darstellen, dessen Wirksamkeit darf von der

didaktischen Einbettung abhängt. Lehrkräfte sind gut beraten, Farben gezielt zur Strukturierung und Orientierung einzusetzen und dabei stets die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Inhalte in den Mittelpunkt zu stellen.

5 Anwendung der Untersuchungsergebnisse

5.1 Beispiele für gute Tafelbilder im Mathematikunterricht der Sekundarstufe I

5.1.1 Rechnen mit Brüchen

Rechnen mit Brüchen

Brüche addieren und subtrahieren:

$$\frac{3}{5} + \frac{4}{5} = \frac{3+4}{5} = \frac{7}{5}$$

Zähler + Zähler
Nenner bleibt gleich

$$\frac{6}{8} - \frac{2}{8} = \frac{6-2}{8} = \frac{4}{8} = \frac{1}{2}$$

Zähler - Zähler
Nenner bleibt gleich

WH-Brüche kürzen

$$\frac{5}{10} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{14}{21} = \frac{2}{3}$$

$$\frac{6}{9} = \frac{2}{3}$$

Abbildung 3 Rechnen mit Brüchen (Quelle: Eigene Darstellung)

Dieses Tafelbild ist gelungen, weil es den Rechenprozess mit Brüchen klar und schrittweise darstellt. Die Schülerinnen und Schüler sehen nicht nur das Ergebnis, sondern den gesamten Weg dorthin. Addition, Subtraktion und Kürzen werden getrennt voneinander gezeigt, sodass keine Überforderung entsteht.

Die Farben helfen dabei, wichtige mathematische Bestandteile zu unterscheiden. Zähler und Nenner sind farblich getrennt dargestellt, wodurch sofort sichtbar wird, welcher Teil des Bruchs sich verändert und welcher gleich bleibt. Auch Rechenschritte wie das

Kürzen werden farblich hervorgehoben, sodass die Lernenden erkennen, wann eine Umformung stattfindet.

Besonders hilfreich ist außerdem, dass Regeln sprachlich formuliert und direkt neben den Beispielen notiert sind. So wird die Verbindung zwischen Regel und Anwendung deutlich.

5.1.2 Gleichungen lösen

Gleichungen

Löse die Gleichung, führe die Probe aus und gib die Lösung an.

$$\begin{array}{lcl}
 \textcircled{2x} - \textcircled{1} + \textcircled{3x} - \textcircled{4} = \textcircled{3x} + \textcircled{8} - \textcircled{x} - \textcircled{10} & \text{Probe: } & \underline{2 \cdot 1 - 1 + 3 \cdot 1 - 4 = 3 \cdot 1 + 8 - 1 - 10} \\
 5x - 5 = 2x - 2 & / -2x & \\
 3x - 5 = -2 & / +5 & \\
 3x = 3 & / :3 & \\
 x = 1 & & \\
 L = \{1\} & &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl}
 \underline{2 - 1 + 3 - 4} = \underline{3 + 8 - 1 - 10} & & \\
 0 = 0 \text{ w.A.} \checkmark & &
 \end{array}$$

Abbildung 4 Gleichungen lösen (Quelle: Eigene Darstellung)

Dieses Tafelbild ist besonders geeignet, um den Prozess des Gleichungslösens verständlich zu machen. Die einzelnen Terme werden farblich markiert, sodass sichtbar wird, welche Teile zusammengehören oder zusammengefasst werden.

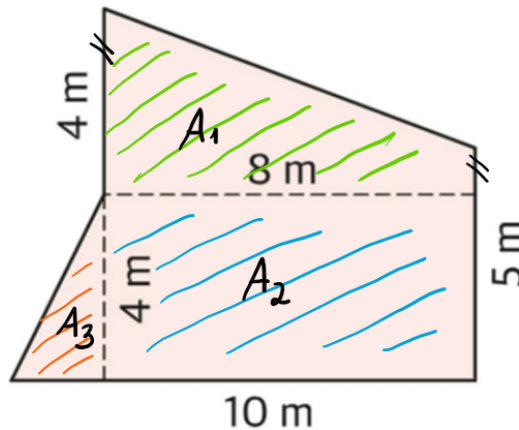
Die Farben helfen dabei, Rechenoperationen zu verfolgen, zum Beispiel beim Zusammenfassen gleichartiger Terme oder beim Umformen der Gleichungen. Dadurch können die Schülerinnen und Schüler den Veränderungsprozess besser nachvollziehen und verlieren nicht den Überblick.

Außerdem ist die Darstellung der Probe positiv hervorzuheben. Die gefundene Lösung wird farblich eingesetzt und überprüft, ob beide Seiten der Gleichung gleich sind. Durch den Einsatz der Farbe wird dieser Schritt visuell hervorgehoben und soll den Schülerinnen und Schülern dabei helfen Strukturen beim Lösen von Gleichungen zu festigen.

5.1.3 Zusammengesetzte Flächen

Zusammengesetzte Flächen

Berechne den Flächeninhalt dieser Figur.



Trapez:

$$A_1 = \frac{(a+c) \cdot h}{2}$$

$$A_1 = \frac{(1+4) \cdot 8}{2}$$

$$A_1 = \frac{5 \cdot 8}{2}$$

$$A_1 = 20 \text{ m}^2$$

Rechteck:

$$A_2 = a \cdot b$$

$$A_2 = 10 \cdot 5$$

$$A_2 = 50 \text{ m}^2$$

Dreieck:

$$A_3 = \frac{a \cdot b}{2}$$

$$A_3 = \frac{2 \cdot 4}{2}$$

$$A_3 = 4 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{ges}} = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_{\text{ges}} = 20 + 50 + 4$$

$$A_{\text{ges}} = 74 \text{ m}^2$$

Abbildung 5 Zusammengesetzte Flächen (Quelle: Eigene Darstellung)

Hier wird Schritt für Schritt durch das Zerlegen in bekannte Formen eine Gesamtfläche für eine komplexe Figur berechnet. Jede Teilfigur ist durch eine andere Farbe hervorgehoben worden. Dadurch sehen die Schülerinnen und Schüler sofort, welche Bereiche zusammengehören und getrennt berechnet werden müssen. Gleichzeitig werden die passenden Formeln direkt daneben notiert. So entsteht eine klare Verbindung zwischen Figur, Teilfläche und Berechnung.

Die abschließende Zusammenführung aller Teilflächen zur Gesamtfläche ist ebenfalls farblich hervorgehoben. Dies soll den Lernenden helfen den gesamten Lösungsweg visuell nachvollziehen zu können. Diese Darstellung soll das Verständnis von Flächenzerlegung als Strategie unterstützen.

5.1.4 Besondere Punkte im Dreieck

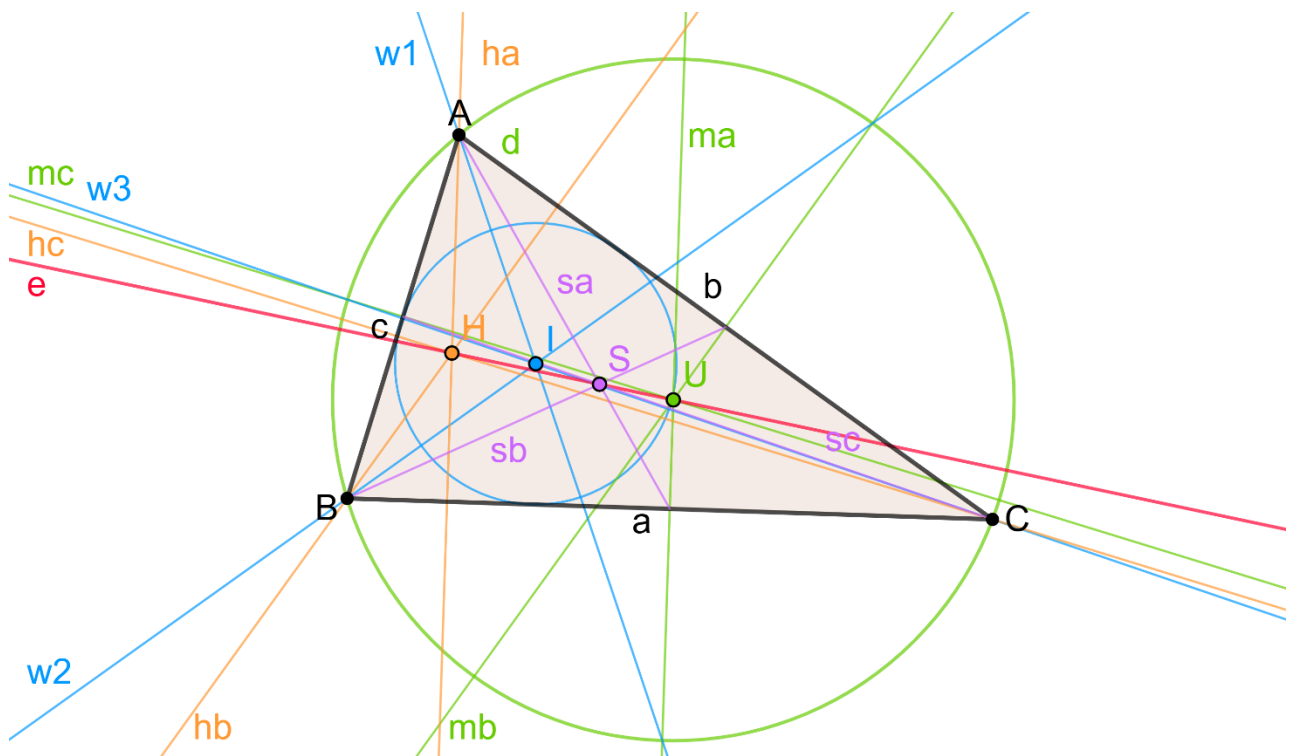


Abbildung 6 Besondere Punkte im Dreieck (Quelle: Eigene Darstellung)

Dieses Tafelbild ist ein gutes Beispiel für die Darstellung komplexer geometrischer Zusammenhänge. In einem Dreieck werden die vier besonderen Punkte im Dreieck mit jeweils getrennten Farben dargestellt.

Die Farbgestaltung ist hier besonders wichtig, weil eine große Anzahl an Geraden und Strecken nötig ist, um die besonderen Punkte im Dreieck zu ermitteln. Jeder besondere Punkt im Dreieck (Umkreismittelpunkt = U, Inkreismittelpunkt = I, Schwerpunkt = S, Höhenschnittpunkt = H) und deren dazugehörigen Geraden, Strecken oder Kreise haben daher eine zusammengehörige Farbe. Dadurch können die Schülerinnen und Schüler sofort erkennen, welche geometrischen Hilfen zu einem besonderen Punkt gehören und welchen Zweck sie erfüllen. Ohne farbliche Markierung wäre die Darstellung vermutlich für Lernende sehr übersichtlich.

Alle vier Tafelbilder zeigen, wie Farben sinnvoll eingesetzt werden können, um mathematische Strukturen sichtbar zu machen. Sie helfen beim Orientieren, beim Nachvollziehen von Lösungswegen und beim subjektiven Verstehen abstrakter Inhalte. Dadurch ist ihr Einsatz besonders gut geeignet für den Mathematikunterricht der Sekundarstufe I.

6 Literaturverzeichnis

- Baddeley, A. D. (1992). *Working memory*. *Science*, 255(5044), 556–559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- Chang, Y.-H., Lin, C.-H., & Lin, Y.-C. (2016). *The effect of color coding on learning from instructional videos*. *Computers & Education*, 102, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.06.003>
- Conway, B. R. (2014). *Color signals: Evolution, processing, and perception*. *Visual Neuroscience*, 31(2), 1–25. <https://doi.org/10.1017/S095252381400001X>
- de Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2009). Towards a framework for attention cueing in instructional animations: Guidelines for research and design. *Educational Psychology Review*, 21(2), 113–140. <https://doi.org/10.1007/s10648-009-9098-7>
- Diachenko, N. V., Kudrin, A. V., & Komarov, A. A. (2022). *The influence of color on cognitive and emotional activity of students*. *European Proceedings of Educational Sciences*, 3(1), 112–120.
- Dillon, K., Carr, M., & Guo, J. (2024). *The effect of color-coding on students' perception of learning in introductory mechanics*. arXiv:2411.14605. <https://arxiv.org/abs/2411.14605>
- Dzulkifli, M. A., & Mustafar, M. F. (2013). *The influence of colour on memory performance: A review*. *The Malaysian Journal of Medical Sciences*, 20(2), 3–9.
- Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2014). *Effects of perceiving color on psychological functioning in humans*. *Annual Review of Psychology*, 65, 95–120. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115035>
- Elliot, A. J., Maier, M. A., Moller, A. C., Friedman, R., & Meinhardt, J. (2007). *Color and psychological functioning: The effect of red on performance attainment*. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), 154–168. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.1.154>
- Er, Z. (2024). *Examination of the relationship between mathematical and critical thinking skills and academic achievement of secondary school students*. *Pedagogical Research*, 9(1), Article em0184. <https://doi.org/10.29333/pr/14028>

- Helmke, A. (2012). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Klett.
- Hupka, R. B., Zaleski, Z., Otto, J., Reidl, L., & Tarabrina, N. V. (1997). *The colors of anger, envy, fear, and jealousy: A cross-cultural study*. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 28(2), 156–171. <https://doi.org/10.1177/0022022197282002>
- Jank, W., & Meyer, H. (2019). *Didaktische Modelle* (13. Aufl.). Cornelsen.
- Kercood, K., Zentall, S. S., Vinh, M., & Tom-Wilkinson, S. (2009). *The effects of highlighting on the math computation performance and off-task behavior of students with attention problems*. *Behavioral Disorders*, 34(4), 223–237.
- Klieme, E., Schümer, G., & Knoll, S. (2001). *Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I: „Aufgabenkultur“ und Unterrichtsqualität*. *Der Mathematikunterricht*, 47(5), 5–15.
- Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B., & Tonello, G. (2006). *The impact of light and colour on psychological mood: A cross-cultural study of indoor work environments*. *Ergonomics*, 49(14), 1496–1507. <https://doi.org/10.1080/00140130600858142>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., Ozcelik, E., & Kalyuga, S. (2009). *When less is more: Meaningful learning from visual and verbal summaries of science textbook lessons*. *Journal of Educational Psychology*, 101(3), 623–634. <https://doi.org/10.1037/a0014237>
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). *Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning*. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6
- Nilsson, P., & Eckert, A. (2019). *Color coding in mathematics representations and students' understanding*. *Mathematics Education Research Journal*, 31(3), 281–300. <https://doi.org/10.1007/s13394-018-0241-3>
- Ozcelik, E., Karakus, T., Kursun, E., & Cagiltay, K. (2009). *An eye-tracking study of how color coding affects multimedia learning*. *Computers & Education*, 53(2), 445–453. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.03.002>
- Padberg, F., & Benz, C. (2011). *Didaktik der Arithmetik* (4. Aufl.). Springer.

- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). *Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research*. *Educational Psychologist*, 37(2), 91–105. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702_4
- Prediger, S., Link, M., & Weinert, H. (2018). *Mathematiklernen verstehen und gestalten*. Springer Spektrum.
- Schiefele, U., & Schaffner, E. (2015). *Motivation und Lernen im schulischen Kontext*. In W. Schneider & U. Lindenberger (Hrsg.), *Handbuch der Entwicklungspsychologie* (pp. 493–502). Hogrefe.
- Schnotz, W. (2014). *Multimedia comprehension: Cognitive processes and instructional principles*. Cambridge University Press.
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2020). *A review of eye-tracking research on cognitive load theory*. *Educational Psychology Review*, 32(2), 377–389. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09479-2>
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2021). *Guidance reversal in multimedia learning: When cueing can impair learning*. *Computers & Education*, 163, 104098. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104098>
- Sweller, J. (1988). *Cognitive load during problem solving: Effects on learning*. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). *Cognitive architecture and instructional design*. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Tulodziecki, G., & Herzig, B. (2010). *Mediendidaktik: Medien in Lehr- und Lernprozessen*. Klinkhardt.
- Valdez, P., & Mehrabian, A. (1994). *Effects of color on emotions*. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(4), 394–409. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.123.4.394>

Valinote, J. (2002). *The use of color-coded symbols to improve fraction learning*. *Journal of Educational Research*, 95(5), 294–302.
<https://doi.org/10.1080/00220670209596604>

Wittmann, E. C., & Müller, G. N. (2010). *Handbuch produktiver Mathematikunterricht*. Klett.

7 Anhang

7.1 Übersicht der Variablen und Auswertungsstrategie

Nr.	Variable/Item	Fragebogen-Item	Skalenniveau/Co-dierung	Auswertungsstrategie
1	Geschlecht	Bitte wähle dein Geschlecht aus.	Nominal (weiblich, männlich, divers)	Deskriptive Statistik, Häufigkeiten, Prozentwert
2	Alter	Wähle dein Alter aus.	Ordinal (9-16 Jahre, kodiert als 1-8)	Deskriptive Statistik, Häufigkeiten
3	Schulstufe	Welche Schulstufe besuchst du aktuell?	Ordinal (5. Klasse, 6. Klasse, 7. Klasse, 8. Klasse, sonstiges)	Deskriptive Statistik, Häufigkeiten
4	Verständnis (objektiv)	Wie berechnet man den Umfang eines Rechtecks?	Nominal	Deskriptive Statistik
5	Verständnis (objektiv)	Wie berechnet man den Umfang eines Quadrats?	Nominal	Deskriptive Statistik
6	Wahrnehmung	Das Tafelbild war für mich übersichtlich.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse

7	Wahrnehmung	Ich konnte die wichtigen Schritte leicht erkennen.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse, Korrelation mit Verständnis
8	Wahrnehmung	Die Darstellung war ansprechend.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse
9	Motivation	Durch das Tafelbild hatte ich mehr Lust, mich mit der Aufgabe zu beschäftigen.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse
10	Motivation	Ich konnte mich gut konzentrieren.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse
11	Motivation	Das Tafelbild hat mich aufmerksamer gemacht.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse
12	Verständnis (subjektiv)	Ich konnte die Lösungswege gut nachvollziehen.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs.

				einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse
13	Verständnis (subjektiv)	Die Darstellung hat mir geholfen, die Aufgabe besser zu verstehen.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse
14	Farben (nur Experimentalgruppe)	Die Farben haben mir geholfen, das Tafelbild besser zu verstehen.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse, Korrelation mit Motivation
15	Farben (nur Experimentalgruppe)	Die Farben waren nützlich, Inhalte auseinanderzuhalten.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse, Korrelation mit Motivation
16	Farben (nur Experimentalgruppe)	Die Farben waren angenehm zu sehen.	Likert-Skala 1-5	Deskriptive Statistik, Mittelwertvergleiche farbig vs. einfarbig, t-Test, Reliabilitätsanalyse, Korrelation mit Motivation
17	Farbenpräferenz (nur	Welche Farben findest du im	Nominal/ Mehrfachauswahl (Rot, Grün, Blau Gelb, Orange,	Häufigkeitsanalyse

	Experimental- gruppe)	Mathematikunter- richt hilfreich?	Violett, Türkis, Sons- tiges)	
18	Farbenpräfe- renz (nur Ex- perimental- gruppe)	Welche Farben fin- dest du beim Ler- nen eher störend?	Nominal/ Mehrfach- auswahl (Rot, Grün, Blau Gelb, Orange, Violett, Türkis, Sons- tiges)	Häufigkeitsanalyse

7.2 Fragebogen Gruppe 1: farbiges Tafelbild

Tafelbilder im Mathematikunterricht 1

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

vielen Dank, dass du an dieser Befragung teilnimmst. In dieser Studie möchte ich herausfinden, wie Tafelbilder im Mathematikunterricht wahrgenommen werden.

Das Ausfüllen des Fragebogens dauert etwa 10 bis 15 Minuten. Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten – wichtig ist nur deine persönliche Einschätzung.

Bitte beachte: Der Fragebogen richtet sich ausschließlich an Schüler:innen der Sekundarstufe I (5.–8. Schulstufe).

Alle Angaben werden anonym erhoben und streng vertraulich behandelt. Die Teilnahme ist freiwillig, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, wäre es sehr hilfreich, wenn du den Fragebogen bis zum Ende ausfüllst.

Vielen Dank für deine Unterstützung und dein Interesse! :)

1

Bitte wähle dein Geschlecht aus:

- ☐ weiblich
- ☐ männlich
- ☐ divers

2

Wähle dein Alter aus:

- ☐ 9 Jahre
- ☐ 10 Jahre
- ☐ 11 Jahre
- ☐ 12 Jahre
- ☐ 13 Jahre
- ☐ 14 Jahre
- ☐ 15 Jahre
- ☐ 16 Jahre

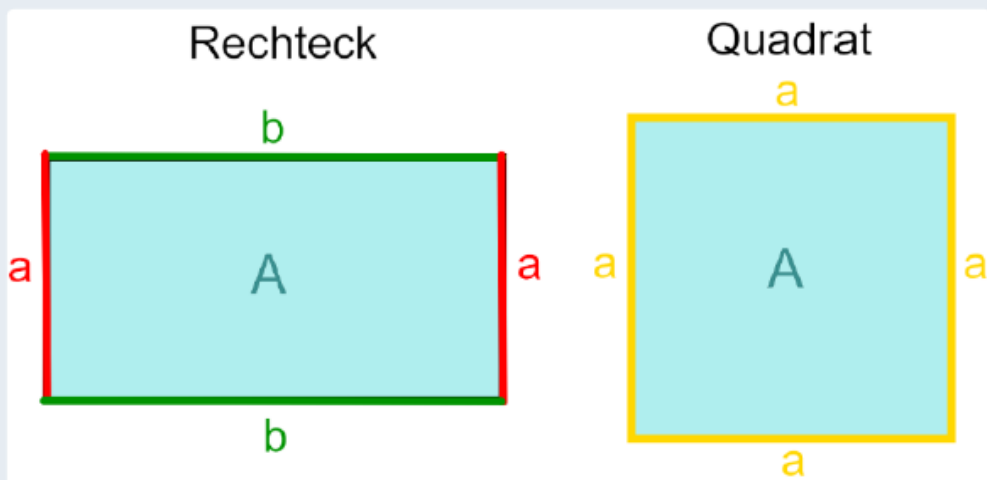
3

Welche Schulstufe besuchst du aktuell?

- ☐ 5. Schulstufe (1. Klasse)
- ☐ 6. Schulstufe (2. Klasse)
- ☐ 7. Schulstufe (3. Klasse)
- ☐ 8. Schulstufe (4. Klasse)
- ☐ Sonstiges

4

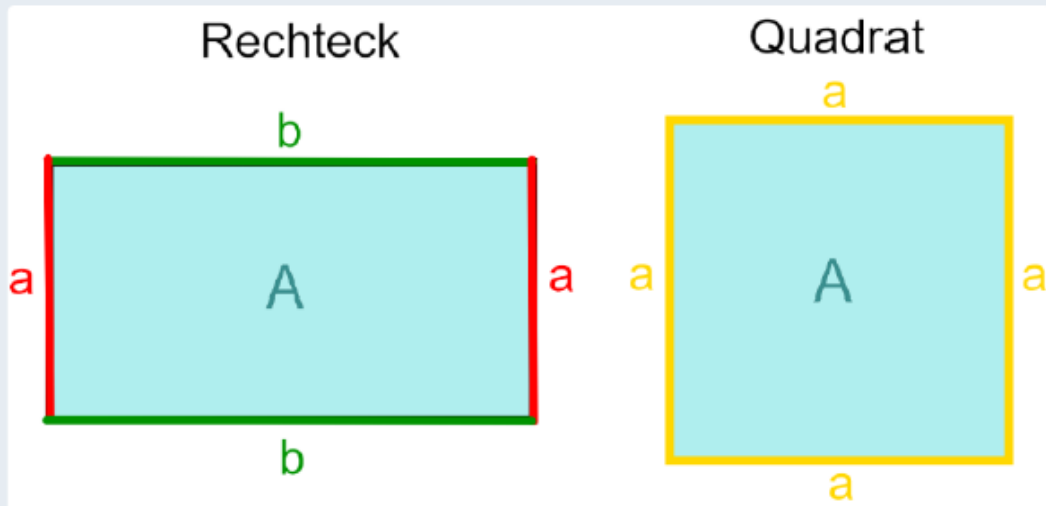
Sieh dir das Tafelbild genau an und beantworte folgende Frage: Wie berechnet man den Umfang eines Rechtecks?



- ☐ $u = a + b$
- ☐ $u = a \cdot b$
- ☐ $u = 2a + 2b$
- ☐ $u = 4a$

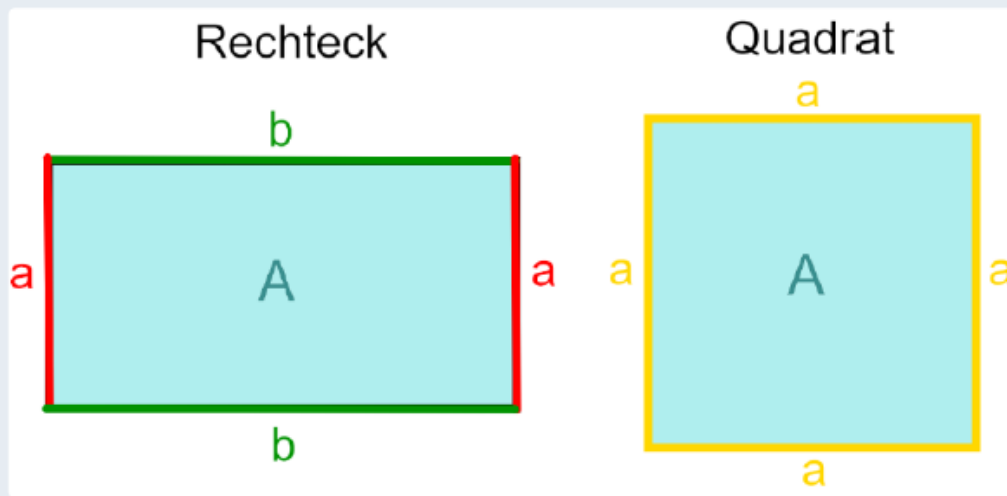
5

Sieh dir das Tafelbild genau an und beantworte folgende Frage: Wie berechnet man den Umfang eines Quadrats?



- ☐ $u = a \cdot b$
- ☐ $u = a \cdot a$
- ☐ $u = 4 \cdot a$
- ☐ $u = a + a$

Hier siehst du das Tafelbild von vorhin erneut. Bewerte dazu nun die untenstehenden Aussagen!



	stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	stimme teilweise zu	stimme zu	stimme voll zu
Das Tafelbild war für mich übersichtlich.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich konnte die wichtigen Schritte leicht erkennen.	☐	☐	☐	☐	☐
Die Darstellung war ansprechend.	☐	☐	☐	☐	☐
Durch das Tafelbild hatte ich mehr Lust, mich mit der Aufgabe zu beschäftigen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich konnte mich gut konzentrieren.	☐	☐	☐	☐	☐
Das Tafelbild hat mich aufmerksamer gemacht.	☐	☐	☐	☐	☐

Ich konnte die Lösungswege gut nachvollziehen.

☐☐☐☐☐

Die Darstellung hat mir geholfen, die Aufgabe besser zu verstehen.

☐☐☐☐☐

Die Farben haben mir geholfen, das Tafelbild besser zu verstehen.

☐☐☐☐☐

Die Farben waren nützlich, um Inhalte auseinanderzuhalten.

☐☐☐☐☐

Die Farben waren angenehm zu sehen.

☐☐☐☐☐

7

Welche Farben findest du im Mathematikunterricht hilfreich?

- ☐ Rot
- ☐ Grün
- ☐ Blau
- ☐ Gelb
- ☐ Orange
- ☐ Violett
- ☐ Türkis
- ☐ Sonstiges

Welche Farben findest du beim Lernen eher störend?

- ☐ Rot
- ☐ Grün
- ☐ Blau
- ☐ Gelb
- ☐ Orange
- ☐ Violett
- ☐ Türkis
- ☐ Sonstiges

7.3 Fragebogen Gruppe 2: schwarz-weiß Tafelbild

Tafelbilder im Mathematikunterricht 2

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

vielen Dank, dass du an dieser Befragung teilnimmst. In dieser Studie möchte ich herausfinden, wie Tafelbilder im Mathematikunterricht wahrgenommen werden.

Das Ausfüllen des Fragebogens dauert etwa 10 bis 15 Minuten. Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten – wichtig ist nur deine persönliche Einschätzung.

Bitte beachte: Der Fragebogen richtet sich ausschließlich an Schüler:innen der Sekundarstufe I (5.–8. Schulstufe).

Alle Angaben werden anonym erhoben und streng vertraulich behandelt. Die Teilnahme ist freiwillig, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, wäre es sehr hilfreich, wenn du den Fragebogen bis zum Ende ausfüllst.

Vielen Dank für deine Unterstützung und dein Interesse! :)

1

Bitte wähle dein Geschlecht aus:

- ☐ weiblich
- ☐ männlich
- ☐ divers

2

Wähle dein Alter aus:

- ☐ 9 Jahre
- ☐ 10 Jahre
- ☐ 11 Jahre
- ☐ 12 Jahre
- ☐ 13 Jahre
- ☐ 14 Jahre
- ☐ 15 Jahre
- ☐ 16 Jahre

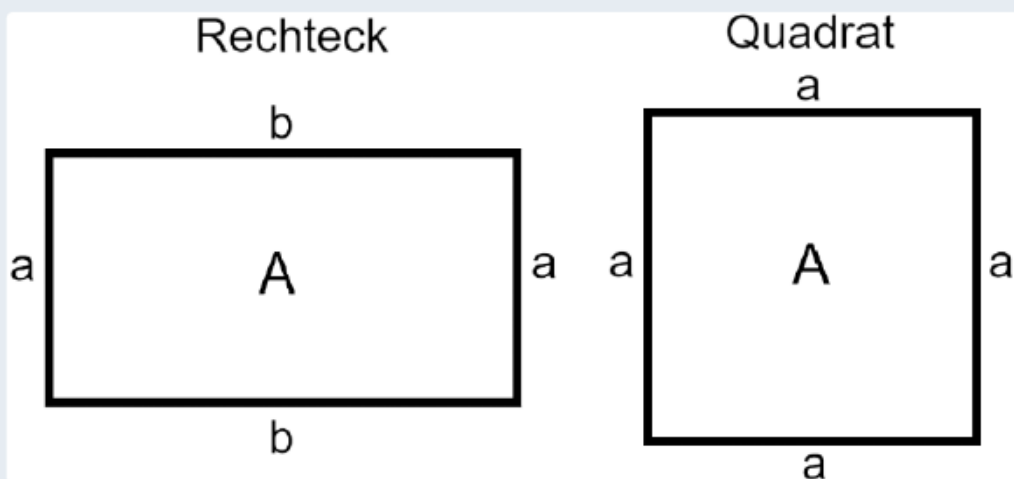
3

Welche Schulstufe besuchst du aktuell?

- ☐ 5. Schulstufe (1. Klasse)
- ☐ 6. Schulstufe (2. Klasse)
- ☐ 7. Schulstufe (3. Klasse)
- ☐ 8. Schulstufe (4. Klasse)
- ☐ Sonstiges

4

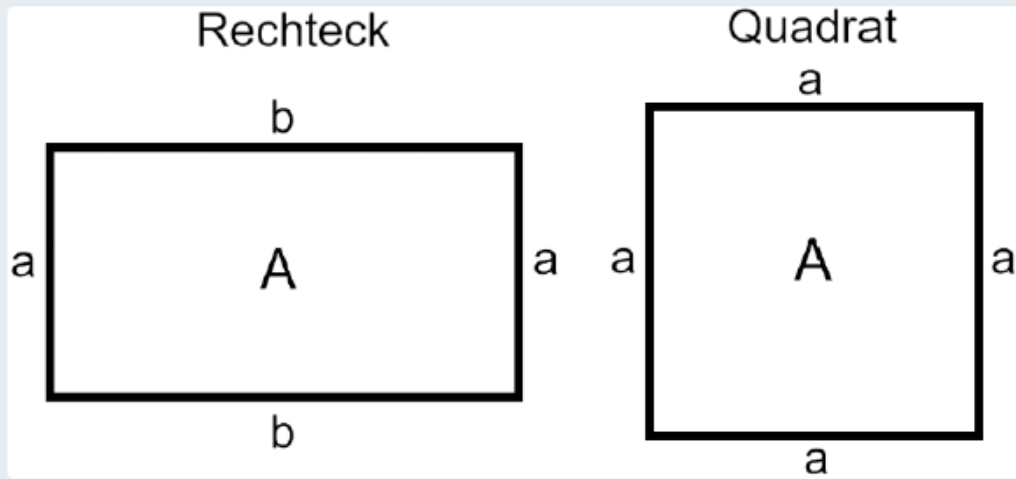
Sieh dir das Tafelbild genau an und beantworte folgende Frage: Wie berechnet man den Umfang eines Rechtecks?



- ☐ $u = a + b$
- ☐ $u = a \cdot b$
- ☐ $u = 2a + 2b$
- ☐ $u = 4a$

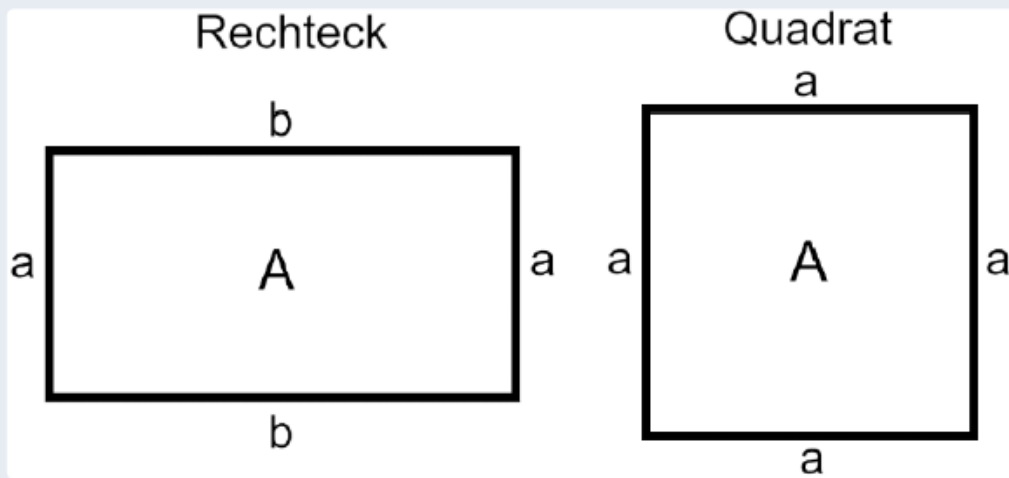
5

Sieh dir das Tafelbild genau an und beantworte folgende Frage: Wie berechnet man den Umfang eines Quadrats?



- ☐ $u = a \cdot b$
- ☐ $u = a \cdot a$
- ☐ $u = 4 \cdot a$
- ☐ $u = a + a$

Hier siehst du das Tafelbild von vorher erneut. Bewerte dazu nun die untenstehenden Aussagen!



stimme gar nicht
zu

stimme nicht zu

stimme teilweise
zu

stimme zu

stimme voll zu

Das Tafelbild
war für mich
übersichtlich.

☐
☐
☐
☐
☐

Ich konnte die
wichtigen
Schritte leicht
erkennen.

☐
☐
☐
☐
☐

Die Darstellung
war
ansprechend.

☐
☐
☐
☐
☐

Durch das
Tafelbild hatte
ich mehr Lust,
mich mit der
Aufgabe zu
beschäftigen.

☐
☐
☐
☐
☐

Ich konnte mich
gut
konzentrieren.

☐☐☐☐☐

Das Tafelbild
hat mich
aufmerksamer
gemacht.

☐☐☐☐☐

Ich konnte die
Lösungswege
gut
nachvollziehen.

☐☐☐☐☐

Die Darstellung
hat mir
geholfen, die
Aufgabe besser
zu verstehen.

☐☐☐☐☐