

Metakognitives Kurzzeittraining im Mathematikunterricht

Evaluationsstudie durch Ambulantes Monitoring

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie

der Ludwig-Maximilians-Universität

München

vorgelegt von

Barbara Klostermeyer

aus Bremen

2025

Referent/in: PD Dr. Jörg Meinhardt

Korreferentin: Prof. Dr. Beate Sodian

Tag der mündlichen Prüfung: 24.01.2025

Danksagung

Mein besonders herzlicher Dank gilt der kontinuierlichen Betreuung und den vertieften fachkundigen Überlegungen und der Beratung durch PD Dr. J. Meinhardt.

Frau Professor Dr.B.Sodian danke ich für ihre erfahrungsreichen, fachlichen Impulse, die zur Weiterentwicklung der Arbeit beigetragen haben. Danke, Herr Prof. Dr. Kiel für Ihren Beisitz an der Disputation. Ich danke Frau Dr. C. Thoermer für ihre kompetente und freundliche Unterstützung und ihr inhaltliches Hinterfragen.

Darüber hinaus möchte ich mich bei allen beratenden Unterstützern für die Motivation und die wertvollen Tipps bedanken: dem Schreibzentrum der LMU, Dr. S. Verschoor, Dr. M. Müller, den studentischen Hilfskräften: Nina (Frau Dr. Kühn-Popp), Marina, Sibel, und Thomas.

Dank der Genehmigung durch die Schulaufsicht, und der organisatorischen Umsetzung an der Schule, konnte diese Studie durchgeführt werden.

Für die gute Mitarbeit bedanke ich mich bei den Schülern/ und Schülerinnen, die an der Studie teilgenommen haben und deren Eltern, die der Teilnahme zugestimmt haben.

Besonders aber möchte ich meiner Familie für ihre Geduld und große emotionale Unterstützung danken und die damit verbundene thematische Begleitung.

Für meine Eltern, die stets an mich geglaubt haben.

Selbständigkeitserklärung

Ich, Barbara Klostermeyer versichere, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel
„Metakognitives Kurzzeittraining im Mathematikunterricht

– Evaluationsstudie durch Ambulantes Monitoring“,

selbständig verfasst habe und keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

BARBARA KLOSTERMEYER
Oktober, 2024

Detailed summary

This study was conducted to investigate whether metacognitive skills in maths lessons can also be successfully taught in short-term training.

To this end, a suitable metacognitive short-term training programme was newly developed and evaluated by means of ambulatory monitoring. This method has the advantage, that data can be collected in an ecologically valid manner, directly during ongoing lessons and includes physiological measures as well as self-report data.

Metacognition refers to knowledge about one's own cognitive processes or simply thinking about thinking. In contrast to cognitions, the cognitive contents or functions themselves become the objects of mental reflection. A distinction is often made between two dimensions. On the one hand, metacognitive knowledge, which includes knowledge about people, tasks and strategies. On the other hand, metacognitive control, which includes phenomena such as monitoring and self-regulation (Flavell, 1979; Flavell et al., 1993; Shilo & Kramarski, 2019; Veenman et al., 2006).

The importance of metacognition for solving mathematical problems, as well as learning success and performance in maths, is considered evident. It is therefore obvious that the planning, monitoring and regulation of learning and thinking processes leads to improved performance and is therefore of great importance for self-regulated learning (Briggs, 2014; Chen, 2010; Desoete et al, 2001; Hasselhorn, 1992; Pressley, Borkowski & Schneider, 1987; Stevens et al, 2004; Van Slooten, 2013).

The influence of metacognitive skills on maths has been less well investigated empirically to date. In particular, there are only a few empirical studies for the school-relevant age. In contrast, a variety of theoretical correlations between metacognitive processes and the processing of mathematical tasks and problems can be derived here (Mungengast, 2022).

Veenman (2006) or Schneider and Artelt (2010), for example, emphasize the considerable influence of metacognition on mathematics performance, while Hasselhorn (1992) or Pressley, Borkowski and Schneider (1987) demonstrate the effectiveness of metacognition on learning success.

Metacognition accompanies even simple arithmetic tasks, as here too cognitive processes have to be controlled and results checked for correctness. For more complex tasks, metacognitive strategy selection and monitoring are increasingly in the foreground. The less automated arithmetic operations are, the more important their metacognitive support appears

to be (Lingel, 2019; Lucangeli et al., 2019). Desoete et al. (2001) stated that metacognitive knowledge and metacognitive skills account for 37% of performance when solving mathematical problems.

The training of metacognition in mathematics lessons appears to make sense, as there are hardly any training programmes for this subject. Most of the existing training programmes are very complex and comprise numerous training units (Perels et al., 2005; Perels et al., 2007; Schuster et al., 2018). To date, there has been a lack of short training programmes that can also be implemented directly in mathematics lessons. The advantage of short training programmes is that they take up less teaching time.

Learning processes and problem-solving thinking are accompanied by a variety of emotions. Pekrun's control-value theory (2006; control-value model, CVT) describes the significant role of learning emotions for academic performance. Emotions can promote mathematical problem-solving thinking (positive task-related emotions, e.g. joy, flow) or hinder it (negative task-related emotions such as fear, hopelessness).

The stress processes caused by negative emotions can be explained theoretically by the strain on cognitive resources. According to the Cognitive Load Theory (CLT), the resources of the working memory that are required to solve instructional tasks and for learning tend to be limited (Sweller, 1988; Sweller et al., 2011). The method of ambulatory monitoring is an excellent method for measuring mental stress.

The basic idea of outpatient assessment/monitoring is to record psychological (e.g. self-report data) and psychophysiological parameters (e.g. activation and stress measures such as skin conductance and heart rate) in everyday environments and situations. These variables are measured in the outpatient assessment using portable data recorders, which enables data to be collected directly in the field in the relevant everyday situations and therefore does not require the patient to be hospitalised and is independent of the laboratory. The advantages of this relatively new method are obvious. The current experience and behaviour can be recorded promptly and closely linked to the respective situation in the natural environment.

The data collected in this way is therefore much less distorted by faulty memories than is possible with conventional methods. By including psychophysiological variables, it is possible to analyse how psychological and physical changes are connected. The use of relatively small data recorders that are worn close to the body minimizes the disturbance or distraction for the subjects. Psychophysiological indicators also offer an additional advantage. The data can be collected over the entire course of the process without having to interrupt the

activity of the person being assessed. Overall, the ambulatory assessment method has very high ecological validity and is ideally suited to answering research questions about temporal processes within a person, but also about differences in these processes between people (Reuschenbach & Funke, 2011; Trull & Ebner-Priemer, 2013).

In the present study, the method of ambulatory assessment was used to map cognitive and emotional stress processes during the processing of maths tasks in the classroom. Data was collected on two different levels for this purpose. At the self-report level, metacognitive competence and the emotional experience of the situation were recorded. At the level of psychophysiological data, the heart rate and physical movement activity were recorded using wearable data recorders, which also served as a control variable for the heart rate.

Under everyday conditions, the largest source of variance in heart rate changes is physical activity. By monitoring physical activity, it is now possible to determine the non-metabolic or "additional heart rate". This is the portion of the heart rate that is not due to physical causes (mainly dynamic and static muscle activity, but also thermoregulatory effects), but to cognitive or emotional stress (e.g. Wilhelm & Roth, 1996; Fahrenberg, Leonhart & Foerster, 2002). In this context, a change in heart rate with constant physical activity is considered an expression of a change in mental stress if rating data simultaneously indicate a cognitive or emotional change in stress.

The research design of this study is based on a randomised control group design with two measurement times and two groups (training and control group). The first measurement time point (t1) was immediately before the start of training, the second measurement time point (t2) was immediately after the end of training. Pupils were randomly assigned to the training and control groups before the start of the study.

Various self-report data (including ratings on emotional experience and metacognitive competence) and physiological data (heart rate, intensity of movement) were collected at both measurement times. Following measurement time 1, metacognitive training was carried out with the students in the training group. The participants in the control group received comparable lessons with the exception of the metacognitive skills training. At measurement time 2, the procedures and surveys from measurement time 1 were repeated.

The metacognitive training used in the present study is based on existing study programmes (e.g. Schneider, 2008; Leopold & Leutner, 2002; Perels et al., 2005; Hasselhorn & Mähler, 2000), but was redesigned to meet the specific requirements of the short intervention aimed at here with only a few training units. A total of N=43 pupils from the 8th

Detailed summary

grade of an Upper Bavarian secondary school were recruited as study subjects. After excluding five data sets with artefacts (missing values, unusable physiological data), N=18 data sets for the training group and N=20 data sets for the control group were statistically analysed.

The results of the metacognitive training show that the training group and the control group do not differ systematically in terms of metacognitive competence at the beginning, i.e. at measurement time 1. However, after the training, at measurement time 2, the students in the training group rated themselves significantly higher in terms of their metacognitive competence than the students in the control group. A significant increase in metacognitive competence was also recorded in the training group from measurement time t1 to measurement time t2. In contrast, the control group did not differ systematically between the time points before (t1) and after the training (t2).

Taken together, these results show a systematic increase in metacognitive competence in connection with short-term metacognitive training. The Cohen's d effect size is 0.755, which is almost equivalent to a large effect. This finding is also remarkable in that the training only lasted a total of 3 x 2 hours and can therefore be considered highly effective.

On the affective level, training success was evaluated via learning and performance-related emotions. Joy, pride and flow were analysed for the positive valence range and fear, anger, hopelessness and boredom for the negative valence range.

Specific effects of the training can be seen at the level of both positive and negative learning and performance emotions, with a significant increase in joy and pride and a significant decrease in hopelessness in the course of the metacognitive training.

Emotional findings show a significant reduction in the experience of stress, which can be explained by increased self-efficacy and control competence. As emotional stress decreases, this frees up processing resources that can be used for task processing.

In the present study, two physiological variables were collected in addition to the verbal data: heart rate and physical activity. Movement activity is considered here in two ways. First as an indicator of activation (motor restlessness as a correlate of neuromuscular activity) and second as a control measure for heart rate.

As the heart rate varies systematically with the movement activity, it is necessary to control this if the heart rate is to be used as a mental measure of activation. If the movement component is partialised out of the heart rate activity, it is possible to look at the part of the heart rate activity that is attributable to emotional-cognitive stress processes. The covariance analytical evaluation shows a significant interaction between test time and movement difference

Detailed summary

Accordingly, the heart rate varies largely depending on the exercise activity. Subsequent correlative analyses show that the influence of exercise is greatest in the control group at measurement time t2 (after training). For the training group, there was no significant correlation between physical activity and heart rate. Accordingly, a smaller proportion of variance in the increase in heart rate may also have been caused by factors other than exercise.

Schwerdtfeger and Kohlmann (2004) and Schwerdtfeger et al. (2008) emphasise task engagement and self-efficacy as indicators of increased heart rates. The training group showed a systematic increase in positive emotions such as joy and pride and a reduction in hopelessness on the negative valence side. From the perspective of Pekrun's (2006) control value theory, joy and pride as positive learning-related emotions result in an increased allocation of cognitive resources to the task, accompanied by increased motivation and interest.

The reduction of negative learning-related emotions can have the opposite effect, whereby the attention resources released in this way can then be put at the service of the task. These findings are consistent with the control value theory of performance emotions (Pekrun, 2006) and are compatible with neurocognitive models of capacity allocation under the influence of emotion (Meinhardt & Pekrun, 2003).

Exercise activity not only served as a control variable for heart rate, it also served as a further physiological activation indicator in its own right. The findings show that movement activity increases over the course of the training programme, although the increase is lower for the training group than for the control group. Accordingly, motor restlessness during task processing is comparatively lower in the training group, which, if interpreted cautiously, allows the conclusion that the improved metacognitive competence is accompanied by increased concentration. This interpretation is supported by the finding that the absorption of stimuli is accompanied by increased muscular immobilisation (Schandry, 1996).

Exploratory analyses showed clear differences when comparing the heart rates of both groups, averaged over t1 and t2, between the task, rest and night questionnaires. The results show that the HR differs significantly between task processing and rest, and between task processing and night. The HR for task processing is significantly higher.

Both groups showed correlations to the emotional experience, regardless of the training. This could be determined for the emotions fear and hopelessness. The good results of this study show an increase in pupils' metacognitive skills and encourage the teaching of

Detailed summary

metacognitive knowledge in maths lessons, even more so than before, as part of short-term training.

There was also a positive effect on the level of emotions (joy, pride and hopelessness). The training has a good effect strength. The method of ambulant assessment proves to be an ecological, everyday method of data collection that can also be used to depict stressful teaching situations. The short-term training developed here was carried out in just a few hours and proved to be effective.

Such short-term training does not take up a great deal of time and does not require additional teaching time. In summary, the importance of metacognition is theoretically evident, but there is still a lack of research, especially when it comes to the influence and interaction of the various metacognitive subcomponents such as personal knowledge, task knowledge and strategy knowledge, as well as the procedural components of planning, monitoring and reflection in the mathematical problem-solving process.

In addition, further studies should be conducted to gain experience on how the training can be taught to other teachers so that they can then pass it on to their students. In follow-up studies, heart rate variability should also be taken into account in addition to heart rate in order to be able to better map smaller differences in mental stress processes.

Ausführliche Zusammenfassung

Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, um zu untersuchen, ob metakognitive Kompetenzen im Mathematikunterricht auch im Kurzzeittraining erfolgreich vermittelbar sind.

Dazu wurde ein geeignetes metakognitives Kurzzeittraining neu entwickelt und mittels des ambulanten Monitorings evaluiert. Dieses Verfahren besitzt den Vorteil, dass die Datenerhebung ökologisch valide, direkt während des laufenden Unterrichts stattfinden kann, und neben Selbstberichtsdaten auch physiologische Maße einschließt.

Metakognition bezeichnet anschaulich gesprochen, das Wissen über die eigenen kognitiven Prozesse oder schlichtweg das Denken über das Denken. Im Unterschied zu Kognitionen werden hier die kognitiven Inhalte oder Funktionen selbst zu den Objekten der gedanklichen Reflektion. Dabei werden häufig zwei Dimensionen unterscheiden. Einerseits das metakognitive Wissen, welches das Wissen über Personen, Aufgaben und Strategien beinhaltet. Andererseits die metakognitive Kontrolle, die Phänomene wie Überwachung und Selbstregulation umfasst (Flavell, 1979; Flavell et al., 1993; Shilo & Kramarski, 2019; Veenman et al., 2006).

Die Bedeutung von Metakognition für das Lösen mathematischer Probleme, sowie den Lernerfolg und die Leistung in Mathematik, gilt als evident. So liegt nahe, dass die Planung, Überwachung und Regulierung von Lern- und Denkprozessen zu einer verbesserten Leistung führt und damit eine hohe Bedeutung für selbstreguliertes Lernen (Briggs, 2014; Chen, 2010; Desoete et al., 2001; Hasselhorn, 1992; Pressley, Borkowski & Schneider, 1987; Stevens et al., 2004; Van Slooten, 2013).

Empirisch weniger gut untersucht wurde bislang der Einfluss von metakognitiven Kompetenzen auf Mathematik. Insbesondere für das schulrelevante Alter finden sich hier nur wenige empirische Arbeiten. Demgegenüber lassen sich theoretisch hier vielfältige Zusammenhänge von metakognitiven Prozessen, auf das Bearbeiten mathematischer Aufgaben und Problemstellungen ableiten (Mungengast, 2022).

Veenman (2006) oder Schneider und Artelt (2010) etwa betonen schließlich den beträchtlichen Einfluss von Metakognition auf die Mathematikleistung, während Hasselhorn (1992) oder Pressley, Borkowski und Schneider (1987) die Wirksamkeit von Metakognition auf den Lernerfolg nachweisen.

Metakognitionen begleiten selbst einfache Rechenaufgaben, da auch hier kognitive Prozesse gesteuert und Resultate auf ihre Richtigkeit hin überprüft werden müssen. Bei komplexeren Aufgabenstellungen stehen dann verstärkt die metakognitive Strategiewahl und Überwachung im Vordergrund. Je weniger automatisiert Rechenoperationen ablaufen, desto wichtiger erscheint deren metakognitive Begleitung (Lingel, 2019; Lucangeli et al., 2019).

Desoete et al. (2001) gaben an, dass metakognitives Wissen und metakognitive Fähigkeiten 37 % der Leistung beim Lösen mathematischer Probleme ausmachen.

Das Training von Metakognitionen im Mathematikunterricht erscheint sinnvoll, da es kaum Trainingsprogramme für dieses Fach gibt. Die meisten vorliegenden Trainingsprogramme sind sehr aufwendig und umfassen zahlreiche Trainingseinheiten (Perels et al., 2005; Perels et al., 2007; Schuster et al., 2018). Bislang fehlt es an kurzen Trainingsprogrammen, die auch im Mathematikunterricht direkt durchführbar sind. Der Vorteil kurzer Trainingsprogramme liegt darin, weniger Unterrichtszeit zu beanspruchen.

Lernprozesse sowie problemlösendes Denken werden von vielfältigen Emotionen begleitet. Die Kontroll-Wert- Theorie von Pekrun (2006; Control-Value- Model, CVT) beschreibt die signifikante Rolle der Lernemotionen für die akademische Leistung. Dabei können Emotionen das mathematische problemlösende Denken fördern (positive aufgabenbezogene Emotionen, z.B. Freude, Flow) oder behindern (negative aufgabenbezogene Emotionen wie z.B. Angst, Hoffnungslosigkeit).

Die durch negative Emotionen entstehenden Beanspruchungsprozesse lassen sich theoretisch durch die Beanspruchung kognitiver Ressourcen erklären. Nach der Cognitive Load Theory (CLT) sind die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses, die zur Lösung von unterrichtlichen Aufgaben und zum Lernen benötigt werden, tendenziell begrenzt (Sweller, 1988; Sweller et al., 2011).

Eine hervorragende Methode zur Messung der mentalen Beanspruchung stellt die Methode des ambulanten Monitorings dar.

Die grundlegende Idee des ambulanten Assessment/ Monitoring besteht darin, psychologische (z.B. Selbstberichtsdaten) und psychophysiologische Parameter (z.B. Aktivierungs- und Beanspruchungsmaße z.B. Hautleitfähigkeit und Herzfrequenz) in alltäglichen Lebensumwelten und -situationen zu registrieren. Die Messung dieser Variablen erfolgt beim ambulanten Assessment mittels portabler Datenrekorder, womit die Datenerhebung direkt im Feld in den entsprechenden Alltagssituationen möglich wird und damit nicht stationär und

unabhängig vom Labor erfolgen kann. Die Vorteile dieser noch relativ jungen Methodik liegen auf der Hand. Das aktuelle Erleben und Verhalten können zeitnah und eng an die jeweilige Situation im natürlichen Umfeld gebunden erfasst werden.

Die so erhobenen Daten werden damit viel weniger durch fehlerhafte Erinnerungen verzerrt, als es mit herkömmlichen Methoden möglich ist. Durch die Einbeziehung psychophysiologischer Variablen lässt sich analysieren, wie psychische und körperliche Veränderungen zusammenhängen. Die Messung durch die Verwendung relativ kleiner und körpernah getragener Datenrecorder ist für die Untersuchungspersonen nur wenig störend oder ablenkend. Zudem bieten psychophysiologische Indikatoren noch einen zusätzlichen Vorteil.

Dabei können die Daten über den gesamten Prozessverlauf erhoben werden, ohne dass die Tätigkeit der Untersuchungsperson unterbrochen werden muss. Insgesamt besitzt die Methode des ambulanten Assessment eine sehr hohe ökologische Validität und ist hervorragend geeignet Forschungsfragen über zeitliche Prozesse innerhalb einer Person, aber auch über Unterschiede in diesen Prozessen zwischen Personen zu beantworten (Reuschenbach & Funke, 2011; Trull & Ebner-Priemer, 2013).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Methode des ambulanten Assessment verwendet, um während des Schulunterrichts kognitive und emotionale Beanspruchungsprozesse während der Bearbeitung von Mathematikaufgaben abzubilden. Hierzu wurden Daten auf zwei unterschiedlichen Ebenen erhoben. Auf Ebene des Selbstberichts wurde die metakognitive Kompetenz, sowie das emotionale Erleben der Situation erhoben. Auf Ebene der psychophysiologischen Daten wurden mittels am Körper tragbarer Datenrecorder die Herzfrequenz und die körperliche Bewegungsaktivität registriert, die auch als Kontrollvariable der Herzfrequenz diente.

Unter Alltagsbedingungen ist die größte Varianzquelle der Herzfrequenzänderungen die körperliche Bewegungsaktivität. Über die Kontrolle der Bewegungsaktivität ist es nun möglich die nicht-metabolisch bedingte oder "Zusatzherzfrequenz" (additional heart rate) zu bestimmen. Dieses ist der Anteil der Herzfrequenz, der nicht durch körperliche Ursachen (hauptsächlich dynamische und statische Muskelaktivität, aber auch thermoregulatorische Effekte), sondern durch kognitive oder emotionale Beanspruchung bedingt ist (z.B. Wilhelm & Roth, 1996; Fahrenberg, Leonhart & Foerster, 2002). Dabei gilt, dass eine Veränderung der Herzrate bei gleichbleibender Bewegungsaktivität dann als Ausdruck einer veränderten mentalen Beanspruchung betrachtet werden, wenn gleichzeitig Ratingdaten eine kognitive oder emotionale Änderung in der Beanspruchung indizieren.

Das Untersuchungsdesign der vorliegenden Studie basiert auf einem randomisierten Kontrollgruppendesign mit zwei Messzeitpunkten und zwei Gruppen (Trainings- und Kontrollgruppe). Der erste Messzeitpunkt (t1) lag unmittelbar vor dem Trainingsbeginn, der zweite Messzeitpunkt (t2) erfolgte unmittelbar nach Abschluss des Trainings. Die Zuweisung der Schülerinnen und Schüler auf die Trainings- und Kontrollgruppe erfolgte randomisiert vor Studienbeginn.

Zu beiden Messzeitpunkten wurden verschiedene Selbstberichtsdaten (u.a. Ratings zum emotionalen Erleben, zur metakognitiven Kompetenz) sowie physiologische Daten (Herzrate, Bewegungsintensität) erhoben.

Mit den Schülerinnen und Schülern der Trainingsgruppe wurde im Anschluss an Messzeitpunkt 1 ein metakognitives Training durchgeführt. Die Teilnehmer der Kontrollgruppe erhielten vergleichbaren Unterricht mit Ausnahme des Trainings metakognitiver Kompetenzen.

Zu Messzeitpunkt 2 wurden die Prozeduren und Erhebungen aus Messzeitpunkt 1 wiederholt.

Das in der vorliegenden Studie verwendete metakognitive Training fußt auf bereits bestehenden Studienprogrammen (z.B. Schneider, 2008; Leopold & Leutner, 2002; Perels et al., 2005; Hasselhorn & Mähler, 2000), wurde jedoch an die besonderen Erfordernisse der hier angestrebten Kurzintervention mit nur wenigen Trainingseinheiten neu konzeptioniert.

Als Untersuchungspersonen wurden insgesamt N=43 Schülerinnen und Schüler der 8. Jahrgangsstufe einer oberbayerischen Mittelschule rekrutiert. Nach Ausschluss von fünf Artefakt behafteten Datensätzen (fehlende Werte, unbrauchbare physiologische Daten) konnten N=18 Datensätze für die Trainingsgruppe und N=20 Datensätze für die Kontrollgruppe statistisch ausgewertet werden.

Die Ergebnisse zum metakognitiven Training zeigen, dass sich die Trainingsgruppe und die Kontrollgruppe anfänglich, also zu Messzeitpunkt 1, nicht systematisch hinsichtlich der metakognitiven Kompetenz unterscheiden. Nach dem Training, zu Messzeitpunkt 2, schätzten sich die Schülerinnen und Schüler der Trainingsgruppe jedoch signifikant höher hinsichtlich ihrer metakognitiven Kompetenz ein, als die Schülerinnen und Schüler der Kontrollgruppe. Ebenso konnte in der Trainingsgruppe ein signifikanter Anstieg in der metakognitiven Kompetenz von Messzeitpunkt t1 zu Messzeitpunkt t2 verzeichnet werden. Die Kontrollgruppe unterschied sich hingegen nicht systematisch zwischen den Zeitpunkten vor (t1) und nach dem Training (t2).

Zusammengenommen zeigen diese Ergebnisse einen systematischen Anstieg der metakognitiven Kompetenz im Zusammenhang mit dem metakognitiven Kurzzeittraining. Dabei liegt die Effektgröße *Cohens' d* bei 0.755, was nahezu einem großen Effekt entspricht. Dieser Befund ist auch insofern bemerkenswert, da das Training insgesamt nur 3 x 2 Stunden umfasst hat und somit als hoch effektiv gelten kann.

Auf der affektiven Ebene wurde der Trainingserfolg über lern- bzw. leistungsbezogene Emotionen evaluiert. Für den positiven Valenzbereich wurden Freude, Stolz und Flow untersucht und für den negativen Valenzbereich Angst, Ärger, Hoffnungslosigkeit und Langeweile.

Spezifische Effekte des Trainings zeigen sich auf der Ebene der positiven wie auch auf der Ebene der negativen Lern- und Leistungsemotionen, wobei eine signifikante Zunahme von Freude und Stolz sowie eine signifikante Abnahme von Hoffnungslosigkeit im Zuge des metakognitiven Trainings zu verzeichnen ist.

Emotionale Befunde zeigen eine deutliche Reduktion des Stresserlebens, welches durch erhöhte Selbstwirksamkeit und Kontrollkompetenz erklärbar ist. Da die emotionale Beanspruchung sinkt, werden damit Verarbeitungsressourcen frei, die in den Dienst der Aufgabenbearbeitung gestellt werden können.

In der vorliegenden Studie wurden zu den Verbaldaten zwei physiologische Variablen erhoben: die Herzrate, sowie die Bewegungsaktivität. Die Bewegungsaktivität wird hier in zweierlei Hinsicht berücksichtigt. Einmal als Indikator der Aktivierung (motorische Unruhe als Korrelat der neuromuskulären Aktivität) und zum anderen als Kontrollmaß für die Herzfrequenz.

Da die Herzfrequenz systematisch mit der Bewegungsaktivität variiert, ist es notwendig, diese zu kontrollieren, will man die Herzrate als mentales Maß der Aktivierung verwenden. Partialisiert man die Bewegungskomponente aus der Herzratenaktivität heraus, so ist es möglich, denjenigen Anteil in der Herzratenaktivität zu betrachten, der auf emotional-kognitive Beanspruchungsprozesse entfällt. Die Kovarianz analytische Auswertung ergibt eine signifikante Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Bewegungsdifferenz. Demnach variiert die Herzrate größtenteils in Abhängigkeit von der Bewegungsaktivität.

Nachgeordnete korrelative Analysen zeigen, dass der Bewegungseinfluss in der Kontrollgruppe zum Messzeitpunkt t2 (nach dem Training) am größten ist. Für die Trainingsgruppe findet sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen Bewegungsaktivität und Herzrate. Demnach kann ein kleinerer Varianzanteil im Anstieg der Herzrate auch durch

andere Faktoren als die Bewegung hervorgerufen worden sein. Schwerdtfeger und Kohlmann (2004) und Schwerdtfeger et al. (2008) unterstreichen als Indikator für erhöhte Herzraten das Aufgabenengagement, wie auch die Selbstwirksamkeit.

So findet sich in der Trainingsgruppe ein systematischer Anstieg positiver Emotionen wie Freude und Stolz und eine Reduktion der Hoffnungslosigkeit auf der negativ valenten Seite. Aus der Perspektive der Kontrollwert-Theorie von Pekrun (2006) betrachtet, bewirken Freude und Stolz als lernbezogene positive Emotionen eine vermehrte Zuweisung kognitiver Ressourcen an die Aufgabe, begleitet von erhöhter Motivation und Interesse. Die Verringerung negativer lernbezogener Emotionen kann dabei vice versa wirken, wobei die so freigesetzten Aufmerksamkeitsressourcen dann in den Dienst der Aufgabe gestellt werden können. Diese Befunde sind im Einklang mit der Kontrollwert-Theorie der Leistungsemotionen (Pekrun, 2006) und sind kompatibel mit neurokognitiven Modellen der Kapazitätzuweisung unter Emotionseinfluss (Meinhardt & Pekrun, 2003).

Die Bewegungsaktivität diene nicht nur als Kontrollvariable der Herzrate, für sich betrachtet diene sie ebenso als weiterer physiologischer Aktivierungsindikator. Die Befunde hierzu zeigen, dass die Bewegungsaktivität über den Trainingsverlauf zunimmt, wobei der Zuwachs für die Trainingsgruppe geringer ausfällt, als für die Kontrollgruppe. Demnach ist die motorische Unruhe während der Aufgabenbearbeitung in der Trainingsgruppe vergleichsweise geringer, was bei vorsichtiger Interpretation den Schluss zulässt, dass die verbesserte metakognitive Kompetenz mit erhöhter Konzentration einhergeht. Diese Interpretation wird gestützt durch den Befund, dass eine Reizaufnahme mit verstärkter muskulärer Ruhigstellung einhergeht (Schandry, 1996).

Explorative Analysen ergaben beim Vergleich der Herzraten beider Gruppen, gemittelt über t1 und t2, zwischen Aufgabe, Fragebogen Ruhe und Nacht, deutliche Unterschiede. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die HR zwischen Aufgabenbearbeitung und Ruhe, und zwischen Aufgabenbearbeitung und Nacht signifikant unterscheiden. Die HR der Aufgabenbearbeitung ist deutlich erhöht. Über beide Gruppen ergaben sich, unabhängig vom Training, Zusammenhänge zum emotionalen Erleben. Dies ließ sich für die Emotionen Angst und Hoffnungslosigkeit ermitteln.

Die guten Ergebnisse dieser Studie zeigen eine Zunahme metakognitiver Kompetenz der Schüler und ermutigen dazu, metakognitives Wissen auch im Rahmen von Kurzzeittrainings im Mathematikunterricht, noch stärker als bisher, zu vermitteln.

Auch auf der Ebene der Emotionen (Freude, Stolz und Hoffnungslosigkeit) ist eine positive

Wirkung zu verzeichnen. Das Training hat eine gute Effektstärke.

Die Methode des Ambulanten Assessment erweist sich dabei als eine ökologische, alltagstaugliche Methode der Datenermittlung, auch belastende Unterrichtssituationen abzubilden.

Das hier entwickelte Kurzzeittraining wurde in nur wenigen Stunden durchgeführt und hat sich als effektiv erwiesen. Ein solches Kurzzeittraining nimmt dabei keine großen zeitlichen Ressourcen in Anspruch und fordert keine zusätzliche Unterrichtszeit

Fazitär betrachtet gilt die Bedeutung von Metakognition als theoretisch evident, jedoch fehlen hier noch Forschungsarbeiten, insbesondere wenn es um den Einfluss und das Zusammenwirken der verschiedenen metakognitiven Teilkomponenten wie Personenwissen, Aufgabenwissen, und Strategiewissen, sowie den prozeduralen Komponenten Planung, Überwachung und Reflexion im mathematischen Problemlöseprozess geht.

Zudem müssten in weiterführenden Studien Erfahrungen gesammelt werden, wie man das Training auch an andere Lehrkräfte vermitteln kann, um es dann an ihre Schüler weitervermitteln zu können. In Folgestudien sollte neben der Herzfrequenz auch die Herzratenvariabilität berücksichtigt werden, um auch kleinere Differenzen mentaler Beanspruchungsprozesse besser abbilden zu können.

Inhaltsverzeichnis

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen.....	16
1.1 EINLEITUNG.....	16
1.2 DAS KONSTRUKT METAKOGNITION	21
1.2.1 Klassifikation der Metakognition.....	26
1.2.2 Deklaratives metakognitives Wissen	26
1.2.3 Prozedurale Metakognition.....	27
1.2.4 Entwicklung von Metakognitionen.....	28
1.2.5 Metakognition und Lernerfolg.....	29
1.2.6 Voraussetzungen für die Anwendung metakognitiver Strategien	32
1.2.7 Lernengagement.....	34
1.3 METAKOGNITION UND SELBSTREGULIERTES LERNEN	35
1.3.1 Selbstregulation, eine begriffliche Annäherung.....	36
1.3.2 Modelle der Selbstregulation.....	40
1.3.3 Prozessmodelle der Selbstregulation.....	40
1.3.4 Schichten - Modell der Selbstregulation.....	42
1.3.5 Hierarchiemodell.....	43
1.3.6 MASRL Modell.....	44
1.3.7 Selbstreguliertes Lernen und Lernerfolg.....	46
1.4. EMOTIONEN IM MATHEMATIKUNTERRICHT	50
1.4.1 Das Konstrukt Emotion.....	50
1.4.2 Entstehung von Emotionen.....	55
1.4.3 Entwicklungsverläufe von Emotionen im Lern- und Leistungskontext.....	56
1.5 THEORETISCHE GRUNDANNAHMEN UND MODELLE IM KONTEXT DER EMOTIONEN	57
1.5.1 Appraisal-Theorie.....	57
1.5.2 Kontroll-Wert-Theorie.....	58
1.5.3 Modelldarstellungen von Emotion und schulischer Leistung	61
1.5.4 Kognitiv-Motivationales -Mediations-Modell.....	61
1.5.5 Kontroll-Wert-Modell	62
1.6 EMOTIONEN UND SELBSTKONZEPT.....	64
1.6.1 Emotion und Selbstwirksamkeit.....	65
1.6.2 Lern- und Leistungseemotionen	66
1.6.3 Klassifikation von Lernemotionen	68
1.6.4 Leistungs- und Lernemotionen in dieser Arbeit	70
1.6.5 Emotionsregulation - Coping.....	72
1.7 DIE HERZRATE ALS PHYSIOLOGISCHES BEOBACHTUNGSMAß.....	75
1.7.1 Additional Heart Rate (AHR).....	76
1.7.2 Die Herzrate - Abbild physiologischer Beanspruchung im Prüfungskontext	78
1.7.3 Ambulantes Assessment- Methode physiologischer Datenermittlung	82
1.7.4 Strategien zur Kontrolle der Bewegungsaktivität	83
1.7.5 Messen der Bewegungsaktivität (Aktometrie, Akzelerometrie)	84
1.7.6 Online Auswertung und Separierung bewegungsbedingter Effekte.....	86
1.8 ZUSAMMENHÄNGE VON METAKOGNITION, SELBSTREGULATION, HERZRATE UND EMOTION.....	86
1.8.1 Metakognition und Emotion	86
1.8.2 Selbstregulation und Emotion.....	87
1.8.3 Herzrate und Emotion	88
1.9 METAKOGNITIONEN LASSEN SICH TRAINIEREN.....	92
2. Methode.....	103
2.1 VERSUCHSPERSONEN.....	103
2.2 STUDIENDESIGN	103
2.3 DURCHFÜHRUNG.....	104

2.4 ABLAUF DER UNTERSUCHUNG	104
2.4.1 <i>Inhalte des metakognitiven Trainings</i>	105
2.4.2 <i>Kontrollgruppe</i>	107
2.5 ERHEBUNG UND AUSWERTUNG PHYSIOLOGISCHER DATEN.....	107
2.5.1 <i>Datenreduktion Herzrate</i>	109
2.5.2 <i>Datenreduktion Bewegung</i>	109
2.6 RATING DATEN ZUR SELBSTEINSCHÄTZUNG - RELIABILITÄTSPRÜFUNGEN	109
2.6.1 <i>Skala zur metakognitiven Kompetenz</i>	109
2.6.2 <i>Skala Emotionen</i>	110
3. Ergebnisse	111
3.1 ZUSAMMENFASSUNG ZENTRALER ERGEBNISSE.....	111
3.2 UNTERSUCHUNGS-HYPOTHESEN	112
3.3 INFORMATIONEN ZUR STICHPROBE	112
3.4 TRAININGSEFFEKT AUF METAKOGNITIONEN	113
3.5 TRAININGSEFFEKT AUF EMOTIONEN	114
3.6 TRAININGSEFFEKT AUF PHYSIOLOGISCHE VARIABLEN: HERZRATE UND BEWEGUNGSAKTIVITÄT ...	122
3.6.1 <i>Trainingseffekt auf Bewegungsaktivität</i>	122
3.6.2 <i>Korrelation von Bewegungsaktivität und Herzrate</i>	125
3.6.3 <i>Trainingseffekt auf emotional-kognitive Beanspruchung</i>	127
3.7 ERGEBNISSE EXPLORATIVE ANALYSEN	128
3.7.1 <i>Herzrate in unterschiedlichen Beobachtungssituationen</i>	128
3.7.2 <i>Emotionen und Herzrate</i>	130
3.7.3 <i>Bewegung in unterschiedlichen Beobachtungssituationen</i>	131
4. Diskussion.....	134
4.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	137
4.2 TRAININGSEFFEKT AUF METAKOGNITION.....	138
4.3 TRAININGSEFFEKT AUF EMOTIONEN	141
4.4 TRAININGSEFFEKT AUF HERZRATE.....	143
4.5 EXPLORATIVE ANALYSEN.....	144
4.5.1 <i>Bewegungsaktivität</i>	144
4.5.2 <i>Emotionen</i>	145
4.6 LIMITIERUNG DER STUDIE	146
4.6.1 <i>Implikationen für zukünftige Forschung</i>	147
4.6.2 <i>Implikationen für den Mathematikunterricht - Lehrkräfte</i>	147
4.6.3 <i>Fazit und Ausblick</i>	148
Literaturverzeichnis	152
ANHANG	205
ANHANG A ABBILDUNGEN UND TABELLEN	205
ANHANG B GENEHMIGUNGEN UND INFORMATIONEN FÜR ELTERN	206
ANHANG C MATHEMATIKAUFGABEN UND TRAININGSAUFGABEN	210
ANHANG D METAKOGNITIVES TRAINING	216
ANHANG E FRAGEBOGEN ITEMS	232
ABKÜRZUNGEN	234

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

1.1 Einleitung

Forschungsstudien haben gezeigt, dass Schüler/-innen häufig Schwierigkeiten haben, mathematische Probleme zu lösen (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung [OECD, 2012; 2022]; Verschaffel, Greer, & De Corte, 2000).

Dabei liegen die Schwierigkeiten häufig im Verstehen von Texten mit mathematischen Fragestellungen, in der Wahrnehmung alternativer Lösungswege für mathematische Probleme und dem Selbstvertrauen beim Berechnen und Überprüfen von Lösungen (Blum, 2015; Desoete, Roeyers, & De Clercq, 2003; Goos, 2002; Schoenfeld, 1992; Stillman, 2011).

Darüber hinaus sind nach Forschungsergebnissen (OECD, 2012; 2022; Schoenfeld, 1992), die Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler zum Teil durch eine Inaktivierung von Wissen verursacht, die aus einem Mangel an metakognitiven Fähigkeiten resultieren und nicht aufgrund mangelnder mathematischer Kenntnisse (Shilo & Kramarski, 2019).

Veenman et al. (2006) betrachten dabei das Bewusstsein und Wissen über kognitive Prozesse auf der einen Seite und die Anwendung dieses Wissens zur effektiven Beeinflussung kognitiver Prozesse auf der anderen Seite, als unterschiedliche Komponenten.

Zum einen helfen metakognitive Kompetenzen mathematische Probleme zu lösen, indem die Schüler lernen, ihr Wissen zu analysieren und zu synthetisieren und damit zu vertiefen (siehe Borkowski, 1992; Carr & Biddlecomb, 1998; De Corte, Depaepe; Verschaffel, & Op't Eynde, 2011; NCTM, 2000)

Zum anderen hilft Metakognition Schülerinnen und Schülern, ihren Wissensstand und ihre Fähigkeiten zu steuern, zu überwachen und ihr persönliches Lernniveau während ihres Lernprozesses zu bewerten.

Das Bewusstsein von Schülern über ihre kognitiven Kapazitäten, und der Einschätzung ihrer Stärken und Schwächen, hilft ihnen zu erkennen, welche Anforderungen eine konkrete Lernaufgabe an sie stellt. Aufgrund dessen ist es ihnen möglich, entsprechend geeignete Strategien auszuwählen.

Demzufolge haben Schüler, die verschiedene kognitive und metakognitive Strategien anwenden, bessere akademische Leistungen und positive Lernergebnisse im Vergleich zu ihren Mitschülern, die diese Strategien nicht so gut beherrschen (für Übersichten siehe Winne, 2011; Zimmerman, 2011).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Eine Metaanalyse zu schulischem Lernerfolg hebt die Relevanz von Metakognitionen in diesem Kontext hervor (Wang, Haertel & Walberg, 1993).

Studien belegen eine positive Korrelation zwischen Metakognitionen und den mathematischen Leistungen von Schülern/-innen (Stevens et al., 2004; Chen, 2010; Van Slooten, 2013; Briggs, 2014; Desoete et al., 2001).

Es konnte gezeigt werden, dass die durch zunehmende metakognitive Fähigkeiten erzielte Selbstwirksamkeit, motivierte Handlungen wie Anstrengung und Ausdauer erhöhen (Skaalvik et al., 2015).

Dabei spielt besonders die Selbsteinschätzung eine Rolle, welche sich auf die emotionale Befindlichkeit auswirkt, sowie umgekehrt die emotionale Befindlichkeit auf die Selbsteinschätzung wirkt (Boekaerts, 2007). Dadurch können Prozesse von Monitorisierung, Reflektion und Regulation eingeleitet werden.

Die Bedeutung der Komponenten der Metakognition für das Lernen von Mathematik wurde vielfach nachgewiesen (Efklides, 2001; Efklides, Papadaki, Papantoniou & Kiosseoglou, 1998; Roebers, Cimeli, Röthlisberger & Neuenschwander, 2012, 2014; Tornare et al., 2015; Veenman, 2006).

Metakognitionen nehmen besonders in Modellen des Selbstregulierten Lernens eine wichtige Rolle ein (Boekaerts, 1999; Efklides, & Vlachopoulos, 2012; Neuenhaus, Artelt, Schneider, 2011; Borkowski et al., 2000; Puustinen & Pulkkinen, 2001).

Betrachtet man das Selbstregulierte Lernen als breiten bewussten, zielorientierten und kontrollierbaren Prozess (Reusser, 1998 nach Leutwyler, Merki, 2009; Schunk, 1990; Zimmerman, Bonner & Kovach, 1996; Schunk, 2001; Zimmerman, 2001), so findet sich in der Zunahme metakognitiver Kompetenzen eine erhöhte Fähigkeit zur Selbstregulation.

Indem die Schüler Lernressourcen planen und zuweisen können, wird selbstgesteuertes Lernen unterstützt (Pintrich, 2000; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2018; Zimmerman, 2000).

Das Lösen von Matheaufgaben ist eine komplexe kognitive Tätigkeit, die mehrere Prozesse umfasst. Um Aufgaben erfolgreich zu lösen, müssen Schüler kognitive, metakognitive und selbstregulierende Mechanismen miteinander verknüpfen, um ihre Lernprozesse genau zu regulieren und zu überwachen (Cleary & Chen 2009; Montague et al. 2011).

Schülerinnen und Schüler müssen dabei häufig erhebliche mentale Anstrengungen unternehmen, um nicht nur die zu erlernenden Inhalte (d.h. Verarbeitung auf der Objektebene), sondern auch die Selbstregulierung ihrer Lernprozesse zu erweitern (Metaebene Ebene

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Verarbeitung). Die Notwendigkeit, die verfügbaren kognitiven Ressourcen angemessen auf diese beiden Arten der Verarbeitung zu verteilen, stellt dabei für die Lernenden eine Herausforderung dar

Die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses, die zur Lösung von unterrichtlichen Aufgaben und zum Lernen benötigt werden, sind nach der Cognitive Load Theory (CLT) tendenziell begrenzt (Sweller et al., 2011).

Es erscheint sinnvoll, Schülerinnen und Schüler in diesen Prozessen zu unterstützen, um einer kognitiven Belastung entgegenzuwirken (Jungwirth, 2002), da diese das Engagement von Schülern negativ beeinflusst (Kirschner et al., 2011). Besonders im Zusammenhang mit dem selbstregulierten Lernen (SRL) ist das Engagement beim Lernen besonders hervorzuheben (Hughes et al., 2018; Jong et al., 2013; Fullan et al., 2018). Engagement ist ein zentraler Indikator für Lernprozesse und -ergebnisse und ist ein optimales Ziel für die Bildungsforschung, da es veränderbar ist (Chang, 2018; Fredricks et al., 2004; Lawson und Lawson, 2013; Leppink et al., 2014).

Insgesamt betrachtet können Lernschwierigkeiten das Lernen und die Motivation von Schülern beeinträchtigen (Smart, Prior, Sanson, & Oberklaid, 2001; Willcutt et al., 2013) und sie erhöhen nicht nur das Risiko psychischer Probleme, sondern können auch für den Schulabbruch verantwortlich sein (Hakkarainen, Holopainen, & Savolainen, 2015; Lindén-Boström & Persson, 2015).

Schülerinnen und Schüler, denen es an metakognitiven und kognitiven Fähigkeiten in Mathematik mangelt, entwickeln zudem häufig negative Einstellungen und negative Emotionen als affektive Reaktionen (Tzohar-Rozen, Kramarski, 2018). Die Folge ist eine Hemmung des Lernens und der Leistung, so dass Aufgaben nicht gelöst werden können (Efklides, 2011; Kramarski, Weiss & Koloshi-Minsker, 2010). Somit stellt diese Situation für Schüler oft eine zusätzliche mentale Beanspruchung dar (Thayer, Fredrikson, Sollers, & Wager, 2012).

Dabei kommt der Rolle der Emotionen im Lernprozess eine wesentliche Rolle zu. Die Bildungsforschung hat gezeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen Emotionen und verschiedenen Aspekten des Lernens wie dem Einsatz von metakognitiven Strategien, metakognitiven Erfahrungen, Motivation, Zielen und Leistung gibt (e.g. Efklides & Petkaki, 2005; Pekrun, Goetz, Frenzel, Barchfeld, & Perry, 2011; Pons, Cuisinier, et al., 2010; Schutz & Pekrun, 2007).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Sie sind entscheidend für die Auslösung, Aufrechterhaltung oder Reduzierung von Anstrengung in Lern- und Leistungssituationen (De Bruin et al., 2020; Feldon et al., 2018; Plass & Kalyuga, 2019; siehe auch Plass & Hovey, 2022; van Gog & Rummel, 2010; Schutz & Pekrun, 2007).

Negative Emotionen gehen sowohl mit oberflächlicher kognitiver, als auch mit geringer metakognitiver Strategienutzung einher (Frenzel, Thrash, Pekrun, & Goetz, 2007). Hingegen sind positive Emotionen, wie Freude, Stolz und Hoffnung wesentlich mit einer tieferen kognitiven Verarbeitung (Elaboration und Organisation), kritischem Denken und metakognitiven Überwachungsstrategien verbunden (Boekaerts, 2007; Linnenbrink, 2006; Pekrun et al., 2002a, 2006; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2012).

Auch auf der physiologischen Ebene spiegeln Indikatoren, wie die Herzfrequenz (HF), die psychische (emotionale und mentale) Belastung wieder.

Studien dazu haben gezeigt, dass bei erhöhter mentaler Herausforderung eine Erhöhung der Herzfrequenz zu verzeichnen ist (Myrtek et al., 1990; Wilhelm et al., 2006a, b; Wilhelm et al., 2003a, b).

Es stellt sich vielfach im Kontext Schule die Frage, wie man Schüler/innen besonders im Mathematikunterricht motivational unterstützt und zu besseren Leistungen befähigen kann. Mathematiklehrerinnen und -lehrer haben offenbar häufig Schwierigkeiten, Unterrichtsstunden zu planen und durchzuführen, die die Problemlösefähigkeiten der Schülerinnen und Schüler fördern (für aktuelle Beispiele siehe Kramarski, 2008).

Die Ausweitung des kognitiven Lehransatzes auf den metakognitiven Aspekt, fokussiert dabei das Wissen und die Regulierung der eigenen kognitiven Fähigkeiten und Aktivitäten im Lernprozess und sollte Inhalt unterrichtlicher Inhalte bzw. Trainingsansätzen sein (Veenman, Van Hout, Wolter & Afflerbach, 2006).

Um die kognitive Belastung von Schülern zu verringern, scheint es wesentlich Schemata zu entwickeln, die den Fokus auf Modelle der Unterrichtsgestaltung legen, indem sie sich mit dem Lernen in komplexen und informationsreichen Umgebungen beschäftigen, (Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998),

Als eine theoretische Erweiterung der konstruktivistischen Lerntheorie kann die cognitive load theory (CLT) ein konzeptioneller Leitfaden sein, der die Lehrkräfte bei diesen curricularen und didaktischen Entscheidungen unterstützt (Chen et al., 2015; van Gog & Rummel, 2010; Zhang et al., 2023). Die Theorie unterstreicht die Integration von Forschungsparadigmen und theoretischen Rahmenwerken.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Betrachtet man den Aspekt der Autonomieunterstützung (vs. Kontrolle) und Struktur (vs. Chaos) kommt dem Design von Unterricht, mit Blick auf die Cognitive Load Theorie, eine wesentliche Rolle zu (Aelterman & Vansteenkiste, 2023).

Dabei wird angenommen, dass autonomieunterstützender Unterricht die psychologischen Grundbedürfnisse von Schülern/-innen unterstützt und damit die Verinnerlichung der Regulierung hin zu mehr autonomer Motivation (Reeve, 2009; Reeve et al., 1999).

Autonomieunterstützender Unterricht wird mit größerem Interesse und tieferem Lernen in Verbindung gebracht (Ryan & Connell, 1989), sowie mit größerem Engagement (Patall et al., 2018; Reeve et al., 2004), und Interesse an weiterem Lernen (Bonneville-Roussy et al., 2017; Freer & Evans, 2019), sowie internalisierter Motivation (Ratelle et al., 2007), und Leistung (Jang et al., 2009; Vansteenkiste et al., 2004).

Diese Form des Unterrichtens kann zu einer Reduzierung der kognitiven Belastung, bei der Bearbeitung von Lernaufgaben auf der Objekt- und Metaebene führen. Dabei ist Selbstwahrnehmung bedeutsam für die strategische Umsetzung exekutiver Prozesse wie Zielsetzung, Planen, Überwachen, Regulation und Kontrolle (Tarricone, 2011).

Metakognitivem Wissen, das für schulische Aufgaben, besonders im Mathematikunterricht relevant ist, kommt in diesem Kontext eine besondere Bedeutung zu.

Besonders in der Sekundarstufe können Metakognitionen effektiv trainiert werden (Schneider, 2008). Vor dem Hintergrund dieses Wissens wurden Trainingsprogramme entwickelt, die metakognitive Unterstützung beim Lösen mathematischer Probleme bieten und die Fähigkeit zur Selbstregulierung verbessern können (z. B. Kramarski & Mevarech, 2003; Schoenfeld, 1992).

Es konnte gezeigt werden, dass der Erfolg, durch metakognitive Kompetenzen Aufgaben lösen zu können, (Einsatz von Strategien, prozessorientierte Regulation und Reflexion), dazu beiträgt, das Engagement und die intrinsische Motivation der Schüler bei der Aufgabenbearbeitung zu erhöhen (Perels, 2005; Skaalvik, 2015).

Die Leistungen werden gestärkt und die Fähigkeit zur Selbstregulierung bei den Schülerinnen und Schülern wird verbessert (Schraw, Crippen, & Hartley, 2006; Zimmerman, 2000, 2008). Vor dem Hintergrund theoretischen Wissens, wurde in vorliegender Arbeit ein metakognitives Training durchgeführt. Die vorliegende Arbeit schließt mit dem Training eine Lücke im schulischen Kontext und widmet sich der Erweiterung metakognitiver Fähigkeiten.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

1.2 Das Konstrukt Metakognition

Seit Beginn der 1970er Jahre beschäftigt sich die Lernforschung mit dem Nutzen des metakognitiven Wissens beim Lernen.

Das Konzept der Metakognition wurde im Kontext entwicklungspsychologischer Arbeiten zur Rolle des Wissens über das eigene Gedächtnis für die Gedächtnisentwicklung eingeführt (Flavell, 1971; Goswami, 2008). Metakognition kann daher als ein Sammelbegriff für eine Reihe von Phänomenen, Aktivitäten und Erfahrungen verwendet werden (Hasselhorn, Labuhn, 2008).

Es wurde schnell erkannt, dass gute Lerner bewusster an Aufgaben herangehen. Sie nehmen sich mehr Zeit, geben bei Schwierigkeiten nicht so schnell auf, setzen sich Ziele und entwickeln ein erfolgsorientiertes Interesse an den Lerninhalten. Gute Lerner analysieren eine Aufgabe gründlicher, stellen mehr Fragen zu ihrem Vorgehen und überwachen ihr Vorgehen besser. All diese Fähigkeiten können zu Metakognition gezählt werden (Guldimann, Lauth, 2004).

Im Wesentlichen werden zwei Komponenten der Metakognition unterschieden: Zum einen das Wissen über Kognition und zum Anderen die Regulierung der Kognition (Tzohar-Rosen & Kramarski, 2014).

Das Wissen über Kognition bezieht sich dabei auf das, was Individuen über ihre eigene Kognition wissen, oder über Kognition im Allgemeinen. Es umfasst drei verschiedene Arten von metakognitivem Bewusstsein: deklaratives, prozedurales und konditionales Wissen (Brown, 1987; Schraw & Moshman, 1995).

Die Grundlage aller Metakognitionsmodelle bildet das Modell von Flavell (1979; Abb.1). Im Mittelpunkt dieses Modells stehen die Überwachung (monitoring) der kognitiven Prozesse, als auch die Regulation. Dabei wird nach Flavell das monitoring durch das Zusammenwirken von vier Komponenten erzielt: dem metakognitiven Wissen, den metakognitiven Erfahrungen, Zielen und Strategien. Das metakognitive Wissen und die metakognitive Erfahrung stehen dabei im Zentrum des Modells und umfasst das Wissen über die Eigenschaften der eigenen Person als Informationsverarbeiter, über die Eigenschaften der zu lösenden Aufgaben und über die Eigenschaften der verfügbaren Strategien. Im Informationsverarbeitungsprozess stehen diese metakognitiven Komponenten in fortlaufender Interaktion, werden ständig aktualisiert und als metakognitives Wissen gespeichert (Flavell 1981).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Brown (1978, nach Tarricone, 2011) betont den handlungsbezogenen Aspekt, der Regulation von Kognition. Diese oft unter Bezeichnungen wie exekutive Funktionen oder metakognitive Fertigkeiten subsumierten Regulationsprozesse beinhalten die exekutive Kontrolle kognitiver Aktivitäten, also die Planung, Überwachung, Regulation und Evaluation der Informationsverarbeitung (für einen Überblick s. Tarricone 2011).

Eine durch Hasselhorn (2008) vorgenommene Unterscheidung beinhaltet fünf Subkategorien der Metakognition, da er die Sichtweise von Flavell für die Beschreibung des Gegenstandsbereichs für unzureichend hält. Er teilt ein in:

Systemisches Wissen: Hierunter wird Wissen über das eigene kognitive System und seine Funktionsgesetzmäßigkeiten sowie Wissen über Lernanforderungen und Strategien gefasst.

Epistemisches Wissen: Hiermit ist sowohl das Wissen über aktuelle kognitive Zustände bzw. Lernbereitschaften gemeint als auch das Wissen über Inhalte, Verwendungsmöglichkeiten und Grenzen des eigenen Wissens.

Exekutive Prozesse (Kontrolle): Darunter fallen bei Hasselhorn (2008) die Planung, Überwachung und Steuerung von Lernprozessen.

Sensitivität: Hier werden Erfahrungswissen und Intuition subsumiert.

Metakognitive Erfahrungen: Bewusste kognitive und affektive Zustände.

Dabei zeigt die Systematisierung von Hasselhorn ein umfassendes, weit aufgefülltes Konzept der Metakognition, in dem sich verschiedene Autoren wiederfinden.

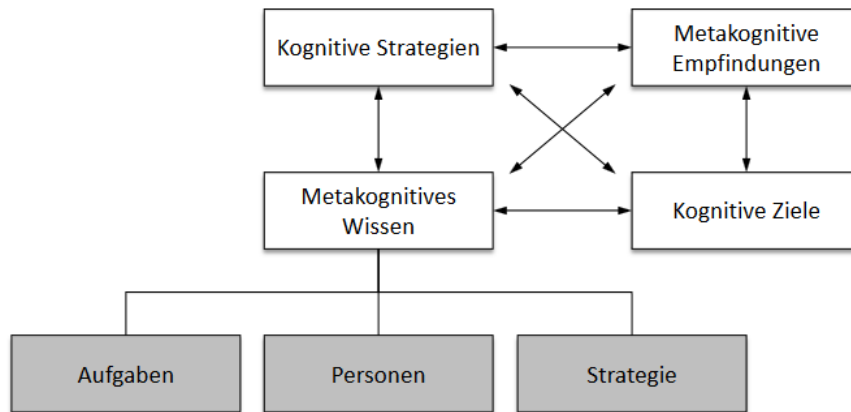
Ein Blick von Guldemann und Lauth (2004) zeigt, dass sich gute und schlechte Lerner im Ausmaß ihrer metakognitiven Reflexion unterscheiden. Ihrer Ansicht nach, verfügen gute Lerner über wohl organisiertes Sachwissen und sind kompetent im Setzen eigener Ziele, im Wissen über Lernstrategien und deren Anwendungsbedingungen. Ihre Planung, Steuerung und Kontrolle des Einsatzes von Lernstrategien ist besonders gut, sowie sie in der Reflexion eigener Schwächen und Stärken beim Lernen besser sind, als die nicht so guten Lerner.

Johnson, Humphrey, Mellard, Woods & Swanson (2010) stellten fest, dass schwächere Lerner Defizite in kognitiven, sowie metakognitiven Fähigkeiten aufwiesen.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Abbildung 1

Flavell's Metakognitions- Modell (in Anlehnung an Flavell, 1979)



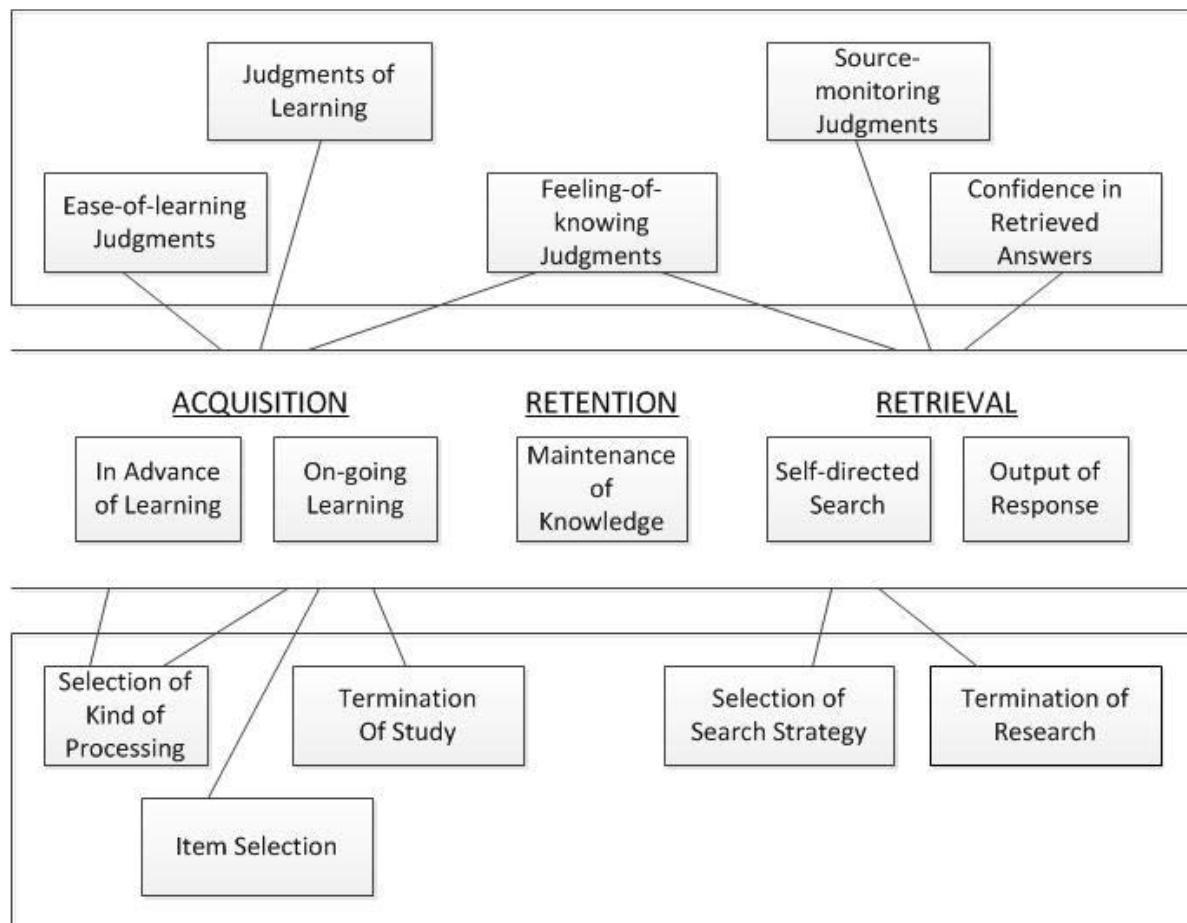
Nach Hasselhorn und Labuhn (2008) kommt es im aktuellen Lerngeschehen zu einer komplizierten Vernetzung der Subkategorien der Metakognition. Es ist demzufolge empirisch schwierig, die verschiedenen Aspekte der Metakognition zu trennen.

Die traditionellen Wissenskomponenten werden in systemisches Wissen und epistemisches Wissen unterteilt. Das Rahmenmodell von Nelson und Narens (1990) liefert dazu einen Überblick (siehe Abb 2):

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Abbildung 2

Rahmenmodell der Selbsteinschätzung (nach Nelson & Narens, 1990)



Anmerkung. Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G. H. Bower (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation*, S. 129.

Lernende geben vor Beginn eines Lernvorgangs eine Einschätzung darüber ab, wie leicht oder schwer Aufgaben zu bewältigen sind. Dabei können Steuerungsprozesse aus Überwachungsprozessen resultieren und so den effektivsten Lernablauf bestimmen.

Während oder kurz nach dem Lernvorgang leisten sie im Judgement of Learning (JOLs) Vorhersagen über die Erinnerungswahrscheinlichkeit gelernter Aufgaben, für die bereits ein Erinnerungstest stattgefunden haben kann. Hier kann über Art und Dauer des Lernvorgangs entschieden werden, bis eine Übereinstimmung von JOL und gewünschtem Lernziel erreicht ist und der Prozess beendet werden kann.

Koriat, Ma'ayan und Nussinsons (2006) üben Kritik an der Zusammenhangsrichtung zwischen Überwachungs- und Kontrollprozessen dahingehend, dass im Gegensatz zur

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Annahme Nelson und Narens (1990), Steuerungsprozesse eine Überwachung initiieren. Sie gehen davon aus, dass sich möglicherweise Überwachungs- und Steuerungsprozesse zu einem sequentiellen Prozess verbinden.

Koriat und Levy-Sadot (2001) nehmen an, dass eine als vertraut wahrgenommene Frage zur Bildung eines Feeling of Knowing (FOK) führt, welches eine überwachungsbasierte Steuerung einleitet und somit auf der Grundlage der Zugänglichkeit von abgerufener Information aktualisiert wird. FOKs geben während oder nach dem Lernvorgang an, ob ein im Moment nicht abrufbares Wissen abrufbar ist oder abrufbar sein wird. Dabei entscheidet der Lerner, ob und in welchem Maß er wiederholen muss, um seinen Wissenstand stabil zu halten.

Sie gehen in ihrer Annahme davon aus, dass metakognitive Urteile retrospektiv sind, d.h. eine längere Lerndauer hat niedrigere JOLs zur Folge. Ihrer Ansicht nach liegt Überwachung der Steuerung vor, wenn Selbstkontrolle zielorientiert ist. Der Funktionscharakter von Überwachungsvorgängen besteht in der Literatur vorwiegend darin, metakognitive Steuerung möglichst effektiv zu lenken (Nelson & Narens, 1990; Thiede, 1999). Von der Linden (2008) verweist auf Wellmann (1983), der annimmt, dass eine bessere Unterscheidung potentiell abrufbarer Items in Form von FOKs zu einer effektiveren Verteilung von Abrufbemühungen führt.

Gute Überwachung und Steuerung haben demnach gute Leistungen in einem Erinnerungstest zur Folge (Thiede, Dunloski, Griffin, & Wiley, 2005). Metakognitive Steuerung wird stark beeinflusst durch metakognitive Überwachungsprozesse. Touroutoglou und Eflides (2010) und Eflides und Dina (2004) sprechen von Feeling of Difficulty (FOD) und heben dabei eine metakognitive Erfahrung hervor, welche Arbeitsprozesse monitorisiert. Die metakognitive Erfahrung, z.B. des Gefühls von Schwierigkeit, tritt bei der Bearbeitung von Aufgaben auf und verlangt nach bewusstem Denken (Flavell, 1979).

Eflides (2001) bezeichnet FOD als metakognitives Wissen und beschreibt es als eine Schnittstelle zwischen Person (Fähigkeit und Selbstkonzept) und Aufgabenschwierigkeit. Eine Studie von Eflides, Samara & Petropoulou (1999) mit 274 Studenten der 7., 8., und 9. Jahrgangsstufe untersuchte den Zusammenhang zwischen feeling of difficulty (FOD) und den Kontrollmaßen bestimmter mathematischer Aufgaben.

Die Studenten gaben in vier unterschiedlichen Phasen der Aufgabenbearbeitung das Maß des erlebten Schwierigkeitserlebens ab: vor der Problemlösung, während der

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Lösungsplanung, nach der Lösungsfindung, sowie eine allgemeine Einschätzung zu feeling of difficulty (FOD).

Efklides et al., 1999; Metallidoou & Efklides, 2001 weisen nach, dass FOD Kontrollentscheidungen, vermehrte Anstrengung und den Einsatz von Strategien initiieren und Ursachenzuschreibungen beeinflussen.

Die metakognitive Erfahrung von Erfolg ist verknüpft mit Problemlösen. Es konnte für das Fach Mathematik gezeigt werden, dass das Selbstkonzept (z.B. *ich denke, ich bin gut in Mathe*) eng verknüpft ist mit dem Gefühl der Selbstwirksamkeit (*ich erwarte dieses Jahr gut in Mathe zu sein*; Efklides & Petkaki, 2005).

In einer Studie von Efklides und Vlachopoulos (2012) und Efklides (2014) wurde gezeigt, dass Lernende verlässliche Beurteilungen hinsichtlich der Schwierigkeitseinschätzung von Mathematikaufgaben abgaben. Annahmen über das eigene Lernverhalten beeinflusst die Wahl der Methode, die man zum Lernen benötigt. Dabei kann die Lernzeit der Aufgaben als eine Funktion ihrer metakognitiven Annahmen betrachtet werden, vielmehr als ihre aktuelle Leistung.

Die Studenten gaben mögliche Kontrollideen an, wie z.B. Wissen darüber, dass Regeln für die Bearbeitung von Aufgaben nötig sind, dass Üben nötig ist, oder dass man die Hilfe anderer benötigt. Die Ergebnisse zeigten, dass das FOD zwischen den Bearbeitungsphasen variierte und Ideen bezüglich der Kontrolle beeinflusst. Indirekt ermittelten sie zwischen Kontrolle und Leistungsfähigkeit einen Zusammenhang.

1.2.1 Klassifikation der Metakognition

1.2.2 Deklaratives metakognitives Wissen

Das deklarative metakognitive Wissen umfasst das Wissen um den eigenen kognitiven Zustand, um bewusstes, abrufbares und gültiges Wissen, welches durch Erfahrungen gedeckt ist (Hasselhorn & Artelt, 2018). Es bezieht sich auf verbalisierbares Wissen, über die beim Lernen, Verstehen und Erinnern ablaufenden Prozesse und ihre Voraussetzungen (Flavell, Miller & Miller, 2002).

Dabei lässt sich zwischen Personen-, Aufgaben-, und Strategiewissen unterscheiden. Das Personenwissen bezieht sich auf die angenommenen lern-, gedächtnis-, und Verstehens relevanten Eigenschaften und Fähigkeiten, wie Intelligenz und Begabung, Interessen und Neigungen. In Bezug auf die Aufgaben beinhaltet das deklarative metakognitive Wissen die Kenntnisse über die für die Lösung von Lern-, Gedächtnis-, und Verstehens Anforderungen

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

relevanten Eigenschaften von Aufgaben. Dazu wird die Kenntnis über den individuellen Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe einbezogen. Das Strategiewissen beinhaltet Erkenntnisse, die Personen im Laufe ihrer Entwicklung über das Vorhandensein und die Nützlichkeit bestimmter Lern- und Denkstrategien gewinnen (Schneider & Hasselhorn, 1988).

Deklaratives, metakognitives Wissen ist somit das Wissen über die Informationsverarbeitungsfähigkeit, das Wissen über kognitive Anforderungen von Aufgabenstellungen und das Wissen über Strategien und deren effektive Nutzung.

Zusätzlich zu der Unterscheidung, worauf sich das deklarative Wissen bezieht, wird oft noch eine Bewertung nach qualitativen Merkmalen metakognitiven Wissens vorgenommen. Paris, Lipson & Wixson (1983) unterscheiden zwischen deklarativem, prozeduralem und konditionalem metakognitivem Wissen, womit sie das Wissen *dass*, Wissen *wie*, Wissen *wann* und *warum* umschreiben. Im Rahmen der Lernstrategie *Eselsbrücken*, wäre deklaratives Wissen als Wissen zu verstehen, das den Gedächtnisabruf erleichtert. Wissen über das *wie* der Anwendung von Eselsbrücken wäre als prozedurales Wissen zu bezeichnen.

Hasselhorn und Artelt (2018) weisen auf Borkowski, Milstead und Hale (1988) hin, die die Kenntnis über die differenzielle Wirksamkeit verschiedener Strategien herausstellen und damit die Vorgehensweise in Beziehung zur Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen einer Aufgabe setzen.

1.2.3 Prozedurale Metakognition

Die prozedurale Metakognition bezieht sich auf den Prozess der Regulation von Kognition. Dabei finden einerseits verständnisüberwachende Aktivitäten im Zuge von Lern-, und Denkprozessen statt, sowie andererseits der Einsatz von Lern-, Denk- und Gedächtnisstrategien im Sinne selbstregulatorischer Aktivitäten überwacht werden (Goswami, 2008; Schneider & Artelt, 2010). Vor allem meint *prozedural*, das Planen, Überwachen und Regulieren von Arbeitsprozessen (Mungengast, 2022).

Auch unbewusste Empfindungen und Erfahrungen werden unter prozeduraler Metakognition subsummiert. Bereits Flavell und Wellmann (1977) haben den Begriff der *Sensitivität* als Subkategorie der Metakognition genannt und diesen als ein Gespür für den Einsatz bestimmter gedächtnis- und lernförderlicher Aktivitäten beschrieben. Als eine weitere Prozesskomponente metakognitiver Handlungen wird die metakognitive Erfahrung von Hasselhorn und Artelt (2018) genannt.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Darunter verstehen sie bewusste kognitive Empfindungen wie z.B. verwirrt sein über eine scheinbar widersprüchliche Information oder auch das bedrückt sein über das Nicht-Verstehen einer Information.

Sensitivität und metakognitive Erfahrungen sind wichtige Voraussetzungen für die tatsächlichen Überwachungs-, Kontroll-, und Regulationsprozesse beim Lernen (Hasselhorn, 1992).

1.2.4 Entwicklung von Metakognitionen

Die Entwicklung von Metakognition beginnt aus entwicklungspsychologischer Sicht im Lauf der ersten Schul-, bzw. Vorschuljahre und erreicht ihren Höhepunkt in der frühen Sekundarstufe (Kuzle, 2018; Mevarech & Kramarski, 2014; Veenman et al., 2006; Whitebread et al., 2005 in Desoete & De Craene, 2019).

Sowohl die Qualität als auch die Häufigkeit von Metakognition steigt in diesem Zeitraum stark an (Van der Stel et al., 2010; Van der Stel & Veenman, 2014; Veenman et al., 2004 in Veenman & Van Cleef, 2019).

Qualität und Intensität der Nutzung metakognitiver Kompetenzen lassen sich interindividuelle Differenzen und intraindividuelle Schwankungen beobachten, die sich über den Entwicklungszeitraum als relativ stabil erweisen (Hasselhorn & Labuhn, 2008 In Schneider, Hasselhorn, 2008 S. 31).

Im Hinblick auf den Einsatz metakognitiver Fähigkeiten behalten Schüler/-innen offenbar ihre relative Position in ihrer Altersgruppe weitgehend bei (Veenman et al., 2004; Van der Stel and Veenman, 2014 in Veenman & Van Cleef, 2019).

Dabei entwickelt sich die Metakognition von Fähigkeiten/ Aspekten mit niedrigem Aufwand, bzw. niedriger Komplexität, wie z.B. dem Erkennen einer Problemstellung – hin zu Fähigkeiten/ Aspekten mit höherem Aufwand – wie der Planung und Steuerung (Hidayat et al., 2018; Shute, 1996 in Desoete & De Craene, 2019).

Whitebread et al. (2007) beobachteten metakognitive Aktivitäten (im Bereich Erklärung, Beurteilung und Planung) bereits bei Kindern im Alter zwischen drei und fünf Jahren, während Überwachungs- und Transfer-Fähigkeiten in diesem Altersbereich nur in geringem Umfang auftraten (Temur et al., 2019).

Die Komponenten Überwachung (Monitoring) und Evaluation entwickeln sich nach Veenman et al. (2004) erst nach der Entwicklung der Komponente Planung.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Baker (1994, nach Hasselhorn (2004, S.28) nennt drei Klassen von Einflussfaktoren: biologische Reifungsmechanismen, soziale Einflüsse und das Ausmaß und die Intensität von Eigeninitiativen einer Person.

Etwa im achten Lebensjahr führen reifungsbedingte Mechanismen zu einem Beginn von realistischer Selbstwahrnehmung und etwa im zehnten, elften Lebensjahr zu dem von Piaget beschriebenen Erreichen reflexiver Selbstabstraktion.

Es kann davon ausgegangen werden, dass in der Pubertät noch nicht der Endpunkt des entsprechenden Entwicklungsgeschehens erreicht ist (vgl. Hasselhorn, 1995; Schneider, 2010). Darin liegt *eine* Begründung für das hier durchgeführte Training metakognitiver Fähigkeiten in den achten Klassen einer Mittelschule.

1.2.5 Metakognition und Lernerfolg

Mathematik gilt als ein Fach, in dem das Problemlösen eine grundlegende Aufgabe ist. Es ist wesentliche Grundlage schulischer Curricula (KMK, 2003; NCTM, 2000). Dabei haben besonders metakognitive Fähigkeiten einen entscheidenden Einfluss auf das Lösen von Aufgaben.

Bezugnehmend auf erste Annahmen von Flavell (1976), dass Metakognitionen das Wissen repräsentiert, das eine Person über ihre kognitiven Fähigkeiten hat, benennt er die Bedeutung des aktiven Monitorings im Prozess der Bearbeitung von Aufgaben, sowie er die Fähigkeit der Regulation des Prozesses hervorhebt.

Dabei spielt das Selbstmanagement und Kontrolle, im Sinn von Management der personellen Ressourcen, und Allokationen eine Rolle (Rott, 2012b). Somit stellt Selbstregulation eine besonders hervorzuhebende Rolle dar (siehe dazu Kapitel 1.3).

Schoenfeld (1992) konnte früh den Einfluss metakognitiver Fähigkeiten auf Selbstregulation ermitteln, indem er in einem Training Studenten zu ihren Arbeitsprozessen befragte und damit einen Beitrag zur Reflexion bzw. dem Monitoring der Prozesse anregte. Der Anteil der Studenten, die über unzureichende Regulierung des Prozesses verfügten, konnte durch sein Training um 20% gesenkt werden. Die erfolgreicherer Studenten zeigten vermehrt Überwachung (monitoring) und zeigten größere Regulationsfähigkeiten ihrer Arbeitsprozesse.

Mevarech and Kramarski (1997) arbeiteten mit Schülern aus 7. Klassen, welche sie in zwei Gruppen geteilt haben. Die Schüler der Experimentalgruppe, die ein Training metakognitiver Fähigkeiten und damit die Möglichkeit der Selbstregulation erhielten, zeigten signifikant bessere Ergebnisse in ihren Mathematiktests als die der Kontrollgruppe.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Eine Sammlung verschiedener Studien über Metakognitionen wurde von Cohors- Fresenborg, Kramer, Pundsack, Sjuts, und Sommer (2010) durchgeführt. Sie zeigten positive Korrelationen zwischen metakognitiven Fähigkeiten und Erfolg beim Problemlösen und damit signifikant bessere Ergebnisse in Mathematiktests, als diejenigen, die keine metakognitiven Fähigkeiten zeigten.

Schneider (1985) wies in einer Metaanalyse zum Zusammenhang zwischen Metakognition und kognitiven Leistungen aus 27 vorliegenden Publikationen zwischen Metakognition und Leistung einen mittleren Zusammenhang nach von $r=.41$.

Hasselhorn (2006) beschreibt einen Wirkmechanismus von Metakognition auf den Lernerfolg und ergänzt Schneiders Ansatz der Sensitivität durch bewusste kognitive Empfindungen und bewusste affektive Zustände und subsummiert diese unter metakognitiver Erfahrung bezüglich der eigenen kognitiven Aktivität.

So kann beim Lesen eines Textes eine metakognitive Erfahrung bewusst werden, weil der Schüler Inkonsistenzen zwischen Textabschnitten empfindet. Oder er bemerkt beim Versuch, einen Text zusammenzufassen, dass er einen Textabschnitt nicht verstanden hat. Aus dieser *Überwachung* heraus würde der Lerner Aktivitäten planen, mit deren Hilfe er den Text verstehen würde. Meist findet sich in derartigen Lernprozessen eine von zwei Merkmalen: Reflexion und im Anschluss daran, strategische Aktivitäten. Aus der Sicht der Metakognitionsforschung erscheint wichtig, dass Reflexion sowohl vergangenheitsbezogen, als auch gegenwartsbezogen sein kann, im Sinne der Reflexion während des Bearbeitens einer Aufgabe- und entsprechende Regulationen vorgenommen werden können (Hasselhorn, Gold, 2017).

Beide Formen der Reflexion sind Ursprung wie Folge von Metakognitionen. Das Nachdenken über Handlungen ist demzufolge die Folge von exekutiver Metakognition und der Ursprung metakognitiver Erfahrungen und systemischen Wissens. Das Nachdenken während einer Lernhandlung zeugt von metakognitiver Sensitivität und erzeugt epistemisches Wissen. Reflexion ist also ein Bindeglied zwischen verschiedenen metakognitiven Kompetenzen auf der einen Seite und zwischen Lernerfolg bzw. Lernleistung auf der anderen Seite.

Metakognition macht den Lernprozess bewusst und sorgt für den Einsatz verfügbarer Strategien (Hasselhorn & Labuhn, 2008). Für einzelne Lernsituationen lässt sich empirisch zeigen, dass metakognitive Aktivitäten positiv mit dem jeweils erzielten Lernerfolg zusammenhängen (Dunlosky & Metcalfe, 2009, -In Hasselhorn & Artelt, 2018).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Auf der Grundlage der Daten der PISA Studien (OECD 2018, 2022) hat sich gezeigt, dass 70% der Fünfzehnjährigen Schüler, zumindest ohne direkte Anweisungen interpretieren und erkennen, wie eine einfache Situation mathematisch dargestellt werden kann. Damit erreichen sie die Mindestkompetenzstufen.

In einer Studie von Artelt, Demmrich und Baumert (2001) wurde ermittelt, dass Schüler mit ausreichend gutem deklarativen metakognitivem Wissen auch über eine hohe Lesekompetenz verfügen, so dass das deklarative metakognitive Wissen mit fachlichen Kompetenzen korreliert. Wie mittels Strukturgleichungsmodellen nachgewiesen wurde, beeinflusst das metakognitive Wissen bei Dritt- und Viertklässlern die Leistung, sowohl direkt, als auch vermittelt über den Strategiegebrauch (Pierce & Lange, 2000). Die Verfügbarkeit von deklarativem, metakognitiven Strategiewissen führt dabei nicht zwingend zu einer angemessenen Auswahl von Strategien.

Wie in Ansätzen zur *Strategy coherence*, der Beziehung zwischen dem Strategiewissen und dem Einsatz der Strategien gezeigt werden konnte, besteht insbesondere für schwache Lerner eine Diskrepanz zwischen Strategiekenntnis und der angemessenen Auswahl von Strategien (Meneghetti, De Beni & Cornoldi, 2007). Die alleinige Kenntnis einer Strategie (deklaratives Strategiewissen) impliziert nicht zwingend eine erfolgreiche Nutzung der Strategie.

Erst wenn ein Lerner weiß, wie eine Strategie eingesetzt wird, und Situationen erkennen kann, in denen diese Strategie angemessen ist, sind die Voraussetzungen für einen gewinnbringenden Strategieeinsatz erfüllt. Dabei stellt die gezielte Auswahl einer Strategie einen wichtigen Schritt dar. Voraussetzung für eine Strategiewahlentscheidung ist zunächst einmal die Verfügbarkeit eines Strategierepertoires, aus dem Strategien ausgewählt werden können.

Zum einen müssen bei der Entscheidung für die Verwendung einer Strategie die konkreten Aufgabenanforderungen erkannt werden (metakognitives Aufgabenwissen), zum anderen müssen die eigenen Kenntnisse und Fähigkeiten (metakognitives Personenwissen) berücksichtigt werden. Das relationale, metakognitive Wissen entscheidet darüber, wann eine Strategie im Vergleich zu einer anderen Strategie besser geeignet ist, um eine konkrete Lernsituation zu bewältigen. Aus diesem Grund ist das relationale metakognitive Wissen für die Auswahl einer optimalen Strategie während einer Aufgabenbearbeitung, als zentral zu bezeichnen. (Meneghetti et al, 2007).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Je besser ein Lerner in der Lage ist, für bestimmte Lernanforderungen die jeweils passende Strategie auszuwählen, desto stärker wirkt sich dies auf die gezeigte Leistung aus (Meneghetti et al., 2007). Die Kenntnis darüber, wie eine Strategie gewinnbringend angewendet wird, steht somit zwischen der Verfügbarkeit von deklarativem Strategiewissen und der Lernoptimierung. Defizitäre Voraussetzungen bezüglich der Umsetzung einer Strategie in eine erfolgreiche Lernhandlung, sind in diesem Kontext zu berücksichtigen. Dabei hebt er Mediationsdefizit, Produktionsdefizit und Nutzungsdefizit besonders hervor (Hasselhorn, 1996).

Hasselhorn (1992) hebt für die Anwendung metakognitiven Wissens verschiedene Faktoren hervor. Besonderen Stellenwert haben seiner Ansicht nach in aktuellen Lernsituationen motivationale Faktoren. Aufgrund niedriger Tätigkeitsanreize (intrinsisch, wie extrinsisch) können Personen hinter ihrem Leistungspotential wie Intelligenz und Begabung zurückbleiben. Auch aufgrund mangelnder Vorkenntnisse über den zu bearbeitenden Stoff, werden strategische Aktivitäten nicht erkannt. Es besteht folglich ein Unterschied zwischen dem metakognitiven Wissen und den Prozessen, die miteinander eingesetzt, in konkreten Anwendungsprozessen zur erfolgreichen Bearbeitung beitragen können. Ein fundiertes metakognitives Wissensrepertoire, metakognitive Erfahrungen und Fertigkeiten helfen zu reflektieren und zu regulieren (Hasselhorn, 2008).

Diese Fähigkeiten stellen neben motivationalen Faktoren entscheidende Voraussetzungen für produktive Lernprozesse dar (Hasselhorn & Labuhn, 2008, In Schneider, Hasselhorn, 2008; Leutwyler, 2007). Personen, die über eine elaborierte Wissensbasis in Bezug auf die beim Lernen relevanten Voraussetzungen, Verfahrensweisen und Bedingungen verfügen, wenden kognitive und metakognitive Strategien häufiger an und erzielen höhere Lernerfolge.

Der Einsatz metakognitiver Fähigkeiten kann dabei als eine Schlüsselkompetenz in Lernsituationen betrachtet werden (Perels, Otto, Schmitz & Bruder, 2007; Schmitz, 2001; Souvignier, Streblow, Holodynski, & Schiefele, 2007; Zimmerman, 1994).

1.2.6 Voraussetzungen für die Anwendung metakognitiver Strategien

Der Zusammenhang zwischen metakognitivem Wissen und der Anwendung in einer konkreten Situation wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Hierzu zählen persönliche Eigenschaften, Präferenzen und Fähigkeiten, die Motivation und das Interesse, und das metakognitive Wissen der Schüler (Hasselhorn, 1992; siehe dazu Kap.1.3.7).

Die Einflussfaktoren können einen metakognitiven Strategieeinsatz sowohl positiv, als auch negativ beeinflussen, indem dieser angestoßen oder eher behindert wird.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Dies gilt ebenso für die Auswirkungen des metakognitiven Strategieeinsatzes, da die Einflussfaktoren einen positiven oder auch negativen Einfluss auf den Einsatz für den Schüler haben können.

Die Ergebnisse können sich auf die emotional- motivationale Ebene auswirken und zukünftige Prozesse beeinflussen. Aufgrund fehlender intrinsischer oder extrinsischer Motivation können Lernende hinter ihrem Leistungspotential zurückbleiben. Auch mangelnde Vorkenntnisse können es unmöglich machen, strategische Lernmöglichkeiten zu erkennen.

Es kann ein Unterschied zwischen Wissen und den anwendungsnötigen Prozessen bestehen, so dass das Lösen von Aufgaben erschwert wird. Demnach kann der Einsatz metakognitiver Strategien, sowohl mittels aufgebauten metakognitivem Wissen, als auch indirekt auf einer persönlich-motivationalen Ebene erfolgen (Hasselhorn, 2008).

Hasselhorn und Gold (2006) beschreiben hier als wichtigen Faktor die *Sensitivität*, das Gespür für die verfügbaren kognitiven Aktivitäten, welche nicht konsequent bewusst ablaufen. (vgl. Hasselhorn & Gold 2006, S. 95 f.). Nach Hasselhorn und Gold (2006) ist dieses Gespür von zentraler Bedeutung für die effektive Nutzung von Überwachungsprozessen (vgl. ebd.). Auch Efklides (2002) arbeitete hierbei in ihrer Studie empirisch heraus, dass metakognitive Empfindungen den aktivierenden Input für den Einsatz metakognitiver Strategien liefern können (vgl. Efklides 2002, S. 181).

Der Lehrperson kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle zu (siehe auch Kap. 1.3.7). Metakognition kann als unterstützendes Element bezeichnet werden, die Effektivität von Lehre zu maximieren (Hartmann, 2001; Temur et al., 2019, S. 655).

Der Einsatz von Metakognition durch Lehrkräfte hat einen signifikanten Einfluss sowohl auf Lehr- wie auch auf Lernverhalten im Mathematikunterricht (Prytula, 2008; Prytula, 2012 in Temur et al., 2019).

Die Vermittlung von Metakognitionen, wie auch die Erhebung metakognitiver Fähigkeiten und metakognitiven Wissens, gelten als wichtige Ziele des Mathematikunterrichts, bzw. der mathematikdidaktischen Forschung (vgl. etwa Schellings, van Hout-Wolters, Veenman & Meijer, 2013).

Nach Wilson und Conyers (2016) lässt sich der Abstand von leistungsschwächeren zu leistungsstarken Lernenden verringern, indem schwächere Lernende darin unterstützt werden, ihr Lernverhalten metakognitiv steuern zu lernen (Temur et al., 2019, S. 657). Im Rahmen des *Scraffolding*, können Lehrkräfte eine Unterstützung anbieten, die sich an die individuellen Schwierigkeiten der Lernenden anpasst, damit diese anschließend selbstständig

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

weiterarbeiten können (Schukajlow, Kolter & Blum, 2015). Lehrkräfte können eine Art Gerüst darbieten, welches nicht nur mathematisches metakognitives Wissen anlegt, sondern damit auch motivationalen Input geben und damit eine positivere Einstellung schaffen, Aufgaben zu lösen. In dieser Arbeit wird dieser Kerngedanke des Modells von Möglichkeiten einer Bearbeitung von mathematischen Aufgaben durch das metakognitive Training aufgegriffen. Ein wesentlicher Faktor, ob Schüler metakognitives Wissen anwenden, liegt demzufolge in dem Schüler selbst. Im Folgenden Kapitel sollen die motivationalen Faktoren, das Vorwissen und das Lernengagement der Schüler hervorgehoben werden.

1.2.7 Lernengagement

Das Engagement beim Lernen ist ein wichtiges Bildungsziel für die Schüler/-innen des einundzwanzigsten Jahrhunderts (Jong, Lee & Shang, 2013; Fullan et al., 2018). Es ist ein zentraler Indikator für Lernprozesse und -ergebnisse und damit ein optimales Ziel für die Bildungsforschung, da es veränderbar ist (Fredricks, Blumenfeld & Paris, 2004; Lawson und Lawson, 2013).

Bisherige Studien zum Engagement haben sich meist auf die kritische Rolle von Aufgaben, motivationale Konstrukte, soziale Faktoren (z. B. Lehrer und Gleichaltrige) und selbstreguliertes Lernen (Hughes, Costley & Lange, 2018; Furrer, Skinner & Pitzer, 2014; Jong, Chen, Tam, & Chai, 2019) bezogen.

Lern-Engagement wird als ein vielschichtiges Konstrukt betrachtet mit drei Dimensionen:

- Verhaltensengagement, nämlich die Aufmerksamkeit und Anstrengung, die Schüler in Lernaktivitäten oder -aufgaben investieren (Kong, Wong & Lam, 2003; Fredricks et al., 2004),
- kognitives Engagement, das sich auf Lernstrategien und Selbstregulierung konzentriert (Pintrich und De Groot, 1990; Fredricks et al., 2004) und
- emotionales Engagement, dem Grad des Interesses am Lernen (Kong et al., 2003; Fredricks et al., 2004; Skinner und Pitzer, 2012).

Als Einflussfaktoren auf kognitive Belastung listeten Paas et al. (1994) Subjektcharakteristika, Aufgabencharakteristika und den Umgang mit Aufgabenschwierigkeiten (*Subject Task interactions*) auf.

Vorwissen kann dabei die kognitive Belastung reduzieren, was zu einer besseren Lernmotivation führt (van Riesen, Gijlers, Anjewierden, & de Jong, 2019). Yang, M.C.Chen & S.Y.Chen, (2018) gehen davon aus, dass selbstreguliertes Lernen die Beziehung zwischen Vorwissen und Lernen erweitert. Vorwissen verringert die kognitive Belastung und führt zu

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

einem guten Lerner (Myhill & Brackley, 2004; Mihalca, Salden, Corbalan, Paas & Miclea, 2011). Frühere Studien haben gezeigt, dass Vorwissen einen wichtigen Einfluss auf die Lernbereitschaft hat (Rodrigues, 2007; Pecore et al., 2017).

Die Theorie der kognitiven Belastung besagt, dass beim Erwerb von neuem Wissen, neue Informationen im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden, das eine begrenzte Kapazität hat, und ein neues kognitives Schema im Langzeitgedächtnis konstruiert wird (Sweller et al. (1998).

Schüler mit größerem Vorwissen haben möglicherweise mehr Arbeitsgedächtniskapazität zur Verfügung, um ihre aktuellen Lernaufgaben zu verarbeiten (Mihalca et al., 2011). Nach der Schematheorie ist das Vorwissen ein entscheidender Faktor bei der Bildung eines neuen kognitiven Schemas, um neues Wissen zu erwerben. Schüler mit geringen Vorkenntnissen benötigen mehr Unterstützung, um die kognitive Belastung zu verringern, während Schüler mit hohem Vorwissen leichter neue Schemata bilden und eine geringere kognitive Belastung wahrnehmen (Myhill & Brackley, 2004; van Riesen et al., 2019).

Kognitive Belastung steht in einer negativen Beziehung zum selbstregulierten Lernen (Hughes et al., 2018). Sowohl kognitive Belastung als auch selbstreguliertes Lernen verbrauchen die kognitiven Ressourcen der Schüler. Eine hohe kognitive Belastung führt dazu, dass Studierende oberflächliche Lernstrategien wählen (Galy et al., 2012).

Didaktische Unterstützung durch Lehrkräfte ist unter Bedingungen geringer kognitiver Belastung und hohem Vorwissen wirksam, aber bei hoher kognitiver Belastung und geringem Vorwissen ist sie ineffektiv (Seufert, Jänen & Brünken, 2007).

1.3 Metakognition und Selbstreguliertes Lernen

Das deklarative Metagedächtnis ist eine notwendige Voraussetzung für den Einsatz exekutiver Steuerungsmechanismen und stellt Informationen über Prozesse, Mechanismen und Strategien bereit (Efklides, 2008; Nelson, 1996). Das prozedurale Metagedächtnis übernimmt vor allem exekutive Kontroll- und Steuerungsmechanismen. In Bezug auf das selbstregulierte Lernen sollten die Hauptkomponenten des exekutiven Kontrollprozesses hervorgehoben werden, die notwendig sind, um komplexe akademische Aufgaben selbstständig zu bearbeiten:

- Koordinierung des metakognitiven Wissens - Regulierung des kognitiven und metakognitiven Wissen, Verstehen des eigenen Wissens und des Denkprozesses;
- Planen - einen bewussten und organisierten Ansatz für die Durchführung einer Aufgabe verwenden;
- Überwachung - Bewertung des Verständnisses während der Ausführung einer Aufgabe und

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Überprüfung der Effektivität, Strategien zu testen, zu bewerten und zu überarbeiten;
Erkennen von Fehlern - bei der Erfüllung einer Aufgabe erkennen, sowie entsprechende Fehlerkorrekturen (Zimmerman, 2001).

Entscheidend für die Anwendung der Mechanismen dabei sind metakognitive Strategien. Bedeutsam sind vor allem Strategien zur Regulierung von Informationsverarbeitungs z.B. Strategien zur Memorierung, Transformation und/oder Elaboration (Artelt, Baumert, Julius-McElvany & Peschar, 2003).

Mit Hilfe von metakognitiven Lernstrategien wird der Prozess der kognitiven Verarbeitung geplant, überwacht, reflektiert und/oder evaluiert. Metakognitive Fähigkeiten, wie Strategien, metakognitive Vorhersagefähigkeit und metakognitive Erfahrungen tragen entscheidend dazu bei, dass selbstgesteuertes Lernen stattfinden kann.

Die Funktion metakognitiver Prozesse liegt darin, Wissen über den Lernprozess herzustellen und dieses Wissen laufend zu kontrollieren. Die Lernhandlung wird dabei in Bezug auf die Zielerreichung hinterfragt und gegebenenfalls der Lernprozess angepasst, sollte das Ziel nicht zufriedenstellend sein. Somit kann die Auswahl, der Einsatz und die Kontrolle kognitiver Strategien helfen, zu steuern (Artelt, 2000).

Selbstregulation ist demnach die Fähigkeit des Lernenden, die eigenen Gedanken, Emotionen und Handlungen zielgerichtet zu steuern (Zimmerman, 1990; 2000). In den sozial-kognitiven Ansätzen zum selbstgesteuerten Lernen werden vor allem motivationale Faktoren hervorgehoben, wie die Selbstwirksamkeitserwartung und Zielorientierung (s. Bandura, 1993; 2003; Zimmerman, 2000).

Auch die Metakognitionsforschung hebt motivationale Faktoren, wie das Selbstwertgefühl, die Kontrollüberzeugung und die Kausalattribution als einflussnehmende Faktoren auf die gute Informationsverarbeitung hervor (vgl. Schreblowski, 2004). Es besteht also ein deutlicher Zusammenhang zwischen metakognitiven Fähigkeiten und Selbstreguliertem Lernen.

Im Folgenden wird zunächst der Begriff Selbstregulation erläutert, um dann anhand von Modellen die Verortung von Metakognition zu verdeutlichen.

1.3.1 Selbstregulation, eine begriffliche Annäherung

Bereits in den 70-er Jahren rückte durch die kognitive Wende das Interesse am Thema Selbstreguliertes Lernen (SRL) in den Fokus des unterrichtlichen Lernens (Lauth, Brünstein, Grünke, 2004).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Selbstreguliertes Lernen gehört zu den zentralen Bildungszielen des Schulunterrichts (Deutsches PISA-Konsortium, 2003; 2022) und stellt eine wesentliche Voraussetzung für Lernerfolg dar (Landmann, Perels, Otto, Schnick-Vollmer, Schmitz, 2009 In Wild, Möller, 2009).

In vielen Situationen werden Lernende vor die Herausforderung gestellt, sich neues Wissen anzueignen und Kompetenzen zu erwerben, mit deren Hilfe sie Aufgabenstellungen bearbeiten können (Kistner et al., 2010). Nach PISA (2012) verfügen 70% der Schüler über eine Mindestkompetenzstufe und können ohne direkte Anweisungen eine einfache Situation mathematisch darstellen und interpretieren. Nur 9 % der Schüler*innen können komplexe Situationen mathematisch modellieren und sind in der Lage, geeignete Problemlösungsstrategien auszuwählen, zu vergleichen und zu evaluieren.

In einer Gesellschaft, in der lebenslanges Lernen verlangt wird, wird die Fähigkeit, den eigenen Lernprozess zu regulieren, mehr und mehr bedeutsam.

Deshalb wird vermehrt der Fokus der Forschung auf Selbstreguliertes Lernen gesetzt. Es gibt empirische Anhaltspunkte, dass Selbstreguliertes Lernen (SRL) von großer Bedeutung für akademische Leistung ist (Zimmerman, 1990; Zimmerman, 2008; Zimmerman & Schunk, 2001).

Als eine Methode der Selbststeuerung sind Lernstrategien für effektives Lernen bedeutsam. Eine der geläufigsten Definition ist die Unterscheidung in kognitive und metakognitive, sowie Strategien des Ressourcenmanagements. Schlüsselkomponenten der SRL sind neben Kognition und Metakognition, Motivation, Affekt und Wille (Bannert, 2007; Boekaerts, 1996).

Lernende verwenden, je nach Lernanforderung für jeden Aspekt des selbstgesteuerten Lernens unterschiedliche Strategien. Dabei lassen sich Lernstrategien unterteilen in Primär- und Stützstrategien (Danserau, 1985 In Segal, Chipman & Glaser(Hrsg).

Primärstrategien ermöglichen die kognitive Auseinandersetzung mit bereits vorhandenem Wissen, neuem Wissen, dem Abrufen der Einstellung gegenüber dem Inhalt und dem spezifischen Gegenstandsbereich, der Darstellung von Informationen, sowie der Verknüpfung der Prozesse untereinander. Stützstrategien helfen indirekt, um Informationen aus Aufgaben zu verarbeiten. Sie helfen, diese zu initiieren, aufrecht zu erhalten und zu steuern. Sie erhöhen die Bereitschaft zur selbständigen Zielsetzung, Selbstaktivierung und der angemessenen Verarbeitung von Erfolgen und Misserfolgen. Dabei unterstützen sie bei der Umsetzung von Wünschen in Absichten, sowie sie helfen, konkurrierende Handlungswünsche

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

abzuwehren. Sie sind unterstützend bei der Zeitplanung und der metakognitiven Kontrolle (Baumert & Koller, 1996). Zu den Stützstrategien zählen metakognitive Strategien und Strategien des Ressourcenmanagements.

Die empirische Wirksamkeit von Lernstrategien, in denen Lern- und Stützstrategien experimentell induziert wurden, konnte nachgewiesen werden (Artelt & Moschner, 2005; Leutner, Barthel & Schreiber, 2001; Pickl, 2004, 2007). Strategien beziehen sich nach Leutwyler (2007, S.29) auf ein langfristiges und zielorientiertes Vorgehen bei der Bearbeitung von Aufgaben. Nach Kaiser (1999) können Strategien als Aktivitätssequenzen bezeichnet werden, die zur Bearbeitung einer Aufgabe beitragen. Lernstrategien werden von Pintrich (2000) und Zimmerman (2000) als Schlüsselkomponenten des SRL angesehen.

Schon die KMK (2016) sieht vor, Lernstrategien fächerübergreifend zu fördern und in allen Fachcurricula zu verankern. Das Implementieren der Lernstrategieförderung in den Schulalltag und vor allem in den regulären Fachunterricht stellt dabei eine große Herausforderung dar. Oft mangelt es an Schulen an Theorie- und Evidenz basierten Grundlagen sowie die Ressourcen auf Seiten der Lehrkräfte wenig vorhanden sind (Souvignier & Behrmann 2017).

Die pädagogisch-psychologische Forschung zeigt zwar wirksame Lernstrategietrainings zur Förderung des SRL bei Schülerinnen und Schülern auf (Dignath & Büttner, 2008), dennoch scheitert es häufig daran, Transfereffekte auf die Bearbeitung von Lernaufgaben des regulären Fachunterrichts zu erzielen (u. a. Labuhn, Bögeholz, Hasselhorn, 2008). Lernstrategietrainings, die direkte und indirekte Trainings kombinieren (Friedrich & Mandl 1997; Paris & Paris 2001) könnten im Unterricht verankert werden und die Implementierung des Selbstregulierten Lernens in der Schule begünstigen.

Dabei sind die Inhalte des direkten Trainings, die für das SRL notwendigen Lernstrategien, die den Lernenden explizit gezeigt und ihre Anwendung mit den Lernenden anhand von Trainingsaufgaben geübt werden. Das kann zum Beispiel in Form von Arbeitsgruppen außerhalb des Unterrichts durchgeführt werden. Demgegenüber realisieren indirekte Trainings die Gestaltung einer Lernumgebung, die zur Anwendung von Lernstrategien anregt, aber keine Strategietrainingsaufgaben bereithält.

Diese Kombination erscheint erfolgsversprechend hinsichtlich der selbstregulativen Fähigkeiten von Schülern (Schuster, Stebner, Wirth & Leutner, 2018).

Selbstreguliertes Lernen ist demnach ein mehrdimensionales Konstrukt, in dem die aktive Rolle des Lernenden betont wird, sowie die damit einhergehende Handlungskompetenz des

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Lernenden betont wird (Boekaerts, 1996, 1999; Boekaerts & Corno, 2005; Panadero, 2017; Pintrich, 2000; Winne, 2004; Zimmerman, 1998, 2008). Es gibt viele Definitionen von Selbstregulierung, deren Konsens noch in der Wissenschaft, sowie auch in der Bildungspsychologie diskutiert wird (Li, Pang, Zhang & Du, 2011a; Zimmerman, 2008).

Dabei ist die Unterscheidung zwischen selbstregulierten Lernstrategien und metakognitiven Lernstrategien häufig unscharf und unklar (Dignath, Büttner, Langfeldt, 2008). Metakognition und Selbstregulierung beziehen sich manchmal auf dasselbe Konzept, während andere Modelle metakognitive Strategien als wichtiges Element der Selbstregulierung betrachten. Die Terminologie der Selbstregulierung wird in verschiedenen Bereichen als Selbstkontrolle, Selbstmanagement oder Metakognition bezeichnet.

Die kognitive Theorie versteht das Selbstregulierte Lernen (SRL) als vorherrschende Strömung produktiven Lernens, als breiten bewussten, zielorientierten und kontrollierbaren Prozess (Leutwyler, Maag & Merki, 2009). Dabei richtet die Forschung den Blick auf Zielsetzung, Monitorisierung der Handlungen (Gonzales, 2013) und Beendigung von Prozessen unter Einwirkung motivationaler und verhaltenssteuernder Prozesse (Berk, 2003; Ozhiganova, 2018; Schunk, 1990; Schunk, 2001; Zimmerman, 2002; Zimmerman, Bonner, & Kovach, 1996; Zimmerman & Schunk, 2001).

Selbstgesteuertes Lernen (SRL) bezieht sich auch auf die Einstellung der eigenen Ziele in Bezug auf das Lernen und die Sicherstellung, dass die gesetzten Ziele erreicht werden. Der Begriff der Selbstregulation (SR) umfasst Zustände und Prozesse, die mit der Regulation von Stress, Stimmungen, Gedanken, Aufmerksamkeit, Emotionen und Impulsen korrelieren (Gross, 2007). Somit ist Selbstregulation oft mit emotionaler Regulation verbunden (Gagnon, Durand-Bush & Young, 2016; Gross & John, 2003; Ochsner & Gross, 2005; Tice, Bratslavsky & Baumeister, 2001). Selbstreguliert Lernende werden als Personen beschrieben, die sich bewusst darüber sind, ob und in welchem Maße sie eine Fähigkeit oder Wissen in einem bestimmten Bereich besitzen oder nicht.

Die verschiedenen theoretischen Modelle der SRL unterscheiden sich in ihren Eigenschaften, mit Betonung auf verschiedene Komponenten. Einigkeit besteht darin, dass SRL ein breiterer Prozess ist, der sich auf die Überwachung, Kontrolle von Verhalten, Kognition, Motivation und Metakognition, zu der hauptsächlich die Überwachung und Kontrolle der Kognition gehören (Dinsmore, Alexander, & Loughlin, 2008; Schunk, 2008). Diese konzeptionelle Überschneidung zwischen Selbstreguliertem Lernen und Metakognition, erfordert eine gründliche Analyse der beteiligten Prozesse, um zu ermitteln, ob Metakognition

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

mit Motivation und Affekt korreliert und damit Auswirkungen auf Selbstreguliertes Lernen hat. Außerdem gibt es Facetten der Metakognition (d.h. metakognitive Erfahrungen), die einen emotionalen Charakter haben können (Efklides, Kourkoulou, Mitsiou, & Ziliaskopoulou 2006). Daraus ergibt sich eine theoretische Grundlage für die Verbindung von Metakognition, Motivation und Emotionen (Efklides, 2011; siehe Kapitel 1.8.1).

1.3.2 Modelle der Selbstregulation

In den letzten Jahrzehnten wurden zahlreiche Modelle zur Selbstregulation entwickelt. Sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen: zum einen in Prozessmodelle (Pintrich, 2000; Schmitz, 2001; Zimmerman, 2000) und zum anderen in Schichtenmodelle (Boekaerts, 1999; Boekaerts & Niemivirta, 2000; Landmann & Schmitz, 2007a). Die Prozessmodelle heben den phasen- oder prozessbezogenen Charakter der Selbstregulation hervor, während die Schichtenmodelle die Selbstregulationsebenen in den Fokus stellen.

1.3.3 Prozessmodelle der Selbstregulation

Das Prozessmodell von Zimmerman und Campillo (2003; Abb.3) beschreibt drei Phasen der Selbstregulation als zyklischen Prozess: die präaktionale Phase, die aktionale und die postaktionale Phase.

In der *präaktionalen Phase* werden die Handlungen geplant und Ziele gesetzt ausgehend von der Aufgabe, der Lern- und der persönlichen Situation. Dabei spielen die individuellen Überzeugungen des Lerners und seine emotionalen und motivationalen Voraussetzungen eine wichtige Rolle. Diese übernehmen die Funktion individueller Standards, an denen sich die Selbstregulation orientiert (Schmitz, Landmann & Perels, 2007).

Im Mittelpunkt stehen Aufgabenanalyse und selbstmotivierende Überzeugungen.

Der Kernaspekt der *aktionalen Phase* sind volitionale Prozesse, die für die Aufrechterhaltung und Optimierung der Lernhandlung verantwortlich sind. Dabei spielen Kontrolle der Anstrengung und Konzentration eine Rolle. Neben dem adäquaten Einsatz von Lernstrategien ist die Fähigkeit gefragt, Vorsätze und Ziele trotz auftretender Schwierigkeiten oder Ablenkern aufrecht zu halten und zu verfolgen. Der Lernprozess wird überwacht.

Dem Beobachten eigener Arbeitsprozesse (Self-Monitoring), und der Feststellung des Ist-Zustands kommt eine Kernfunktion zu (Zimmerman, 2000). Diese Phase ist den exekutiven Metakognitionen zuzuordnen. Erfolgreiches Lernen kann in dieser Phase an einer effektiven Lernzeit, sowie an situationsangemessener Volition und aufgabenspezifischen

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Strategien (Mathematik) festgemacht werden. Dazu wurden die Schüler mittels Fragebogen, Lerntagebüchern, Interviews und Denkprotokollen befragt (Spörer & Brunstein, 2006).

Eine Übersicht einer Differenzierung von Lernstrategien findet sich im Fragebogen *Lernstrategien im Studium (LIST)*, Wild & Schiefele, 1994).

Die *postaktionale Phase* dient der Einschätzung und Reflexion des Lernvorgangs, ein weiterer metakognitiver Prozess. Das erreichte Ergebnis (Ist-Zustand) wird mit dem anfangs gesetzten Ziel (Soll-Zustand) verglichen. Für die Bewertung spielen sowohl Attributionen, wie auch Normvorstellungen eine Rolle. Das Resultat der Selbstbeobachtung kann Schlussfolgerungen für zukünftige Lernprozesse haben. Ist der Lernende nicht zufrieden mit dem Ergebnis, kann dies zu einer Abwandlung der Ziele führen oder den Einsatz anderer Lernstrategien initiieren. So beeinflusst die Reflektion der *postaktionalen Phase* den Planungsprozess in der *präaktionalen Phase* der folgenden Aufgabe. In Bezug auf die folgenden Aufgaben werden dann andere Strategien eingesetzt.

Das Prozessmodell der Selbstregulation von Schmitz (Schmitz, Landmann & Perels, 2007) lehnt sich an Zimmerman (2000) an und differenziert ebenso drei Phasen: präaktional, aktional und postaktional. Diese Phasen sind als iterativer Prozess zu sehen. In der präaktionalen Phase werden Ziele gesetzt, deren Erreichung durch entsprechende Strategien in der aktionalen Phase angestrebt werden und deren Bewertungsprozess in der postaktionalen Phase zu einer Modifikation der Strategien führen kann.

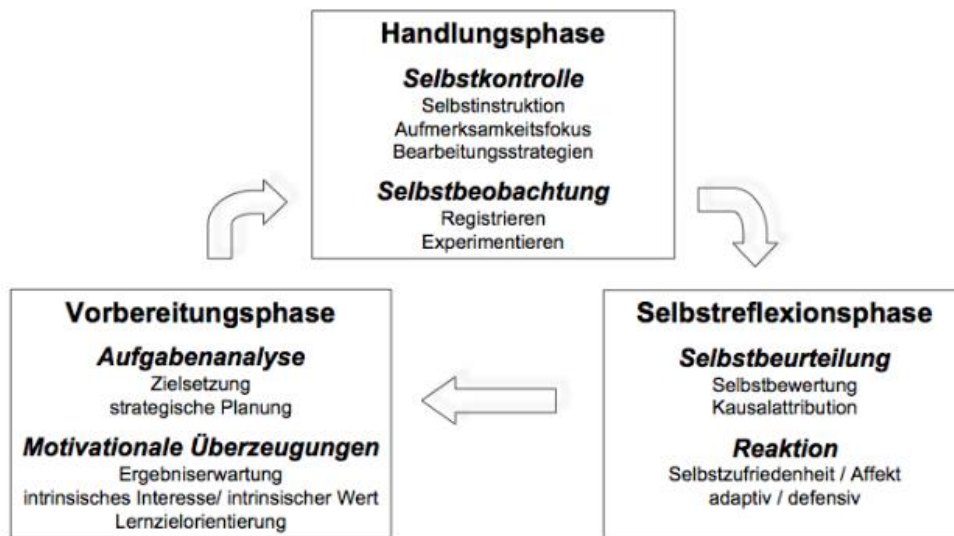
Pintrich (2000) differenziert vier Phasen in seinem Modell: Planungs- und Aktivationsphase, Überwachungs-, oder Monitoringphase, Kontrollphase und Reaktions- und Reflexionsphase. Dabei hebt er die Phase der Selbstüberwachung besonders hervor und widmet ihr eine separate Phase, die er Überwachungs- oder Monitoringphase nennt. Pintrich (2000) unterscheidet für jede der vier Phasen vier Regulationsaspekte: Kognition, Motivation, Verhalten und Kontext (nach Landmann, Perels, Otto, 2009, In Wild, Möller, 2009).

Aus diesen Bereichen ergibt sich ein 16-zelliges Kategorisierungsschema, das dazu beiträgt spezifische Regulationsstrategien einzuordnen. Für die vorliegende Arbeit ist es nicht von Relevanz, deshalb wird an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Abbildung 3

Phasenmodell des Selbstregulierten Lernens.



Anmerkung. Verdeutlicht den zyklischen Prozess (adaptiert nach Zimmerman und Campillo, 2003, [in der deutschen Übersetzung] zitiert nach Hasselhorn & Labuhn, 2008, S.33.

1.3.4 Schichten - Modell der Selbstregulation

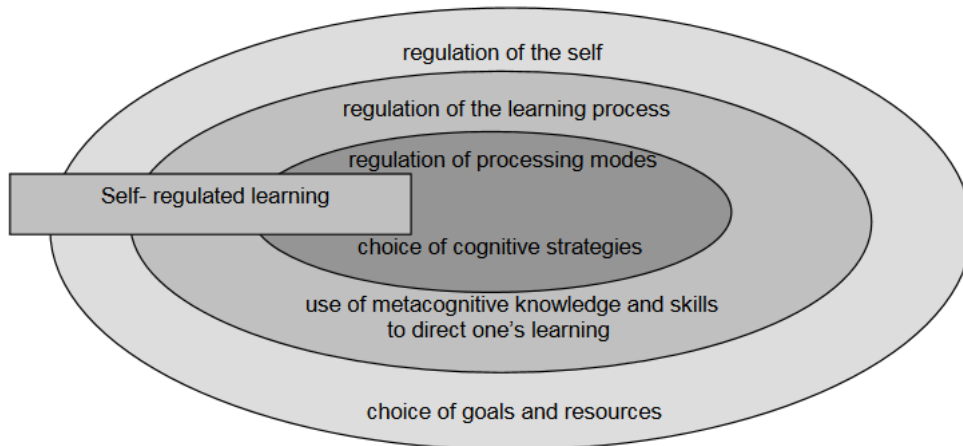
Die Schichtenmodelle können den Prozessmodellen gegenübergestellt werden. In ihrem Mittelpunkt steht nicht der zeitliche Verlauf der Regulation, sondern sie betrachten die verschiedenen Ebenen.

Dabei gilt das drei-Schichten-Modell von Boekaerts (1999) als wegweisend und liegt auch dieser Studie zugrunde. Das Modell definiert Selbstreguliertes Lernen als komplexe Interaktion zwischen kognitiven und motivationalen Regulationsprozessen, die als konzentrische Ellipsen dargestellt werden und sich jeweils auf drei unterschiedliche Regulationsgegenstände beziehen (Abb.4).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Abbildung 4.

Dreischichtenmodell des Selbstregulierten Lernens.



Anmerkung. Modifiziert nach Boekaerts (1999 zitiert nach Wild, Möller, 2009, Seite 51]

Der Regulationsgegenstand im Kern ist der Informationsverarbeitungsprozess, in dem reguliert wird, wie mit Lerninhalten umgegangen wird. Dazu kann der Lerner kognitive Primärstrategien wählen, um Aufgaben zu bearbeiten (Landmann, Perels, Otto, Schmitz, 2009),

Der Lerner stellt sich Fragen bezüglich der Herangehensweise z.B. einer Mathematikaufgabe. In der metakognitiven (mittleren) Schicht werden diese Wahl und die dafür gewählten kognitiven Strategien überwacht. In der äußeren Ellipse findet die Regulation des Selbst, der Motivation, sowie der Volition, statt. Es werden hier Ziele überprüft und Ressourcen, die zur Zielerreichung nötig sind (Wild, Miller, 2009).

1.3.5 Hierarchiemodell

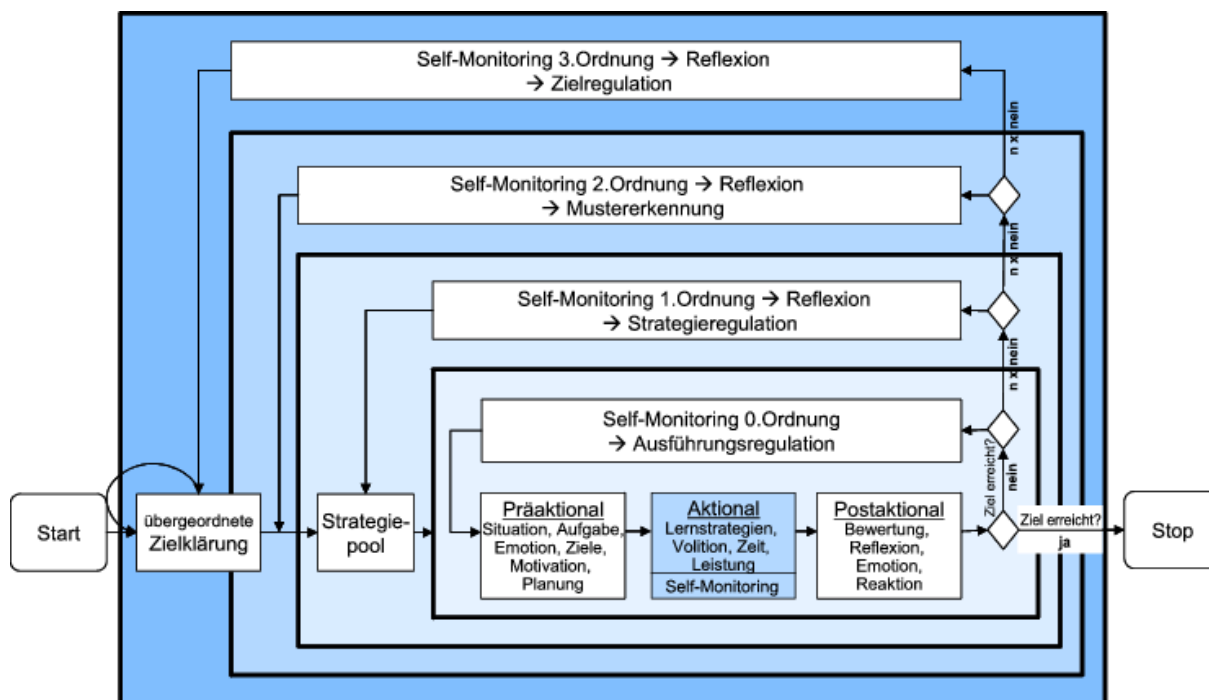
Das Hierarchiemodell von Landmann und Schmitz (2007a) vereint Prozess- und Schichtenaspekte, indem es zum einen aufeinander aufbauende Ebenen der Regulation beschreibt und zum anderen den prozessualen Charakter hervorhebt. Dabei wird der Selbstbeobachtung (Self-Monitoring) eine besondere Rolle zugewiesen.

Die Selbstbeobachtung wird in diesem Modell erweitert, indem jeder Ebene eine Beobachtung zugewiesen wird: Ausführungsregulation, Strategieregulation, Reflektion und somit Zielregulation (Abb.5).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Abbildung 5

Hierarchieebenen der Selbstbeobachtung und- regulation



Anmerkung. Modifiziert nach Landmann & Schmitz, (2007a; zitiert nach Wild, Möller, 2009, Seite 52)

1.3.6 MASRL Modell

Der Beginn des MASRL Modells (metacognitive and affective model of self-regulated learning; Abb.6) geht zurück auf die klassische soziokognitive Theorie der Selbstregulation und auf bestehende Modelle der Selbstregulation.

Das Modell bietet einen theoretischen Rahmen, der Begriffe aus verschiedenen Forschungstraditionen und Paradigmen integriert, über bestehende Modelle hinausgeht und Einblicke in die Themenmechanismen des SRL-Prozesses bietet, insbesondere wie Metakognition und Motivation/Affekt sich gegenseitig auf den beiden Ebenen der SRL-Funktion informieren (Efklides, 2011).

Die Selbstregulation (SR) beinhaltet dabei Zustände und Prozesse, die mit der Regulation von Stress, Stimmungen, Gedanken, Aufmerksamkeit, Emotionen und Impulsen zusammenhängen (Gross, 2007). Demnach betont Selbstregulation dabei den emotionalen Aspekt. Kognitive Aspekte der SR wurden untersucht in Beziehung zu Planung und Zielsetzung (Gollwitzer, Fujita, & Oettingen, 2004), sowie Aufmerksamkeit und die

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

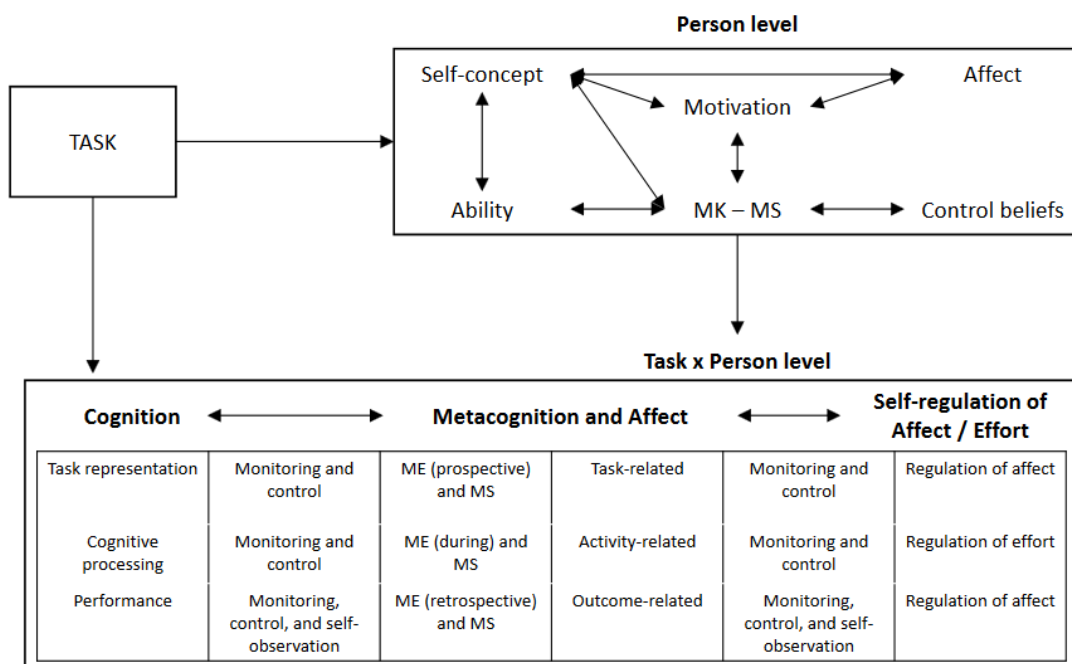
Willenskraft in kognitiv-affektiven Prozessen (Rueda, Posner & Rothbart, 2011; Mischel et al., 2010).

Das "metakognitive und affektive Modell des selbstgesteuerten Lernens" (das MASRL-Modell-Abb.6) unterscheidet zwei Funktionsebenen in der SRL, nämlich die Personenebene und die Aufgabenebene \times Person-Ebene.

Auf der Ebene der Person sind Wechselwirkungen zwischen Merkmalen wie kognitiven Fähigkeiten, metakognitiven Kenntnissen und Fähigkeiten, Selbstverständnis, Kontrollwahrnehmung, Einstellungen, Emotionen und Motivation in Form von Erwartungswertüberzeugungen und Erfolgszielorientierungen hypothetisch. Personenmerkmale (wie z.B. metakognitives Wissen) Zielorientierungen und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen sind mitentscheidend für gelingende Selbstregulationsprozesse (Pintrich, 2000; Schunk & Zimmerman, 1998).

Abbildung 6

MASRL-Modell (metacognitive and affective model of self-regulated learning)



Anmerkung: ME= metacognitive experiences; MK= metacognitive knowledge; MS= metacognitive skills (zitiert nach Efklides, 2011, Seite 7).

Diese Personeneigenschaften leiten die Selbstregulierung in einem top down Prozess. Bei der Aufgabe \times Personenebene, d.h. die Ebene, auf der Selbstregulations-Ereignisse (SR) stattfinden, spielen metakognitive Erfahrungen, wie das Gefühl der Schwierigkeit einer

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Aufgabe, eine große Rolle bei der Aufgabenmotivation und Selbstregulierung von *bottom up* Prozessen. Es sind also reziproke Beziehungen zwischen den beiden Funktionsebenen der SR möglich.

Die Kerngedanken einiger Modelle zu Selbstreguliertem Lernen werden von Wirth und Leutner (2008) zusammengefasst, indem sie selbstreguliertes Lernen als Kompetenz bezeichnen, bei der der Lerner autonom plant, ausführt und evaluiert, während er kontinuierlich Entscheidungen kognitiver, motivationaler und verhaltensrelevanter Aspekte trifft. Panadero (2017) sieht das Konzept der Selbstregulation als übergeordnetes Konzept, welches kognitive, metakognitive und motivationale Komponenten einschließt.

Zusammenfassend gesagt, ermöglicht Metakognition als grundlegendes Konstrukt der Selbstregulierung den Schülern zu planen, sowie besonders Lernressourcen zu planen und einzusetzen, zu überwachen und ihr eigenes Wissen und ihre Fähigkeiten, sowie ihr persönliches Lernniveau in verschiedenen Phasen des Lernprozesses zu überwachen (Pintrich, 2000; Zimmerman, 2000).

Die vorliegende Studie geht davon aus, dass Metakognition in das Konzept des Selbstregulierten Lernens eingebettet ist.

Die Modelle von Zimmerman und Campillo (2003), das Modell von Landmann und Schmitz (2007a), sowie das MASRL Modell von Efklides (2011) stellen dabei wesentliche Grundlagen der vorliegenden Arbeit und des Trainings dar (siehe Kap. 1.3).

1.3.7 Selbstreguliertes Lernen und Lernerfolg

Selbstreguliertes Lernen gehört heute zu den zentralen Bildungszielen von Unterricht (Deutsches PISA Konsortium, 2012; 2022). Als fächerübergreifende Kompetenz soll es dazu beitragen, das eigene Wissen ein Leben lang zu erweitern. Pressley (1986) beschreibt in seinem *Good Strategy User Modell* was gutes Lernen im Kern ausmacht.

Dazu gehören seiner Meinung nach: eine breite Wissensbasis, die Beherrschung von Strategien, mit denen Aufgaben erfolgreich bearbeitet werden können, die Fähigkeit zu wissen, welcher Aufgabentyp welche Strategie benötigt, sowie die Fähigkeit den eigenen Lernfortschritt zu beobachten und gegebenenfalls das Vorgehen zu verbessern.

Nicht alle Schüler verfügen über die Fähigkeit, ihren Lernprozess selbst zu regulieren. Fragt man den Schüler nach möglichen Lösungsstrategien, so kann er diese zwar nennen, wendet sie aber nicht an. Lernende sollten während der gesamten Schulzeit selbstreguliertes Lernen praktizieren. Eine besondere Rolle fällt dabei den Lehrkräften zu, die das

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

selbstregulierte Lernen ihrer Schüler unterstützen sollten (Waeytens, Lens & Vandenberghe, 2002; siehe auch Beschluss KMK, 2016).

Einige Studien ermittelten, dass hoch erfolgreiche Lernende über eine hohe Selbstregulation verfügen (z.B. Martinez-Pons 1986, 1988; Nota, Soresi & Zimmerman, 2004; Purdie & Hattie, 1996). Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass selbstregulierende Schüler sich mehr realistische Ziele setzen, mehr effektive Lernstrategien wählen, und sich besser in ihren Arbeitsprozessen beobachten und vermehrt ihr Verständnis von Aufgaben evaluieren.

Sie sind höher motiviert zu lernen und zeigen vermehrte Anstrengung (Schunk, 2008; Zimmerman, 2008; Zimmerman, 2011). Es kann also vermutet werden, dass diese Fähigkeiten positive Auswirkungen auf die Ergebnisse haben (Boekaerts & Corno, 2005; Efklides, 2011). Selbstregulierte Lerner verfügen über ein Repertoire kognitiver, metakognitiver und motivationaler Strategien. Diese Strategien umfassen jeweils den exekutiven Teil des Erwerbs von Wissen und Fähigkeiten, sowie den regulativen Teil, der die exekutiven Lernaktivitäten steuert, und die affektiven Strategien, die auf das Selbstmanagement ausgerichtet sind (u. a. Boekaerts 2002; Dermitzaki, Leondari, & Goudas, 2009; Pintrich 2000; Sperling, Howard, Miller, & Murphy, 2002; Van Hout-Wolters, Simons & Volet, 2000; Weinstein, Acee, & Jung, 2011).

Lernstrategien werden daher als Schlüsselkomponenten des Selbstregulierten Lernens angesehen (Pintrich 2000; Zimmerman 2000).

Perels (2007) konnte in einer Studie zeigen, dass eine Förderung, die direkt beim Lernenden ansetzt, eine Optimierung des Lernverhaltens zur Folge hatte. Die Schüler wurden beispielsweise darin geschult, wie sie sich selbst Ziele setzen, wie sie ihre Arbeitsschritte planen, ihren Prozess beobachten und wie sie mit Ablenkungen oder Misserfolgen umgehen können.

Der Trainings-Ansatz vorliegender Studie ist vor dem Hintergrund bereits bestehender Studien entwickelt worden. Das Ziel dieses Trainings ist, die Schüler zu selbstreguliertem Verhalten im Mathematikunterricht anzuregen, durch Einsatz von metakognitiven Strategien, sowie sie zur Selbstreflexion und Regulation anzuregen.

Einflussfaktoren auf Selbstreguliertes Lernen

Die Fähigkeit, selbstreguliert zu arbeiten wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Aufgrund mangelnder Tätigkeitsanreize oder geringem Interesse an einem Fach bleiben manche Lernende hinter ihrem Leistungspotential zurück.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Auch mangelnde Vorkenntnisse bzw. Erfahrungen können dem Lernenden erschweren, strategische Lernmöglichkeiten zu erkennen (Efklides, 2011). Efklides beschreibt ihrem MASRL-Modell (metacognitive and affective model of self-regulated learning; siehe Kapitel 1.3.6) den reziproken Zusammenhang zwischen zwei funktionierenden Ebenen: dem Person-Level und dem Bearbeitungslevel. Dabei führt das Person-Level zu einem funktionierenden Bearbeitungslevel und umgekehrt.

In Anlehnung an Banduras soziokognitiver Theorie (1986), sind beeinflussende Faktoren dabei das Selbstwirksamkeitsgefühl, aber auch die Fähigkeiten des Beobachtens des Prozesses (self-monitoring) und der Bewertung und Regulation des Prozesses (self-evaluation). Als metakognitive Fähigkeiten spielen diese im Selbstregulationsprozess eine wesentliche Rolle (Artelt & Schneider, 2015; Goswami, 2008; Hasselhorn, Kunde & Schneider, 2017; Schneider & Artelt, 2010).

Selbstwirksamkeit stellt die intrinsische motivationale Kraft des Lernenden dar. Bei Erfolg wird die Anstrengung für die Bearbeitung einer Aufgabe erhöht. Bei mangelndem Erfolgserleben, wird die Anstrengung vermindert. Es entsteht das Gefühl von mangelnder Selbstwirksamkeit (Boekaerts, 1999; Pintrich, 2000; Winne, 2004; Zimmerman, 1998).

Pressley (1986) hebt die motivationalen Überzeugungen während des Lernprozesses hervor. Der Lerner sollte davon überzeugt sein, dass er etwas erlernen kann und, dass Anstrengung zum Erfolg führen kann.

Der Lerner sollte keine Zweifel oder Angst haben, zu versagen, da dies den selbstregulativen Prozess negativ beeinflusst (Zimmerman, 1995b).

Besonders die Beeinflussbarkeit des Lernprozesses durch Emotionen auf die Anwendung kognitiver, wie metakognitiver Strategien wurde empirisch nachgewiesen (King & Areepattamannil, 2014; Pekrun, 2006; Pekrun, Goetz, Daniels, Stupinsky & Perry, 2010) siehe dazu Kapitel 1.4.).

Emotionen haben Einfluss auf Motivation, Lernstrategien und Selbstwirksamkeitserleben (Kyttälä & Björn, 2010; Pekrun et al., 2010). Die Kapitel zu *Emotionen* (1.4 und 1.5) beschreiben den Einfluss von Emotionen auf das Lernverhalten näher.

Einfluss der Lehrperson

Der Lehrperson kommt im Zusammenhang mit selbstreguliertem Lernen eine wesentliche Rolle zu. Schon die Stimulierung metakognitiver Aktivitäten im Unterricht ein kann ein Verständnis“ mathematischer Probleme geben und kann Metakognition nachhaltig fördern (Schoenfeld, 1982 nach Mungengast, 2022).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Mungengast (Seite 51) zitiert Hacker et al. (2019) nach dem bereits Beobachtung und Nachahmen von Lehrkräften metakognitives Verhalten (Überwachung und Regulation) bei Lernenden initiiert.

Dabei scheint die explizite Thematisierung von Metakognition im Unterricht essenziell zu sein, damit Metakognition unterstützend zur Entwicklung und Verbesserung von Mathematik-Fähigkeiten beitragen kann. Temur et al. (2019) weist diesbezüglich darauf hin, dass Lehrkräfte zwar häufig implizit Metakognitionen im Unterricht einsetzen, diese aber nicht konkret vermittelt werden (Desoete & De Craene, 2019).

Lucangeli et al. (2019) konnte in einer Studie nachweisen, dass Schülerinnen und Schüler (mit einem durchschnittlichen Alter von 9,3 Jahren) zwar den Nutzen von Metakognition verstanden haben, aber diese dennoch nicht ohne explizite Aufforderung einsetzten.

Ein Trainingsprogramm mit kognitiven und metakognitiven Inhalten erhöhte die Bereitschaft der Lernenden, metakognitiv aktiv zu werden. (Lucangeli, S. 583)

Die Lehrkraft stellt demnach eine extrinsische Motivationskraft dar, indem sie spezifische Lösungsstrategien für die betrachteten Probleme unter Nutzung der Technik der verbalen Selbstinstruktion und Selbstbewertung die metakognitive Überwachung eigener Lösungsschritte lehrt (Dunlosky & Thiede, 2013; Hattie, 2009; Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989).

Sie können erläutern, wann und wie welche Strategien eingesetzt werden können. Durch Rückmeldungen für korrektes Vorgehen bei der Bearbeitung von Aufgaben stärken sie die Lernenden in ihrer Selbstwirksamkeit und Autonomie (Lauth, Grünke, Brunstein, 2014).

Metakognitive Erfahrungswerte

Facetten von Metakognitionen (metakognitive Erfahrungen) haben nach Efklides (2006) einen affektiven Charakter. Durch Erleben von Misserfolg bei der Bearbeitung von Aufgaben, können Strategien durch Monitorisierung verändert werden. Dieser Prozess setzt eine hohe Motivation beim Lerner voraus.

Auch Metakognitive Erfahrungswerte spielen im Sinne situationsentsprechender Emotionen, Beurteilungen, Einschätzungen und Gedanken, denen der Lerner sich während der Aufgabenbearbeitung bewusst ist, eine große Rolle (Efklides, 2001; Flavell, 1979).

Folgt man Efklides (2001, 2006, 2011), gilt es, die aufgabenspezifische Einschätzung der Lernenden zu betrachten (*appraisal* siehe in diesem Kapitel), wie deren Einschätzung z.B.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades und damit zusammenhängend die Bewältigung aufgrund metakognitiver Erfahrungen (z.B. Georgiades, 2004).

Die affektiven Erfahrungen können vorkommen im Sinne von *etwas über die Bearbeitung einer Aufgabe zu wissen, eine Aufgabe als Schwierigkeit zu erkennen, sich vertrauen zu können und sich zufrieden fühlen, eine Aufgabe einschätzen zu können* etc. (siehe Efklides, 2006). Metakognitive Erfahrungen bilden situationsentsprechende Gefühle ab, die während der Bearbeitung von Aufgaben stattfinden (Efklides, 2001; Flavell, 1979).

Im weitesten Sinn sind die affektiven Erfahrungen, denen der Lernende sich während der Aufgabenbearbeitung bewusst wird, wie Interesse, Begeisterung, oder Misserfolg, auch Teil metakognitiver Erfahrungen. Metakognitive Erfahrungen, wie Urteile über die Gleichartigkeit von Aufgaben oder Kontrollentscheidungen, wie z.B. die Zuweisung von Ressourcen (z.B. Aufwand) und Überlegungen zu den zu verwendenden Strategien, sind ebenfalls Teil der *online*-metakognitiven Erfahrungen (Efklides, 2001).

Dabei kann die Motivation durch erfahrbar gemachte Kontrollentscheidungen beeinflusst werden, zukünftiges Engagement wird beeinflusst und eine Veränderung des Selbstkonzepts findet statt (Efklides & Tsiora, 2002).

Im folgenden Kapitel wird der Begriff der Emotion vertieft beschrieben, da Emotionen besonders im Lernkontext eine wesentliche Rolle einnehmen. Im Verlauf der Arbeit wird deren Bedeutung im Kontext verdeutlicht.

1.4. Emotionen im Mathematikunterricht

1.4.1 Das Konstrukt Emotion

In den letzten zwei Jahrzehnten wurde vermehrt über Emotionen beim Lernen geforscht (z.B. Pekrun, Goetz, Titz, & Perry, 2002; Pons, Hancock, Lafortune & Doudin, 2005; Linnenbrink, 2006). Dabei sind nach Schutz und Lanehart (2002) Emotionen in nahezu jeden Aspekt des Lehr- Lernprozesses involviert.

Im Schulbereich treten vielfältige Emotionen auf und diese können nicht nur fächerübergreifend, sondern auch je nach Lernsituation im gleichen Fach variieren (Pekrun, et al., 2002; Pekrun, 1998; Titz, 2001).

Aus pädagogischer Sicht wird Emotionen damit nicht nur eine Bedeutung für den Lernprozess zugesprochen, sondern vielmehr kommt ihnen auch die Rolle als Zielvariable zu, da sie einen Wert darstellen, den es zu fördern gilt (Hascher & Edlinger, 2009).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Die Forschung über die Rolle der Emotionen in der Bildung hat gezeigt, dass ein Zusammenhang besteht zwischen Emotionen und verschiedenen Aspekten des Lernens wie dem Einsatz von metakognitiven Strategien, metakognitiven Erfahrungen, Motivation, Zielen und Leistung (z. B. Efklides & Petkaki, 2005; Pekrun, Goetz, Frenzel, Barchfeld, & Perry, 2011; Pons, de Rosnay, & Cuisinier, 2010; Schutz & Pekrun, 2007 für Abbildungen und Übersichten). Eine wesentliche Grundannahme ist, dass Emotionen das Verhalten beeinflussen und steuern (Seidel, 2008).

Götz (2004) und Hagenauer (2011) fassen Emotionen unter folgenden Komponenten zusammen: die affektive, kognitive, motivationale und physiologische Komponente. Die Kernkomponente nimmt dabei die affektive Komponente ein. Sie steht dabei der Alltagssprachlichen Bedeutung am nächsten und meint einen subjektiv erlebten Gefühlszustand (Lazarus, 1974).

Diese Komponenten können sowohl gemeinsam, als auch einzeln bei Emotionen auftreten. Zudem ist es möglich, jede emotionale Reaktion eines Menschen einer dieser Komponenten zuzuordnen (Lohrmann, 2008).

Über die Komponenten von Götz und Hagenauer hinaus erfolgen in der Regel Differenzierungen anhand von zwei Dimensionen: Emotionen werden zum einen als positiv oder als negativ bezeichnet. Damit wird nicht ihre Funktion, sondern ihre Valenz ngesprochen (z. B. Pekrun & Frenzel, 2009).

Eine wichtige strukturelle Eigenschaft von Emotionen ist die Unterscheidung zwischen state- und trait Emotionen (Catell & Scheier, 1961). Titz (2001) unterstreicht zwischen aktuellen und habituellen Emotionen. State-Emotionen sind demzufolge momentane Zustände, die sich auf eine konkrete Situation beziehen und demnach zeitlich fluktuieren. Trait-Emotionen hingegen sind habituelle und relativ zeitstabile Zustände (Pekrun & Frenzel, 2009).

Götz (2004) bezeichnet trait-Emotionen als dispositionelle Reaktionstendenz einer Person für eine bestimmte Situation, während einem gewissen Zeitraum. Boekaerts (1987) sieht den Hauptunterschied bei der Erfassung der Konstrukte darin, dass mit der Frage nach trait Aspekten, individuelle Reaktionen auf allgemeine Situationen oder Aussagen gemessen werden. Fragen nach state Aspekten beziehen sich nach Boekaerts eher auf einen bestimmten Zeitpunkt.

Nach Myrtek (2004) weisen trait und state Emotionen einen allgemeinen Zusammenhang auf. Während der Aufgabenbearbeitung findet demnach eine Interaktion

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

zwischen Person und ihren Erfahrungen statt und vor diesem Hintergrund die Bewertung der aktuellen Situation (Efklides, 2001). Emotionale Zustände, die sich als Reaktion auf einen bestimmten Lernbereich, wie z.B. Mathematik wiederholen, werden wahrscheinlich zu einer habituellen Reaktion der Schüler auf diesen Lernbereich (Tulis, Ainley, 2011).

Robinson und Clore (2002) haben versucht, die Diskrepanz zwischen trait und state Emotionen zu identifizieren. Sie fanden heraus, dass subjektive Überzeugungen teilweise relevant für state Emotionen sind.

Hinsichtlich des Begriffs Lernemotionen sind weitere Klärungen erforderlich. Während Götz, Zirngibl, Pekrun und Hall (2003, S. 11f) von „Emotionen, die in einem schulischen Kontext erlebt werden“ sprechen, definiert Titz (2001, S. 58) „Lernemotionen beziehen sich nur auf die Prozesse des Lernens sowie auf vorher, währenddessen und unmittelbar danach stattfindende subjektive (internale) Ergebniserwartungs- und Ergebnisbewertungsprozesse.“

Beide Ansätze grenzen sich zwar in ihrer Definition von sozialen Emotionen ab, in der Frage, worauf sich die Emotionen beziehen, bleiben sie aber unscharf. Mit dem Begriff „Lernemotionen“ fokussieren sie Lernen, adressieren jedoch sowohl Lern- als auch Leistungsaspekte, mitunter sogar primär Leistungssituationen. In der vorliegenden Arbeit wird deshalb der Begriff der *academic emotions* (Pekrun, Götz, Titz & Perry, 2002) bevorzugt und von Emotionen in Lern- und Leistungssituationen gesprochen, um zu verdeutlichen, dass es sich um Emotionen in beiden Bereichen handeln kann.

Für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen Emotionen und Leistung, wird in vorliegender Arbeit auf das Mediationsmodell von Götz, Pekrun, Zirngibl, Jullien, Kleine, Hofe und Blum (2004), welches auf das Kontroll-Wert-Modell von Pekrun et al. (2002) aufbaut, Bezug genommen.

Im Hinblick auf die Richtung des Zusammenhangs zwischen Emotionen und Leistung sind die Forschungsbefunde noch nicht generalisierbar. Götz et al. (2004) gehen von einer wechselseitigen Wirkung aus, wobei die Wirkung der Emotionen auf die Leistung stärker ausgeprägt zu sein scheint als umgekehrt.

Die Kontroll-Wert-Theorie von Pekrun bietet einen Rahmen für die Untersuchung eines möglichen Vermittlungsmodell für die Beziehung zwischen Emotionen und Leistung (siehe Kapitel 1.5.2). Dieses Konzept belegt zum einen den Einfluss der Emotionen auf die Lernleistung und akzentuiert zusätzlich die Bedeutung der Motivation und Kognition. Ihr

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Unterschied liegt in der Gewichtung, beziehungsweise im Einbezug verschiedener Einflussfaktoren.

Das Kontroll-Wert-Modell von Pekrun (siehe Kap. 1.5.5) geht davon aus, dass die Überzeugungen über die eigenen Fähigkeiten eine zentrale Rolle bei der Auslösung von Leistungsemotionen wie z.B. Angst spielen (Pekrun, 2006).

Das dabei erlebte Selbstkonzept, repräsentiert die Fähigkeiten und Kompetenzen, die eine Person von sich hat (Nagengast, Marsh 2012; Pekrun, 1992 a / b; Pekrun, 2006; Pekrun & Jerusalem, 1996; Pekrun, 2002a nach Harrer, 2012, S.23).

Im mathematischen Bereich wurden starke Querschnittskorrelationen von etwa $-.60$ bis $-.70$ zwischen Selbstkonzept und Ängstlichkeit gefunden (Goetz, Cronjaeger, Frenzel, Ludtke, & Hall, 2010; Hembree, 1990; Jameson, 2014; Lee, 2009; Morony et al., 2013).

Erhebliche gleichzeitige und longitudinale Zusammenhänge (um $.70$) wurden auch gefunden zwischen Mathematikleistung und Selbstkonzept (Goetz et al., 2010; Möller, Retelsdorf, Köller, & Marsh, 2011).

Für Leistungsemotionen in Mathematik konnte in einer Studie von Goetz, Bieg, Lüdtke, Pekrun & Hall (2013) gezeigt werden, dass das Selbstkonzept von Schülern eine moderierende Variable darstellt. Eine aktuelle emotionale Bewertung einer Situation wird dabei durch die emotionale Disposition (trait) eines Lernenden mediiert (Goetz, Zirngibl, Pekrun & Hall, 2003).

Eine Reihe von Studien fanden signifikante Korrelationen zwischen Freude im Fach Mathematik und Messungen zum Selbstkonzept (Selbstwirksamkeitserleben, Glauben an die eigene Kompetenz) zwischen Schülern / und Schülerinnen der 3. Klassen und Studenten/-innen im Grundstudium, sowie auch negative Korrelationen zwischen dem akademischen Selbstkonzept und negativen Emotionen (z. B. Ärger, Angst) ermittelt wurden (Andersen & Cross, 2014; Frenzel et al., 2007; Goetz et al., 2008, 2010; Mega, Ronconi, & De Beni, 2014; Pinxten et al., 2014).

Krapp (2005), stellt ein pädagogisch-psychologisches Variablenmodell zum Zusammenhang von Emotionen und Lernen vor. Dabei kann das Lernergebnis, die abhängige Variable, quantitativ (z. B. Zuwachs an Wissen) oder qualitativ (z. B. tiefengehendes Verständnis, Einstellungen) definiert werden. Er betrachtet externe und interne Bedingungsfaktoren als unabhängige Variable.

Emotionen sind personenbezogene (interne) Faktoren und beeinflussen gemeinsam mit den externen Bedingungen den gesamten Lernprozess. Nach Krapp (2005) werden während

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

des Lernens der kognitive Informationsverarbeitungsprozess und der emotional-motivationale Begleitprozess unterschieden, die in einer engen Wechselbeziehung stehen.

Es handelt sich dabei um situativ ausgelöste, nicht-kognitive Aspekte, die durch eine interessante Lernumgebung, einen als persönlich relevant bewerteten Lerninhalt oder eine anregende Gruppenarbeit entstehen.

Zu den Vorbedingungen auf Seiten der Schüler/-innen kommen also Variablen hinzu, die unmittelbar in der Auseinandersetzung mit dem Lernen entstehen.

Der gegenwärtige Stand der Forschung unterstützt die Bedeutung der Emotionen für das Lernergebnis (Edlinger & Hascher, 2008; Efklides, 2009; Goel & Vartanian, 2011; Hagenauer, 2011; Schutz & Lanehart, 2002; Sparfeldt et al., 2009).

Wenn man Emotionen als einen situierten und dynamischen Prozess betrachtet (Efklides & Volet, 2005), scheint es, dass ein Verständnis von Emotionen im schulischen Kontext eine situierte Untersuchung der Emotionen und ihrer Quellen erfordert.

Bislang stützte sich jedoch die Forschung zu den Determinanten des emotionalen Erlebens von Schülern beim Lernen hauptsächlich auf eigenschaftsbezogene Messungen individueller Variablen wie Selbstkonzept, Kontrollüberzeugungen, Motivation, Ziele und eigenschaftsähnliche Maße von Emotionen oder auf Affekte, die nach ihrer Valenz kategorisiert sind. Darüber hinaus wurde die Forschung zu Emotionen in Problemlösungssituationen weitgehend an Schülern der Sekundarstufe durchgeführt, und die Forschung zu Grundschulern hat sich fast ausschließlich auf Angst konzentriert (Lichtenfeld, Pekrun, Stupnisky, Reiss, & Murayama, 2012; Pekrun et al., 2002).

Dabei wurden negative Korrelationen zwischen Mathematikangst und Leistung gefunden (Ashcraft & Kirk, 2001; Ashcraft & Krause, 2007).

Die angstbesetzten Gedanken verbrauchen kognitive Ressourcen, die dann nicht mehr für die Lösung der Aufgabe selbst zur Verfügung stehen. Pekrun und Kollegen (z. B. Pekrun, Götz, Titz & Perry, 2002) unterstreichen die Beeinflussung durch Angst auf die Motivation und das Lernverhalten. Dabei wird die intrinsische Motivation gesenkt, zugleich kann sie aber die Anstrengung, aufgrund erhöhter Misserfolgs-Vermeidung bewirken.

Die Forschung über die Mechanismen, die diesem Zusammenhang zugrunde liegen, konzentrierte sich hauptsächlich auf die Rolle des Arbeitsgedächtnisses (d. h. die Theorie der Verarbeitungseffizienz und der Aufmerksamkeit (d. h. der Theorie der Aufmerksamkeitskontrolle, Eysenck, Derakshan, Santos, & Calvo, 2007)).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Im Vergleich zu den negativen Emotionen, kann besonders den positiven Emotionen eine lernfördernde Wirkung zugesprochen werden (z. B. Hascher & Edlinger, 2009). Der inzwischen mehrfach bestätigte Befund, dass die positiven Emotionen gegenüber der Schule im Verlauf der Schulzeit abnehmen, schränkt die Unterstützung der Lernprozesse ein (Eder, 2007; Hagenauer & Hascher, 2011; Hascher, Hagenauer & Schaffer, 2011; Helmke, 1993; Jerusalem & Mittag, 1999).

Die vorliegende Studie hat die Emotionen Freude, Angst, Hoffnung, Ärger bei Mittelschülern einer 8. Klasse im *state* erhoben. Sie wurden vor, während und nach einer Aufgabenbearbeitung in Mathematik per Fragebogen ermittelt. Nach dem metakognitiven Training wurden diese Emotionen erneut ermittelt.

Es wird eine Zunahme der positiven Emotionen für die Trainingsgruppe erwartet.

1.4.2 Entstehung von Emotionen

Über die Entstehung von Emotionen gibt es zahlreiche verschiedene Ansätze und Theorien. Pekrun (1998) geht davon aus, dass Lern- und Leistungseemotionen, ähnlich wie Primäremotionen, aufgrund individueller genetischer Grundlagen entstehen.

In seinem Kontroll-Wert-Ansatz zur Prüfungsangst postuliert Pekrun (1992a/b, 2006), dass neben genetischer Veranlagung und neurophysiologischen Prozessen vor allem kognitive Vermittlungsmechanismen für die Entstehung z.B. von Prüfungsangst bzw. für die Erklärung interindividueller Unterschiede von Prüfungsangst verantwortlich sind.

Mit dieser Annahme lässt sich Pekrun's Ansatz in die Tradition der Appraisal -Theorien zu Emotionen einordnen. Hier wird davon ausgegangen, dass es weniger die Situation selbst ist, die eine bestimmte Emotion in Personen hervorruft, sondern vielmehr die aktuelle Interpretation (siehe Kapitel 1.5.1) einer Situation durch die Person (vgl. z. B. Scherer, Schorr & Johnstone, 2001).

Es kommt demnach darauf an, wie der Lernende die Situation kognitiv bewertet (Relevanz für den Lernenden). Entsprechend wird der Lernende emotional reagieren, wobei spezifische Konstellationen von Bewertungen (Appraisal) definieren, welche Emotion erlebt wird (Frenzel, Götz, Lüdtke, Pekrun & Sutton, 2009, S. 218). Es wird angenommen, dass eine Reihe von Bewertungen wie Valenz, Zielkongruenz, Erwartbarkeit oder Kontrollierbarkeit die Emotionen beeinflussen (Scherer et al. 2001).

In der Kontroll-Wert-Theorie der Leistungseemotionen (Pekrun 2006) wird angenommen, dass zwei Gruppen von Bewertungen besonders relevant für die Erregung von Leistungseemotionen sind: wahrgenommene Kontrolle über Aktivitäten und Ergebnisse (z.B.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

die Erwartung, dass die Anstrengung beim Lernen die mathematische Leistung verbessert) und der wahrgenommene Wert dieser Aktivitäten und Ergebnisse (z. B., Wichtigkeit von guten Leistungen in Mathematik).

Erhöhte negative Emotionen neigen zu geringer Kontrolle in Leistungssituationen und geringer subjektiver Bedeutung dem Lernstoff gegenüber, welches sich hemmend auf den Lernprozess auswirkt (Pekrun, Goetz, Frenzel, Barchfeld & Perry, 2011). Die Erfahrung von Angst in mathematischen Lernsituationen mediiert nach Malmivuori (2001) das Selbstkonzept, Selbstvertrauen und die Qualität und die Entwicklung mathematischen Lernens.

Goetz Cronjaeger, Frenzel, Lüdtke & Hall (2010) haben nachgewiesen, dass das Selbstkonzept positiv korreliert mit Freude und Stolz und negativ korreliert mit Angst, Ärger und Langeweile. Goetz et al., (2010) unterstreichen die Annahme, dass Selbstwirksamkeit, Kontrollüberzeugungen und Selbstkonzept aufeinander bezogene Konstrukte sind (vgl. Bong & Skaalvik, 2003; Bouffard & Vezeau, 2010) und es kann erwartet werden, dass ähnliche Relationen zu emotionalen Erfahrungen bestehen.

1.4.3 Entwicklungsverläufe von Emotionen im Lern- und Leistungskontext

Kindern ab dem 8. Lebensjahr ist es möglich, ihre Leistung der eigenen Anstrengung zuzuschreiben. Sie können dann Emotionen differenzieren, indem sie auch soziale und moralische Emotionen verstehen und effektiv damit umgehen (e.g., Harris, 1989; Pons, Harris & de Rosnay, 2004; Pons, de Rosnay, & Cuisinier, 2010; Pons, Hancock, Lafortune & Doudin, 2005; Saarni, 2000).

Ab dem Schuleintritt scheinen sich negative Emotionen zu erhöhen, besonders Prüfungsangst steigt im Laufe der Grundschulzeit stark an und bleibt dann im Durchschnitt der Schüler konstant. Die positiven, besonders Freude sinkt zwischen der 5. und 8. Jahrgangsstufe (Helmke, 1993; Pekrun, Frenzel, Götz & Perry, 2007).

Erklärungsansätze für die Entwicklungsverläufe sind zum einen in der Erfahrung vieler Grundschüler begründet, die mit großer Neugier, großem Interesse, und hoher Überzeugung hinsichtlich ihrer eigenen Fähigkeiten dem Schulalltag begegnen.

Die Schüler erleben im Verlauf der Sekundarstufe die schulischen Anforderungen als vermehrt schwierig. Über wiederholte Misserfolgserlebnisse gelangen sie zu Unsicherheiten und zu der Einschätzung eigener kognitiver Unzulänglichkeiten (Helmke, 1993; Schwarzer & Jerusalem, 2002). Eine erhöhte Anstrengung wird erforderlich, damit einhergehend verändert sich oftmals die emotionale Befindlichkeit den Aufgaben gegenüber. Im Verlauf der

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Adoleszenz haben außerschulische Themen und soziale Themen zudem meist mehr Gewicht. Auch sich verändernde Instruktionsstrukturen und Klassensituationen können einen Beitrag leisten (Frenzel, Götz, Pekrun, 2015).

1.5 Theoretische Grundannahmen und Modelle im Kontext der Emotionen

1.5.1 Appraisal-Theorie

Den Mittelpunkt der Kontroll-Wert-Theorie stellt die kognitiv vermittelte Emotionsgenese dar, wobei die Appraisal-Theorie die allgemeine Basis darstellt.

In der Appraisal-Theorie wird davon ausgegangen, dass Emotionen aufgrund bestimmter Interpretationen bzw. kognitiver Bewertungen auftreten (Frenzel et al., 2009, S. 218).

Die Appraisal Theorie macht dabei den Zusammenhang zwischen Emotionen und kognitiver Bewertungsprozesse deutlich (Pekrun, 2006). Situative Emotionen werden demnach durch die kognitive Bewertung einer Situation bzw. einer Aufgabenschwierigkeit hervorgerufen.

Je nachdem, wie ein Schüler eine Situation kognitiv bewertet, wird er emotional reagieren, wobei spezifische Konstellationen von Appraisals definieren, welche Emotion man erlebt (Frenzel et al., 2009, S. 218). Empirische Befunde von Frenzel, Pekrun und Götz (2007) zeigen, dass Schüler dann stärkere Angst im Fach Mathematik zeigten, wenn ihre Kompetenzüberzeugungen aufgrund der erhöhten Einschätzung eines Schwierigkeitsgrades einer Aufgabe gering waren.

Aufgrund des indirekten Einflusses auf die Emotionsentwicklung handelt es sich dabei um distale Determinanten von Lern- und Leistungsemotionen. Als distale kognitive Determinanten sind dabei persönliche Überzeugungen bzw. Grundhaltungen (z.B. Optimismus oder Pessimismus) und Zielorientierungen zu nennen, die nach Smith und Lazarus (1990) zu den wichtigsten individuellen Unterscheidungsfaktoren für die Erklärung von bewertungsbasierten Emotionen gehören (Scherer, Schorr, & Johnstone, 2001).

Weitere distale Determinanten sind verschiedene Faktoren der sozialen Umwelt, wie z.B. die Qualität der Instruktionen, die Vermittlung von Werten, Feedback und Autonomieunterstützung. Ebenso sind Erwartungs- und Zielstrukturen von wichtigen Bezugspersonen zu nennen (siehe Pekrun, 2006). Neben diesen Faktoren des direkten sozialen Umfeldes sollten auch kulturell vermittelte Werthaltungen bezüglich Lernen und Leistung oder das Bildungssystem als mitbedeutend einbezogen werden.

Die Kontroll-Appraisals bestimmen dabei die Qualität von Emotionen. Bei hohem

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Kontrollerleben wird man Vorfreude auf eine Prüfung erleben, positive Emotionen können erhöht werden, negative Emotionen verringern sich (Pekrun, 2006).

1.5.2 Kontroll-Wert-Theorie

Die Kontroll-Wert-Theorie vereint unterschiedliche Konzepte der Motivationspsychologie und Emotionsforschung und kann somit als eine integrative Theorie bezeichnet werden (vgl. Pekrun, 2006). Neben Erwartungs-Wert -Ansätzen der Emotionen und Kontrollwahrnehmungstheorien (z.B. Patrick, Skinner, & Connell, 1993, nach Pekrun, 2006), zählen auch Attributionstheorien von Lern- und Leistungsemotionen dazu (Turner & Schallert, 2001, Weiner, 1985 nach Pekrun, 2006).

Auf der Basis unterschiedlicher Theorien werden im Rahmen der Kontroll-Wert-Theorie sowohl Entstehungsbedingungen bzw. kognitive und soziale Antezedenzen diskreter Lern –und Leistungsemotionen, sondern auch deren Einfluss auf Lernen und Leistung in einem sozial-kognitiven Modell der Emotionsentwicklung (Abb.7) dargestellt. Zusammenhänge und Rückkoppelungsschleifen zwischen Antezedenzen, Emotionen und Konsequenzen werden zusätzlich beschrieben. Nachfolgend wird die Kontroll- Wert -Theorie an einem Modell im Überblick dargestellt (Abb.9).

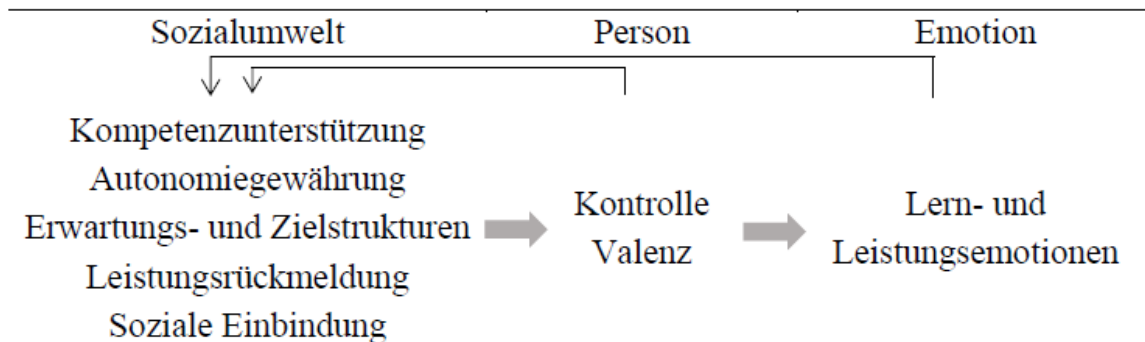
Im Rahmen der Kontroll-Wert Theorie sind in erster Linie zwei Appraisal-Dimensionen von großer Bedeutung für das Zustandekommen von Lern- und Leistungsemotionen. Bezogen auf die (Lern-)Aktivität und das (Lern-)Ereignis, sind dies die subjektiv wahrgenommene *Kontrolle* und der subjektive *Wert*.

Kontroll- und Wertkognitionen werden im Rahmen der Kontroll-Wert Theorie, aufgrund ihres direkten Einflusses auf die Entstehung der Lern und Leistungsemotionen, als proximale Determinanten bezeichnet. Im Einklang mit anderen sozialkognitiven Modellen zur Entwicklung von Lern- und Leistungsemotionen (vgl. Pekrun, 2000) werden diese proximalen Determinanten durch unterschiedliche individuelle und soziale Variablen beeinflusst.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Abbildung 7

Sozial- kognitives Modell der Emotionsentwicklung



Anmerkung. Lern- und Leistungsemotionen, adaptiert nach Pekrun (2000 zitiert nach Leeb, 2018, S.13).

Subjektiver Wert

Der subjektive Wert bezieht sich einerseits auf die Bedeutsamkeit, die der Lernende der Aufgabenbearbeitung bzw. dem Ergebnis zuspricht, und zum anderen darauf, ob die Aktivität oder das Resultat als positiv oder negativ wahrgenommen wird (Pekrun, 2006).

Dabei können Aktivitäten und (Lern-)Resultate für ein Individuum intrinsischen oder extrinsischen Wert haben. Dabei bezieht sich der intrinsische Wert auf die Wertigkeit der Aktivität oder Leistung an sich. Mit dem extrinsischen Wert ist der instrumentelle Wert gemeint, den eine Aktivität oder eine Leistung für das Erreichen anderer Ziele hat (Pekrun, 2000, 2006).

Subjektive Bewertung

Die subjektive Bewertung, welche sich primär auf die Bedeutung der Situation und sekundär auf die individuell verfügbaren Bewältigungsstrategien bezieht, bestimmt häufig, ob eine Situation als Motivations-, Frustrations- oder Stressmoment wahrgenommen wird (Lazarus, 1991).

Misst ein Schüler einer Aufgabe primär eine hohe Bedeutung bei, und erlebt er keine Selbstwirksamkeit auch im Sinne metakognitiver Kompetenzen, kann die Situation als emotional belastend erlebt werden. Eine Reaktion erfolgt auf physiologischer und psychologischer Ebene (Bowlby, 1975 nach Spangler & Langenfelder, 2001).

Erhöhte negative Emotionen neigen zu gering wahrgenommener Kontrolle in Leistungssituationen und geringer subjektiver Bedeutung dem Lernstoff gegenüber, welches sich hemmend auf den Lernprozess auswirkt (Pekrun et al., 2011).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Appraisal und Emotionsregulation finden eine gemeinsame Grundlage in Lazarus's Pionierarbeit zur Rolle der Kognition bei Stress und Coping (Folkman & Lazarus, 1985.; Folkman Lazarus, Dunkel-Schetter, DeLongis & Gruen 1986).

Einige Studien, die sich auf schulische Prüfungssituationen beziehen, untersuchten die Relation zwischen Einschätzungen der Aufgabe und Emotionen (Smith & Ellsworth 1985; Smith. Haynes, Lazarus & Pope, 1993). Andere Studien nahmen die Relation zwischen Emotionen und Strategien in den Fokus, die den Umgang mit Aufgaben ermöglichen sollten (Folkman & Lazarus, 1985; Spangler, Pekrun, Kramer & Hofmann, 2002).

Vermehrt erlebte negative Emotionen neigen zu gering wahrgenommener Kontrolle in Leistungssituationen und geringer subjektiver Bedeutung dem Lernstoff gegenüber, welches sich hemmend auf den Lernprozess auswirkt (Pekrun et al., 2011).

In dieser Arbeit werden Emotionen erhoben und es soll ermittelt werden, ob ein Zusammenhang zwischen Emotionen und Strategien bei der Bearbeitung von Aufgaben ableitbar ist (Folkman & Lazarus, 1985; Spangler et al., 2002).

Subjektiv wahrgenommene Kontrolle

Die Dimension, die die wahrgenommene subjektive Kontrolle darstellt, bezieht sich auf den wahrgenommenen kausalen Einfluss, die Kontrollierbarkeit der Aktivität und deren Folgen. In Anlehnung an Theorien zur Leistungsmotivation und Selbstwirksamkeit wird dabei angenommen, hängt es von der Kausalerwartung ab, ob ein Schüler eine Aufgabe für kontrollierbar hält (Heckhausen, 1977; Bandura, 1977 nach Pekrun, 2006).

Dabei sind die Erwartungen bezüglich des Ergebnisses einer Situation von besonderer Bedeutung, wenn diese nicht beeinflusst wird (situation-outcome-expectancies). Erwartungen über die Ausführbarkeit einer Aktivität (action-control-expectancies) und Erwartungen darüber, ob die Aktivität zu einem positiven Ergebnis führt bzw. ein negatives Ergebnis verhindern kann (*action- outcome- expectancies*; Pekrun, 2006).

Doch auch kausale Attributionen bezüglich des Erfolgs oder Misserfolgs sind neben diesen Erwartungen dafür verantwortlich, ob eine Aktivität oder ein Resultat als kontrollierbar erachtet wird. Ob ein Erfolg oder Misserfolg auf eine Situation, die eigene Person oder die leistungsbezogenen Aktivitäten attribuiert wird, ist dabei von zentraler Bedeutung (Pekrun, 2006).

Prospektive und retrospektive Ergebnisemotionen sowie Aktivitätseemotionen entstehen der Kontroll-Wert-Theorie zufolge nun in Abhängigkeit von unterschiedlichen

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Kausalerwartungen und Kausalattributionen (wahrgenommene Kontrollierbarkeit) sowie dem Wert, der dem Ergebnis oder der Aktivität zugesprochen wird (Pekrun, 2006).

1.5.3 Modelldarstellungen von *Emotion* und *schulischer Leistung*

Für die Darstellung des Zusammenhangs von Emotionen und schulischer Leistung werden im Folgenden das kognitiv-motivationale-Mediationsmodell (Pekrun, 1992b) und das Kontroll-Wert-Modell von Pekrun et al. (2002a; Abb.9) vorgestellt.

Während das kognitiv-motivationale Mediationsmodell den Zusammenhang von Emotion, Motivation und Lernleistung und deren Rückkopplungen abbildet (vgl. Bundschuh, 2003), wird im Kontroll-Wert-Modell die Interpretation bzw. die kognitive Bewertung einer Aufgabe, die der Lernende vornimmt, als zentral abgebildet (Frenzel, Götz & Pekrun, 2009, S.218). Damit findet eine Bewertung und damit eine Entwicklung einer Emotion statt, die sich dann auf die Leistung auswirkt.

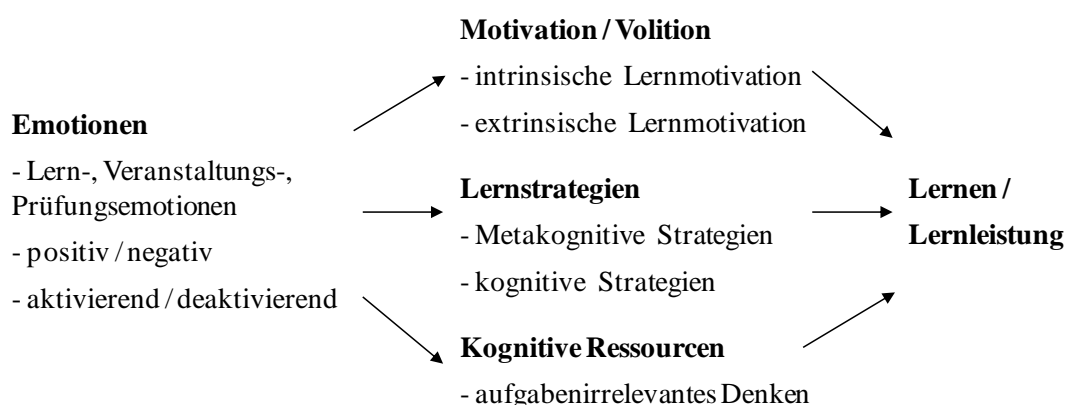
Beide Modelle akzentuieren die Bedeutung von Emotion und deren Relevanz für Motivation und Kognition. Die Unterschiede der Modelle werden im Folgenden beschrieben.

1.5.4 *Kognitiv-Motivationales -Mediations-Modell*

Das kognitiv-motivationale-Mediationsmodell (Pekrun, 1992 b; Abb.8) bildet den Einfluss von Emotionen auf Motivation und Volition, auf Lern- und Problemlösestrategien und auf die Verfügbarkeit kognitiver Ressourcen gut ab.

Abbildung 8

Kognitiv- motivationales-Mediationsmodell (adaptiert nach Pekrun, 1992b)



1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Das Modell geht davon aus, dass Emotionen auf Motivation und Volition, auf Lern- und Problemlösestrategien und auf die Verfügbarkeit kognitiver Ressourcen Einfluss nehmen können und somit entscheidend für die Auslösung, Aufrechterhaltung oder Reduzierung von Anstrengung in Lern- und Leistungssituationen. Umgekehrt nehmen Kognitionen Einfluss auf die Wahrnehmung von Emotionen sind (Schutz & Pekrun, 2007).

Das Modell geht darauf ein, dass positive Emotionen, wie Freude, Hoffnung und Stolz einen positiven Einfluss auf Motivation, den Gebrauch flexibler Lernstrategien und Selbstregulation und die Nutzbarkeit kognitiver Ressourcen für die Aufgabenbearbeitung haben (Pekrun et al., 2002).

Im Gegensatz dazu führen negative Emotionen zum Einsatz starrer Strategien, wie Üben und algorithmischen Verfahren. Vor allem Ärger, Angst und Langeweile vermindern kognitive Ressourcen und Selbstregulation (Pekrun, 1992 b; Pekrun et al., 2002). Das kognitiv motivationale-Modell kann als Komponente des Kontroll-Wert-Modells von Pekrun (2000; 2006) betrachtet werden (Abb.9).

1.5.5 Kontroll-Wert-Modell

Das Kontroll-Wert-Modell (Control-Value-Model, CVT; Abb. 9) beschreibt die signifikante Rolle der Lernemotionen für die akademische Leistung. Dabei werden Emotionen als möglicher Mediator zwischen Lernschwierigkeiten und Leistung genannt (Pekrun, 2002a).

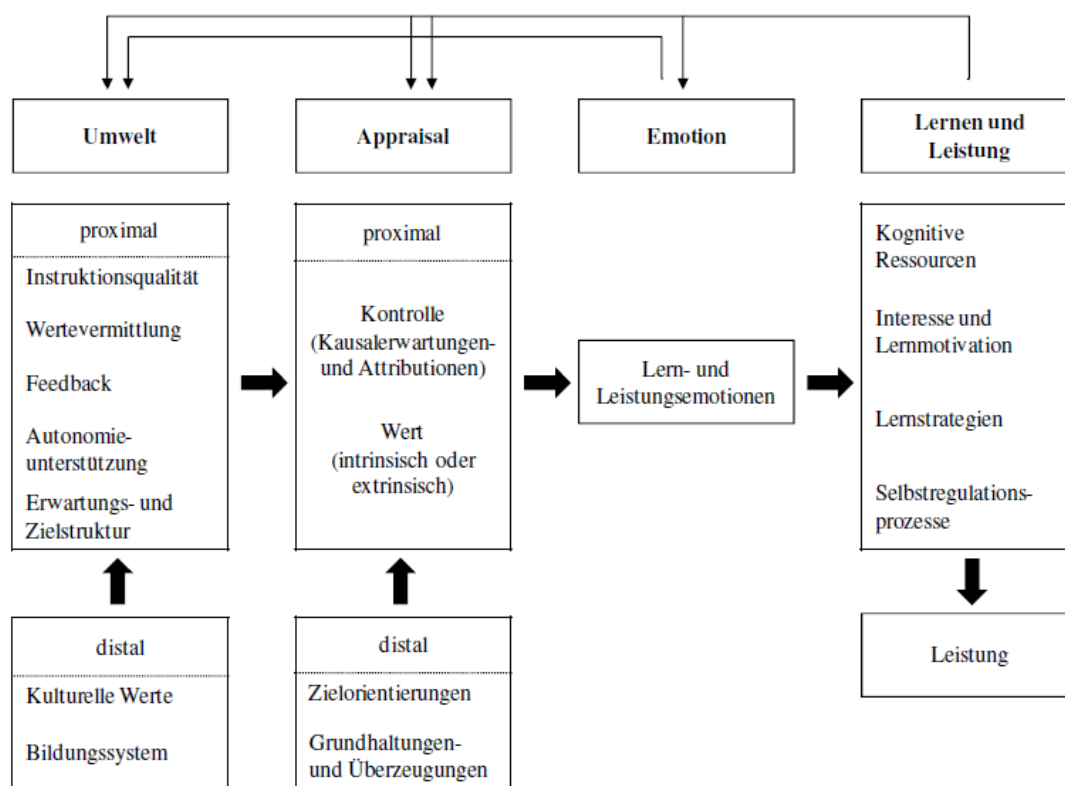
Pekrun's CVT-Modell (2002a) der Leistungsempfindungen postuliert den Zusammenhang zwischen dem Glauben an die eigenen Fähigkeiten und Emotionen.

Studien von Pekrun et al. (2010, 2011), Boekaerts (2007), Lichtenfeld (2012) bestätigen diese Zusammenhänge (siehe Kapitel 1.5.5).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Abbildung 9

Kontroll-Wert-Modell der Leistungsemotionen



Anmerkung. (Pekrun, 2006, zitiert nach Harrer, 2012, S. 23)

Um die Zusammenhänge zwischen schulischer Leistung und emotionalem Erleben sowie deren Richtung¹ genauer zu beschreiben, erweitern Goetz et al. (2004) das Kontroll-Wert-Modell von Pekrun (2002a) zu Antezedenzien und Wirkungen emotionalen Erlebens.

Dieses besagt, dass Emotionen die Motivation, das Problemlöseverhalten und die Aktivierung kognitiver Ressourcen von Schülern beeinflussen, was entscheidend für das Erbringen schulischer Leistung ist. Leistung wiederum nimmt Einfluss auf das individuelle Emotionserleben.

Die Erweiterung durch Goetz et al. (2004) erfolgt insofern, als dass das Leistungsniveau der proximalen Referenzgruppe - im schulischen Kontext ist dies die Schulkasse - neben den individuellen Leistungen der Schüler zusätzlich berücksichtigt werden muss.

¹ Bisher herrscht in der empirischen Datenlage Unklarheit bzgl. der Richtung des Zusammenhangs von Emotion und Leistung. Trotz der Annahme wechselseitiger Wirkungen findet man meist einen stärkeren Einfluss von Leistung auf emotionales Erleben als umgekehrt (Goetz, 2004).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Forschungsergebnisse zeigen, dass die Emotionen von Kindern und Jugendlichen mit ihrer akademischen Leistung korrelieren. Dabei korrelieren positive Emotionen, wie Lernfreude positiv mit Leistung und negative Emotionen wie Prüfungsangst zeigen negative Korrelationen mit Leistung (Überblick dazu vgl. Goetz et al., 2013; Pekrun & Bühner 2014, In R. Pekrun & Linnenbrink-Garcia (Hrsg), 2012; Zeidner, 1998).

Vermehrt erlebte negative Emotionen neigen zu gering wahrgenommener Kontrolle in Leistungssituationen und geringer subjektiver Bedeutung dem Lernstoff gegenüber, welches sich hemmend auf den Lernprozess auswirkt (Pekrun, Götz, Frenzel, Barchfeld & Perry, 2011).

Elliot und McGregor (1999) wiesen in zwei Korrelationsstudien nach, dass Studierende, die Kompetenzziele verfolgten, hohe Persistenz und Anstrengungsbereitschaft aufwiesen und tiefgreifende Lernstrategien anwendeten.

Positive Zusammenhänge zeigten sich in anderen Studien mit Selbstwirksamkeit und emotionalem Wohlbefinden, positiven Emotionen sowie mit intrinsischer Motivation (Elliot & Church, 1997; Kaplan & Maehr, 1999; Linnenbrink, 2007; Roeser, Midgley, & Urdan, 1996).

1.6 Emotionen und Selbstkonzept

Es kann von Pekrun's Kontroll-Wert-Modell abgeleitet werden, dass die Kontroll-Komponente durch das akademische Selbstkonzept vorgegeben wird und damit einen Hauptbezugspunkt akademischer Emotionen darstellt (Pekrun, 2006).

Das akademische Selbstkonzept repräsentiert dabei die Kontrollfähigkeit im schulischen Kontext und kann definiert werden als Erinnerungsstruktur und Repräsentant von Fähigkeiten und Kompetenzen, die eine Person von sich hat (Nagengast & Marsh, 2012). In der Studie von Nagengast und Marsh konnte gezeigt werden, dass das Selbstkonzept positiv mit positiven Emotionen korreliert und negativ mit negativen Emotionen.

Das Selbstkonzept spielt eine wesentliche Rolle hinsichtlich der Erklärung der Diskrepanz zwischen state und trait Emotionen dahingehend, dass es höheren Einfluss auf die trait Variable hat, verzerrt aber nicht die state Einschätzungen.

Robinson und Barrett (2010) führten Studien zu Selbsteinschätzung und emotionalen *traits* durch. Ihre Ergebnisse zeigten, dass Personen mit hoher Selbsteinschätzung positivere emotionale Grundeinstellungen nannten, während ein Zusammenhang zwischen state Einschätzungen und Selbsteinschätzung nicht nachgewiesen werden konnte.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Die vorliegende Arbeit ermittelt sowohl trait Emotionen, die die dispositionelle Einstellung in Prüfungssituationen im Mathematikunterricht wiedergeben, als auch aktuelle *state*-Emotionen in einer Prüfungssituation im Mathematikunterricht ermittelt werden. In die Auswertung gingen die state Emotionen ein.

Das hier durchgeführte Training metakognitiver Kompetenzen (siehe Kapitel 2.4.1) soll den Schülern ein erhöhtes Selbstwirksamkeitserleben vermitteln. Die Veränderung des Selbstwirksamkeitserlebens soll eine positive Veränderung der situativen Emotionsnennungen nach dem Training initiieren. Es wird umgekehrt erwartet, dass die positiveren Emotionsnennungen Einfluss auf die Wahl metakognitiver Maße nehmen.

1.6.1 Emotion und Selbstwirksamkeit

Die Theorie Banduras beschreibt das Selbstwirksamkeitsgefühl als beeinflussenden Faktor für Emotionen. Die Einschätzung der Fähigkeiten des Lernenden und das damit zusammenhängende Gefühl von Selbstwirksamkeit, löst Emotionen aus (Bandura, 1982, 1989a, 1989b, 1993).

Das Gefühl von Selbstwirksamkeit ist positiv verknüpft mit positiven Emotionen und negativ verknüpft mit negativen Emotionen. Selbstwirksamkeit ist aufgrund des Einflusses auf Motivation für den Lernprozess entscheidend, und bestimmt die Anstrengungsbereitschaft. Sie spielt im Prozess der Selbstregulation eine wesentliche Rolle (Boekaerts, et al., 1999). Eng damit verknüpft ist das akademische Selbstkonzept, welches die Kontrollüberzeugung eines Lernenden wiedergibt und die Fähigkeiten und Kompetenzen, die eine Person hat, repräsentiert (Nagengast, Marsh, 2012). Robinson und Barrett (2010) postulieren, dass Lernende mit einer höheren Selbsteinschätzung, ihre trait Erfahrungen positiver bewerten.

Das Selbstwirksamkeitsgefühl korreliert nach Boekaerts (2007) positiv mit positiven Emotionen und korreliert negativ mit negativen Emotionen (siehe oben in diesem Kapitel). Boekaerts (2007) fand heraus, dass Kompetenzbeurteilungen (im Sinne von Selbstwirksamkeitsglauben) von jungen High-School Studenten in Hausaufgabensituationen positiv mit positiven Affekten korrelierten und negativ mit negativen Affekten. Niedriges Selbstwirksamkeitserleben trug zu der Erfahrung von erhöhtem Schamgefühl bei (Turner & Schallert, 2001). Die Selbstwirksamkeitstheorie gibt die Relation zwischen Emotion und Selbstwirksamkeit als bidirektional an.

In Übereinstimmung mit diesen Ergebnissen liegen Studienergebnisse von Pekrun et al. (2010, 2011) vor, die Zusammenhänge zwischen dispositionellen Erfahrungen wie Freude, Hoffnung, Stolz, Erleichterung, Wut, Angst, Scham, Hoffnungslosigkeit und Langeweile und

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

den Kontroll-Wert-Einschätzungen bezüglich Erfolg oder Misserfolg nachweisen. Lichtenfeld Pekrun, Stupnisky, Reiss & Murayama (2012) untersuchten Kinder zwischen 7 und 12 Jahren bezüglich ihrer empfundenen Emotionen Freude, Langeweile und Angst im Mathematikunterricht. Ihre Ergebnisse sind übereinstimmend mit Pekrun et al. (2010; 2011), wonach wahrgenommene Kontrolle positiv korreliert mit Freude und negativ korreliert mit Angst und Langeweile.

Götz, et al. (2010) untermauern die Theorie, dass Selbstwirksamkeit, Kontrollüberzeugung und Selbstkonzept sich aufeinander beziehen und Beziehungen mit emotionalen Erfahrungen aufweisen. Sie belegen, dass Selbstkonzept, Selbstvertrauen und Selbstwirksamkeit positive Zusammenhänge mit Freude und Stolz aufweisen, sowie negativ verknüpft sind mit Angst, Ärger und Langeweile in Lernsituationen.

Dabei sind Korrelationen zwischen Selbstkonzept und emotionalen Erfahrungen stärker ausgeprägt für Mathematik und Physik, als für Sprachen, wie Englisch und Deutsch. Die Ergebnisse oben genannter Studien werden für die vorliegende Studie als wesentlicher Ansatzpunkt gesehen, zu ermitteln, ob wahrgenommene Kontrolle (durch Strategieanwendung) in Anlehnung an das Kontroll-Wert-Modell die Selbstwirksamkeit erhöht und die Emotionen der Schüler durch das Training positiv beeinflusst werden (Boekaerts, 2007; Turner & Schallert, 2001).

1.6.2 Lern- und Leistungsemotionen

Über die bislang dargestellten allgemeinen Emotionstaxonomien hinaus haben

Pekrun, Frenzel, Götz & Perry (2007) einen Ansatz entwickelt, bei dem verschiedene Lern- und Leistungsemotionen unterschieden werden, wie sie auch im Schulalltag auftreten.

Lern- und Leistungsemotionen sind Emotionen, die sich besonders auf Lern- und Leistungsaktivitäten und deren Ergebnisse beziehen.

Leistungsemotionen beeinflussen Leistungsergebnisse, indem sie Prozesssteuerung, als auch Selbstregulationsstrategien und Motivation unterstützen können, sowie Aufmerksamkeit und kognitive Ressourcen fördern, aber auch hemmen können (Pekrun et al., 2009; Pekrun & Bühner, 2014).

Lernemotionen treten beim Erwerb von Wissen und Fähigkeiten auf. Sie werden entweder durch die Aufgabe, durch die Ergebniserwartung oder durch die Ergebnisbewertung des Lernenden selbst hervorgerufen und sind sozialer oder individueller Natur (Pekrun, Frenzel, Götz & Perry, 2007).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Studien zur Rolle von Emotionen in Schule und Studium zeigen einen Zusammenhang zwischen Emotionen und verschiedenen Aspekten des Lernens, wie z.B. der Anwendung von metakognitiven Strategien, metakognitiven Erfahrungen, Motivation, Zielen und deren Erreichen (z.B. Efklides & Petkaki, 2005; Efklides et al., 2006).

Untersuchungen zur Rolle von Emotionen in der Bildung zeigten einen Zusammenhang zwischen Emotionen und verschiedenen Aspekten des Lernens. In einer frühen Studie von Pekrun (1998) über das Emotionserleben in Unterrichts-, Lern- und Prüfungssituationen wurden beispielsweise 1035 einzelne Emotionen genannt und beschrieben.

Positive und negative Emotionen hielten sich dabei insgesamt die Waage. Allerdings lassen sich situationsspezifische Unterschiede finden. So wurden in Unterrichts- und Lernsituationen überwiegend positive, in Prüfungs- und Rückmeldungssituationen hauptsächlich negative Emotionen berichtet.

Theoretische Ansätze gehen davon aus, dass Emotionen kognitive Ressourcen, die Motivation zu lernen und den Gebrauch von Strategien beeinflussen und somit Auswirkungen auf Leistung haben (Pekrun & Linnenbink-Garcia, 2012). Positiv aktivierende Emotionen, wie Freude, wecken kognitive Ressourcen und helfen den Fokus auf die Bearbeitung von Aufgaben zu legen. Sie unterstützen Interesse und intrinsische Motivation und ermöglichen vertieftes Lernen. Daraus resultierend kann sich bei positiven Emotionen das Gefühl der Selbstwirksamkeit der Lernenden erhöhen (vgl. Kapitel 1.5.1; Metallidou & Efklides, 2001; Bandura, 1982, 1989a; 1989b, 1993).

Im Gegensatz dazu reduzieren negativ deaktivierende Emotionen, wie Langeweile und Hoffnungslosigkeit kognitive Ressourcen und die aufgabenbezogene Aufmerksamkeit. Sie schwächen intrinsische und extrinsische Motivation und fördern flache Informationsverarbeitung. Umgekehrt entwickeln sich positive Emotionen, wenn Lernende sich als kompetent wahrnehmen und ihre Kontrollfähigkeit in Leistungssituationen hoch einschätzen (Pekrun, Lichtenfeld, Marsh, Murayama & Götz, 2017).

Negative Emotionen entwickeln sich, wenn die Kompetenzeinschätzung und Kontrollfähigkeit beim Bearbeiten von Aufgaben niedrig ist. Als Beispiel sei Angst vor einer bevorstehenden Prüfung genannt. Diese wird hoch sein, wenn Lernende sich für inkompetent halten, diese Prüfung zu bewältigen (Pekrun, Lichtenfeld, Marsh, Murayama & Götz, 2017).

Eine mögliche Ausnahme ist Langeweile, welche sich aus hoher Kompetenzeinschätzung, aber niedrigen Aufgabenanforderungen entwickeln kann. Dennoch kann Langeweile in

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

akademischen Kontexten mit wahrgenommener Kompetenz und Kontrollfähigkeit verbunden sein (z.B. Pekrun, et al., 2010).

1.6.3 Klassifikation von Lernemotionen

Pekrun und Jerusalem (1996) haben Lernemotionen anhand der Kriterien Valenz, Bezugsrahmen und Zeitperspektive kategorisiert.

Die Dimension Valenz teilt die Emotionen in positive und negative Emotionen ein. Der Bezugsrahmen bezeichnet den Unterschied zwischen aufgabenbezogenen und sozialen Emotionen. Dabei können diese anhand der Zeitperspektive in prozessbezogene, prospektive und retrospektive Emotionen eingeteilt werden (Abb. 10 veranschaulicht die Klassifikation).

Abbildung 10

Klassifikation von Lernemotionen

		Emotion	
Bezugsrahmen	Zeitperspektive	positiv	negativ
Aufgaben-/ selbstbezogen	prozessbezogen	Lernfreude	Langeweile
	prospektiv	Hoffnung	Angst
		Vorfreude	Hoffnungslosigkeit
	retrospektiv	Ergebnisfreude	Traurigkeit
		Erleichterung	Enttäuschung
		Zufriedenheit	Scham/ Schuld
		Stolz	
sozial		Dankbarkeit	Ärger
		Empathie	Neid
		Bewunderung	Verachtung
		Sympathie	Antipathie/Hass
		Liebe	

Anmerkung. Pekrun & Jerusalem (1996, zitiert nach Leeb, 2018, S.9)

Dieser Bezugsrahmen dient der groben Orientierung im Rahmen der Emotionsdefinition. Dementsprechend können auch Emotionen, die im sozialen Bezugsrahmen eingeordnet sind,

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

in manchen Situationen aufgabenbezogen sein. Die Einteilung nach der Dimension *Aktivierungsgrad* bietet eine weitere Klassifikationsmöglichkeit.

Es ist zu vermuten, dass diese Unterscheidungen auf der zu vermutenden motivationalen Wirkung emotionaler Reaktionen beruht. Demzufolge wird zwischen positiv aktivierenden (z.B. Freude, Hoffnung, Stolz), negativ aktivierenden (z.B. Ärger, Angst, Scham), positiv deaktivierenden (z.B. Erleichterung) und negativ deaktivierenden (z.B. Langeweile) Emotionen unterschieden.

Es wird davon ausgegangen, dass aktivierende Emotionen zum Handeln motivieren und zu einer handlungsunterstützenden physiologischen Aktivierung führen. Den als deaktivierend klassifizierten Emotionen weist Pekrun (2006) dagegen eine negative Wirkung auf die Handlungsmotivation zu.

Hauptsächlich fokussierte die Forschung zum Zusammenhang zwischen Emotionen und Leistung negative Emotionen und Mathematik, dabei besonders die Emotion Angst. Einige Studien fanden negative Korrelationen zwischen Mathematikangst und Leistung (Ashcraft & Kirk, 2001; Ashcraft & Krause, 2007).

Eine Metaanalyse von Ma (1999) von Grundschulern und Sekundarschülern fand eine Korrelation von Mathematikangst und Leistung. Morony, Kleitman, Lee, und Stankov (2013) fanden in einer multikulturellen Studie 15-jähriger Schüler und Schülerinnen Korrelationen zwischen Mathematikangst und Leistung. Forschungsergebnisse mit dem Fokus auf Arbeitsspeicher (Prozesswirksamkeit) und Aufmerksamkeit zeigten den Einfluss von Mathematikangst auf zentrale exekutive Komponenten des Arbeitsspeichers, welcher eine wesentliche Rolle beim Lösen von mathematischen Problemen spielt (Eysenck, Derakshan, Santos, & Calvo, 2007).

Die PALMA Studie von Pekrun et al., (2006) ermittelte, dass positive Emotionen, wie Freude und Stolz Lernen in Mathematik positiv beeinflussen und dass erfolgreich wahrgenommenes Lernen umgekehrt positiv Emotionen beeinflusst. Negative Emotionen, wie Ärger, Angst, Scham, Langeweile und Hoffnungslosigkeit korrelierten negativ mit Leistung, wie umgekehrt negative Leistung negative Emotionen initiieren kann.

Eine Längsschnittstudie einer K-12 Gruppe von Schülern zeigt eine reziproke Beeinflussung zwischen Prüfungsangst und Leistung (Meece, Wigfield, & Eccles, 1990; Pekrun, 1992). Eine weitere Studie über Prüfungsangst in Mathematik von Ma und Xu (2004), zeigt einen signifikanten Einfluss von Leistung auf Prüfungsangst und umgekehrt den Einfluss von Prüfungsangst auf die Leistung.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Auch diese Ergebnisse heben die Bedeutsamkeit von Emotionen für Leistung hervor, sowie die Bedeutsamkeit von Leistung auf die Entwicklung von Emotionen.

Dabei stützt sich die Forschung auf die Theorie der Rolle des Arbeitsspeichers, und die Theorie der Aufmerksamkeit (Eysenck & Calvo, 1992; Eysenck, Derakshan, Santos, & Calvo, 2007). Beide Theorien lassen einen Einfluss von Angst auf exekutive Komponenten des Arbeitsspeichers vermuten, der beim mathematischen Problemlösen eine wichtige Rolle spielt.

Beide Modelle erklären nicht, wie Angst ausgelöst wird. Pekrun's Kontroll-Wert-Modell der Leistungsemotionen postuliert, dass der Glaube bezüglich der eigenen Fähigkeiten zentraler Auslöser für Leistungsemotionen wie z.B. Angst ist.

Langzeitstudien zeigen, dass Schüler, die mathematikängstlich sind, unzureichende mathematische Aktivitäten beim Lösen von Aufgaben anwenden (Ahmed, Minnaert, Kuyper & van der Werf, 2012; Ho, Senturk, Lam, Zimmer, Hong & Okamoto, 2000; Kytälä & Björn, 2010; Ma, 1999).

Pekrun (2000; 2006) wies nach, dass positive Emotionen mit verständnisorientierten, flexiblen Strategien verknüpft sind, während negative Emotionen wie Angst und Ärger mit rigiden Strategien, wie Wiederholen verbunden sind. Je stärker also Aufgaben flexibles, transferorientiertes Lernen erfordern, desto mehr beeinflussen negative Emotionen die Leistung.

1.6.4 Leistungs- und Lernemotionen in dieser Arbeit

In dieser Arbeit werden aufgrund vorangestellter Forschungsergebnisse die Emotionen Angst, Ärger, Hoffnungslosigkeit, Langeweile, Freude, Stolz und Flow in Fragebögen vor und nach dem Training erhoben.

Diese Emotionen wurden in akademischen Settings als besonders relevant für Leistung herausgestellt (Götz, 2004; Pekrun, Götz, Titz & Perry, 2002). Nach Izard (1977) ist die Emotion Freude eine positive Primäremotion und für die positive Bewertung einer aktuellen Situation verantwortlich. Diese Emotion weist eine positive Valenz und eine positive Aktivierung auf (Watson, Clark & Tellegen, 1985; Pekrun et al., 2002).

Auch Angst und Ärger werden als Primäremotionen genannt und weisen eine hohe negative Affektivität auf (Ashcraft & Krause, 2007; Pekrun et al., 2002). Ebenso die Primäremotion Ärger, auch sie weist eine hohe negative Affektivität auf. Stören unnötige Hindernisse einen Handlungsablauf, kann Ärger auftreten. Ärger gilt dabei als typische emotionale Reaktion auf

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Frustration (Grieder, 2006). Pekrun et al. (2002) beschreiben Ärger als negativ aktivierende Emotion.

In dieser Arbeit werden zusätzlich die Emotionen Hoffnungslosigkeit, Langeweile, Flow und Stolz einbezogen. Es handelt sich hierbei um Emotionen, deren Zusammenhänge mit motivationalen und volitionalen Aspekten sehr wahrscheinlich sind (Pekrun et al., 2002).

Die Theorie besagt, dass Emotionen durch kognitive Einschätzungen (appraisals) hinsichtlich der möglichen Kontrolle beeinflusst werden, sowie durch subjektive Einschätzung von Leistungsaktivitäten. Kontrolleinschätzungen umfassen das akademische Selbstkonzept und das Gefühl von Selbstwirksamkeit (siehe Kapitel 1.5.1 und 1.6.1).

Sowohl Selbstwirksamkeit, als auch das Selbstkonzept können das Engagement bei ähnlichen Aufgaben beeinflussen (Efklides & Tsiora, 2002). Sie sind damit eine wesentliche Voraussetzung für erfolgreiches Lernen und Leistung und damit für selbstreguliertes Arbeiten von hoher Bedeutung.

Werteinschätzungen beziehen sich auf die Bedeutung dieser Aktivitäten und deren Ergebnisse. Umgekehrt geht die Theorie davon aus, dass diese Emotionen das Leistungsverhalten und Bearbeitung von Aufgaben beeinflusst (Pekrun, 2000, 2006).

Um Aufgaben bearbeiten zu können, sind metakognitive Erfahrungen nötig. Dies sind Gefühle, Einschätzungen und Gedanken, derer sich Lernende bewusst sind, während sie Aufgaben bearbeiten (Efklides, 2001; Flavell, 1979).

In einem weiteren Sinn sind Interessen, Vorlieben, Enttäuschung etc. ebenso Teil metakognitiver Erfahrungen. Diese affektiven Erfahrungen können mit metakognitivem Empfinden und metakognitiven Entscheidungen, wie, zu wissen, was zu tun ist, oder aber dem Erkennen von Schwierigkeiten, Erleben von Vertrauen und Zufriedenheit vorkommen. Entscheidungen in Bezug auf Ressourcenzuweisungen werden getroffen, wie z.B. vermehrte Anstrengung (Efklides, 2002; Koriat, 1997; Nelson & Dunlosky, 1991 nach Efklides, 2012 S. 227). Um einen theoretischen Rahmen für die vorliegende Studie abzustecken, kann auf das Kontroll-Wert-Modell (CVT) von Pekrun (2006) Bezug genommen werden. Dadurch kann eine reziproke Kausalität von Emotion und Leistung abgeleitet werden. Das Kontroll-Wert-Modell (Pekrun, 2006; Pekrun, Hall, Götz & Perry, 2014) integriert Aussagen von Erwartungswert, Attribution und Kontrollvorgängen als Einflussfaktoren auf Leistungsemotionen (Folkman & Lazarus, 1985; Pekrun, 1992a, b; Turner & Schallert, 2001).

1.6.5 Emotionsregulation - Coping

Im Zusammenhang mit der transaktionalen Stress Theorie (Folkman, Lazarus, Dunkel-Schetter, DeLogis & Gruen, 1986) sind Coping Strategien definiert als Reaktionen auf stressvolle Erlebnisse, die es erfordern, verändert zu werden, um zu relevanten Ergebnissen zu kommen.

Coping repräsentiert die kognitive, affektive und behaviorale Anstrengung, sowohl externe, wie interne Anforderungen zu meistern (Crocker, Kowalski & Graham, 1998; Lazarus, 1999). Emotionsregulation (Coping) ist auf negative Emotionen fokussiert (Gross, 1999; Gross & Thompson, 2007). Dabei spielt Emotionsregulation besonders in Lern- und Leistungssituationen eine bedeutende Rolle, wenn es darum geht, beispielsweise, in einer Prüfungssituation die Angst nicht vorherrschen zu lassen (Götz, Frenzel, Pekrun & Hall, 2006).

So ist besonders für Unterricht, die Frage des Coping interessant, also die Fähigkeit, die es Schülern ermöglicht, mit schwierigen Aufgaben und negativem Affekt umzugehen. Zeidner und Endler (1996) nennen als wesentliche Coping Strategien: (1) die direkte Regulierung von Emotionen (z.B. Entspannungstechniken), (2) problemorientiertes Coping, bei dem im Mittelpunkt die Identifikation der emotionsauslösenden Umstände und die aktive Änderung liegt, sowie (3) die Vermeidung einer Konfrontation mit der Situation.

Letztere Form des Copings wird als die am wenigsten günstige beschrieben.

Gleichzeitig bezieht sich Emotionsregulation auf eine heterogene Anzahl von Strategien, die es ermöglichen, Erfahrungen mit positiven oder negativen Emotionen entsprechend zu vermindern oder zu erhöhen.

Positive und negative Leistungsempfindungen sind stark und invers mit Schul- und Studienleistungen verbunden (Pekrun, Elliot, & Maier, 2009) und stehen in engem Zusammenhang mit Selbstregulierung, auch im Hinblick auf Strategien beim Bearbeiten von Aufgaben. Die Beziehung zwischen Leistung und positiv aktivierenden Emotionen, z. B. Erleichterung, sowie die Beziehung zwischen negativ aktivierenden Emotionen, wie Angst, Ärger und Leistung ist vielschichtig (Pekrun, 2006; Pekrun, 2002).

Negativ aktivierende Emotionen sind oft ungeeignet für Leistung, können aber in manchen Fällen dem Schüler/innen zum Erfolg verhelfen. Angst und Scham beispielsweise können die Lernenden motivieren, Anstrengung zu investieren und können dadurch Leistungsversagen vermeiden (Turner & Schallert, 2001). Die gleichen Emotionen können negativen Einfluss nehmen, indem sie kognitive Ressourcen verbrauchen, die für Leistung

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

benötigt werden, (Meinhardt & Pekrun, 2003) sowie sie andererseits beeinträchtigend für Interesse und intrinsische Motivation sind (Pekrun et al., 2014).

Erkenntnisse, dass positive und negative Leistungsempfindungen verbunden sind mit akademischen Ergebnissen, verlangen selbstregulatorische Strategien, die es ermöglichen mit Veränderungen und daraus resultierenden Emotionen umzugehen (Pekrun, Elliot & Maier, 2009).

Emotionsregulation impliziert dabei nicht nur wie man reagiert, sobald eine emotionale Reaktion eingetreten ist, sondern auch das Bewusstsein des Lerners über emotionsinduzierende Umstände (Frenzel, Götz; Pekrun, 2015).

Der Schüler versucht diese gezielt aufzusuchen oder zu meiden, um das eigene Erleben mit der Leistungssituation zu optimieren. Der Fokus der Forschung liegt dabei auf dem Umgang vorwiegend mit negativen Gefühlszuständen (Zeidner & Endler, 1996).

In einem Überblick über Mathematikangst konnte Ashcraft (2002) zeigen, dass Lernende mit hoher Mathematikangst eine Tendenz haben, Mathematik zu meiden und ihre mathematischen Kompetenzen zu unterschätzen.

Ashcraft und Krause (2007) konnten zeigen, dass die Leistung bei einem standardisierten Mathematikleistungstest in Abhängigkeit von der mathematischen Angst variiert. Sie ermittelten, dass die Mathematikangst beeinflussend auf Arbeitsspeicher von Lernenden und die Konzentration auf die Mathematikaufgaben ist.

Pekrun et al. (2007; 2009) berichten positive Zusammenhänge von Freude und intrinsischer und extrinsischer Motivation, wie auch positive Korrelationen zu Problemlösestrategien (Elaboration und Organisation von Lernmaterial). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass erlebter Stress und erlebte negative Emotionen, wie Langeweile und Angst vermehrt Vermeidungsverhalten initiieren und nicht leistungsorientiert sind (siehe ebenso Zusho, Pintrich & Cortina, 2005). Positive Emotionen hingegen, wie Freude, führen vermehrt zu problemorientiertem Coping.

Während es Studien gibt, die sich auf die Entwicklungsprozesse und psychosoziale Funktionen von Coping und Emotionsregulation beziehen (Otterpohl & Wild, 2015; Vierhaus, Lohaus, & Ball, 2007; Zimmer-Gembeck & Skinner, 2011), existieren nur wenige Studien, die sich mit schulischem Coping und Emotionsregulations -Strategien befassen (z.B. Davis & Levine, 2013). Basierend auf einem Beispiel von 161 Schülern/-innen aus 9. Klassen aus verschiedenen deutschen Schularten, fanden Götz, Frenzel, und Pekrun (2007), dass im Zusammenhang mit Erfahrungen von Langeweile, Schüler wenig problemorientierte

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Herangehensweisen bei Aufgaben berichteten. Stattdessen wurden ablenkende Verhaltensweisen und Vermeidungsstrategien gezeigt oder einfach das Verhalten von Langeweile.

Nett, Götz, und Hall (2011) untersuchten Erfahrungen von Schülern/-innen aus Klassenstufe 11 vor dem Hintergrund von Langeweile und darauf bezogene Coping Strategien (kognitiv oder behavioral) auf trait Level und state Level. Auf dem trait Level trennten sie empirisch zwei komplementäre Coping Gruppen: Reappraisers: Lernende, die sich durch überdurchschnittliche Anwendung kognitiver Vorgehensweisen und eine unterdurchschnittliche Anwendung kognitiver Vermeidungsstrategien auszeichnen. Auf der anderen Seite die flüchtig, ausweichend arbeitenden Lernenden, die einen unterdurchschnittlichen Gebrauch kognitiver Vorgehensweisen zeigen und einen überdurchschnittlichen Gebrauch vermeidender kognitiver behavioraler Strategien zeigen.

Wie erwartet berichteten Reappraiser (nochmaliges Überprüfen) geringere Level von Langeweile, als die ausweichend arbeitenden Schüler/-innen.

Auf dem *state* Level zeigt sich, dass kognitive Vorgehensweisen negativ korreliert sind zu Erfahrungen mit Langeweile, während kognitiv und behavioral vermeidende Vorgehensweisen positiv mit Langeweile korreliert sind. Diese Korrelationen sind übereinstimmend mit Nett, Goetz und Daniels (2010), die über ausweichend arbeitende Schüler/-innen berichten, die geringste Werte positiver Leistungsempfindungen nennen.

Viele Studien bilden den unidirektionalen Einfluss von Emotionen auf Leistung ab. Korrelationen zwischen Prüfungsängstlichkeit und Leistung gelten als Indikator für den Einfluss der Emotion auf Leistung. Dabei wurden unterschiedliche Mediationsmechanismen, wie kognitive Beeinträchtigungen und Motivation betrachtet.

Eine Studie mit Erstsemester Studenten zeigt, dass negative Emotionen, eingeschlossen Angst, vorhersagend für niedrigere Selbstregulation sind (Mega, Ronconi & De Beni, 2014). Diese Relationen zwischen Coping Strategien und Leistungsempfindungen stehen im Einklang mit anderen Studien (e.g., Goetz et al., 2007; Pekrun, Frenzel, Götz & Perry, 2007; Pekrun, vom Hofe, Blum, Götz, Wartha, Frenzel & Jullian, 2006).

Vor dem Hintergrund dieses Kapitels soll in den Fragebögen ermittelt werden, welche state Emotionen vor und welche nach dem Training genannt werden und mit welchen metakognitiven Maßen diese beim Bearbeiten von Aufgaben korrelieren. So können Rückschlüsse auf Selbstwirksamkeitserleben gezogen werden.

1.7 Die Herzrate als physiologisches Beobachtungsmaß

Verhalten ist für die Psychologie in fast jeder Definition von zentraler Bedeutung. Obwohl die beobachtbare Aktivität ein Kernaspekt des Verhaltens ist, konzentrieren sich die Bewertungsmomente auf emotionale, kognitive oder physiologische Reaktionen. Wenn körperliche Aktivität bewertet wird, geschieht dies meist mit Fragebögen. Die übereinstimmenden Belege für einen nur mäßigen Zusammenhang zwischen Selbstberichten über körperliche Aktivität und objektiv gemessener körperlichen Aktivität, wirft Fragen zur Validität dieser Selbstberichte auf (Bussmann, Priemer, Fahrenberg, 2009).

Während Fragebögen zweifelsohne als Methode zur Untersuchung subjektiver (mentaler) Repräsentationen von Erfahrungen, Einstellungen und Verhaltensweisen geeignet sind, können solche Selbsteinschätzungen nicht als Ersatz für die Erhebung tatsächlicher Verhaltensdaten im Alltag gelten (Baumeister, Vohs & Funder, 2007; Fahrenberg, Myrtek, Pawlik & Perez, 2007). Das Elektrokardiogramm(EKG) gilt als sensibler Indikator für die Erregung des ANS und ist damit das elektrisch stärkste Biosignal des Körpers (Fahrenberg, 2001).

Dabei interagiert das zentrale Nervensystem (ZNS) mit dem autonomen Nervensystem (ANS), um emotionale Antworten auf Umgebungsanforderungen zur Verfügung zu stellen (Hagemann, Waldstein & Thayer, 2003).

Nach Fahrenberg (2001) kann die Herzrate als Index für kognitive und emotionale Beanspruchung gesehen werden und somit als physiologisches Abbild stressbehafteter Situationen betrachtet werden. Spangler (1997; 2001; 2002) sieht einen Zusammenhang mit der allgemeinen kognitiven Herausforderung, auf Prüfungsfragen zu reagieren, mit physiologischen Reaktionen (siehe Kapitel 1.7.2).

Es wurden Wechselbeziehungen zwischen emotionalen und physiologischen Reaktionen nachgewiesen (siehe dazu Kapitel 1.8.1). Die Herzrate steigt bei der Wahrnehmung und Antizipation aller Emotionen an², sowie bei psychosozialem Stress, sowie bei motivationalen Erregungen wie Hunger oder Durst, ebenso bei körperlicher Anstrengung. Deshalb sollten physiologische Reaktionen, speziell die Herzaktivierung, stets in ihrem Kontext betrachtet werden.

² Ausnahme: Ekel (vgl. Levenson, 1988, In Myrtek, 2004). Levenson geht davon aus, dass bestimmte Emotionen spezifische physiologische Reaktionen bewirken. So führen beispielsweise Traurigkeit, Wut und Furcht zu einem stärkeren Herzratenanstieg als Ekel, und Wut und Furcht rufen eine breitere Herzratenbeschleunigung hervor als Freude.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Aus der Herzrate (HR) und der Bewegungsaktivität lässt sich die Herzratenerhöhung bestimmen, welche nicht durch körperliche Ursachen verursacht wird: die *Additional Heart rate* (AHR; siehe Kapitel 1.6.1).

Besonders das Fach Mathematik als Kernfach in der Primar- und Sekundarstufe stand immer wieder im Mittelpunkt vieler Untersuchungen hinsichtlich der bei Schülern ausgeprägten Emotionen. Die Ermittlung physiologischer Maße, die in Beziehung zu den Verbalmaßen gesetzt werden, ist dies ein wesentlicher Ansatz vorliegender Studie.

Dabei gilt der Erwerb von Grundkenntnissen in Mathematik sowohl für den Erfolg in der Schule als auch für den Alltag als eine wesentliche Grundlage. Häufig wurde das Verständnis der Emotion *Angst* vor der Mathematik in der Forschung vertieft und in den letzten Jahren haben empirische Arbeiten begonnen, die Entwicklung von Mathematikangst zu untersuchen. (Ashcraft, 2002; Ashcraft & Kirk, 2001; Maloney & Beilock, 2012).

Nur wenige Studien haben die Beziehung zwischen Angst und physiologischer Reaktivität bei Kindern speziell in Mathematik untersucht (Dobkin, Treiber, & Tremblay, 2000). Ushiyama et al. (1991) beobachteten bei Erwachsenen einen Anstieg der Herzfrequenz sowie des diastolischen und systolischen Blutdrucks als Reaktion auf die Durchführung von Kopfrechen- -aufgaben. Außerdem zeigten die Blutproben einen signifikanten Anstieg von Noradrenalin und Adrenalin nach Beginn des Rechentests.

Die Frage, die sich für die vorliegende Studie stellt ist, ob die physiologische Erregung, gemessen mit der Herzfrequenz, in Zusammenhang mit der Mathematik-Prüfungssituation ansteigt.

Die vorliegende Studie nimmt neben Verbalmaßen eine biobehaviorale Perspektive auf Situationsbewältigung bei der Bearbeitung von Mathematikaufgaben ein. Dabei wird als physiologisches Maß die Herzrate gewählt. Sie wird kontinuierlich im Mathematikunterricht mit Hilfe des Ambulanten Assessments ermittelt (siehe Kapitel 1.7.3).

1.7.1 *Additional Heart Rate (AHR)*

Die online Auswertung der Herzfrequenz und der Bewegungsaktivität ermöglicht die Berechnung der primär, nicht metabolisch bedingten *additional heart rate* (AHR).

Nicht-metabolisch bedingte *additional heart rate* ist der Anteil der gemessenen Herzfrequenz, der nicht durch körperliche Ursachen (hauptsächlich dynamische und statische Muskelarbeit, aber auch thermoregulatorische Effekte), sondern durch emotionale oder mentale Beanspruchung bedingt ist (vgl. auch Blix, Stromme & Ursin, 1974; Turner, Carroll, Hanson & Sims, 1988; Wilhelm & Roth, 1996 nach Prill, Fahrenberg, 2007, Seite 2).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Diese Dekompensation physiologischer Indikatoren von Beanspruchung ist auch ein wichtiges Thema der Arbeitsphysiologie und Arbeitspsychologie (siehe Luczak, 1987; Rau, 2001; Richter & Hacker, 1998). Myrtek und Foerster (2002) verweisen auf Myrtek und Spital (1986), die in einer Grundlagenstudie unter Laborbedingungen zeigen konnten, dass die Effekte von drei Belastungen (Kopfrechnen, Cold Pressor Test, Ergometer 25 Watt) weitgehend additiv sind (vgl. auch Foerster, Myrtek & Stemmler, 1993).

Die körperliche Bewegungsaktivität unter Alltagsbedingungen zeigt den stärksten Einfluss auf die Variabilität der Herzfrequenz wird als die wichtigste Ursache von Herzfrequenzänderungen betrachtet. Es wurde dementsprechend ein Algorithmus entwickelt, welcher diesen Anteil erfasst und ausparialisiert, so dass die wahrscheinlich überwiegend emotional und mental bedingte *additional heart rate* separiert wird (Myrtek et al., 1988).

Die operationale Definition der *additional heart rate* durch den sogenannten EMO-Algorithmus wurde nicht theoretisch-deduktiv, sondern empirisch entwickelt, jedoch unter Bezug auf (1) experimentelle Befunde über die weitgehend additive Wirkung verschiedener Belastungen und (2) die durch Ergometrie nachweisbare, lineare Beziehung zwischen Herzfrequenz und Wattleistung. Die Verwendung eines Index metabolisch relevanter Bewegungsaktivität (siehe Tryon, 1991) ist für online Kontrollen zweckmäßiger als die Verwendung von respiratorischen Parametern (Atem-Minutenvolumen, Atemgas-Analyse, u. a. Wilhelm & Roth, 1996). Aufgrund zahlreicher Untersuchungen an über 1.500 Personen interpretieren Myrtek, Foerster, Brügger (2001) die *additional heart rate* (AHR) als empirisch validen Indikator von emotionaler und mentaler Belastung.

Sie ist ein Indikator für den Grad der Aktivierung des zentralen Nervensystems (Myrtek, Aschenbrenner, Brügger, 2005) und gilt als valider Indikator von emotionaler und mentaler Belastung (Myrtek & Foerster, 2002). Besonders bei erhöhter geistiger Arbeitsbelastung treten besonders zu Beginn einer Aufgabe erhöhte Herzraten auf (Myrtek, Dieterle & Brügger, 1990).

Wenn emotionale und mentale Beanspruchung, von hoher Bewegungsaktivität begleitet sind, können diese durch den EMO-Algorithmus schlechter erkannt werden, als bei geringer Aktivität. Dabei sind nach Myrtek und Föster (2002) komplexe Aktivierungsprozesse, z. B. schnelles Gehen und Treppensteigen in ärgerlichem Gefühlszustand, sind wahrscheinlich kaum zu zerlegen. Es ist jedoch anzunehmen, dass solche Phasen eher selten und eher von kurzer Dauer sein werden. Diese Methodik ermöglicht

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

dennoch einen innovativen Zugang zur psychophysiologischen Beanspruchung unter Alltagsbedingungen trotz einiger Einschränkungen.

Diese innovative Methodik des interaktiven Monitorings ist inzwischen bei mehr als tausend Probanden und Patienten mit verschiedenen Fragestellungen eingesetzt worden und hat sich als außerordentlich erfolgreich erwiesen. Es sind zahlreiche Publikationen zu verschiedenen Themen entstanden.

Dabei ging es, unabhängig von der jeweiligen Gruppe, immer um die Beziehungen zwischen Herzfrequenz, Bewegungsaktivität und *additional heart rate* einerseits und den Tätigkeiten und dem subjektiven Befinden andererseits: u. a. zur Untersuchung des Alltags von Studierenden verschiedener Fakultäten und des Schul- und Freizeitverhaltens von Gymnasiasten (vgl. dazu Zusammenfassungen, Myrtek, Brügger, Scharff & Müller, 1996a).

Diese Untersuchungen lieferten viele und überwiegend konsistente Validitätshinweise für dieses interaktive Monitoring. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sprechen dafür, dass die Operationalisierung der emotionalen Herzfrequenz als Indikator emotionaler Zustandsänderungen angesehen werden kann. Die Methodik des ambulanten Assessments ist praktisch gut im Alltag einsetzbar.

Für die vorliegende Arbeit wird die Beziehung zwischen Herzfrequenz und der AHR und dem subjektiven Befinden untersucht. Dabei erfolgt die Abfrage des subjektiven Befindens ereignisabhängig.

1.7.2 Die Herzrate - Abbild physiologischer Beanspruchung im Prüfungskontext

Aus allgemeiner Sicht tritt akademischer Stress und damit eine Beanspruchung auf, wenn die akademischen Anforderungen die zur Anpassung erforderlichen Ressourcen übersteigen (Wilks, 2008). Besonders Prüfungen können zu physiologischen Stressreaktionen und somit zu Beanspruchungsreaktionen führen. Die Stressoren bewirken dabei eine Aktivierung verschiedener physiologischer Systeme, die wie derum untereinander in Wechselwirkung stehen, z.B. einem Wechsel der Herzrate, kurzfristigen Veränderungen im Immunsystem und des Vagotones (Zeidner, 1998, In Spangler, Pekrun, Kramer & Hofmann, 2002).

Es gibt zahlreiche Studien mit empirischen Befunden bzgl. des Stressausmaßes in Belastungsmomenten, wie der der Prüfungssituationen. Dabei werden verschiedene physiologische Indikatoren verwendet.

Zu den wichtigsten stresssensitiven, physiologischen Systemen gehören: erstens, das kardiovaskuläre System, dessen Beanspruchung über die kardiovaskuläre Reaktivität bestimmt wird. Diese kann mittels ambulantem Monitoring direkt am Geschehen erfasst

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

werden kann. Zweitens, das Immunsystem, dessen Belastung z.B. über Immunglobulin IgA ermittelt werden kann; drittens, das Nebennierenrindensystem, dessen Aktivierung mit einem Anstieg des Stresshormons Cortisol einhergeht (Stück, Rigotti & Balzer, 2005).

Die HPA-Achse (Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse) ist für die Psychophysiologie von besonderem Interesse, da empirische Erkenntnisse darauf hindeuten, dass sie psychologische mit physiologischen Prozessen verbindet und Wege zu physiologischen und psychologischen Veränderungen erklärt (Fries et al., 2009).

Bei einer durch einen Stressor ausgelösten physiologischen Reaktion kontrolliert der Hypothalamus das ANS. Wird dieser aktiviert, kommt es zu einer Ausschüttung der Hormone Adrenalin und Noradrenalin aus dem Nebennierenmark in den Blutstrom. Die Bindung des Adrenalins an die β -Rezeptoren im Herzen führt zu einer Steigerung der Herzrate und der Kontraktionsstärke des Herzens (Schandry, 1996). Dieser Prozess gibt messbare Informationen über die Beanspruchung eines Organismus (und über mögliche langfristige gesundheitliche Schäden) mittels der gemessenen Herzrate.

Wie schon erwähnt, ist ein Messparameter hierbei die sog. die additive Herzratenaktivität (ΔHR), welche aus der Differenz zwischen einem Baselinewert und einen Aktivitätswert während eines Stressors ermittelt wird. Da Messungen kardiovaskulärer Reaktivität im Labor nur schwach mit der vom Feld korrelieren (Schönhofen & Schwerdtfeger, 2006), sollte deren Erfassung direkt im Feld erfolgen, was für die Methode des ambulanten Monitorings spricht. Auf Grund dessen, dass die Herzfrequenz ein sehr sensibler Indikator für die Erregung des ANS ist, spiegelt sie psychische (emotionale und mentale) und physische Anstrengung ziemlich exakt wieder (Laborde, Mosley & Thayer, 2017).

Die Beziehung zwischen Anstrengung und Lernen ist nicht unidirektional. Lernende müssen bei der Überwachung ihres Lernprozesses davon ausgehen, dass die geistige Anstrengung, die sie in die Objektebene investieren, ein nicht notwendigerweise vorhersagbarer Hinweis auf ihr tatsächliches Lernen ist.

Eine hohe Anstrengung bedeutet nicht notwendigerweise, dass das Lernen effektiv ist, und darüber hinaus bedeutet eine als zu hoch empfundene Anstrengung nicht immer, dass das Lernen ineffektiv ist. Eine genaue Selbstbeobachtung der Anstrengung ist unerlässlich, da sie sich auf die Regulierung der Anstrengung der Schüler auswirkt und mit ihren Lernzielen interagiert: Wenn Lernende niedrige Lernziele setzen, streben sie möglicherweise danach, sich nur minimal anzustrengen und sind nicht geneigt, die Leistung auf Objektebene genau zu überwachen.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Vermittelt durch kognitive Einschätzungen der Situation und der verfügbaren Ressourcen zur Bewältigung, können während der Lernprozesse Emotionen aktiviert werden, die wiederum zu unterschiedlichen Arten der Bewältigung der Situation und/oder der Stresserfahrung selbst führen. Eine Reihe von Studien fand zudem heraus, dass besonders das Gefühl von Selbstwirksamkeit und intrinsischer Motivation positiv korreliert mit mathematischen Leistungen (Briggs, 2014; Chen, 2010; Stevens et al., 2004; Van Slooten, 2013).

Darüber hinaus kann es zu Stressreaktionen auch auf der physiologischen Ebene kommen (Spangler et al., 2002).

Somit können sowohl Emotionen als auch physiologische Reaktionen das Bewältigungsverhalten beeinflussen, das wiederum auf sie zurückwirken kann, was bedeutet, dass reziproke kausale Pfade zwischen Emotionen, physiologischen Prozessen und Bewältigung existieren (siehe. Kap. 1.6.5 und 1.8.3).

Auf der Grundlage der Theorie der kognitiven Belastung kann davon ausgegangen werden, dass die kognitive Belastung, die auf Selbstregulierungsprozesse zurückzuführen ist, (d.h. Überwachung oder Regulierung) mit zunehmender Expertise in diesen Prozessen abnimmt. Sowohl in Bezug auf das Monitoring (z.B. Händel et al. 2020; Hübner et al. 2010; Roelle et al. 2012) als auch in Bezug auf die Fähigkeit zur Aufgabenauswahl (d.h. eine Art von Regulationstätigkeit; siehe Raaijmakers et al. 2018a, 2018b), gibt es vielversprechende Ergebnisse, die positive Trainingseffekte zeigen.

Spangler (1997, 2000, 2002) führte Untersuchungen mit dem Stresshormon Cortisol als Indikator für Kurzzeitreaktion wie auch Langzeitreaktionen des Nebennierenrindensystems durch. Dabei ergab sich eine signifikante Korrelation zwischen Copingstrategie und adrenocorticaler Reaktion. Dies entspricht dem biobehavioralen Coping-Modell, bei dem man annimmt, dass es zu einer adrenocorticalen Aktivierung bei Personen mit beschränkter Copingfähigkeit kommt (Spangler & Grossmann, 1993, In Spangler, et al., 2002, Seite 415).

Personen mit niedrig gefühlter Kontrolle zeigen häufig eine erhöhte Herzaktivierung, kurzzeitige immunologische Reaktionen sowie hohe adrenocortikale Reaktivität. Hochresiliente Probanden hingegen hatten vergleichsweise geringere Angstwerte und eine niedrigere kardiale Reaktivität. Sie zeigten zusätzliche antizipatorische Reaktionen und kehrten nach der Prüfungssituation schneller auf ihren Baselinewert zurück.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Spangler (1997) verweist auf Porges (1992), nachdem ein Zusammenhang zwischen der Reaktionsfähigkeit des Vagotones in Stresssituationen und behavioraler Flexibilität besteht.

Die Fähigkeit einer Person mit stressreichen Situationen umzugehen wird durch Deaktivierung des Parasympathikus insbesondere des Vagotones erhöht. Dieses Verhalten lässt sich mit Blocks Konzept der *ego control* und des *ego resiliency* erklären (Spangler, 1997). Auf behavioraler Ebene zeigen sich folglich individuelle Unterschiede in der Selbstkontrolle und Anpassungsfähigkeit, welche Auswirkungen auf die Art der emotionalen Reaktion auf Stress zeigen.

Spangler (2001) vertritt die Ansicht, dass emotionale und physiologische Reaktionen sowohl singulär als auch synchron in Abhängigkeit von der Intensität der Stressreize, der individuellen Bewältigungs- und Kontrollmöglichkeiten oder anderen moderierenden Parametern auftreten können. Spangler (2002) geht nach Zeidner (1998) von einem wechselseitigen Einfluss zwischen Emotionen, physiologischen Vorgängen und Copingstrategien aus.

Neuere systematische Übersichten (z. B. Li et al., 2019; Mutlu-Bayraktar et al., 2019) haben gezeigt, wie wichtig die Theorie der kognitiven Belastung für die aktuelle Forschung ist. Eine grundlegende Empfehlung der cognitive-load-theory ist, dass sie Lernmaterialien erstellt, die die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nicht überfordern (vgl. Cowan, 2001; siehe auch Oberauer et al., 2018)

Es hat sich gezeigt, dass kognitive Belastung eine negative Beziehung zu selbstreguliertem Lernen hat (Hughes et al., 2018). Sowohl kognitive Belastung als auch selbstreguliertes Lernen verbrauchen die kognitiven Ressourcen der Schüler. Eine hohe kognitive Belastung führt dazu, dass Studierende oberflächliche Lernstrategien wählen (Galy et al., 2012).

Auch wenn der Erwerb von deklarativem Wissen und bereichsspezifischen Fertigkeiten weiterhin im Mittelpunkt der heutigen aktuellen Bildung bleiben, erfordern diese Veränderungen einen zusätzlichen Schwerpunkt auf die Unterstützung der Lernenden bei der effektiven Bewältigung der Informationsverarbeitung. Konkret bedeuten die genannten Veränderungen, dass die Lernenden erhebliche mentale Anstrengungen unternehmen müssen, um nicht nur den zu erlernenden Stoff (d. h. Verarbeitung auf der Objektebene), sondern auch auf die Selbstregulierung ihrer Lernprozesse achten müssen (Metaebene).

Es wäre hilfreich, wenn Lernende wissen, wie sie ihre Lernstrategien anpassen können, (Wong et al., 2019). Außerdem sollten sie lernen, wie sie mit Ablenkungen umgehen und Multitasking zu vermeiden (Wiradhany et al., 2019).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Der wesentliche Ansatz dieser Arbeit liegt darin, das Bewältigungsverhalten bei schwierigen Mathematikaufgaben und damit die physiologische, sowie emotionale Beanspruchung von Schülern in Prüfungssituationen des Mathematikunterrichts zu senken.

Durch das metakognitive Training sollen die behavioralen Fähigkeiten erweitert werden. Ziel ist es, vermehrt kognitives, wie emotionales Bewältigungsverhalten anzulegen und somit ein erhöhtes Maß an Selbstregulation zu erreichen. Es werden dadurch Veränderungen der Herzrate und der Emotionen in der Trainingsgruppe erwartet (siehe. Kapitel 1.7 und 2.4.1).

1.7.3 Ambulantes Assessment- Methode physiologischer Datenermittlung

Technologische Innovationen ermöglichen eine detaillierte ambulante Untersuchung von Emotionen in einem breiteren Kontext von Physiologie und können dies ins Verhältnis zu Verhalten setzen.

Die ambulante Beurteilung bietet die Möglichkeit, situative Daten über Emotionen im täglichen Leben zu liefern, mit dem Potenzial, die externe Validität von strenger kontrollierter Laborergebnisse zu evaluieren (Wilhelm, Grossman, 2010).

Für die vorliegende Arbeit wurde das Freiburger Monitoring System (FMS; siehe Abb.11, Seite 109) eingesetzt, welches ein Daten-Aufnahme-und Auswertungssystem für Untersuchungen im Alltag beschreibt. Dabei wurde das Aufzeichnungsgerät Varioport und die entsprechende Variograph-Software der Firma Becker aus Karlsruhe verwendet.

Ihr Recordersystem ermöglicht eine flexible Aufzeichnung und Verarbeitung unterschiedlicher physiologischer Daten. Das System besteht dabei aus einem portablen Mini - Computer mit Chip (Größe: 12 x 6,5 x 2,2 cm, Gewicht: 170 Gramm), der mit einem Tragegurt am Oberkörper getragen werden kann (vgl Abbildung 11). Damit können Daten auf 16 Analogkanäle mit Akku-Überwachung bei einer Betriebsdauer von zwei bis sieben Tage (abhängig von der Prozessorbelastung und den eingestellten Datenraten) erfasst werden.

Die Stromversorgung erfolgt über zwei Mignonzellen bei einer Betriebs-spannung von 2,2 bis 3,6 Volt mit einem Stromverbrauch von 0,5 - 24 mA. Die Auflösung beträgt 16 Bit (65536 Stufen), die Abtastrate ist pro Kanal bis 2000 Hz frei einstellbar. Als Speichermedium dient die Compact Flash-Card (128 MB bis 4 GB)³.

³<https://www.fit-fuer-usability.de/archiv/biometrie-mit-varioport/>

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Die Methode des *Ambulantes Monitorings* dient der kontinuierlichen physiologischen Erfassung von körperlicher Aktivität, Körperhaltung und Bewegungsmustern im Alltag, sowie ein breites Spektrum von emotionalen Reaktionen und Stimmungen erfasst werden kann.

Es können so Rückschlüsse auf die Kontextabhängigkeit gezogen werden. Die simultane Erfassung subjektiver und physiologischer Beanspruchungsparameter wird möglich (Schönhofen & Schwerdtfeger, 2006).

Bei physiologischen Messparametern, wie z.B. der Herzfrequenz, kommt es dabei kaum zu Verzerrungen durch subjektive Eindrücke, wie bei paper-pencil-Methoden. Es können körperliche Aktivitäten und Bewegungsmuster in hoher zeitlicher Auflösung zurückverfolgt und zugeordnet werden, was z.B. bei Cortisol- Erhebungen kaum möglich ist.

Bei Langzeitaufzeichnungen besteht die Möglichkeit der Mittelwertbildung über mehrere Datenpunkte in unterschiedlichen situativen Kontexten und damit eine größere Zuverlässigkeit und Verallgemeinerbarkeit der Bewertung (Bussmann, Ebner-Priemer, Fahrenberg, 2009).

1.7.4 Strategien zur Kontrolle der Bewegungsaktivität

Bei der Aufzeichnung des täglichen Lebens ist der größte Teil der Varianz der Herzfrequenz auf die körperliche Aktivität zurückzuführen (Grossman et al., 2004). Infolgedessen ist die Herzfrequenz kein verlässliches Maß z.B. für Angst in ambulanten Aufzeichnungen, wenn der Grad der körperlichen Aktivität unbekannt ist, weil die emotionale Komponente durch eine erhebliche Stoffwechselkomponente überdeckt werden kann.

Die Herausforderung besteht darin, nicht metabolische Effekte der Herzfrequenz (z. B., Emotionen) zu identifizieren. Die Voraussetzung für diese Analysetechniken ist, dass die körperliche Aktivität zuverlässig und mit ausreichender zeitlicher und Intensitätsauflösung herauszupartialisieren. Es wurden verschiedene Strategien vorgeschlagen, zumindest die Effekte der Bewegungsaktivität zu erfassen, zu separieren bzw. die unerwünschten Varianzanteile zu schätzen (Fahrenberg & Foerster, 2002). Die Bewegungsaktivität kann heute kontinuierlich gemessen werden. Es gibt hier wichtige methodische Fortschritte bei der automatischen Detektion von Körperposition und Bewegungsmustern. Die innovativen Strategien ermöglichen heute die gleichzeitige online Auswertung der Herzfrequenz und der Bewegungsaktivität (Bussmann, Ebner-Priemer, Fahrenberg, 2009).

Damit bei der Beurteilung der Herzfrequenz grobe Interpretationsfehler vermieden werden, muss die Bewegungsaktivität berücksichtigt werden. Dafür gibt es die Möglichkeit des *Kontrollierten Monitorings in bestimmten Settings*.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Das ambulante 24-Stunden Monitoring wird ersetzt oder ergänzt durch Messungen in festgelegten Settings. Dabei dienen die semi-standardisierten Untersuchungsabschnitte als Referenz für inter- und intraindividuelle Vergleiche. Als sog. Standardsettings wurde in vorliegender Arbeit der Schulalltag in Sequenzen (Bewegungssequenzen) eingeteilt.

Diese Form des Monitorings wird als (partiell) kontrolliertes Monitoring bezeichnet (Fahrenberg, Foerster, 2002).

1.7.5 Messen der Bewegungsaktivität (Aktometrie, Akzelerometrie)

Die Erkennung von Bewegungsmustern kann verbessert werden durch die Definition individueller Referenzmuster, die für jede Körperhaltung und Aktivitätszustand bestimmt werden. Dies kann erreicht werden durch die anfängliche Aufzeichnung der wesentlichen zu untersuchenden Muster (Prill, Fahrenberg, 2007).

Dabei erfolgt die Berechnung der Episoden der zusätzlichen Herzfrequenz online. Die Herzfrequenz und die körperliche Aktivität während jeder Minute werden mit dem gleitenden Durchschnitt der vorangegangenen 3 Minuten verglichen, um auch emotionale Ereignisse zu identifizieren. Ein emotionales Ereignis wird angenommen, wenn die Herzfrequenz in einer bestimmten Minute um mindestens 3 Schläge/min höher ist, als der Durchschnitt der vorangegangenen Minuten, ohne eine oder durch unwesentliche Zunahme der körperlichen Aktivität (Prill, Fahrenberg, 2007).

Wenn die körperliche Aktivität zunimmt, steigt auch die minimale zusätzliche Herzfrequenz, die ein emotionales Ereignis anzeigt.

Der Algorithmus für dieses Verfahren wurde individuell angepasst, um die Erkennung von emotionalen Ereignissen zu optimieren (für eine detaillierte Beschreibung, siehe Myrtek, 2004; Myrtek et al., 2001).

Häufig, so wie auch in vorliegender Arbeit, wird die Bewegungsaktivität und die Körperposition zusätzlich durch Selbstberichte der Untersuchungsteilnehmer erfasst. Diese Angaben, die wahrscheinlich oft erst nachträglich eingetragen werden, sind nach Fahrenberg & Foerster (2002) von sehr zweifelhafter Validität, da sie subjektiven Verzerrungen unterlegen sein können.

Zuverlässiger als die Selbstberichte, sind die kontinuierlichen Messungen der Bewegungsaktivität mit elektromyographischer, aktimetrischer oder akzelerometrischer Methodik, welches in vorliegender Arbeit vorgenommen wurde (u. a. Kario, Schwartz & Pickering, 1999; Käßler, Brügger & Fahrenberg, 1993; Schmidt & Jain, 1996; Shapiro &

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Goldstein, 1998; Steptoe, 2001; Tuomisto, Johnston & Schmidt, 1996 nach Fahrenberg & Foerster, 2002 S.10).

In einigen Untersuchungen wurden hand-held PCs verwendet, um die momentane Bewegungsaktivität einzustufen (Heger, 1990; Kamarck et al., 1998; Schwartz & Metcalfe, 1994; Shapiro Jamner, Goldstein & Delfino, 2001).

Die Bewegungsaktivität wird durch ein einfaches Aktometer gemessen, das die Beschleunigungen in einer Achse oder in fortgeschrittener Technik in drei Raumachsen misst. Dazu hat ein Aktometer die Gesamtaktivität gemessen (Myrtek et al., 1988). Solche Messungen der Bewegungsaktivität wurden zur Segmentierung des Rekords verwendet. Dabei werden Abschnitte mit ähnlichen Werten, z. B. mit sehr geringer oder mit hoher Bewegungsaktivität gebildet und verglichen (Heger, 1990; Käßler, Brügger, Fahrenberg, 2001 nach Fahrenberg & Foerster, 2002 S.10). Die Messwerte können als Kovariate in die statistische Auswertung einbezogen werden: zur nachträglichen Beschreibung und Ausparialisierung der unerwünschten Varianzanteile durch Regressionsverfahren (Schmidt, Steinmetz, Wittenhaus, Piccolo & Lüpsen, 1992; Tuomisto et al., 1996 nach Fahrenberg & Foerster, 2002 S.10). Fahrenberg und Foerster (2002) weisen ebenso auf Kreuzkorrelationen hin (Fahrenberg et al., 1991 nach Fahrenberg & Foerster, 2002, S.10). Beide Verfahren sind ihrer Erfahrung nach für die Auswertung der Herzfrequenz geeignet.

Zwischen den Messwerten eines dreiachsigen Aktometers kann unter Berücksichtigung von Geschlecht, Alter, Gewicht und Größe eine mittlere bis hohe Übereinstimmung mit Messwerten der Sauerstoffaufnahme und der Herzfrequenz erreicht werden (siehe auch Freedson & Miller, 2000; Patterson, Krantz, Montgomery, Deuster, Hedges & Nebel, 1993; Tryon, 1991 nach Fahrenberg & Foerster, 2002, S.10). Andere Untersuchungen haben geprüft, wie valide die Aktimetrie (mit einem Sensor) ist, die Bewegungsaktivität des gesamten Körpers bzw. anderer Extremitäten vorherzusagen (u. a. Literaturübersichten siehe Fahrenberg & Myrtek, 2001b In F.Rösler (Hrsg); Freedson & Miller, 2000; Middelkoop, van Dam, Smilde-van den Doel & van Dijk, 1997; Sherman, Morris, Kirby, Petosa, Smith, Frid & Leenders, 1998; Tryon, 1991).

Multiple kalibrierte Akzelerometrie

Die Bewegungsaktivität und die Körperposition werden durch eine multiple kalibrierte Akzelerometrie erfasst. Das Ausgangssignal dieser piezoresistiven Beschleunigungssensoren hat eine AC-Komponente, die ein Maß der Bewegungsaktivität liefert, und außerdem eine DC-Komponente (Gleichspannung), die Lage des Sensors relativ zur Gravitationsachse erkennen

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

lässt. Deshalb kann mit einer geeigneten Kombination dieser Sensoren die Körperposition (Sitzen, Stehen, Liegen usw.) gemessen werden. Die Sensoren werden kalibriert indem sie zur Gravitationsachse gedreht werden, wobei der Signaloutput zwischen - 1.0 und + 1.0 beträgt. Eine zuverlässige Detektion der Körperposition und der häufigsten Bewegungsformen ist mit drei Achsen (sagittal und vertikal am Sternum, eine Achse sagittal am Oberschenkel) möglich.

Eine zusätzliche Achse (lateral am Sternum) ermöglicht es, auch die Körperdrehung zu erkennen, u. a. während des Schlafs. Die Sensor-Konfiguration wird individuell in einem Standardprotokoll kalibriert. Dieses Assessment ermöglicht eine objektive Segmentierung des 24-Stunden-Monitorings. Von kalibrierter Akzelerometrie wird hier gesprochen, wenn (1) piezoresistive Sensoren mit einer lageabhängigen Signalkomponente benutzt und (2) ein individuelles Standardprotokoll von typischen Körperlagen und Bewegungsmustern aufgenommen wird, um Referenzmuster zu erhalten (Foerster, 2001, In Myrtek & Fahrenberg (Hrsg).

1.7.6 Online Auswertung und Separierung bewegungsbedingter Effekte

Die drei oder vier Signale der multiplen Akzelerometrie werden zu einem Aktivitätsmaß addiert und unmittelbar verwendet, um die aktuelle Herzfrequenzerhöhung in einen bewegungsbedingten und in einen nicht bewegungsbedingten Anteil, die *additional heart rate* zu zerlegen (Myrtek et al., 1988, 1996a, 1996b; Myrtek, Foerster & Brüchner, 2001). Eine vollständige Dekompensation bzw. Separierung der primär psychologisch bedingten und der primär körperlich bedingten Varianzanteile wird empirisch nicht möglich sein, doch zeigen die vielfältigen Untersuchungsergebnisse Myrteks, dass valide Anteile der *additional heart rate* erfasst und zur psychophysiologischen Forschung genutzt werden können.

1.8 Zusammenhänge von Metakognition, Selbstregulation, Herzrate und Emotion

1.8.1 Metakognition und Emotion

In der pädagogischen Literatur herrscht Einigkeit über den Einfluss von Leistungsemotionen auf die Anwendung effektiver Lernstrategien (Tyson, Linnenbrink-Garcia, & Hill, 2009).

Eine Studie von Boekaerts (2007, In P. Schutz, R. Pekrun & G. Phye (Hrsg) hat sich mit dem Zusammenhang zwischen Emotion und Metakognition befasst. Dabei haben sie 357 Schüler einer Mittelstufe gebeten, anhand von Tagebüchern ihre Kompetenzeinschätzung, ihre Anstrengung und ihre Gefühle beim Bearbeiten ihrer Mathematikhausaufgaben zu beschreiben.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Das Ergebnis zeigte, dass je höher die selbsteingeschätzte Kompetenz der Schüler war, desto mehr Anstrengung investierten die Schüler. Je geringer sie ihre Kompetenzen einschätzten, desto weniger strengten sie sich bei der Bearbeitung der Hausaufgaben in Mathematik an.

Boekaerts (2007) konnte vor dem Hintergrund ihrer Zusammenhangsforschung zwischen Emotion und Kompetenzeinschätzung zeigen, dass positive Gefühle positiv mit Leistungseinsatz korrelieren. Schüler mit hoch eingeschätzter Kompetenz berichteten über positive Emotionen wie Freude und Zufriedenheit. Die positiven Emotionen werden von Frenzel, Götz, Pekrun (2015) als kraftpendende Ressourcen eingeordnet, welche zu einer Investition von Anstrengung führen. Demgegenüber gehen niedrig eingeschätzte Kompetenzen mit negativen Emotionen einher, wie Angespanntheit, Unzufriedenheit und Ärger, so dass Anstrengung reduziert wird.

Folgt man Efklides (2001, 2006, 2011), scheint die Bewertung von Lernsituationen von Schülern entscheidend zu sein. Die Einschätzung der Schwierigkeit (appraisal) einer Aufgabe und die metakognitive Erfahrung, im Sinne des Gefühls von Selbstwirksamkeit, ermöglichen es dem Lernenden, die Aufgabe erfolgreich zu beenden (Boekaerts, 2007). Metakognitive Erfahrungen bilden die Schnittstelle zwischen der Aufgabe und Person, und informieren die Person über ihre Fortschritte bei der Aufgabebearbeitung und die erzielten Ergebnisse.

Dabei ist das Interesse an der Aufgabe ein Aspekt emotionaler Erfahrungen (Pekrun, Goetz, Titz, & Perry, 2002). Ebenso präsent sind metakognitive Erfahrungen (Efklides, 2001; Efklides & Petkaki, 2005) im Sinne aktueller Gefühle, Entscheidungen und Gedanken, während der Bearbeitung der Aufgabe, derer der Lernende sich bewusst ist (Efklides, 2001; Flavell, 1979). Entscheidungen müssen getroffen werden, wie vermehrte Anstrengung oder Gedanken über Strategien (Efklides, 2001; Efklides, Samara & Petropoulou, 1999). Pekrun, Götz, Titz & Perry (2002a) konnten nachweisen, dass sich ein negativer Zusammenhang zwischen Langeweile und elaborierten Lernstrategien und Selbstregulation beim Lernen zeigte, was zu einer oberflächlichen Informationsverarbeitung führt.

1.8.2 Selbstregulation und Emotion

Das selbstregulierte Lernen kann durch den Einfluss negativer Emotionen eingeschränkt sein (vgl. Kapitel 1.5.). Eine Untersuchung von Götz (2004) zwischen dem Zusammenhang von Emotionen und Selbst- bzw. Fremdregulation bei Sekundarschülern in Mathematik ergab eine positive Korrelation zwischen Freude und Selbstregulation.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Fremdregulation durch die Lehrkraft korrelierte positiv mit Angst und negativ mit Selbstregulation (Boekaerts, 2007; Linnenbrink, 2006; Pekrun, 2006; Berger & Karabenick, 2011). Positiv aktivierende Emotionen, wie Hoffnung und Freude haben einen positiven Einfluss auf Lernen, indem die Motivation steigt, sowie damit der Einfluss auf Selbstregulation und Lernstrategien erhöht wird (Greulich, Al Otaiba, Schatschneider, Wanzek, Ortiz, & Wagner, 2014).

Studien an Schülern der 6.-8. Klassen belegen, dass hohe Levels von Freude mit intensiverem Lernen und mit höherer Leistung korreliert (Ahmed, van der Werf, Kuyper & Minnaert, 2013). Reziprok löst das Gefühl von Selbstwirksamkeit positive Emotionen aus (Boekaerts, 1999; Pintrich, 2000; Winne, 2004; Zimmerman, 1998), welche sich wiederum positiv auf die Leistungen auswirken.

Besonders für den Mathematikunterricht konnten Zusammenhänge zwischen Freude und Erfolg bei Kindern zwischen 9 und 14 Jahren ermittelt werden (Pinxten, Marsh, De Fraine, Van Den Noortgate & Van Damme 2014). Andere Studien bei Jugendlichen belegen, dass mehr Freude und Hoffnung mit guter akademischer Leistung, sowie mit guten Testergebnissen korreliert (Pekrun, Elliot, & Maier, 2009).

Für die vorliegende Studie soll ermittelt werden, welche Emotionen vor und welche nach dem Training genannt werden. Eine weitere Fragestellung ist, welche Korrelationen zwischen Emotionen und metakognitiven Maßen ermittelt werden können und damit auf eine erhöhte Selbstregulation hinweisen.

1.8.3 Herzrate und Emotion

Physiologisch expressive Komponente der Emotion

Welche Rolle Emotionen im Lernprozess spielen, wurde in Kapitel 4. dieser Arbeit dargelegt. In diesem Kapitel werden Emotionen und deren physiologischen Parameter beschrieben. Emotionen sind ein wesentlicher Bestandteil der Art und Weise, wie wir wahrnehmen, interpretieren und wie wir auf die Ereignisse und Interaktionen unseres täglichen Lebens reagieren. Die Allgegenwärtigkeit von Emotionen spiegelt gleichzeitige Reaktionen in physiologischen Systemen, wie im Gehirn und Körper wieder (Lang, 2014).

Dabei beschreibt die physiologisch-expressive Komponente begleitende Prozesse, die durch Selbstperzeptionen, externe Beobachtung bzw. physiologische Messungen (in vorliegender Arbeit EKG) ermittelt werden (Stemmler, 2000).

Situationen und daraus resultierende emotionale und physiologische Reaktionen hängen nach

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Lazarus (1991) entscheidend von individuellen Dispositionen, Fähigkeiten und Bewältigungsressourcen bzw. der Qualität der Bewältigungsstrategie ab.

Einige Studien wurden zur Bewertung der psychologischen und mentalen Zustände, sowie die Messung emotionaler Veränderungen in verschiedenen Bereichen durchgeführt, darunter in der Psychologie, der Psychiatrie und der Neuropsychologie (Cernea & Kerren, 2015; Coelho et al., 2010; Sheppes et al., 2015).

Dabei wurde häufig im schulischen Kontext die Frage nach den Variationen der emotionalen Erfahrungen im Zusammenhang mit dem Lösen von mathematischen Aufgaben durch qualitative und quantitative Ansätze untersucht.

Op't Eynde und Hannula (2006) ermittelten in einer qualitativen Studie, in Anlehnung an das theoretische Modell von Scherer, Schorr und Johnstone (2001), Schwankungen im emotionalen Erleben eines Schülers bei der Lösung eines mathematischen Problems. Dabei zeigten sich in der Studie besondere Schwankungen bei den Emotionen Freude, Sorge, Erleichterung, Frustration/Angst, Nervosität und Stolz.

Ergebnisse von Cuisinier, Clavel, de Rosnay und Pons (2010), die den Einfluss des emotionalen Inhalts von Texten in einer Diktataufgabe ermittelten, haben gezeigt, dass die Intensität der positiven Emotionen von Schülern (im Alter von 10 bis 11 Jahren) während der Arbeit an der Aufgabe abnahmen und nach Beendigung der Aufgabe zunahmen. Die Schüler berichteten, dass sie unangenehme Emotionen mit größerer Intensität erlebten, während sie die Aufgabe bearbeiteten. Emotionen sind jedoch sehr schwer quantitativ zu messen, da sie Selbstbewertungen, Selbstvertrauen und Erwartungen mit einbeziehen, die je nach Person unterschiedliche Gefühle hervorrufen. Diese Selbstbewertungen und die damit oft verbundenen Ängste beeinflussen die Qualität und die Entwicklung mathematischen Lernens (Malmivuori, 2001; siehe Kapitel 1.4).

Das Design und die Selbstauskünfte über emotionale Erfahrungen, die in quantitativen Studien (Cuisinier, Sanguin-Bruckert, Bruckert, & Clavel, 2010; Efklides & Petkaki, 2005) ermittelt wurden, erlaubten es nicht, diese Schwankungen vertieft zu erfassen und zu interpretieren.

Aufgrund der Beschränkung von Selbstberichtsskalen verwies u.a. Desmet (2003) auf die Notwendigkeit eines objektiven Messinstruments.

Emotionale Reaktionen können neben Selbstauskünften zusätzlich durch physiologische Messungen bewertet werden. Als Methoden haben sich besonders Messungen

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

von Veränderungen von Faktoren wie Cortisol, Blutdruck, Herzfrequenz und das Messen von Gehirnströmen bewährt (Myrtek et al., 2004).

Herzratenvariabilität

Vielfach haben Forscher vorgeschlagen, die Herzratenvariabilität (HRV) als Maß zu ergänzen, da die HRV den Zustand des autonomen Nervensystems und damit die psychische (emotionale und mentale) und physiologische Anstrengung ziemlich exakt widerspiegelt (Bradley & Lang, 1994; Valenza, Lanata, Scilingo, 2012).

Die HRV erfasst die autonomen Aspekte der emotionalen Reaktivität (Kreibig, 2010; 2014; Levenson, 2014), und bildet damit eine Beziehung zwischen Stressreaktion und Wahrnehmung (Barnes, Davis, Treiber, 2007), emotionaler Reaktivität und/oder Regulierung (Appelhans & Luecken, 2006; Mather & Thayer, 2018), und emotionalem Gedächtnis ab (Thayer et al., 2012).

Die Herzfrequenzvariabilität gilt als Hinweis für den Einfluss des autonomen Nervensystems (ANS) auf Herzaktivität (Appelhans & Luecken, 2006). Sie kann in eine niederfrequente (LF) Komponente zerlegt werden, die eine Mischung aus sympathischen und parasympathischen Einflüssen widerspiegelt, und in eine hochfrequente (HF) Komponente, die rein parasympathische Einflüsse über den Vagusnerv widerspiegelt (Saul, 1990; Reyes del Paso, Langewitz, Mulder et al., 2013).

Die HRV wurde auch systematisch mit der zentralen autonomen Hirnaktivität während verschiedener Emotionsinduktionen untersucht (Chang et al., 2013; Sakaki et al., 2016; Thayer et al., 2012), die diese bidirektionale Beziehung zwischen ANS und dem Gehirn ermittelt haben. Dies ergänzt die Neuroimaging-Arbeiten, die einen Kern von Hirnregionen identifiziert haben, die an der Emotionsregulation beteiligt sind, vor allem innerhalb des frontoparietalen Netzwerks (Buhle et al., 2014; Kohn et al., 2014).

Es konnte gezeigt werden, dass Emotionen, die durch unterschiedliche Wertigkeiten (positiv vs. negativ) charakterisiert werden, mit spezifischen Mustern von autonomen physiologischen Veränderungen verbunden sind (Bradley, Codispoti, Cuthbert, & Lang, 2001 et al. nach Brugnera, Adorni, Compare, Zarbo & Sakatani, 2018, S. 53). Besonders hervorzuheben ist die Beziehung zwischen Angst und physiologischer Reaktivität bei Kindern (Boyes, Carmody, Clarke & Hasking, 2017; Dobkin, Treiber, & Tremblay, 2000; Ripper, Boyes, Clarke & Hasking, 2017). Angst geht im Allgemeinen mit einem Rückgang der Parasympathikus Aktivität und einem Anstieg der Sympathikus Aktivität einher, was

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

wiederum zu Herzrasen, vermehrtem Schwitzen und anderen peripheren Reaktionen führt, die dem Kampf-oder-Flucht-Prinzip ähneln.

Es gibt auch Hinweise darauf, dass Wut, verglichen mit anderen positiven und negativen Emotionen den stärksten Gesamtanstieg der Herzfrequenz (HF) zeigt (Ekman, Levenson & Friesen, 1983; Schwartz, Weinberger & Singer, 1981).

Valenza et al. (2012) und Lane et al. (2009) berichteten ebenfalls über eine Korrelation zwischen dem emotionalen Zustand und der HRV.

Grundsätzlich werden Emotionen als eine individuelle Reaktion auf ein Umweltereignis definiert die schnell kognitive, verhaltensbezogene, physiologische und zerebrale Reaktionen auslösen (Hagemann, Waldstein, & Thayer, 2003), um den Organismus für Aktionen zu mobilisieren (Bradley, Atkinson...et al., 2009). Emotionen sind demnach eine komplexe Mischung aus mehreren Systemreaktionen und –veränderungen.

Auch Emotionen, die durch das Erinnern von Ärger und Freude, führen zu spezifischen Mustern von ANS-Veränderungen. In Übereinstimmung mit der Doktrin der autonomen Reziprozität sind emotionale Erinnerungsaufgaben mit einem Anstieg der niederfrequenten, (LF) Komponente der Herzfrequenzvariabilität (HRV), oder mit einer gleichzeitigen Reduktion der hochfrequenten (HF) Komponente der HRV verbunden. Dieses Muster erzeugt ein sympathisch dominiertes Leistungsspektrum (Kreibig, 2010; Shahrestani et al., 2015).

Myrtek (2004) interpretiert aufgrund zahlreicher Untersuchungen an über 1.500 Personen die *additional heart rate* als empirisch validen Indikator von emotionaler und mentaler Belastung (siehe Kapitel 1.7).

Die psychischen und physiologischen Reaktionen können dabei durch Stress beeinträchtigt werden (Gross & Muñoz, 1995; Davidson, 2000). Es sind folglich Bewältigungsstrategien nötig, um Aufgaben zu lösen und damit negative Emotionen und damit einhergehenden Stress zu minimieren.

Dabei werden die Bewältigungsstrategien von Schülern als kognitive und verhaltensbezogene Strategien beschrieben, die sie einsetzen, um negative Emotionen (z. B. Angst und Verlegenheit) zu vermeiden oder zu reduzieren, die oft aus einem stressigen Ereignis resultieren, wie z. B. ein schlechtes Abschneiden bei einem Test oder das Scheitern bei der Erledigung einer Aufgabe.

Die Forschung hat Emotionsregulationsstrategien identifiziert, die die Intensität von negativen Erfahrungen reduzieren (Gross & Levenson, 1993; Ochsner et al, 2004; Etkin et al., 2015), darunter die emotionale Neubewertung, bei der Personen einen negativen Stimulus oder ein

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

negatives Ereignis explizit uminterpretieren (Richards & Gross, 2000; Gross, 2002; Hajcak & Nieuwenhuis, 2006).

Eine erfolgreiche Emotionsregulation kann die kognitive und verhaltensbezogene Leistung verbessern (Lupien, Maheu, Tu, Fiocco, & Schramek, 2007; siehe dazu Kap. 4.5).

Damit können Schüler/-innen versuchen, prüfungsbedingten Stress zu reduzieren und die akademischen Anforderungen zu erfüllen, indem sie persönliche und soziale Ressourcen nutzen, wie z.B. mehr Anstrengung investieren, um instrumentelle Hilfe bitten usw. (siehe Kapitel. 1.4).

Studien, die Bewältigungsstrategien untersuchten, zeigen einen korrelativen Zusammenhang zwischen kognitiven Emotionsregulierungsstrategien und negativen emotionalen Reaktionen einschließlich Angst (Blankstein, Flett & Watson, 1992; Endler et al., 1994; Martin & Dahlen, 2005).

Die Herzfrequenzvariabilität variiert mit der selbstregulatorischen Anstrengung durch das Zusammenspiel von Sympathikus und Parasympathikus, insbesondere bei Bemühungen um emotionale Kontrolle (Appelhans & Luecken, 2006; Geisler & Kubiak, 2009; Segerstrom & Nes, 2007).

Demnach nehmen Bewältigungsfähigkeiten bei der Bearbeitung schwieriger mathematischer Aufgaben eine vermittelnde Funktion zwischen charakterlichen Gefühlsmerkmalen (wie Selbstwirksamkeitserleben, Selbstkonzept, Selbstvertrauen) und situativ bedingten Emotionen ein (Spangler et al., 2002; Malmivuori, 2001)

Ableitend aus den vorab geschilderten Erkenntnissen, werden in vorliegender Arbeit sowohl Emotionen, als auch die Herzfrequenz vor, während und nach der Bearbeitung von mathematischen Aufgaben erfasst. Es stellt sich die Frage nach dem diesbezüglichen Effekt durch das metakognitive Training.

1.9 Metakognitionen lassen sich trainieren

Die Analyse von Aufgaben, das Planen des Vorgehens, Monitorisieren, Überprüfen und Zusammenfassen von Ergebnissen sind Grundmerkmale metakognitiver, prozessualer Fähigkeiten (Veenman, Wilhelm, Beishuizen, 2004).

Die Entwicklung und Förderung angemessener Metakognitionen zählt zu den großen Herausforderungen des Bildungssystems (Hasselhorn & Labuhn, 2008; Artelt & Stanat, 2008). Aus diesem Grund müssen laut Veenman und van Cleef (2019) metakognitive Fähigkeiten frühzeitig überprüft werden, um einem Zurückbleiben schwächerer Lernender vorzubeugen und ihnen durch geeignete Trainings-Maßnahmen Metakognition nahezubringen

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Metakognitionen spielen im Kontext des Selbstregulierten Lernens eine übergeordnete Rolle (Artelt, Baumert & McElvany, 2003; Dinsmore, Alexander & Loughlin, 2008; Hasselhorn & Labuhn, 2008) und werden als wesentlicher Prädiktor für Lernen verstanden (Brown, 1978; Flavell, 1976, 1979; Glaser & Brunstein 2007a, 2007b; Glaser, Keßler, Brünstein, 2009; Veenman & Elshout, 1999; Wang, Haertel, & Walberg, 1993) und können trainiert werden.

Bereits in den 1970-er Jahren wurden Trainingsmaßnahmen entwickelt, um die metakognitive Entwicklung von Schülern/-innen anzuregen (Meichenbaum & Asarnow, 1979), denn das Wissen, dass der Lernende über das Zusammenspiel seiner Personencharakteristika, und den zur Verfügung stehenden Strategien in einer Lernsituation hat, muss nicht unbedingt zu einem entsprechenden Lernverhalten führen. Beispielsweise könnte ein Lernender erkennen, dass eine Planung bei der Bearbeitung einer Aufgabe nötig ist, dennoch wird er aus verschiedenen Gründen davon abgehalten: z.B. könnte die Aufgabe uninteressant für ihn sein, oder zu schwierig, und der Lernende bemerkt, es fehlen ihm das nötige Wissen und Fähigkeiten, die Aufgabe zu bewältigen. Somit benötigen Schüler/-innen für den Arbeitsprozess auch Wissen über mögliche Regulation und Kontrolle über den Lernprozess (Veenman, Wilhelm, Beishuizen, 2004).

In einigen Trainings zu metakognitivem Wissen und Lernstrategien werden Lernaufgaben zusammengestellt, die ein geplantes, strategisches Vorgehen erfordern. Je nach Art der Aufgabe werden bestimmte Wissenskategorien verbalisiert: z.B. Sachwissen, Wissen über die eigene Person (Wissen über die Konzentrationsfähigkeit, Wissen über die Gefühlslage), Wissen über die Aufgabenstellung, Wissen über mögliche Strategien, Wissen über die Steuerung des Lernprozesses. Dabei kann ein Kind oder eine Lehrkraft als Modell eingesetzt werden, durch den die Arbeitsschritte demonstriert werden und sie dazu die Gedanken verbalisiert (Mungengast, 2022).

Mitschüler/-innen haben die Möglichkeit zu beobachten und andere Strategien kennenzulernen und können diese mit ihrem eigenen Vorgehen vergleichen.

Nach Abschluss einer Lerneinheit blicken die Schüler/-innen auf die Arbeit zurück und können über die Arbeitsschritte reflektieren. Als Methode des Dokumentierens der Strategien wird von Guldemann und Lauth (2004) das Lerntagebuch gewählt.

Die Beachtung metakognitiver Empfindungen wird dem Lernenden über die Vermittlung von Selbststeuerung mit Hilfe von Selbstinstruktionen vermittelt. Zusätzlich werden Stopp -Regeln trainiert, die dem Lerner Zeit lassen für metakognitive Überlegungen (Beispiel: *habe ich den Text wirklich schon verstanden?*). Im Projekt *Eigenständige*

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Lernerinnen und Lerner (Beck, Guldemann & Zutavern, 1996) wurden 27 Klassen der Regelschule zwei Jahre lang im strategischen Lernen durch ihre Lehrkräfte angeleitet.

Ergebnisse zeigten sich für die lernschwachen Kinder, deren Lernleistungen deutlich durch das Training anstiegen. Sie erwarben vertiefte Kenntnisse über Lernstrategien und die Fähigkeit, über Lernen/ Lernschritte nachzudenken, nahm zu.

Das dadurch ermöglichte selbstregulierte Lernen ist wichtig für den Lernerfolg und lebenslanges Lernen. Da interindividuelle und intraindividuelle Unterschiede existieren, steht für die vorliegende Arbeit die Frage der Trainierbarkeit metakognitiver Maße im Mittelpunkt und soll dazu beitragen, selbstreguliertes Lernen zu verbessern.

Ein zentrales Element des selbstregulierten Lernens ist die Selbstbeobachtung (Landmann & Schmitz, 2007a). Kanfer, Reinecker und Schmelzer (2012) fanden heraus, dass schon die kontinuierliche Selbstbeobachtung zu einer Reaktivität führt und Verhalten sich in die gewünschte Richtung verändert. Die Wirksamkeit von Selbstbeobachtung wurde durch Verwendung von Lerntagebüchern unterstützt und konnte nachgewiesen werden (Schmitz, 2001).

Einige Forschungsarbeiten beschreiben Trainings, die darauf abzielen, selbstreguliertes Lernen zu fördern (Zimmerman, 1994; Schmitz, 2001; Otto, 2007a; Souvignier, Streblo, Holodyski & Schiefele, 2007; Perels et al., 2007).

Cleary und Zimmerman (2004) verfolgten mit ihrem *Self-Regulation Empowerment-Program* das Ziel, Lernende zur Selbstregulation zu befähigen, indem sie bei der Zielsetzung, Selbstbeobachtung und Selbstbewertung beim Bearbeiten von Aufgaben unterstützt wurden, sowie in der Anpassung von Lernstrategien.

In einer von Dignath, Büttner, Langfeldt (2008) durchgeführten Studie wurden Lehrkräfte der Klassen 3-8 darin trainiert, ihre Schüler in besonderer Weise metakognitiv zu fördern, indem sie sie anregten zu reflektieren: worin das Problem der Aufgaben liege, welche Informationen zur Verfügung stehen, welche Lösungsschritte und welche mathematischen Operationen durchgeführt werden sollten. Am Ende einer Trainingsaufgabe sollten die Schüler über die Aufgabenbearbeitung und ihren Lernzuwachs reflektieren. Die Schüler zeigten höhere Leistungen durch das Training im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Training. Die trainierten Schüler sprachen dem Fach Mathematik eine höhere Bedeutung zu und das Interesse am Fach war größer als in der Kontrollgruppe. Die Schüler erlebten vermehrte Kompetenz durch das Training.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Perels, Gürtler, Schmitz (2005) konzipierten ein Training für eine achte Gymnasialklasse, in dem sowohl mathematische Problemlösefähigkeit, wie auch selbstregulatorische Kompetenzen trainiert wurden. Es wurden positive Effekte der Selbstregulationsfähigkeit, als auch der mathematischen Problemlösefähigkeit festgestellt.

Das Ergebnis zeigt, dass besonders kontextgebundene Vermittlung von Selbstregulation und Problemlösestrategien zu guten Ergebnissen führt. Der inhaltliche Bezug der fächerübergreifenden Selbstregulationsstrategien scheint den Trainingserfolg für bestimmte Unterrichtsfächer, wie hier Mathematik zu steigern.

Die Auswahl der inhaltlichen Trainingsmodule zeichnete sich durch Variation und Aktivierung aus. Direkte Instruktion wechselte mit Gruppenarbeiten und Spielen. Der Aufbau der einzelnen Sitzungen dabei war identisch in ihrem Ablauf: Austausch über Erfahrungen und Probleme der in vorherigen Sitzungen kennengelernten Strategien. Es folgte der inhaltliche Teil der Sitzungen. Nach jeder Trainingsabfrage folgte eine Wissensabfrage, welche in der folgenden Sitzung an die Teilnehmer zurückgegeben wurde. Eine mündliche Rückmeldung aller an der Trainingseinheit teilnehmenden Schüler bildete die Abschlussphase.

Die Evaluationsergebnisse bestätigen sowohl eine Erhöhung der selbstregulatorischen Fähigkeiten, als auch, dass mathematisches Problemlösen gefördert werden konnte. Die Einschätzung der Schüler über ihre Fähigkeiten, welche in der Reflexionsphase stattfand, fiel positiv aus.

Der Lehrer machte dabei als Modell die Arbeitsschritte vor, gab Rückmeldungen und belohnte bei korrektem Vorgehen. Nach Durchführung des Trainings über sechs Monate zeigten sich deutliche Fortschritte, der Einsatz metakognitiver Maße, sowie sich die Emotionen veränderten.

Die Arbeitsgruppe von Guldemann (Beck, Guldemann & Zutavern, 1996; Guldemann, 1996) hat Interventionen entwickelt, in denen der Aufbau und die Anwendung metakognitiven Wissens zu einem wesentlichen Prinzip von Unterricht erhoben wurde. Guldemann, Lauth (2004) geben dazu einen Einblick in grundsätzliche Muster einer Intervention zur Förderung metakognitiven Wissens, sowie metakognitiver Kontrolle. Neben der Ermittlung der Lernvoraussetzungen und des strategischen Lernverhaltens, wird das Wissen über das eigene Denken gefördert.

Fuchs & Fuchs (2002) beschreiben eine Form des tutoriellen Lernens. Dabei werden Lehrkräfte in der Durchführung einer solchen Methode trainiert. Das Programm wird dreimal

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

wöchentlich in jeweils 35-minütigen Sitzungen ausgeführt. Die Lehrkräfte führen die Schüler in die tutorielle Zusammenarbeit ein: durch Kurzvorträge, Wiedergabe von gelesenen Informationen durch die Schüler, Anwendung von Informationsentnahme-Strategien und Rückmeldung durch die Lehrkraft.

Des Weiteren werden Lernpartnerschaften unter den Schülern gebildet, die sich gegenseitig unterstützen und sich über ihre Erfahrungen austauschen und sich wechselseitig in ihren Strategien anregen, indem sie ihre Vorgehensweisen diskutieren und deren Tauglichkeit für ähnliche Aufgaben bewerten. In folgenden Lernkonferenzen tauschen sich Schüler über ihre Lernerfahrungen aus, indem sie sich über aufgetretene Probleme austauschen und darüber, wie sie sie gemeistert haben.

In weiteren Interventionsmaßnahmen wird die Förderung metakognitiver Kontrolle beschrieben, in denen es darum geht, Lernhandlungen zu planen, das Lernen zu überwachen, und das eigene Lernen zu steuern. Andere Trainingsstudien von Glaser und Brunstein (2007) und Stebner et al. (2015) konnten zeigen, dass auch bei jüngeren Schülern sowohl kognitive als auch metakognitive Lernstrategien trainierbar sind und diese von den Schülern auch erfolgreich angewandt werden können.

Schuster, Stebner, Wirth und Leutner (2018) konnten in einem kombinierten Training mit direkten und indirekten Trainingsmethoden zeigen, dass Schüler, die mit kognitiven und metakognitiven Strategien trainiert wurden, diese im Vergleich zu einer Kontrollgruppe auch auf Transferaufgaben im Deutschunterricht übertragen konnten. Sie zeigten einen stärkeren Zuwachs an kognitiver und metakognitiver Lernstrategieanwendung beim Bearbeiten der nahen Transferaufgabe. Im zweiten Schritt zeigen die Ergebnisse, dass die Experimentalgruppe in Bezug auf die metakognitive Lernstrategieanwendung beim Bearbeiten einer fernen Transferaufgabe ebenfalls besser abschnitt.

Zahlreiche weitere Interventionsstudien unterstreichen die Ergebnisse, dass Trainings zu Selbstreguliertem Lernen (SRL) durch Anlegen metakognitiver Maße die Leistung von Lernenden verbessert (De Corte & Masui, 2009; Dignath & Büttner 2008; Dignath, Büttner & Langfeldt, 2008; Fuchs et al. 2003; Perels et al. 2005; Schunk & Ertmer 2000).

So konnten Glaser, Keßler und Brunstein (2009) an einer Stichprobe von 119 Schülern/-innen aus Klassenstufe 4 positive Effekte eines unterrichtsintegrierten Trainings zur Förderung selbstregulierten Schreibens auf Strategie- und leistungsbezogene Maße der Aufsatzqualität, sowie auf subjektive Indikatoren der Schreibkompetenz nachweisen. Die

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Effekte hielten über mindestens sechs Wochen an und wurden auch im Transfer auf eine untrainierte Erlebniserzählungsaufgabe sichtbar.

Für den Bereich des Leseverstehens konnten Souvignier und Mokhlesgerami (2006) ebenfalls positive Effekte aufgrund der Integration selbstregulativer Strategien in den Unterricht nachweisen (vgl. Perry, Vandekamp, Mercer & Nordby, 2002). Ähnliche Effekte berichten Fuchs et al., (2003) für die Transferleistungen von Schülern der dritten Klassenstufe in Mathematik, die an einem Selbstregulationstraining teilgenommen hatten (siehe auch Stoeger & Ziegler, 2008).

Trainings mit Lernenden mit geringem schulischen Erfolg, und schwächere Schüler zeigten kaum Anzeichen für reflektiertes Denken (Händel, Lockl, Heydrich, Weinert. & Artelt, 2014; Lichtinger & Kaplan, 2015). Sie haben fehlerhaftes metakognitives Wissen oder nutzen es wenig angemessen, sie haben weniger Planungsfähigkeiten, Monitorisierung und können ihre Lernhandlungen nicht steuern.

Eine von Perels, Otto, Landmann, Hertel, Schmitz (2007) direkt am Lerngeschehen durchgeführte Intervention in Form eines Schülertrainings soll exemplarisch beschrieben werden. Das Training wurde in einer 5. Klasse eines Gymnasiums durchgeführt und kombinierte fachliche mit fächerübergreifenden Inhalten. Es basiert auf dem Prozessmodell der Selbstregulation von Schmitz und Wiese (2006) und besteht aus 10 wöchentlichen Trainingssitzungen von je 2 Schulstunden. Es wurde den Schülern neben Selbstregulationsstrategien auch mathematische Problemlösestrategien vermittelt. Dabei wurden die Trainingssitzungen den drei Phasen der Selbstregulation zugeordnet, bei denen chronologisch entsprechende Strategien vermittelt wurden.

Die mathematischen Lösungsstrategien wurden ebenfalls den drei Phasen des Modells zugeordnet. Die Selbstregulationsstrategien Zielsetzung und Planung, sowie die mathematischen möglichen Strategien wie Skizze, Selektion und Überschlag wurden in der präaktionalen Phase vermittelt. In der aktionalen Phase wurden Strategien zur Förderung von Konzentration, Motivation und Volition trainiert. In der postaktionalen Phase wurde die Reflexion, und auch der Umgang mit Fehlern vermittelt. Zeitgleich füllten die Schüler über den Trainingszeitraum ein Lerntagebuch aus. Dies diente der strukturierten Selbstbeobachtung und sollte Reflexions- und Regulationsprozesse anregen.

Insgesamt ist ein direkter Einfluss von Metakognition auf akademische Ergebnisse nachweisbar ab der 3. Klasse. Je älter Schüler sind, desto größer der Einfluss (Roebbers et al.,

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

2012; 2014; Schneider & Artelt, 2010). Diese Studien waren mitentscheidend dafür, die Studie in einer achten Jahrgangsstufe durchzuführen.

Der Einblick in Gestaltungskriterien von Lernstrategietrainings in der Schule gibt Hinweise darauf, dass über Lernstrategietrainings zum einen die akademische Leistung (u. a. Leutner, Barthel & Schreiber, 2001; Stebner, Schmeck, Marschner, Leutner & Wirth, 2015), aber auch die Strategieranwendung (u. a. Bellhäuser und Schmitz 2013; Dignath & Büttner 2008), sowie die Lernmotivation (Leutner et al. 2001) und die Unterrichtsqualität (Werth et al. 2012) verbessert werden kann. Vielfach konnte nachgewiesen werden, dass Metakognitionen durch ihre zentrale Rolle in Lernprozessen, zu Lernerfolgen führen (Bryce, Whitebread & Szucs, 2015; Haberkorn, Lockl, Pohl, Ebert & Weiner, 2014; Veenman & Spaans, 2005).

Besonders Studien aus dem Mathematikunterricht zeigen, dass bereits die Einschätzung von Schwierigkeiten, d.h. die Kenntnis über das eigene Wissen, den Prozess von Monitorisierung durch Reflexion, und Regulation einleiten können. Dabei spielt besonders die Selbsteinschätzung eine Rolle, welche sich auf die emotionale Befindlichkeit und umgekehrt auswirkt (Boekaerts, 2007). Studien an Grundschulern zeigten einen Zusammenhang zwischen der Fähigkeit problemlösende Strategien einzusetzen und der Ausprägung von Mathematikängstlichkeit: Grundschulkinder mit höherem Niveau von Strategien wiesen weniger Ängstlichkeit aus, als Kinder mit weniger Strategiekenntnissen (Turner & Schallert, 2001).

Metakognition ist aus vorab genannten Erkenntnissen für die pädagogische Psychologie im Rahmen von Unterricht äußerst hilfreich (Dignath et al., 2008; Hattie, 2009) und kann als Teil des weiter gefassten Konstrukts des selbstregulierten Lernens bezeichnet werden (Boekaerts & Corno, 2005; Pintrich & Zusho, 2005; Zimmerman, 2000).

Das metakognitive Training, welches für die vorliegende Arbeit entwickelt wurde, lehnt sich an bereits vorhandene Studien im Fach Mathematik an.

Das Ziel aller Trainingsmaßnahmen und damit das Ziel vorliegender Arbeit besteht darin, das Kompetenzerleben der Schüler zu erweitern und die Ängstlichkeit gegenüber schwierigen mathematischen Aufgaben zu mildern. Durch Monitorisieren und Regulieren wurde selbstreguliertes Handeln ermöglicht und dadurch werden die Schüler zu vermehrter Selbststeuerung angeregt (Cohors-Fresenborg, Kramer, Pundsack, Sjuts, & Sommer, 2010; Efklides, Samara & Petropoulou, 1999; Metallidou & Efklides, 2001; Mevarech & Kramarski, 1997; Schönfeld, 1992).

Ableitung des Trainings für diese Studie

Ableitend durch vorangehende Kapitel, verfolgt diese Studie das Ziel, durch ein metakognitives Training Veränderungen der metakognitiven Maße und den Emotionen zu erzielen, um die Kompetenz der Schüler/-innen dahingehend zu erweitern und Prozesse der Selbstregulation anzuregen.

Dabei möchte die Arbeit die kognitive Belastung der Schüler bei der Aufgabenbearbeitung reduzieren (siehe dazu Kapitel Einleitung).

Im Folgenden wird Bezug genommen auf bereits bestehende Trainings, sowie das Training für diese Studie beschrieben wird.

Generell werden Unterschiede zwischen den gewonnenen psychologischen und physiologischen Variablen zwischen der Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe erwartet. Falls es nach subjektiven und physiologischen Indikatoren gelungen ist, Unterschiede des mittleren emotionalen Aktivierungsniveaus herbeizuführen, könnten Gruppenunterschiede hinsichtlich der *additional heart rate* als Belege für die Validität der interaktiven Methodik zur Erfassung emotional bedingter HR-Reaktionen interpretiert werden.

In dieser Studie werden zunächst ausgehend von den elementaren sozial-kognitiven Prinzipien (Modell Zimmerman, 2000) und dem Modell von Boekaerts (1999), sowie durch das kognitiv- motivationale- Mediations Modell von Pekrun (1992b) Implikationen für die Förderung selbstregulierten Lernens abgeleitet.

Der phasen-und prozesshafte Charakter der Selbstregulation bei Zimmerman und die Ebenen im Modell bei Boekaerts werden bei vorliegendem Training als Ansatz für diese Arbeit übernommen. Auch der Blick auf das MASRL Modell von Efklides (2011; Abb.6) zeigt Grundlagen (Metakognition, Motivation und Affekt), die für das SRL wesentliche Bestandteile sind und für die vorliegende Arbeit in ihrer Wechselbeziehung interessant sind.

Dabei sollen Planung, Handlung, im Sinne möglichen strategischen Vorgehens, metakognitiver Überwachung und anschließende Reflexion trainiert werden (Dinsmore, 2008; Artelt, 2003; Hasselhorn & Labuhn In Schneider, Hasselhorn, 2008).

Unter den Aspekten Zielsetzung, Monitorisierung der Handlungen (Gonzales, 2013) und einer Reflexion der Prozesse folgt die Arbeit dem Ansatz von Boekaerts (1999) und Zimmerman (1995), dass Metakognition in das Konzept des Selbstregulierten Lernens eingebettet ist.

In der aktuellen Schulpraxis werden Schüler eher noch zu selten zu metakognitiven Aktivitäten angehalten oder zu ihrem Lernverhalten beraten (Guldimann & Lauth, 2004).

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Vielfach wird das Lernen durch die Lehrkraft gesteuert und lediglich die Ergebnisse der Lernaufgaben bewertet, weniger der Arbeitsweg.

In Anlehnung an die von Efklides et al. (2006) beschriebenen Kerngedanken, dass Metakognitionen durch Person, Aufgabe und Kontext charakterisiert sind, sowie ihrer Interrelationen, erhält es Bedeutung für die kognitiven Prozesse und kann in Trainings integriert werden.

Dabei können metakognitive Verhaltensweisen in Form metakognitiver Empfindungen, solche wie *Feeling of Difficulty* (FOD) zu jeder Zeit des Prozesses auftreten: vor der Bearbeitung der Aufgabe, während oder danach und Kontrollentscheidungen einleiten, wie veränderter Strategieeinsatz oder vermehrte Anstrengung (Efklides, 2001, 2002; Efklides et al., 2006).

In der Anwendung metakognitiver Maße sollen Schüler durch das Training vorliegender Studie zu selbstreguliertem Lernen befähigt werden. Die Frage, wie eine wirkungsvolle Förderung bewusst strategischer und metakognitiver Bearbeitung von Lernanforderungen realisiert werden kann, wird beantwortet, indem Metakognitionen im Kontext bereichsspezifischer Fertigkeiten bzw. Leistungsbereiche gelehrt werden (Hasselhorn, 1992; Hasselhorn & Labuhn, 2008).

Dabei werden in vorliegendem Training die Lernenden durch *direkte* Lernstrategietrainings in der Anwendung bestimmter Lernstrategien mittels Trainingsaufgaben im Mathematikunterricht geschult (u. a. Glaser und Brunstein, 2007; Perels et al. 2005). Als Modell gilt für das hier entwickelte Training die von Guldemann und Lauth (2004) vorgestellten Grundideen. Als theoretische Grundlage diene das frühe zwei Komponenten- Modell von Flavell (1979), sowie das Wissen über Subkategorien der Metakognitionen (Hasselhorn, 2006). Als Grundlagenmodelle der Selbstregulation dienten das prozessuale Selbstregulationsmodell von Schmitz (2001) und das Modell von Boekaerts (1999). Den Selbstregulationskomponenten des Modells von Schmitz entsprechend, werden im Training zunächst durch Eigenbeobachtung und Verbalisierung die Motivation, die Selbstwirksamkeit und die Emotion bewusst gemacht.

Es werden Ziele gesetzt, deren Erreichung durch entsprechende kognitive und metakognitive Strategien in der aktionalen Phase angestrebt werden. In der postaktionalen Phase kann es durch Reflexion des Ergebnisses und der Emotion des Lernenden zu einer Modifikation des Selbst und des Arbeitsprozesses kommen.

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

Boekaerts Modell (vgl. Abb. 4) definiert Selbstregulation als komplexe Interaktion zwischen kognitiven und motivationalen Prozessen, die sich jeweils auf drei unterschiedliche Regulationsgegenstände beziehen. Der Lerner reguliert in der kognitiven Ellipse, wie mit Lerninhalten umgegangen wird, es werden vom Lerner Primärstrategien für die Bearbeitung einer Aufgabe ausgewählt. Der Lerner stellt sich Fragen über eine Mathematikaufgabe und über die Herangehensweise. In der mittleren metakognitiven Ellipse überwacht der Lerner den Einsatz dieser Strategien, indem er metakognitives Wissen und metakognitive Strategien einsetzt

Besonders für das Lernfeld der Naturwissenschaften liegen weniger Studien vor, die sich mit Metakognitionen beschäftigen. Vorwiegend liegen Arbeiten zur Metakognitionsforschung für den Bereich Lernen mit Texten vor, sowie die diagnostischen Instrumente zur Erfassung des metakognitiven Wissens auf der Textlernforschung basierten (Schlagmüller, Visé & Schneider, 2001).

Die hier durchgeführte Studie lehnt sich an das Training von Perels und Kollegen (2007) an. Einerseits übernimmt es den Prozess des Trainings, als auch die Module inhaltlich Modell stehen. Wie bei Perels setzt eine direkte Förderung beim Lernenden selbst an, damit ein optimiertes Lernverhalten erzielt werden kann. Dabei werden Schüler darin geschult, wie sie sich Ziele für ihr Lernen setzen können, sich motivieren können und wie sie mit Ablenkungen oder Misserfolgen umgehen können. Ein wesentliches Element stellt in vorliegendem Training die Selbstbeobachtung dar (Perels et al., 2007; Landmann & Schmitz, 2007a). Die kontinuierliche Selbstbeobachtung hinsichtlich des Einsatzes von Strategien und Emotionen, in vorliegender Studie durch Fragebogen ermittelt, lehnte sich an die von Kanfer, Reinecker und Schmelzer (2005) ermittelten Erkenntnisse an, dass Verhalten sich bereits durch kontinuierliche Selbstbeobachtung verändern kann. Schutz und Pekrun et al. (2007) betonen die Relevanz von Emotionen für die Aufrechterhaltung oder Reduzierung von Anstrengung und sehen diese als zentrale Prädiktoren für die Lernleistung.

Dass Emotionen einen Einfluss auf Lernprozesse und die Anwendung kognitiver, wie metakognitiver Strategien haben, wurde empirisch nachgewiesen (King & Areepattamannil, 2014; Pekrun, 2006; Pekrun et al., 2010). Im vorliegenden Training werden daher Emotionen und Metakognitionen retrospektiv nach der Bearbeitung der Mathematikaufgaben über Fragebogen abgefragt (siehe. Kapitel 1.4).

In Anlehnung an Studien zum Zusammenhang zwischen Selbstkonzept, Selbstwirksamkeit und Emotionen (Boekaerts, 2007; Turner & Schallert, 2001; Bong & Skaalvik, 2003; Bouffard

1. Begrifflicher und theoretischer Rahmen

& Vezeau, 2010), wird zwischen dem Einsatz metakognitiver Maße, als Ausdruck von Selbstwirksamkeit, ein Zusammenhang mit Emotionen erwartet.

Das Gefühl, vor Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Aufgaben zu stehen, fordert Kontrollentscheidungen, wie vermehrte Anstrengung, z.B. Strategieeinsatz und beeinflusst die Reflexion (Efklides, Samara, & Petropoulou, 1999; Metallidou & Efklides, 2001).

Es wird erwartet, dass durch das Erleben einer erhöhten Selbstwirksamkeit durch erlebte Kompetenz beim Lösen von Aufgaben, die begleitenden Emotionen verändert werden und umgekehrt (Boekaerts, 2007). Der Glaube an die eigenen Fähigkeiten und damit einhergehend die Motivation soll durch das Training erhöht werden (Baird et al., 2009; Lichtinger & Kaplan, 2015).

Metakognitive Förderung stellt damit eine wesentliche Voraussetzung für Selbstregulation dar. Ein theoretisches Fundament für eine Intervention stellt dabei Pintrich's Modell (2000) des selbstregulierten Lernens dar, in dem er die metakognitive und die motivational- emotionale Komponente hervorhebt. Dabei können als allgemeine Prinzipien die präaktionale Phase mit der metakognitiven Komponente Verstehen, Planen einer Lösung und der Strategie genannt werden. Als motivational- emotionale Komponente hebt er die Lernziele, sowie die emotionale Einschätzung hervor.

In der Aktionsphase hebt er die Überprüfung und Kontrolle hervor, in der metakognitive Aufmerksamkeit, kognitives überwachen, sowie der Einsatz von Strategien hervorgehoben wird. Die motivational- emotionale Komponente. Es wurde untersucht, welche Art von Ziel bei der Lösung verwendet wurde und welche Emotionen und welche Strategien zum Umgang mit Emotionen und Motivationen hilfreich sind.

In der Post- Lernphase setzt Pintrich die Reflektion als Komponente ins Zentrum, während er als metkognitive Komponente die Reflektion des eigentlichen Prozesses in den Mittelpunkt stellt. Die Komponente der motivational- emotionalen Phase stellt nach Pintrich die Reflektion über die Zielerreichung dar.

Um nach diesem Muster selbstreguliertes Lernen anzulegen, steht die Förderung metakognitiver Fähigkeiten dabei für eine Reihe von Maßnahmen der Lehrperson, die dazu beitragen, bei Lernenden Wissen über kognitive Funktionen im Allgemeinen und über das eigene Lernen aufzubauen, sowie Fähigkeiten der Planung, Steuerung, Regulation und Bewertung weiterzuentwickeln (Hasselhorn & Labuhn, 2008). Bei dieser Art von Training erklärt der Lehrer den Schülern die Lernstrategie und betont deren Bedeutung und Wichtigkeit

2. Methode

(Otto, 2010; Veenman, 2011a). Die Schüler profitieren am meisten, wenn ihnen explizite Strategien vermittelt werden (Camahalan, 2006; Kistner et al., 2010).

Das damit initiierte selbstregulierte Lernen als Kernkompetenz von Schülern, sollte vermehrt in den Schulalltag integriert werden (siehe KMK, 2003,2016).

2. Methode

2.1 Versuchspersonen

Als Untersuchungspersonen wurden insgesamt N=43 Schülerinnen und Schüler der 8. Jahrgangsstufe einer oberbayerischen Mittelschule rekrutiert. Nach Ausschluss von fünf Artefakt behafteten Datensätzen (fehlende Werte, unbrauchbare physiologische Daten) konnten N=18 Datensätze für die Trainingsgruppe und N=20 Datensätze für die Kontrollgruppe statistisch ausgewertet werden.

Die Versuchspersonen wurden randomisiert in eine Trainingsgruppe (im Folgenden mit *TG* für Trainingsgruppe abgekürzt) und eine Kontrollgruppe (*KG*) aufgeteilt. Die *EG* setzte sich aus 18 (11 weibliche und 7 männliche) Probanden im Alter zwischen 14.34 und 14.93 Jahren Monaten ($M = 14.63$; $SD = 0.59$) zusammen. Die *KG* bestand aus 20 (11 weibliche und 9 männliche) Probanden mit einem Alter zwischen 14.61 und 14.97 Jahren ($M = 14.79$; $SD = 0.39$). Die Datenanalyse erfolgte mit IBM SPSS Statistics ®.

2.2 Studiendesign

In der vorliegenden Studie kam ein randomisiertes Kontrollgruppendesign zum Einsatz. Hierbei wurden die relevanten Zielparameter messwiederholt vor (Messzeitpunkt 1) und nach dem Training (Messzeitpunkt 2) erfasst (vgl. Anhang C).

Zu Messzeitpunkt 1 (*baseline*) wurde mit den Teilnehmern der *TG* und der *KG* ein mathematischer Test durchgeführt. Zeitgleich wurden physiologische Daten (Herzrate und Bewegungsdaten) abgeleitet und zusätzlich retrospektiv Fragebogendaten zu metakognitiven Maßen und dem emotionalen Erleben beim Bearbeiten der Mathematikaufgaben erhoben.

Mit den Teilnehmern der *TG* wurde im Anschluss an Messzeitpunkt 1 ein metakognitives Training durchgeführt. Die Teilnehmer der Kontrollgruppe erhielten vergleichbaren Unterricht mit Ausnahme des Trainings. Zu Messzeitpunkt 2 wurden die Prozeduren und Erhebungen aus Messzeitpunkt 1 wiederholt (zu Trainingsablauf siehe. Kapitel. 2.4).

Beide Messzeitpunkte lagen eine Woche auseinander Die Inhalte wurden jeweils in Doppelstunden während des regulären Unterrichts vermittelt.

2. Methode

2.3 Durchführung

Voraussetzungen

Die Genehmigungen für die Teilnahme an der Studie wurden vor Studienbeginn bei der Schulaufsicht, der Schulleitung und den Sorgeberechtigten eingeholt (vgl. Anhang B). Die Sorgeberechtigten von zwei Schülern lehnten die Teilnahme der Schüler an der Studie ab. Jene besuchten während der Untersuchung den Unterricht der Parallelklasse. Alle Schüler wurden auf die Freiwilligkeit der Teilnahme und auf die Anonymität der Daten hingewiesen. Im Falle der Teilnahme an der Studie wurde den Schülern eine Belohnung in Form eines Kinogutscheins in Aussicht gestellt.

2.4 Ablauf der Untersuchung

Die Untersuchung wurde in den regulären Unterricht integriert und orientierte sich am aktuellen Lehrplan der Jahrgangsstufe 8 für Mathematik. Insgesamt betrug der Erhebungszeitraum je eine Woche pro Gruppe. Der erste Tag zu Wochenbeginn diente der Erhebung zu Messzeitpunkt 1. Der Mathematiktest (zu Messzeitpunkt 1 und 2; vgl. Anhang C) bestand aus drei Aufgaben, für die jeweils 7 Minuten zur Verfügung standen (Gesamtdauer: 21 Minuten).

Im Anschluss bearbeiteten die Teilnehmer die Fragen zu Metakognitionen und Emotionen. Sowohl der Beginn, als auch das Ende der Bearbeitung jeder Aufgabe wurde durch den Versuchsleiter angesagt. Im Anschluss an die gesamte Aufgabenbearbeitung erfolgte eine 10-minütige Entspannungsphase mit der Progressiven Muskelrelaxation nach Jacobson (1990). Nach Abschluss der Messungen wurde ein kurzes *Post-Monitoring-Interview* mit den Probanden hinsichtlich der Akzeptanz und möglicher Störmomente mit den Varioport-Geräten durchgeführt.

Die folgenden drei Tage nach Messzeitpunkt 1 wurde jeweils im Rahmen von zwei Schulstunden das metakognitive Training in der TG bzw. der Unterricht der KG durchgeführt (Überblick siehe Tabelle 1). Um eine Ableitung physiologischer Daten in einer Ruhephase (über Nacht) zu erhalten, wurden die Varioport-Geräte (siehe Abb. 11) den Schülern am letzten Wochentag (Ende des Trainings bzw. des Unterrichts) nach Hause mitgegeben. Der letzte Wochentag diente den Erhebungen zu Messzeitpunkt 2 (siehe. Tabelle 1).

Der Beginn jedes Untersuchungsteils wurde für alle Teilnehmer zeitgleich angesagt. Während der gesamten Untersuchungssituation wurde ein schriftliches Protokoll (vgl. Anhang F) analog zur Computer generierten Uhrzeit geführt, um physiologische Daten später bestimmten

2. Methode

Situationen und Anforderungen zuordnen zu können. Die Instruktionen an die Versuchspersonen erfolgte immer durch den gleichen Versuchsleiter. Die zeitliche Dauer der Instruktion sowie die Tageszeit der Untersuchung wurde konstant gehalten.

2.4.1 Inhalte des metakognitiven Trainings

Das Training war in drei Einheiten gegliedert, je eine pro Trainingstag (siehe Tabelle 1). Die erste Einheit gab den Schülern der TG einen Überblick über das Prozessuale Selbstregulationsmodell und die damit verbundenen Zusammenhänge zwischen Emotionen, Motivation, und Volition.

Als Beispielgrundlage wurde den Schülern das Wasserrumfüllproblem von Luchin (1965) wie es auch Perels und Kollegen (2003, 2007) angewendet haben, vorgestellt. Dabei stand die Förderung metakognitiver Lernstrategien durch Externalisierung, Bewusstmachen und Reflexion kognitiver Prozesse, die gewöhnlich nicht zugänglich sind, im Mittelpunkt. Didaktische Heuristiken wie lautes Denken der Lehrperson (*Modeling*), gemeinsame Reflexion von Lösungswegen in der Gruppe, sowie Anleitung zur Selbstreflexion als Planungs- und Überwachungsstrategie wurden im Rahmen des Trainings angelegt. Dabei sollten die Lernenden eine Vorstellung metakognitiver Steuerung entwickeln und für die Relevanz eines guten Strategieeinsatzes sensibilisiert werden (Leutwyler, 2007).

Zusätzlich wurden die emotionalen Befindlichkeiten im state beim Darbieten von mathematischen Problemstellungen reflektiert. Dabei wurde als Medium eine *Microsoft® Power-Point®*-Präsentation gewählt (vgl. Anhang D), um die Aufmerksamkeit der Schüler zu bündeln. Die Schüler bearbeiteten die dargestellten Aufgaben in Partnerarbeit und stellten die Ergebnisse anschließend den restlichen Schülern vor. Nach der Bearbeitung der mathematischen Aufgaben wurden die Emotionen, sowie Ratings zu Metakognitionen erhoben (retrospektiv ermittelt; vgl. Anhang E). Die Schüler waren nach der Darbietung gefordert, nötige Grob- und Feinziele zur Bearbeitung zu nennen und so die volitionale Steuerung zu vertiefen.

Die Rechenwege, sowie die möglichen Grob- und Feinziele wurden an einer Pinnwand für die Schülerschaft sichtbar dargestellt. Für eine fiktive dritte Person, Schüler *Max*, sollten anschließend mögliche Bearbeitungsstrategien genannt werden, was *ihm* helfen könnte, wenn er diese Art Aufgaben bearbeiten müsse.

Die zweite Einheit fokussierte die allgemeine Konzentrationsfähigkeit der Schüler. Dabei wurden zunächst ablenkende Elemente bei konzentrierter Arbeit verbal in einer Gruppensituation gesammelt und anschließend reflektiert, welche Auswirkungen diese

2. Methode

Elemente beispielhaft für jeden einzelnen Schüler haben könnten. In diese Überlegungen wurde anschließend der fiktive Schüler, *Max*, einbezogen und Ratschläge formuliert, wie *Max* mit ablenkenden Elementen umgehen könne (Leopold & Leutner, 2002). Es wurde anschließend in Kleingruppen geübt, dysfunktionale Kognitionen als ablenkende Elemente zu erkennen und umzuformulieren (kognitive Umstrukturierung). Zusätzlich wurde die Technik des Gedankenstopps erprobt.

In der dritten Einheit wurde erneut eine Mathematikaufgabe bearbeitet, anhand derer die Schüler die erlernten Techniken erproben und einüben sollten. Hierbei wurden sowohl die emotionalen Empfindungen, Grob- und Feinziele, als auch strategische mathematische Möglichkeiten erfragt (vgl. Anhang C und D).

Am Ende jeder Sitzung wurde den Teilnehmern in einer Feedbackrunde die Möglichkeit, gegeben, die Inhalte des Trainings zu reflektieren, um so zukünftige Trainings auf die Bedürfnisse der Schüler abzustimmen.

Insgesamt bestand das metakognitive Kurzzeittraining aus 3 Terminen von je 90 Minuten Dauer, die während des regulären Mathematikunterrichts durchgeführt wurden, d.h. es wurde kein zusätzlicher Unterricht gehalten.

Tabelle 1

Module des metakognitiven Trainings

Einheit	Zeit	Inhalt
1.Einheit/ Dienstag	2 x 45 min	<i>Trainingsüberblick:</i> Wasserumfüllproblem nach Modell, Reflexion Luchin,
2.Einheit/ Mittwoch	2 x 45 min	Ziele und ihre Relevanz Unterteilung in Ober-und Unterziele Zielcommitment: Eigenverträge
3.Einheit/ Donnerstag	2 x 45 min	Motivation, volitionale Steuerung Selbstmotivierungsstrategien, Problemlösestrategien: mathematische Darstellungsformen, Übungen Umgang mit Ablenkern Feedback

2. Methode

2.4.2 Kontrollgruppe

Die Kontrollgruppe (KG) bearbeitete die Fragebögen und die mathematischen Testaufgaben in gleicher Reihenfolge, im gleichen Umfang und mit gleichem Inhalt wie die Trainingsgruppe (TG). Die Teilnehmer der KG bearbeiteten die mathematischen Aufgaben im Rahmen einer unterrichtlichen Situation.

Es wurde kein *Input* zur Planung, zum *Monitoring* und zur Selbstregulation durch die Versuchsleitung gegeben. Im Anschluss an die Arbeitsphase wurde den Schülern eine Übungsaufgabe gestellt. Jene konnten die Schüler in Partner- oder Gruppenarbeit lösen.

2.5 Erhebung und Auswertung physiologischer Daten

Für die vorliegende Untersuchung wurden die physiologischen Maße während der Aufgabenbearbeitung, der Entspannungsphase, sowie während der Nacht ermittelt. Für die Aufzeichnung der physiologischen Daten (Herzrate und Bewegung) wurden Varioport-Geräte der Firma *Becker Meditec*, Karlsruhe verwendet.

Dabei betrug die Speicherrate des EKG's 256 Hz, die der Bewegungsdaten 64 Hz. Die Kontrolle der Signalqualität erfolgte mit der *Variograph Software*, Version 4.72 für *Microsoft® Windows 98®*. Die Ableitung der Herzrate erfolgte unipolar nach Wilson (1988) mit Elektrodenposition am Minubrium sterni und dem linken untersten Rippenbogen.

Die Erdelektrode des Rekorders wurde am Sternum mit Hilfe von Klebeplättchen befestigt. Hierzu wurden vorgelierte Einmal-EKG-Elektroden der Firma *Blue Sensor, S&W Medico Technik* verwendet. Das Aufzeichnungsgerät wurde mittels eines Tragegurtes am Körper befestigt (Abbildung 11).

2. Methode

Abbildung 11

Varioport Minicomputer



Anmerkung. Abb. mit freundlicher Genehmigung der Firma Becker Meditec

<http://www.fit-fuer-usability.de/archiv/biometrie-mit-varioport/> download am 19.08.2024

2. Methode

2.5.1 Datenreduktion Herzrate

Bei unterschiedlichem Aufzeichnungsbeginn der Messgeräte der Probanden wurde ein gleiches Messzeitfenster für jedes Segment über alle Probanden festgelegt. Dies entsprach für die Bearbeitung einer Mathematikaufgabe 7 Minuten, für das Beantworten der sich an die Aufgabe anschließenden Fragen 2 Minuten. Um die weitere Auswertung zu vereinfachen, wurden die Minuten der Segmente in 15-Sekunden-Intervalle eingeteilt. Aus den ermittelten Daten wurde das arithmetische Mittel der Herzrate (HR) gebildet (vgl. Anhang G). Die 15 Sekunden-Intervalle wurden auf Bewegungsartefakte und nicht plausible Werte, z.B. EKG unter 40, untersucht, so dass nur Artefakt freie Intervalle in die Untersuchung eingingen. Die Bearbeitung der physiologischen Daten erfolgte mit Hilfe des Programms *Vision Analyzer 2.0*. (Brain Products).

Die HR wurde in die Zeiträume *Aufgaben-* und *Fragebogenbearbeitung*, sowie der *Ruhephasen* und der *Nacht* unterteilt und jeweils das arithmetische Mittel gebildet (vgl. Abb. 18).

2.5.2 Datenreduktion Bewegung

Bei den Bewegungsdaten aus den Aufzeichnungen des dreidimensionalen Bewegungssensors (mit den kartesischen Raumachsen x, y und z) wurde analog zur Datenreduktion bei der Herzrate vorgegangen. Um die Gesamtintensität der Bewegung zu erfassen, wurden x-, y- und z-Achse gemittelt, um ein Maß der Bewegungsintensität zu erhalten. Diese wurden mit 0.5Hz/12dB hochpassgefiltert und die Daten gleichgerichtet.

Für die Auswertung wurden die Bewegungsmuster analog zur Auswertung der HR für die Aufgabenbearbeitung, Fragenbeantwortung, Ruhephase und Nacht jeweils Mittelwerte gebildet.

2.6 Rating Daten zur Selbsteinschätzung - Reliabilitätsprüfungen

2.6.1 Skala zur metakognitiven Kompetenz

Die Metakognitionen wurden retrospektiv erhoben. Die Skalierung der Antwortmöglichkeiten lag bei 1-5. Über die verwendeten 9 Items (vgl. Tabelle 2) wurden Reliabilitätsanalysen durchgeführt. Die Items mit geringem Cronbachs- Alpha gingen nicht in die Untersuchung ein.

Die Items, die die interne Konsistenz der Skala hinreichend bedienen, wurden zu einer Skala zusammengefasst (vgl. Tabelle 3). Dabei ergibt sich über beide Gruppen für t1 eine

2. Methode

interne Konsistenz von Cronbachs- α = .71 und für t2 ergibt sich ein Cronbach- α = .70. Fasst man t1 und t2 zusammen, ergibt sich über beide Gruppen ein Cronbach- α = .70.

Tabelle 2

Items zur Selbsteinschätzung metakognitiver Kompetenz (Reliabilität)

Item	T1	T2
1 Sabine unterstreicht die wichtigsten Aussagen der Aufgabe.	.51	.15
2 Michael erkennt, dass er...eine Formel braucht.	.50	.26
3 Maria fertigt eine Skizze an.	.47	.13
4 Christine hat die Aufgabe beim ersten Durchlesen nicht verstanden.	.47	.14
5 Martin versucht...durch Kürzen zu lösen.	.36	.20
6 Anna formuliert eine Gleichung.	.41	.10
7 Christian schreibt die Aufgabe bei einem Freund ab	.61	.45
8 Jan versucht den Lösungsweg zu raten	.46	.28
9 Klaus hat ähnliche Aufgaben auswendig gelernt	.58	.34

Cronbach-Alpha (Wert wenn Item gelöscht): T1/T2 (nicht nach Gruppen).

2.6.2 Skala Emotionen

In Anlehnung an die PALMA Studie (Pekrun et al, 2006) wurden *State*-Emotionen retrospektiv erhoben. Die sieben in der Studie verwendeten Emotionsitems sind in Tabelle 3 dargestellt.

Für die Skala der negativen Emotionen ergibt sich für beide Gruppen zu T1 eine interne Konsistenz von Cronbachs- α = .45 und zu T2 von Cronbachs- α = .73. Für die Skala positiver Emotionsitems ergibt sich zu T1 eine interne Konsistenz von Cronbachs- α = .75 und zu T2 von Cronbachs- α = .89. Fasst man T1 und T2 zusammen, ergibt sich für die positiven Items ein Cronbachs- α von .84 und für die negativen Items ein Cronbachs- α von .67.

3. Ergebnisse

Tabelle 3

Items zu Emotionen

Items Positiver Affekt	
1	Die Aufgabe hat mir Spaß gemacht.
2	Ich bin stolz darauf, dass ich die Mathematikaufgabe lösen konnte.
3	Ich bin ganz in der Bearbeitung der Aufgabe aufgegangen.
Items Negativer Affekt	
1	Ich hatte Angst.
2	Am liebsten hätte ich aufgegeben.
3	Die Aufgabe hat mich verärgert.
4	Die Aufgabe hat mich gelangweilt.

3. Ergebnisse

3.1 Zusammenfassung zentraler Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass das Training zu einer erhöhten metakognitiven Kompetenz der Experimentalgruppe geführt hat. Dabei weist *Cohens´d* mit 0.755 auf einen nahezu schon starken Effekt der Trainingswirkung hin.

Bei den positiven Emotionen *Freude* und *Stolz* kann eine Zunahme der trainierten Gruppe ermittelt werden. Für Hoffnungslosigkeit führt das metakognitive Training für die Trainingsgruppe zu einer Abnahme dieser negativen Emotion.

Die Herzrate steigt in beiden Gruppen von t1 zu t2, sie unterscheidet sich für die TG zwischen t1 und t2 signifikant. Des Weiteren wurden Einflussfaktoren auf die Herzrate überprüft. Insbesondere zeigte sich die *Bewegung* als wesentlicher Einflussfaktor. Durch Herausparsialisieren der Bewegungskomponente sollte versucht werden, Veränderungen der Herzrate aufgrund kognitiver Beanspruchung zu erklären.

Um von einer soliden Datenlage auszugehen, wurden weitere explorative Ansätze verfolgt, die insbesondere zum Ziel hatten die Methodik des hier verwendeten ambulanten Monitorings zu validieren.

3. Ergebnisse

3.2 Untersuchungs-Hypothesen

Die vorliegende Trainingsstudie soll die Effekte eines metakognitiven Trainings aufklären. Dazu wurden metakognitive Fähigkeiten, Emotionen sowie die Herzrate und Bewegungsaktivität untersucht. Die letzten beiden dienten dabei als physiologische Aktivierungsindikatoren. Folgenden Hypothesen sollten überprüft werden:

Die metakognitiven Fähigkeiten werden durch das Training verbessert. Statistisch müsste sich dies in einem Wechselwirkungseffekt in einer 2 x 2 ANOVA zwischen dem Zwischensubjektfaktor *Gruppe* (Trainingsgruppe und Kontrollgruppe) und dem Innersubjektfaktor *Testzeitpunkt* (vor dem Training = t1; nach dem Training = t2) zeigen, bei dem ein Gruppenunterschied zu t2 erwartet wird und die Metakognitiven Fähigkeiten zwischen t1 und t2 für die Trainingsgruppe (TG) zunehmen.

Es wird eine Veränderung der Emotionen durch das Training erwartet. Dies müsste sich analog zur Hypothese 1 in einer Wechselwirkung zwischen dem Zwischensubjektfaktor *Gruppe* und dem Innersubjektfaktor *Testzeitpunkt* zeigen. Nach dem Training wird eine Zunahme positiver, sowie eine Abnahme negativer Emotionen für die TG erwartet. Entsprechend müssten sich die Emotionen zwischen TG und KG zu t2 unterscheiden.

Es wird angenommen, dass sich durch das Training die mentale Beanspruchung verändert, die durch eine Veränderung der Herzrate während der Aufgabenbearbeitung widerspiegelt wird. Statistisch müsste sich analog zur Hypothese 1 und 2 dies in einem Interaktionseffekt zwischen dem Zwischensubjektfaktor *Gruppe* und dem Innersubjektfaktor *Testzeitpunkt* zeigen. Es wird erwartet, dass sich die Herzrate in der TG von t1 nach t2 erhöht und die TG im Vergleich zur KG zu t2 eine höhere Herzrate aufweist.

Im Zuge der Analysen ergaben sich *weitere* Fragestellungen, die ebenfalls inferenzstatistisch untersucht werden und als explorative Hypothesen/ Nebenhypothesen in die Studie eingingen. Auf jene Analysen wird im Kapitel 4.5 eingegangen.

3.3 Informationen zur Stichprobe

Insgesamt wurden N=43 Schülerinnen und Schüler der 8. Jahrgangsstufe einer oberbayerischen Mittelschule für die Studie rekrutiert. Nach Ausschluss von fünf Artefakt behafteten Datensätze (fehlende Werte, unbrauchbare physiologische Daten) konnten N=18 Datensätze für die Trainingsgruppe und N=20 Datensätze für die Kontrollgruppe statistisch ausgewertet werden.

Wie verschiedene Kontrollvariablen (siehe Tabelle 4) zur Stichprobenbeschreibung zeigen, unterscheiden sich weder das Alter, die Geschlechterverteilung noch der Body-Mass-Index

3. Ergebnisse

(BMI) systematisch zwischen den Gruppen. Insbesondere die letzten beiden Punkte sind wesentlich für die Interpretation von Herzrattendaten, denn der BMI sowie das Geschlecht können als Störvariablen auftreten und die Herzfrequenz verändern. So weisen weibliche Personen im Normalfall eine höhere Herzrate im Vergleich zu Männern auf und in ähnlicher Weise kann auch ein höherer BMI die Herzrate steigern. Da die Gruppen sich hinsichtlich beider Kontrollvariablen nicht unterscheiden, entfällt auch die Notwendigkeit beide Kontrollvariablen als Kovariaten einzusetzen.

Tabelle 4

Demografische Informationen zur Stichprobe

	Alle Probanden	Trainingsgruppe	Kontrollgruppe	$\chi^2 t$	P
N	38	18	20		
Alter (Jahre)	14.72 (0.49)	14.63 (0.59)	14.79 (0.39)	0.97	.336
Altersrange (Jahre)	14.00 - 15.92	14.00 - 15.92	14.25 - 15.67		
Geschlecht	22 w 16 m	11 w 7 m	11 w 9 m	0.15	.703
BMI	21.12 (2.64)	21.07 (2.19)	21.17 (3.04)	0.10	.921

Anmerkungen: Standardabweichung in Klammern; w = weiblich, m = männlich. BMI = Body-Mass-Index.

3.4 Trainingseffekt auf Metakognitionen

Die inferenzstatistische Analyse der Metakognitionen erfolgt über eine zweifaktorielle ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor *Gruppe* (2 Stufen: TG: Trainingsgruppe vs. KG: Kontrollgruppe) und dem Innersubjektfaktor *Testzeitpunkt* (2 Stufen: t1 vs. t2). Die signifikante Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe belegt einen Einfluss des metakognitiven Trainings ($F(1,36) = 4.71, p = .037$). Der Haupteffekt *Testzeitpunkt* ist lediglich marginal signifikant ($F(1,36) = 3.58, p = .066$). Der Haupteffekt *Gruppe* ist nicht signifikant ($F(1,36) = 1.63, p = .21$). Die Analyse der Interaktion mittels post-hoc *t*-Tests zeigt, dass sich die Gruppen nach dem Training (TG T2: $M = 4.00, SD = .38$; KG T2: $M = 3.63, SD = .57$; $t(36) = 2.33, p = .026$), jedoch nicht schon vor dem Training unterscheiden (TG T1: $M = 3.67, SD = .47$; KG T1: $M = 3.65, SD = .64$; $t(36) = 0.11, p = .91$). Der Vergleich der metakognitiven Kompetenz zeigt nach dem Training für die TG eine erhöhte

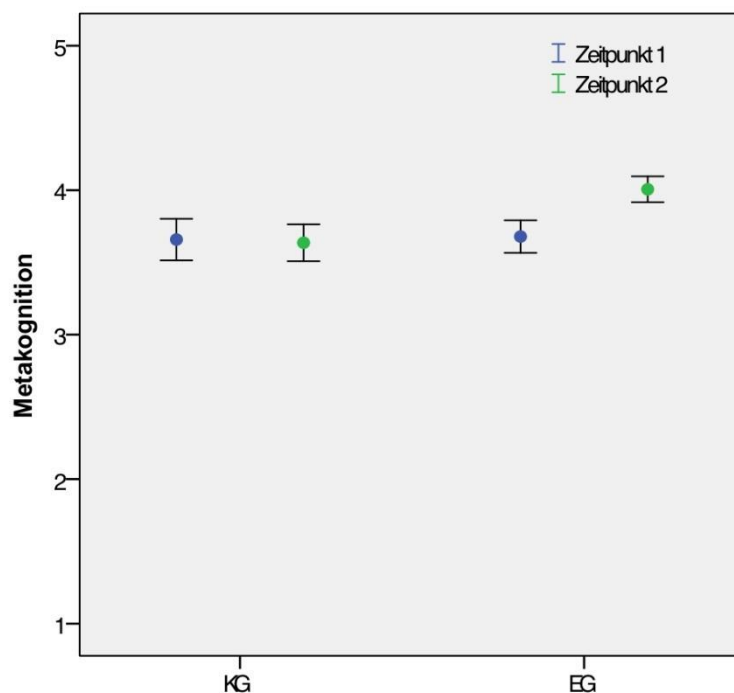
3. Ergebnisse

metakognitive Kompetenz ($t(17) = -3.00, p = .0088$). Für die Kontrollgruppe findet sich keine signifikante Veränderung ($t(19) = 0.19, p = .85$) (siehe Abbildung 12).

Um die Stärke des Trainingseffekts zu bestimmen, wurde *Cohens' d* für den Vergleich zwischen KG und TG nach dem Training (t2) berechnet. Das Training zeigt eine Effektstärke von $d = 0.755$, was einem mittleren bzw. nahezu schon starken Effekt (starker Effekt ab $d = 0.8$) entspricht.

Abbildung 12

Metakognitive Kompetenz.



Anmerkung. Mittelwerte (± 1 Standardfehler) der Selbsteinschätzung, getrennt nach Trainings- und Kontrollgruppe sowie separiert nach Testzeitpunkten (t1 = vor, t2 = nach dem Training). Höhere Werte entsprechen einer höheren metakognitiven Kompetenz. Die Effektstärke (*Cohens' d*) des Trainings (Vergleich KG vs. TG bei t2) beträgt $d = 0.755$, was nahezu einem starken Effekt entspricht.

3.5 Trainingseffekt auf Emotionen

Die inferenzstatistische Analyse der Emotionsdaten erfolgt über hierarchisch angeordnete Varianzanalysen um die Anzahl der Einzelvergleiche zu minimieren. Im ersten, übergeordneten Design soll getestet werden, ob auf Ebene der Emotionen überhaupt irgendein

3. Ergebnisse

Einfluss der unabhängigen Variablen (Gruppe, Testzeitpunkt, bzw. deren Interaktion) vorliegt. Hierzu wird eine dreifaktorielle ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor *Gruppe* (2 Stufen: TG vs. KG) und den Innersubjektfaktoren *Testzeitpunkt* (2 Stufen: t1 vs. t2) sowie Emotionskategorie (Angst, Ärger, Hoffnungslosigkeit, Langeweile, Freude, Stolz, Flow) verwendet.

Wie aus Tabelle 5 ersichtlich, ist die dreifache Wechselwirkung zwischen *Testzeitpunkt*, *Emotionskategorie* und *Gruppe* signifikant. Damit ist es statistisch gerechtfertigt, post-hoc weitere Einflüsse von *Testzeitpunkt* und *Gruppe* auf der Ebene der einzelnen Emotionskategorien zu testen. Dazu werden für jede Emotionskategorie jeweils eine ANOVA mit Zwischensubjektfaktor *Gruppe* (2 Stufen: TG vs. KG) und dem Innersubjektfaktor *Testzeitpunkt* (2 Stufen: t1 vs. t2) verwendet. Die Ergebnisse sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 4

Dreifaktorielle ANOVA (Zeitpunkt, Emotion, Gruppe)

Faktoren	<i>F</i>	<i>Df</i>	<i>P</i>	Huynh-Feldt ϵ
Testzeitpunkt	0.01	1,36	.944	1.00
Testzeitpunkt x Gruppe	0.22	1,36	.639	1.00
Emotion	80.19	6,36	.001***	0.53
Emotion x Gruppe	4.19	6,36	.007**	0.53
Testzeitpunkt x Emotion	8.70	6,36	.001***	0.70
Testzeitpunkt x Emotion x Gruppe	2.56	6,36	.045*	0.70
Gruppe	8.20	1,36	.007**	-

Anmerkung: * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Für die positiven Einzelemotionen ergibt sich eine signifikante Interaktion zwischen *Testzeitpunkt* und *Gruppe* für *Stolz* (siehe Tabelle 6). Bei den negativen Einzelemotionen findet sich eine Tendenz für Hoffnungslosigkeit. Es zeigen sich ferner bei den positiven

3. Ergebnisse

Emotionen für *Freude*, *Stolz* und *Flow* Effekte für *Testzeitpunkt* und *Gruppe*. Bei den negativen Emotionen zeigen sich für *Hoffnungslosigkeit* und *Ärger* Effekte für den Testzeitpunkt (siehe Tabelle 6).

Die Emotionsmittelwerte nach Gruppen und Testzeitpunkt getrennt sind in Tabelle 7 wiedergegeben und durch Abbildung 13 und Abbildung 14 veranschaulicht. Es zeigen sich für die TG im Vergleich zu der KG höhere Mittelwerte für *Freude*, *Stolz* und *Flow*, hingegen liegen die negativen Emotionen im Mittelwert unter denen der KG: *Hoffnungslosigkeit*, *Ärger*, *Langeweile* und *Angst*.

Da sich für die Emotionen Flow, Angst, Ärger und Langeweile weder signifikante Interaktionen zwischen *Zeitpunkt* und *Gruppen* noch signifikante Haupteffekte finden, werden diese Emotionen nicht weiter analysiert (siehe Tabelle 6).

3. Ergebnisse

Tabelle 5

Zweifaktorielle ANOVAs über die verschiedenen Emotionskategorien

Emotion	Faktoren	<i>F</i>	<i>Df</i>	<i>P</i>
Freude	Testzeitpunkt	10.58	1,36	.002
	Testzeitpunkt x Gruppe	2.97	1,36	.093
	Gruppe	11.58	1,36	.002
Stolz	Testzeitpunkt	4.94	1,36	.033
	Testzeitpunkt x Gruppe	2.24	1,36	.041
	Gruppe	5.01	1,36	.031
Flow	Testzeitpunkt	4.03	1,36	.052
	Testzeitpunkt x Gruppe	1.67	1,36	.205
	Gruppe	15.02	1,36	.001
Angst	Testzeitpunkt	2.79	1,36	.104
	Testzeitpunkt x Gruppe	0.31	1,36	.581
	Gruppe	0.28	1,36	.594
Hoffnungs- losigkeit	Testzeitpunkt	10.63	1,36	.002
	Testzeitpunkt x Gruppe	3.08	1,36	.088
	Gruppe	3.08	1,36	.613
Ärger	Testzeitpunkt	14.59	1,36	.001
	Testzeitpunkt x Gruppe	1.37	1,36	.249
	Gruppe	0.48	1,36	.493
Langeweile	Testzeitpunkt	0.05	1,36	.942
	Testzeitpunkt x Gruppe	0.13	1,36	.714
	Gruppe	0.40	1,36	.529

3. Ergebnisse

Tabelle 6

Deskriptive Maße Emotionen (separiert nach Gruppe und Messzeitpunkt)

Emotionskategorie	Gruppe	N	T1				T2			
			M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max
Freude	KG	20	2.55	0.83	1.33	4.00	2.78	0.94	1.33	4.33
	TG	18	3.03	0.82	1.67	4.67	3.79	0.66	2.33	5.00
Stolz	KG	20	3.06	1.00	1.33	5.00	3.08	0.82	1.67	4.67
	TG	18	3.22	0.63	2.00	4.33	3.92	0.86	2.33	5.00
Hoffnungslosigkeit	KG	20	1.80	0.98	1.00	4.00	1.60	0.84	1.00	4.00
	TG	18	1.92	0.65	1.00	2.67	1.25	0.43	1.00	2.33
Flow	KG	20	2.28	0.97	1.00	4.00	2.40	0.85	1.00	4.67
	TG	18	2.96	0.84	1.33	4.67	3.50	0.76	2.33	5.00
Ärger	KG	20	2.21	1.09	1.00	4.00	1.83	0.92	1.00	3.67
	TG	18	2.22	0.58	1.33	3.33	1.50	0.66	1.00	3.67
Langeweile	KG	20	2.11	0.97	1.00	4.00	2.20	1.19	1.00	5.00
	TG	18	2.01	0.73	1.00	3.67	1.96	1.00	1.00	4.33
Angst	KG	20	1.70	0.99	1.00	4.33	1.53	0.96	1.00	5.00
	TG	18	1.66	0.59	1.00	2.67	1.33	0.53	1.00	5.00

3. Ergebnisse

Zur weiteren Analyse der signifikanten Effekte wurden post-hoc *t-test* durchgeführt (siehe Tabelle 8). Nach dem Training berichtet die Trainingsgruppe signifikant mehr Freude und Stolz im Vergleich zur Kontrollgruppe. Vor dem Training finden sich bei Freude und Stolz keine systematischen Unterschiede zwischen Trainings- und Kontrollgruppe. Bei den negativen Emotionen führt das Training zu einer signifikanten Abnahme von Hoffnungslosigkeit von t1 zu t2 (nach dem Training), wobei sich für die KG auch hier keine systematische Veränderung ergibt. Zusammenfassend bewirkt das Training spezifische Effekte, wobei eine deutliche Zunahme von Freude und Stolz sowie eine Abnahme von Hoffnungslosigkeit zu verzeichnen ist (siehe Abbildung 13).

Tabelle 7

Ergebnisse der post-hoc t-Tests für Emotionskategorien

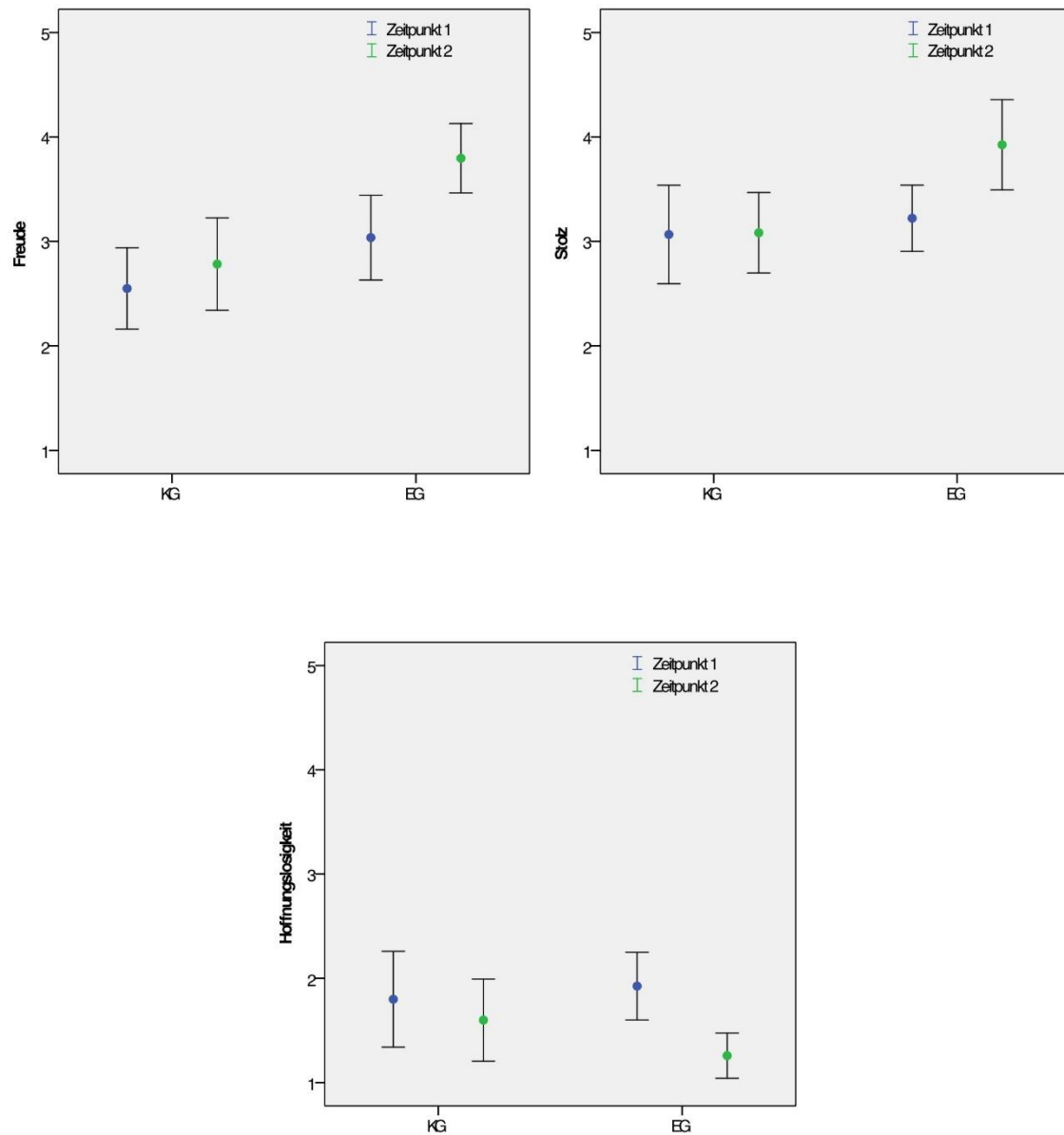
Emotionskategorie	Gruppe	<i>M (SD)</i> T1	<i>M (SD)</i> T2	<i>t</i>	<i>P</i>
Freude	KG	2.55 (0.83)	2.78 (0.94)	-1.13	0.27
	TG	3.03 (0.81)	3.79 (.66)	-3.34	0.004
Stolz	KG	3.06 (1.00)	3.08 (0.82)	-0.07	0.94
	TG	3.22 (.63)	3.92 (0.86)	-2.98	0.008
Hoffnungslosigkeit	KG	1.8 (0.98)	1.6 (0.94)	0.92	0.36
	TG	1.92 (0.65)	1.25 (0.43)	4.68	<.01
Emotionskategorie	Zeitpunkt	<i>M (SD)</i> KG	<i>M (SD)</i> TG	<i>t</i>	<i>P</i>
Freude	T1	2.55 (0.83)	3.03 (0.81)	-1.81	0.077
	T2	2.78 (0.94)	3.79 (.66)	-3.77	0.001
Stolz	T1	3.06 (1.00)	3.22 (.63)	-0.56	0.57
	T2	3.08 (0.82)	3.92 (0.86)	-3.00	0.004
Hoffnungslosigkeit	T1	1.8 (0.98)	1.92 (0.65)	-0.46	0.64
	T2	1.6 (0.94)	1.25 (0.43)	1.54	0.13

Anmerkung. $df_{KG} = 19$; $df_{TG} = 17$; $df = 36$. KG = Kontrollgruppe; TG = Trainingsgruppe

3. Ergebnisse

Abbildung 13

Emotionen Freude, Stolz, Hoffnungslosigkeit

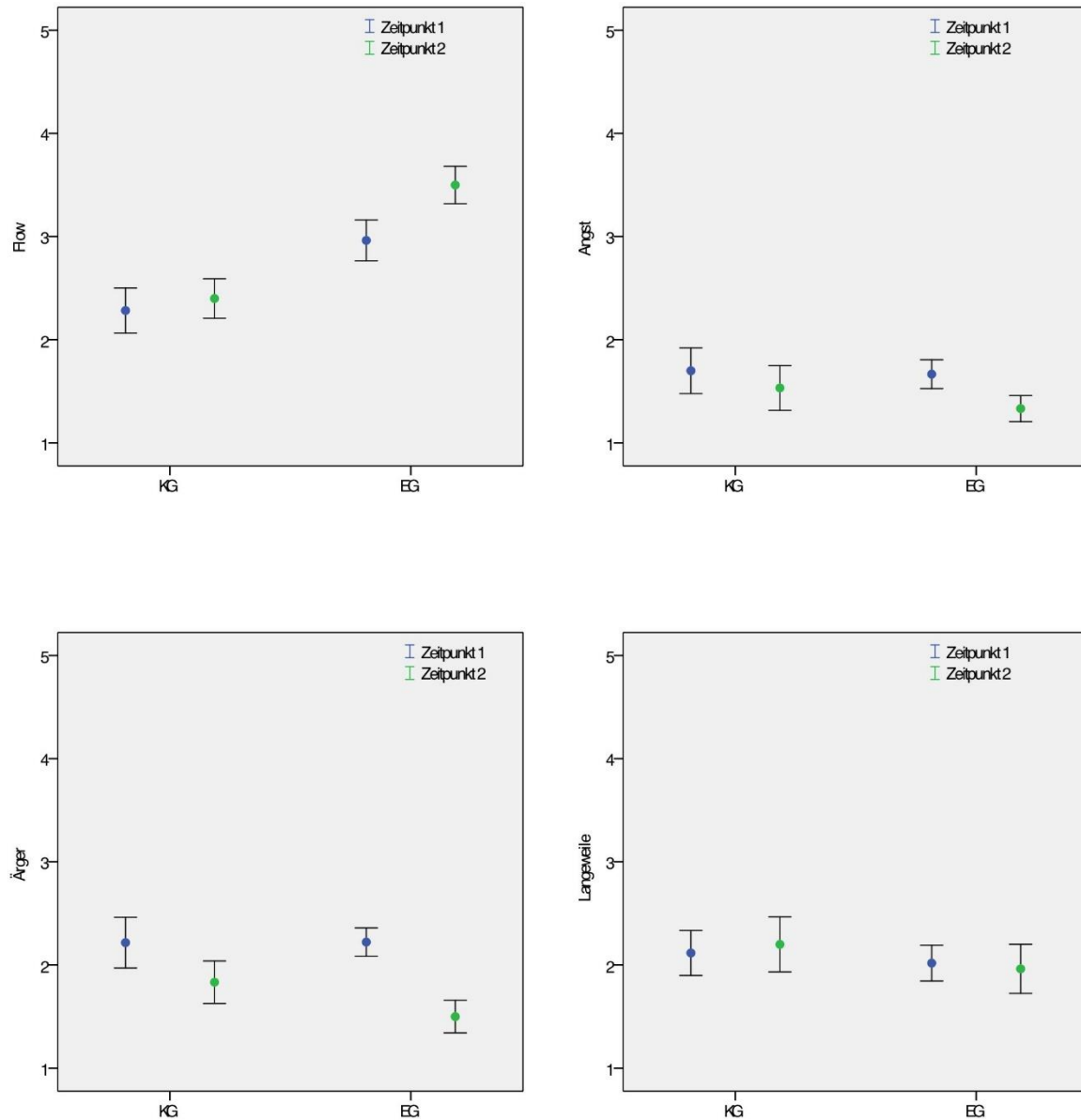


Anmerkung. Mittelwerte (± 1 Standardfehler) der Selbsteinschätzung, getrennt nach Trainings- und Kontrollgruppe sowie separiert nach Testzeitpunkten (t1 = vor, t2 = nach dem Training). Höhere Werte entsprechen einer höheren Ausprägung der bezeichneten Emotion. Für das Training haben sich spezifische Verbesserungen bei den Emotionen Freude, Stolz und Hoffnungslosigkeit ergeben.

3. Ergebnisse

Abbildung 14

Emotionen Flow, Angst, Ärger, Langeweile



Anmerkung. Mittelwerte (± 1 Standardfehler) der Selbsteinschätzung, getrennt nach Trainings- und Kontrollgruppe sowie separiert nach Testzeitpunkten (t1 = vor, t2 = nach dem Training). Höhere Werte entsprechen einer höheren Ausprägung der bezeichneten Emotion. Für die Emotionen Flow, Angst, Ärger und Langeweile konnten keine spezifischen Effekte des Trainings nachgewiesen werden.

3.6 Trainingseffekt auf physiologische Variablen: Herzrate und Bewegungsaktivität

In der vorliegenden Studie wurden zwei physiologische Variablen erhoben. Die Herzrate sowie die Bewegungsaktivität. Die Bewegungsaktivität wird hier in zweierlei Hinsicht berücksichtigt. Einmal als Indikator der Aktivierung (motorische Unruhe als Korrelat der neuromuskulären Aktivität) und zum anderen als Kontrollmaß für die Herzfrequenz.

Da die Herzfrequenz systematisch mit der Bewegungsaktivität variiert, ist es notwendig diese zu kontrollieren, will man die Herzrate als mentales Maß der Aktivierung verwenden. Partialisiert man die Bewegungskomponente aus der Herzratenaktivität heraus, so ist es möglich, den Unterschied in der Herzratenaktivität unabhängig von Bewegungseinflüssen durch emotional-kognitive Beanspruchung aufzuklären.

Um basierend auf diesen Überlegungen für die Analysen über die HR die Bewegung im messwiederholten Design kontrollieren zu können, wird die Bewegung zu t1 von der Bewegung zu t2 subtrahiert und dient so als Kovariate zur Kontrolle der motorischen Aktivität. Bevor die Ergebnisse zur Herzrate dargestellt werden, erfolgt zunächst noch eine eigenständige Analyse der Bewegungsaktivität, um zu überprüfen, ob sich die Bewegungintensität durch das Training verändert.

3.6.1 Trainingseffekt auf Bewegungsaktivität

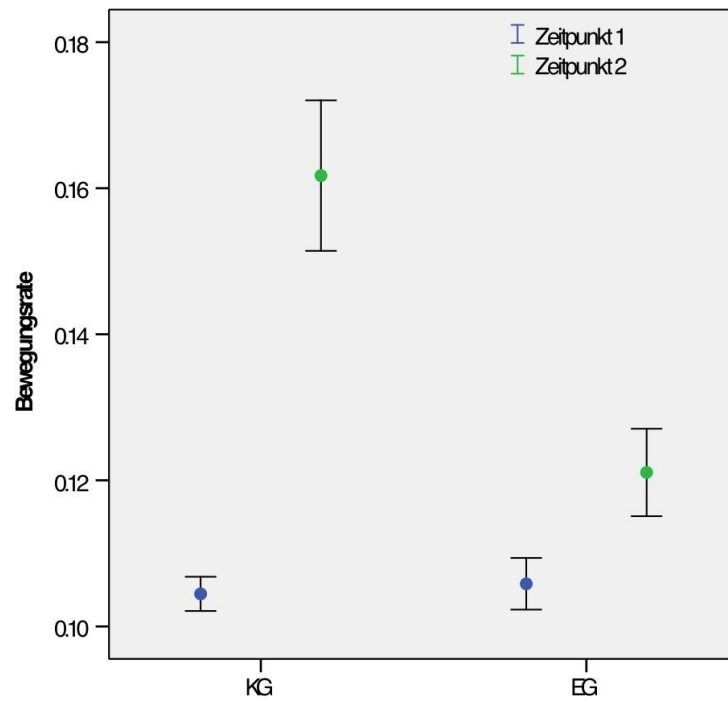
Die Bewegungsaktivität wurde über eine zweifaktorielle ANOVA mit dem Innersubjektfaktor *Testzeitpunkt* und dem Zwischensubjektfaktor *Gruppe* analysiert. Es ergeben sich signifikante Haupteffekte für *Testzeitpunkt*: $F(1,34) = 19.24, p < .01$ und *Gruppe* ($F(1,34) = 6.58, p = .02$) sowie eine signifikante Interaktion zwischen *Testzeitpunkt* und *Gruppe* ($F(1,34) = 8.13, p = .007$). Dennoch scheint die Bewegung systematisch zwischen den Bedingungen zu variieren.

Post-hoc *t*-Tests (Tabelle 9) bestätigen den Eindruck aus Abbildung 15 und belegen, dass eine signifikant gesteigerte Bewegungsintensität für Zeitpunkt t2 im Vergleich zu t1 auftritt, wobei der Anstieg in der Kontrollgruppe am größten ausfällt, oder anders ausgedrückt in der Trainingsgruppe weniger stark zu verzeichnen ist.

3. Ergebnisse

Abbildung 15

Bewegungsaktivität während der Aufgabenbearbeitung



Anmerkung. Mittelwerte (± 1 Standardfehler) der Bewegungsaktivität in der Trainings- und Kontrollgruppe getrennt nach Messzeitpunkten (t1: vor Training; t2: nach dem Training)

3. Ergebnisse

Tabelle 8

Post-hoc-t-Tests der Bewegungsaktivität während Aufgabenbearbeitung

Bewegung T1	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
KG	20	0.10	0.01	0.07	36	.94
TG	18	0.10	0.01			
Bewegung T2						
KG	19	0.15	0.05	2.82	34	.008 ***
TG	17	0.11	0.02			
Zeitpunkt	<i>M (SD)</i>		<i>t</i>		<i>df</i>	<i>p</i>
KG						
t1	0.105 (0.124)		-3.947		18	< .001
t2	0.154 (0.054)					
TG						
t1	0.104 (0.014)		-3.030		16	< .001
t2	0.114 (0.020)					

Anmerkung. TG: Trainingsgruppe, KG: Kontrollgruppe, t1 vor, t2 nach dem Training.

3. Ergebnisse

3.6.2 Korrelation von Bewegungsaktivität und Herzrate

Um festzustellen inwieweit die Herzrate von der Bewegungsaktivität während der Aufgabenbearbeitung beeinflusst wurde, erfolgte eine korrelative Analyse zwischen dem Kontrollmaß für die Bewegungsaktivität und der Herzrate. Wie schon Abbildung 16 erkennen lässt, besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Bewegung und Herzrate für Zeitpunkt t2 ($r(36) = .359, p = .031$). Für t1 zeigt sich hingegen kein signifikanter Zusammenhang ($r(36) = .002, p = .991$).

Separat analysiert nach Gruppen und Messzeitpunkten ergibt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Bewegungsaktivität und Herzrate in der Kontrollgruppe für den Messzeitpunkt t2 mit $r = .523$, siehe Tabelle 10.

Aufgrund dieses Ergebnisses und entsprechend der allgemeinen Erwartung, dass die Bewegung die Herzrate beeinflusst, wird der Bewegungsanteil für die Herzrate in der *Hauptanalyse* mittels des Differenzmaßes als Kovariate kontrolliert. Damit soll dann eine Betrachtung desjenigen Anteils der Herzrate möglich sein, der neben der Bewegungsaktivität zusätzlich auftritt und von der emotional-kognitiven Beanspruchung beeinflusst wird.

Tabelle 9

Korrelation Herzrate und Kontrollmaß der Bewegungsaktivität

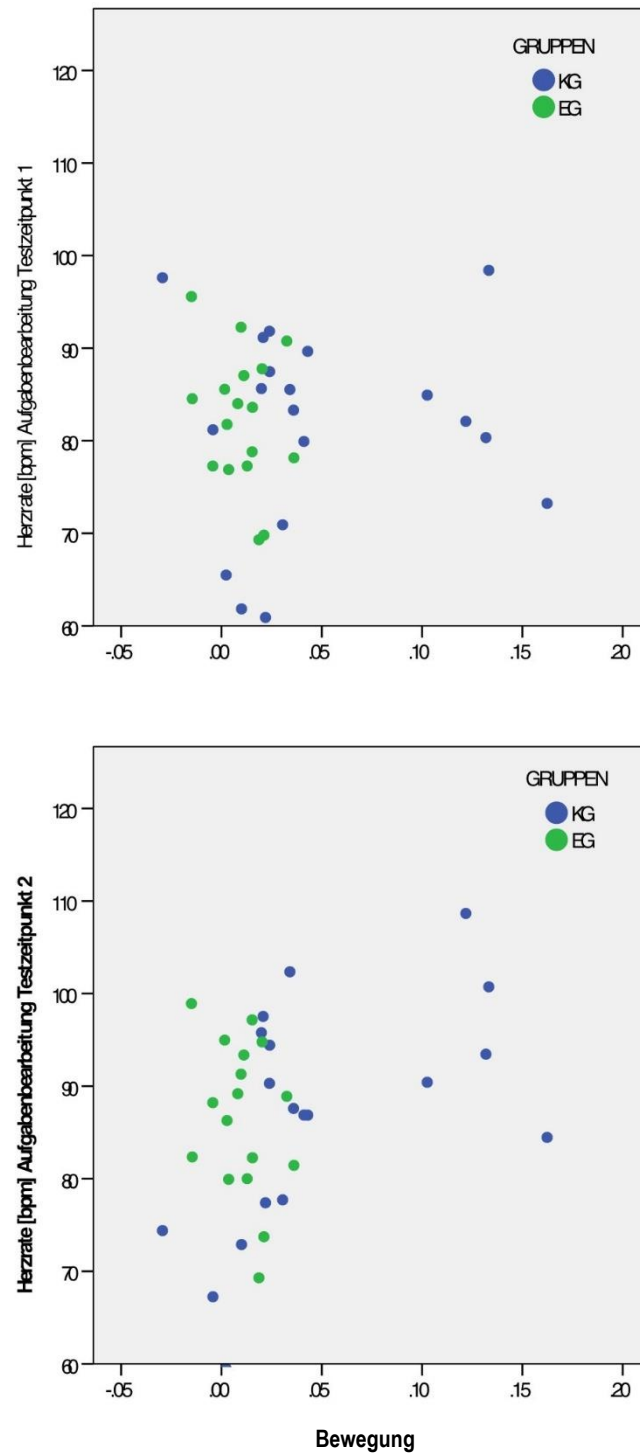
Bewegung	Herzrate	
	Testzeitpunkt 1	Testzeitpunkt 2
Kontrollgruppe		
r	.068	.523*
p	.782	.022
Trainingsgruppe		
r	-.269	-.284
p	.296	.269

Anmerkung: * $p \leq .05$;

3. Ergebnisse

Abbildung 16

Zusammenhang Bewegung und Herzrate bei der Aufgabenbearbeitung



Anmerkung. Insbesondere zum Testzeitpunkt 2 (nach dem Training, untere Abbildung) zeigt sich in der Kontrollgruppe ein systematischer Einfluss der Bewegung auf die Herzfrequenz.

3. Ergebnisse

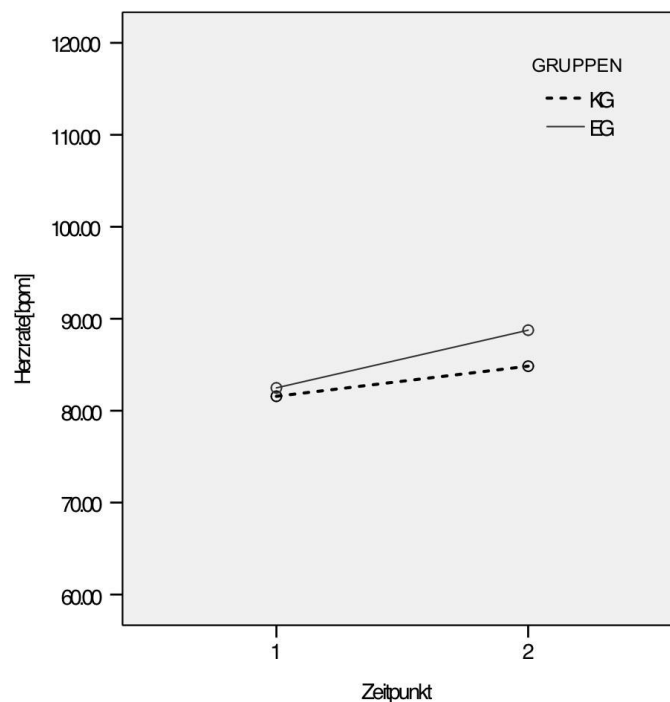
3.6.3 Trainingseffekt auf emotional-kognitive Beanspruchung

Wird der Bewegungseinfluss auf die Herzrate statistisch kontrolliert, so kann eine Variation der Herzrate bei gleichzeitiger Variation der emotional-kognitiven Beanspruchung diese widerspiegeln.

Mit Hilfe einer *Kovarianzanalyse* soll der Einfluss des Zwischensubjektfaktors *Gruppe*, und des Innersubjektfaktors *Testzeitpunkt* auf die Herzrate unter Kontrolle der *Bewegung* (Differenzmaß der Bewegung aus T2 und T1) überprüft werden. Es ergibt sich eine signifikante Interaktion zwischen *Testzeitpunkt* und *Bewegungsdifferenz* ($F(1,33) = 8.61, p = .006$). Für die Zwischen- und Innersubjektfaktoren kann kein signifikantes Ergebnis berichtet werden ($p > .30$). Demnach steht die Variation in der Herzrate größtenteils in Zusammenhang mit Bewegungsaktivität.

Abbildung 17

Herzrate während der Aufgabenbearbeitung



Anmerkung. Dargestellt ist die Herzrate während der Aufgabenbearbeitung unter Kontrolle der Bewegung separiert nach Gruppen (KG = Kontrollgruppe, TG = Trainingsgruppe) und Messzeitpunkten (Zeitpunkt 1 vor dem Training, Zeitpunkt 2 danach).

3. Ergebnisse

3.7 Ergebnisse Explorative Analysen

Im Folgenden werden die Herzrate und die Bewegungsdaten daraufhin untersucht, ob sich die Aktivität der Probanden erwartungsgemäß zwischen den verschiedenen Beobachtungssituationen unterscheidet. Sollte die Erfassung der Herzrate und der Bewegung valide umgesetzt worden sein, so müssten die Herzrate und die Bewegung in Ruhe und Nacht signifikant niedriger ausfallen als unter Aufgaben- und Fragebogenbearbeitung. Zusätzlich werden die per Fragebogen erfassten Emotionen als Einflussfaktoren auf die Herzrate untersucht.

3.7.1 Herzrate in unterschiedlichen Beobachtungssituationen

Um für die Herzrate (HR) von einer soliden Datenqualität ausgehen zu können, wird untersucht, ob sich die HR der untersuchten Probanden zwischen den vier Beobachtungssituationen unterscheidet. Unter valider Datenerhebung wäre zu erwarten, dass die HR unter Beanspruchung signifikant höher ausfällt, als unter Ruhe und unter Ruhe höher als in der Nacht.

In einer zweifaktoriellen ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor *Gruppe* und dem Innersubjektfaktor Beobachtungssituationen (Aufgabenbearbeitung, Fragebogenbeantwortung, Ruhe und Nacht) zeigt sich beim Vergleich der Herzraten ein Haupteffekt für *Beobachtungssituation* $F(3,99) = 92.05, p < .001$. Der Interaktionseffekt *Gruppe x Beobachtungssituation* ($F(83,99) = .88, p = .42$) sowie der Haupteffekt *Gruppe* ($F(1,33) = .15, p = .70$) sind nicht signifikant. So kann davon ausgegangen werden, dass sich die Gruppen nicht ad-hoc in der Herzrate unterscheiden haben und somit vergleichbar sind.

Um zu überprüfen, zwischen welchen Beobachtungssituationen signifikante Unterschiede bezüglich der HR bestehen, werden gepaarte *t*-Tests durchgeführt. Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die HR zwischen Aufgabenbearbeitung und Ruhe (Aufgabenbearbeitung: $M = 84.02, SD = 8.82$; Ruhe: $M = 78.47, SD = 11.12$; $t(37) = 4.71, p < .001$), als auch zwischen Aufgabenbearbeitung und Nacht (Aufgabenbearbeitung: $M = 84.36, SD = 9.08$; Nacht: $M = 64.23, SD = 8.50$; $t(34) = 12.89, p < .001$) signifikant unterscheidet. Während der Aufgabenbearbeitung ist die HR im Vergleich zu beiden anderen Beobachtungssituationen (Ruhe und Nacht) erhöht.

Die HR zwischen Fragebogenbeantwortung und Ruhe (*Fragebogen*: $M = 84.63, SD = 8.52$; *Ruhe*: $M = 78.47, SD = 11.12$; $t(37) = 4.74, p < .001$), sowie im Verhältnis zur Nacht unterscheidet sich ebenso signifikant (*Fragebogen*: $M = 84.88, SD = 8.84$; *Nacht*: $M =$

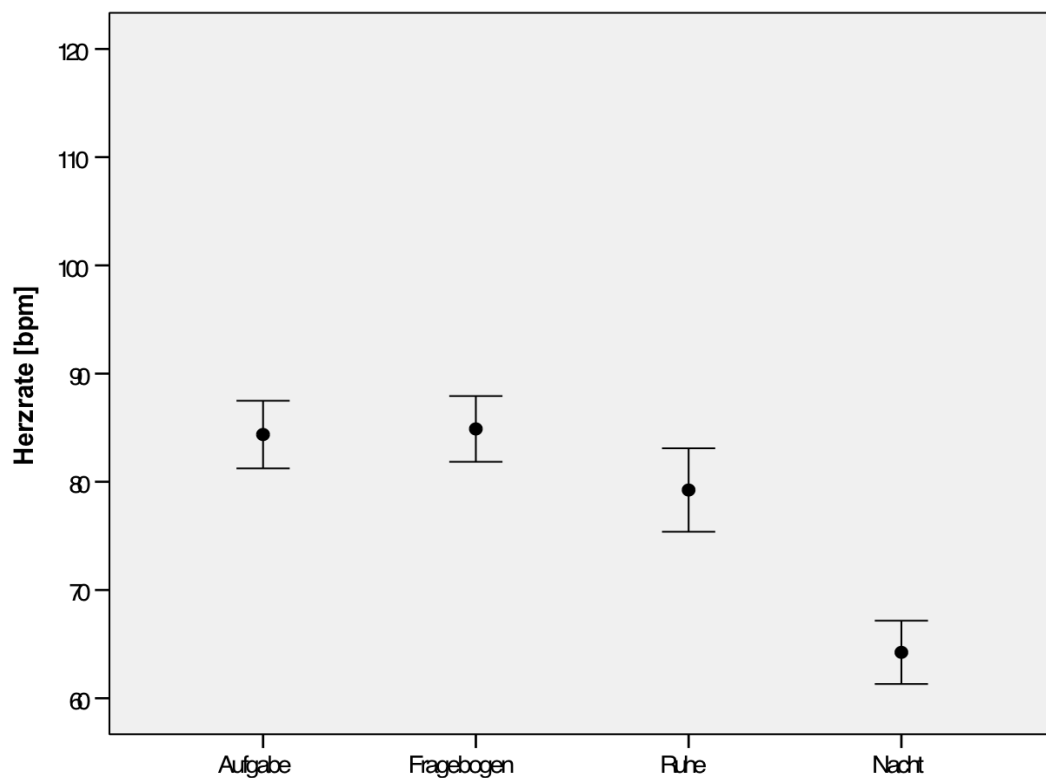
3. Ergebnisse

64.23, $SD = 8.50$; $t(34) = 13.32$, $p < .001$). Während der Fragebogenbeantwortung ist die HR im Vergleich zu den beiden anderen Beobachtungssituationen (Ruhe und Nacht) erhöht.

Ebenso ist die Herzrate in Ruhe signifikant höher als während der Nacht (*Ruhe*: $M = 79.24$, $SD = 11.23$; *Nacht*: $M = 64.23$, $SD = 8.50$; $t(34) = 7.76$, $p < .001$).

Abbildung 18

Herzrate in unterschiedlichen Situationen



Anmerkung. Dargestellt sind die Mittelwerte der Herzrate (mit 95% igem Konfidenzintervall) in verschiedenen Situationen gemittelt über die Zeitpunkte (t_1 , t_2). Die Herzrate steigt signifikant von Nacht über Ruhe nach Fragebogen sowie von Nacht über Ruhe nach Aufgabe an.

3. Ergebnisse

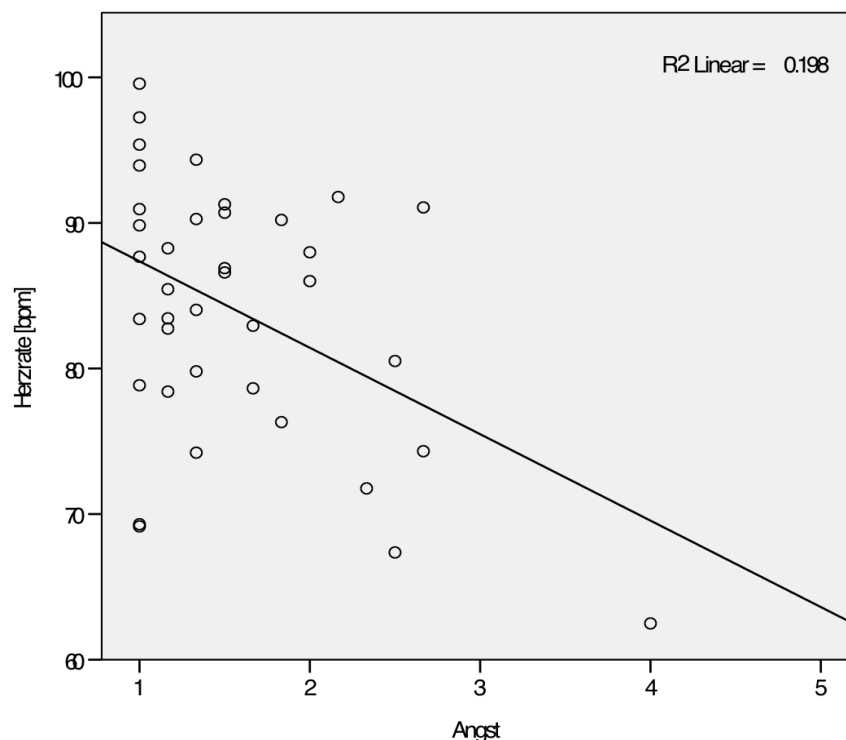
3.7.2 Emotionen und Herzrate

Mit Hilfe der rückwärts gerichteten linearen Regressionsanalyse wurde der Einfluss der Emotionen Flow, Angst, Langeweile, Hoffnungslosigkeit, Ärger, Freude und Stolz auf die Herzrate (HR) während Aufgabenbearbeitung untersucht.

Im finalen Modell (Schritt 6: $R^2 = .27$, $F(2,35) = 6.62$, $p < .004$) kann für die Emotion *Angst* ein Einfluss auf die HR nachgewiesen werden ($\beta = -.37$, $t = 2.45$, $p = .02$). Für Hoffnungslosigkeit ergibt sich nur eine Tendenz, verfehlt das 5 % Niveau ($\beta = -.29$, $t = -1.92$, $p = .06$). Beide negativen Emotionen führen somit zu einer Abnahme der Herzrate: Je höher die Emotion berichtet wird, desto niedriger ist die Herzrate. Zur Visualisierung der Effekte sind die Korrelation zwischen den Emotionen Angst und HR ($r = -.45$, $p = .005$) sowie Hoffnungslosigkeit und HR ($r = -.39$, $p < .016$) in einem Scatter-Plot mit Regressionsgeraden in Abbildung 19 und 20 veranschaulicht.

Abbildung 19

Scatter-Plot zu Herzrate und Angst

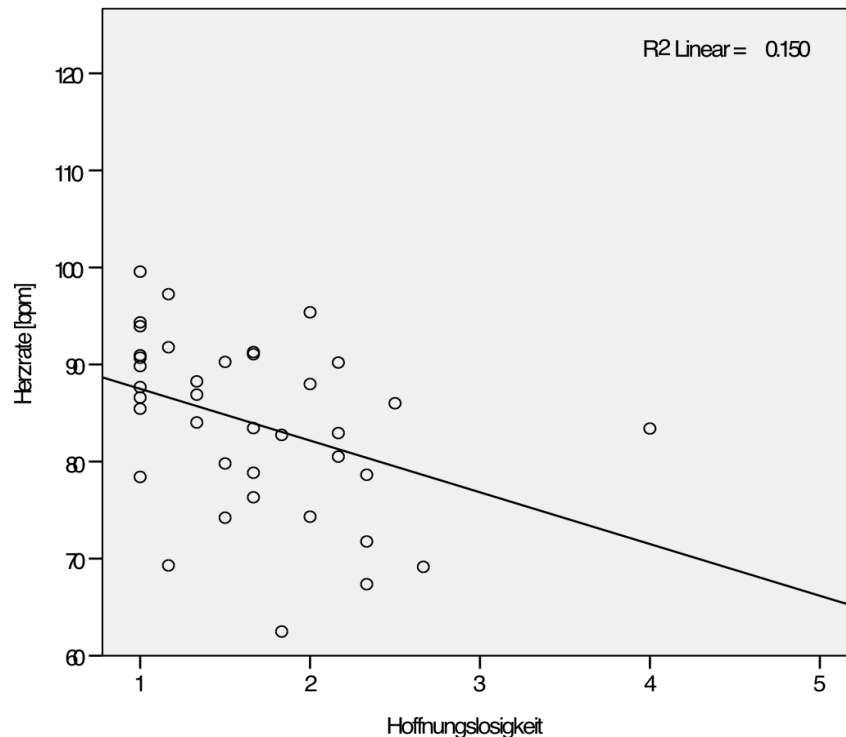


Anmerkung. Es besteht ein signifikanter (negativer) Zusammenhang zwischen Herzrate und selbstberichteter Angst ($r = -.45$).

3. Ergebnisse

Abbildung 20

Scatter- Plot zu Herzrate und Hoffnungslosigkeit



Anmerkung. Es besteht ein signifikanter (negativer) Zusammenhang zwischen Herzrate und selbstberichteter Hoffnungslosigkeit ($r = -.39$).

3.7.3 Bewegung in unterschiedlichen Beobachtungssituationen

Um für die Bewegung von einer soliden Datenqualität ausgehen zu können, wird untersucht, ob sich die Bewegung der untersuchten Probanden zwischen den vier Beobachtungssituationen unterscheidet. Unter valider Datenerhebung wäre zu erwarten, dass die Bewegungsaktivität bei der Aufgaben- oder Fragebogenbearbeitung signifikant höher gegenüber mehr inaktiven Bedingungen wie Ruhe- und Nachtphasen ausfällt.

In einer zweifaktoriellen ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor *Gruppe* und dem Innersubjektfaktor *Beobachtungssituation* zeigt sich beim Vergleich der Bewegung für die vier Beobachtungssituationen (Aufgabenbearbeitung, Fragebogenbeantwortung, Ruhe und Nacht) ein Haupteffekt für Beobachtungssituation $F(3,99) = 26.02$, $p < .001$. Der Interaktionseffekt Gruppe x Beobachtungssituation ($F(3,99) = 1.61$, $p = .19$) sowie der Haupteffekt Gruppe ($F(1,33) = 2.31$, $p = .13$) sind nicht signifikant. So kann davon

3. Ergebnisse

ausgegangen werden, dass sich die Gruppen nicht ad-hoc in der Bewegung unterscheiden haben und somit vergleichbar sind.

Um zu überprüfen, zwischen welchen Beobachtungssituationen signifikante Unterschiede bezüglich der Bewegung bestehen, werden gepaarte *t*-Tests durchgeführt. Diese Ergebnisse zeigen, dass es zwischen der Bewegung während Aufgabenbearbeitung und während Fragebogenbeantwortung (Aufgabenbearbeitung: $M = 0.119$, $SD = 0.024$; Fragebogen: $M = 0.127$, $SD = 0.024$; $t(37) = -3.15$, $p = .003$), zwischen der Bewegung während Aufgabenbearbeitung und Nacht (Aufgabenbearbeitung: $M = 0.119$, $SD = 0.024$, Nacht: $M = 0.082$, $SD = 0.032$; $t(34) = 7.45$, $p < .001$) sowie der Fragebogenbeantwortung und Nacht signifikante Unterschiede (Fragebogenbeantwortung: $M = 0.127$, $SD = 0.025$; Nacht: $M = 0.082$, $SD = 0.032$; $t(34) = 8.77$, $p < .001$) gibt. Hierbei ist die Bewegung während Fragebogenbeantwortung höher, als während der Aufgabenbearbeitung und zu jenen beiden Beobachtungssituationen höher als in der Nacht. Ebenso signifikant zeigt sich das Ergebnis zwischen der Bewegung während Ruhe und Nacht (Ruhe: $M = 0.123$, $SD = 0.040$; Nacht: $M = 0.082$, $SD = 0.032$; $t(34) = 5.85$, $p < .001$). Hierbei ist die Bewegung während Ruhe höher als in der Nacht.

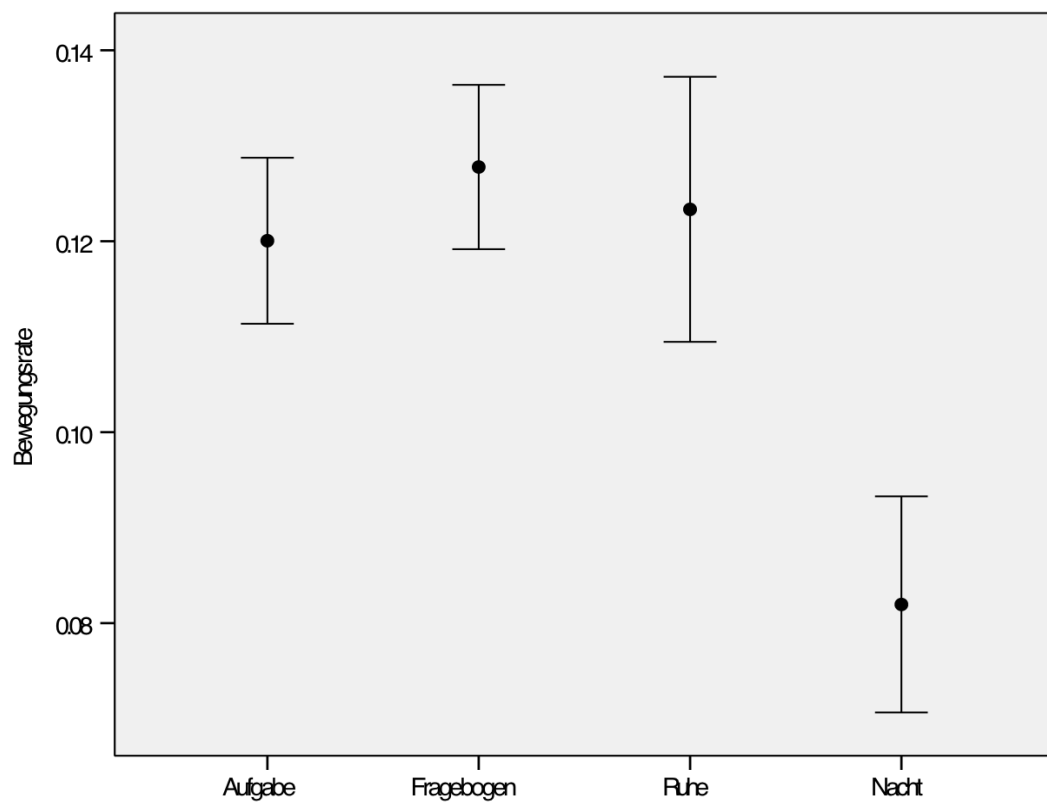
Aufgrund der relativ großen Varianz in der Ruhebedingung unterscheidet sich diese in der Bewegungsintensität nicht von der Fragebogenbeantwortung ($t(37) = 0.93$, $p = .36$) sowie der Aufgabenbearbeitung ($t(37) = 0.24$, $p = .81$).

Die Mittelwerte der verschiedenen Situationen sind in Abbildung 21 veranschaulicht.

3. Ergebnisse

Abbildung 21

Bewegungsintensität in unterschiedlichen Situationen



Anmerkung. Dargestellt sind die Mittelwerte der motorischen Aktivität (mit 95%igem Konfidenzintervall) in verschiedenen Situationen gemittelt über die Zeitpunkte (t1, t2). Die Bewegungsintensität steigt signifikant von Nacht zu Ruhe und unterscheidet sich ebenfalls zwischen Aufgaben- und Fragebogenbearbeitung.

4. Diskussion

Die vorliegende Studie hat untersucht, ob metakognitive Kompetenzen im Mathematikunterricht auch im Kurzzeittraining erfolgreich vermittelbar ist und mittels des ambulanten Monitorings evaluiert. Dieses Verfahren besitzt den Vorteil, dass die Datenerhebung ökologisch valide, direkt während des laufenden Unterrichts stattfinden kann, und neben Selbstberichtsdaten auch physiologische Maße einschließt.

Dabei basiert das Untersuchungsdesign der vorliegenden Studie auf einem randomisierten Kontrollgruppendesign mit zwei Messzeitpunkten und zwei Gruppen (Trainings- und Kontrollgruppe). Der erste Messzeitpunkt (t1) lag unmittelbar vor dem Trainingsbeginn, der zweite Messzeitpunkt (t2) erfolgte unmittelbar nach Abschluss des Trainings. Die Zuweisung der Schülerinnen und Schüler auf die Trainings- und Kontrollgruppe erfolgte randomisiert vor Studienbeginn.

Zu beiden Messzeitpunkten wurden verschiedene Selbstberichtsdaten (u.a. Ratings zum emotionalen Erleben, zur metakognitiven Kompetenz) sowie physiologische Daten (Herzrate, Bewegungsintensität) erhoben.

Mit den Schülerinnen und Schülern der Trainingsgruppe wurde im Anschluss an Messzeitpunkt 1 ein metakognitives Training durchgeführt. Die Teilnehmer der Kontrollgruppe erhielten vergleichbaren Unterricht mit Ausnahme des Trainings metakognitiver Kompetenzen. Zu Messzeitpunkt 2 wurden die Prozeduren und Erhebungen aus Messzeitpunkt 1 wiederholt.

Metakognitives Wissen und metakognitive Strategien können schulisches Lernen fördern und so den effektiven Erwerb von Wissen im Allgemeinen entscheidend vorantreiben. Auf empirischer Ebene hat sich gezeigt, dass metakognitive Kompetenzen eine Voraussetzung für die erfolgreiche Selbstregulation und damit als wichtige Randbedingung für selbstreguliertes Lernen angesehen werden kann (Boekaerts, 1996; Dermitzaki, Leondari, & Goudas, 2009; Efklides, 2011; Pintrich, 2000; Schunk & Zimmerman, 1998; Sperling, Howard, Miller, & Murphy, 2002; Veenman, 2006; Weinstein, Acee, & Jung, 2011). Ebenso spielen Emotionen in Lernprozessen eine wesentliche Rolle. So nehmen sie Einfluss auf die Allokation kognitiver Ressourcen, auf Gedächtnisprozesse und beeinflussen Motivation und Volition (vgl. Boekaerts, Pintrich, & Zeidner, 2000; Malmivuori, 2001; Pekrun, Goetz, Titz, & Perry, 2002; Ashcraft, 2002; Ma, 1999; Frenzel, Pekrun, & Goetz, 2007).

4. Diskussion

Entwicklungspsychologische Befunde deuteten darauf hin, dass metakognitive Kompetenzen bei Schülerinnen und Schülern oft sehr unterschiedlich verteilt sind. Entweder haben sie keine oder geringe metakognitive Kompetenzen, oder wenn sie darüber verfügen, setzen sie diese jedoch kaum spontan im Unterricht ein. Demnach ist das entsprechende Förder- und Entwicklungspotential (durch metakognitives Training) als hoch zu bezeichnen (Desoete et al., 2006; Dignath & Büttner, 2008; Schneider & Artelt, 2010; Veenman & Van Cleef, 2019).

Als zentrales Unterrichtsfach bietet insbesondere der Mathematikunterricht hier einen Ansatzpunkt für metakognitive Trainings, insbesondere auch deshalb, da er für viele Schülerinnen und Schüler eine Quelle intensiver Lern- und Leistungsemotionen darstellt.

Besonders Trainingsprogramme scheinen hier sinnvoll, die direkt im Unterricht angesiedelt sind, auch direkt im Unterricht evaluiert werden und damit eine hervorragende ökologische Validität bieten können. Bislang existieren keine Trainingsmaßnahmen, die sehr kurz, d.h. mit nur wenigen Trainingseinheiten angelegt sind. Wenn diese dann als effektiv gelten, dann ließen sie sich gut in den Unterricht integrieren, ohne umfangreiche Unterrichtszeit aus dem eigentlichen Mathematikunterricht abzuziehen.

Eine besondere Herausforderung stellt die Evaluation unterrichtsnaher Trainings dar.

Zwar lassen sich mittels Pre-Post-Kontrollgruppen Designs und unter Verwendung von üblichen Output-Maßen mögliche Veränderungen feststellen, jedoch ausschließlich retrospektiv und damit weitgehend abgekoppelt von der Situation des Erlebens.

Demgegenüber bietet das in der vorliegenden Studie verwendete Ambulante Assessment erweiterte Möglichkeiten. Hierzu zählen die Datenerhebung direkt in Unterrichtssituationen sowie die Verwendung von Online-Maßen direkt bei der Bearbeitung von Aufgaben. Die erhobenen Verhaltensmaße werden zudem durch physiologische Indikatoren wie Herzrate und Bewegungsaktivität ergänzt. Solche physiologischen Maße in Kombination mit aufgabennah erhobenen Selbsteinschätzungen, ermöglichen dann Aussagen zur Allokation kognitiver Ressourcen und zur emotionalen Beanspruchung.

Theoretisch lassen sich mentale Beanspruchungseffekte, die während einer Lernaufgabe auftreten, vor dem Hintergrund der *cognitive load theory* (CLT) beschreiben. Diese geht davon aus, dass unterschiedliche Belastungskomponenten während der Aufgabenbearbeitung auftreten können (Sweller, 2010). Die Lernenden müssen erhebliche mentale Anstrengungen unternehmen, um nicht nur die zu erlernenden Inhalte (d.h. Verarbeitung auf der Objektebene) zu bewältigen, sondern auch auf die Selbstregulierung ihrer Lernprozesse zu achten

4. Diskussion

(Metaebene). Die Notwendigkeit, die verfügbaren kognitiven Ressourcen angemessen auf diese beiden Arten der Verarbeitung zu verteilen, ist eine Herausforderung für die Lernenden. Auch negative Emotionen können zudem als eine weitere Belastungsquelle genannt werden. So nehmen sie Einfluss auf die Allokation kognitiver Ressourcen, auf Gedächtnisprozesse und beeinflussen Motivation und Volition, sowie sie die Aufmerksamkeit verringern (vgl. Boekaerts, Pintrich, & Zeidner, 2000; Malmivuori, 2001; Pekrun, Goetz, Titz, & Perry, 2002; Ashcraft, 2002; Ma, 1999; Frenzel, Pekrun, & Goetz, 2007).

Fehlende Automatisierungstechniken können den workload erhöhen, der erst nach einer Automatisierungsfähigkeit wieder geringer wird. Um beim Bearbeiten von Aufgaben bei Schüler/-innen eine Routine anzulegen, merken Fabriz et al. (2014) an, dass der Effekt neu erlernter Strategien auf Leistung möglicherweise erst zeitverzögert eintritt.

Dabei stellen eingeübte Aufgabentypen bzw. Routine-Aufgaben geringere Anforderungen, was Metakognition betrifft, als unbekanntere, möglicherweise transfer-lastige Aufgabentypen (Lingel et al., 2019).

Um die kognitive Belastung bei der Bearbeitung von Lernaufgaben auf der Objekt- und Metaebene zu optimieren, ist ein effektives didaktisches Design erforderlich.

Diese Herausforderungen verlangen nach einer Integration der *cognitive load theory* und der Selbstregulations-Theorie, sowie inhärenten metakognitiven Maßen (De Bruin and Van Merriënboer, 2017).

Daraus ergibt sich das Ziel für die vorliegende Studie, metakognitive Kompetenzen im Mathematikunterricht zu trainieren und dabei neben Strategien (z.B. Anwenden von Formeln, Erstellen von Skizzen usw.) auch Prozesse wie Planung, Überwachung und Reflexion zu verbessern. Erwartet wird bei erfolgreichem Training eine Verbesserung der metakognitiven Kompetenz und in Folge eine Verringerung negativer und/oder ein Anstieg positiver Lern- und Leistungsemotionen. Trainingsinduzierte Veränderungen sollen ebenso durch parallel zur Aufgabenbearbeitung erhobenen physiologischen Maßen beobachtet werden. Damit soll versucht werden, die mentale Beanspruchung der Aufgabenbearbeitung hinsichtlich ihrer kognitiven und/oder emotionalen Einflussfaktoren beobachtbar zu machen. Die Trainingsstudie wurde durch ein Pre-Post-Design mit Trainings- und Kontrollgruppe realisiert.

Das Training wurde mit Schülern der 8. Klasse einer Mittelschule über einen Zeitraum von insgesamt 2 Wochen durchgeführt. Dabei wurden 3 Trainingseinheiten von je 2x 45 Minuten

4. Diskussion

durchgeführt. Zur statistischen Datenauswertung standen für die Trainingsgruppe $N=18$ und für die Kontrollgruppe $N=20$ Schülerinnen und Schüler zur Verfügung.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse zunächst insgesamt beschrieben und dann separat für jede der zentralen abhängigen Variablen diskutiert. Dabei werden Entscheidungen hinsichtlich der Hypothesen getroffen und die theoretischen und praktischen Implikationen der Befunde diskutiert. Auf mögliche Limitierungen und zukünftige Forschungsfragen wird eingegangen.

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt zeigen die Ergebnisse vorliegender Studie einen Trainingserfolg. Es ist eine Steigerung mathematischer metakognitiver Kompetenzen in der Trainingsgruppe (TG) zu t_2 zu verzeichnen. Dabei liegt die Effektgröße (*Cohens' d*) bei 0.755, was nahezu einem großen Effekt entspricht. Das ist auch insofern bemerkenswert, dass das Training insgesamt nur 3 Trainingseinheiten von insgesamt 6 Unterrichtsstunden betragen hat.

Schüler gehen demnach nach dem Training bewusster an die Aufgaben heran (*...unterstreicht die wesentlichen Aussagen..., erkennt, dass er eine Formel braucht..., ...fertigt eine Skizze an*). Damit lag der Fokus der Erhebung der Metakognitionen eher auf den prozeduralen Items, so dass eine Aussage zur tatsächlichen Anwendung gemacht werden kann. Aufgrund der Ergebnisse kann eine intensivere Überwachung der Prozesse und Reflexion der Aufgabenbearbeitung angenommen werden.

Bei den Emotionen führte das Training bei den positiven Emotionen Freude und Stolz zu einer signifikanten Zunahme in der TG von t_1 zu t_2 . Bei den negativen Emotionen führte das Training für die Experimentalgruppe in t_2 zu einer signifikanten Abnahme der Emotion Hoffnungslosigkeit und führte zu einer marginal signifikanten Abnahme für Ärger.

Die Herzrate zeigte eher unspezifische Effekte. Der Interaktionseffekt Gruppe x Beobachtungssituation zu t_2 sowie der Haupteffekt Gruppe sind nicht signifikant. Die HR veränderte sich über die Zeit und stieg in beiden Gruppen von t_1 zu t_2 . Die Veränderung kann jedoch nicht auf das Training zurückgeführt werden.

Insgesamt zeigt die Studie auch bei kurzer Durchführung und kleiner Stichprobe einen Trainingserfolg.

4. Diskussion

4.2 Trainingseffekt auf Metakognition

Wie in der Hypothese 1 formuliert, soll das metakognitive Training zu einer Erhöhung der metakognitiven Kompetenz führen. Aufgrund der Ergebnisse kann die Hypothese bestätigt werden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse vorliegender Studie einen Trainingserfolg. Es ist eine Steigerung mathematischer metakognitiver Kompetenzen in der Trainingsgruppe (TG) zu t2 zu verzeichnen. Dabei liegt die Effektgröße (*Cohens´d*) bei 0.755, was nahezu einem großen Effekt entspricht.

Das ist auch insofern bemerkenswert, dass das Training insgesamt nur 3 Trainingseinheiten von insgesamt 6 Unterrichtsstunden betragen hat. Der geringe Aufwand und die gute Wirkung des Trainings sprechen für einen unkomplizierten Einsatz im Unterricht.

Im Hinblick auf die hier bearbeiteten Mathematikaufgaben, (siehe Anhang C) bedeutet die Zunahme konstruktiver mathematischer Metakognitionen, dass für die TG zu Messzeitpunkt 2 eine erhöhte Selbstregulationsfähigkeit, angelegt wird, welche das Gefühl vermehrter Selbstwirksamkeit zur Folge hat. Es kann angenommen werden, dass Prozesse der Planung, Überwachung und Reflektion durch das Training erhöht wurden.

(Boekaerts 2002; Dermitzaki, Leondari, & Goudas, 2009; Efklides, 2011; Efklides & Vlachopoulos, 2012; Efklides, 2014; Pintrich 2000; Sperling, Howard, Miller, & Murphy, 2002; Weinstein, Acee, & Jung, 2011).

Nach Hasselhorn (2008) kann davon ausgegangen werden, dass Wissen über das eigene kognitive System und seine Funktionsgesetzmäßigkeiten durch das Training erweitert wurde. Exekutive Prozesse wurden vermittelt.

In Anlehnung an das MASRL Modell (Abb.6) wurden dabei Prozesse initiiert zwischen Person-Level und Person x Aufgabe- Level.

Es zeigen sich für die TG im Vergleich zu der KG höhere Mittelwerte für Freude, Stolz und Flow, hingegen liegen die negativen Emotionen im Mittelwert unter denen der KG: Hoffnungslosigkeit, Ärger, Langeweile und Angst.

Bezugnehmend auf das Kognitiv-Motivationale Mediationsmodell (Abb.8) und unter Betrachtung der Zunahme der positiven Emotionen und Abnahme der Emotion Hoffnungslosigkeit in dieser Studie, kann angenommen werden, dass Metakognitionen auch Einfluss auf Emotionen genommen haben (Pekrun, 1992b; Pekrun & Schutz, 2007). Es kann davon ausgegangen werden, dass durch diese positiven Emotionen die intrinsische Motivation zur Lösung von Aufgaben deutlich erhöht wurde. Dies steht im Einklang mit früheren

4. Diskussion

Untersuchungen (z.B. siehe Borkowski, Chan, Muthukrishna, 2000). Nach den Theorien zum Selbstregulierten Lernen (SRL) verbessert das Wissen über relevante metakognitive Strategien das Verständnis nur dann, wenn die Lernenden auch motiviert sind, diese Strategien zu nutzen (Maier & Richter, 2014).

Das Kontroll-Wert-Modell (Abb.9) unterstreicht den Zusammenhang zwischen Glauben an die eigenen Fähigkeiten und den Emotionen (Efklides, 2011).

Die Überwachung von Lernprozessen bietet dem Lerner ein internes Feedback bezüglich des eigenen Lernfortschrittes und ermöglicht somit eine Anpassung der Lernprozesse an den individuellen Lernfortschritt. Zum einen ist eine gute Überwachung wichtig, um Schwierigkeiten im Lernprozess aufzudecken und durch den Einsatz von Lernstrategien entsprechend auf sie reagieren zu können, zum anderen, um die verfügbare Lernzeit den individuellen Lernanforderungen anzupassen oder um Lernprozesse rechtzeitig zu beenden, wenn sie entweder erfolgreich waren oder aussichtslos sind (Dunlosky & Metcalfe, 2009). Die Ergebnisse zeigen, dass eine vermehrt kognitive Bewältigung der Aufgaben, aufgrund erweiterter mathematischer metakognitiver Maße stattgefunden hat.

Eine Metaanalyse von Dignath und Büttner (2009), bestätigt die Wirksamkeit von Trainingsprogrammen, die metakognitive Elemente enthalten.

Trainingsprogramme, die in der Sekundarstufe durchgeführt wurden, und die metakognitive Inhalte zur Auswahl, Überwachung und Regulation von kognitiven Strategien vermitteln, zeigen bedeutsam größere Effekte auf die Leistung als Trainingsprogramme, die ausschließlich die Vermittlung kognitiver Strategien zum Inhalt haben. Eine Reihe von mathematischen Trainingsprogrammen vereint explizit die drei Zielsetzungen: Vermittlung von kognitiven Strategien, Vermittlung von metakognitiven Strategien zur Auswahl, Überwachung und Regulation der kognitiven Strategien sowie Vermittlung von Wissen über das Wann, Wo, Warum und Wie des Strategieeinsatzes (z.B. IMPROVE; Mevarech & Kramarski 1997; Gürtler, Perels, Schmitz & Bruder, 2002), aber auch in arithmetischen Anforderungen (MASTER; Kroesbergen & van Luit 2002). Die Effektivität dieser kognitiv-metakognitiven Trainingsprogramme konnte in experimentellen Studien sowohl in einem breiten Altersbereich von der dritten bis in die achte Jahrgangsstufe nachgewiesen werden (z.B. Mevarech., Terkieltaub, Vinberger & Nevet, 2010).

Studien von (Cohors- Fresenborg, Kramer, Pundsack, Sjuts, and Sommer 2010; Dignath et al., 2008; Hasselhorn & Mähler, 2000; Leopold & Leutner, 2002; Leutner et al., 2001; Perels, 2003; Stebner et al., 2015), konnten ermitteln, dass Schüler durch kombiniertes

4. Diskussion

Training von Lernstrategien, mathematischen und metakognitiven Strategien, positive Korrelationen zwischen metakognitiven Verhaltensweisen und Erfolg beim Problemlösen zeigten.

Eine weitere Experimentalstudie zu Metakognition und Metaaffekt, konnte zeigen, dass Schüler mit metakognitivem oder meta-affektivem Training im Anschluss vermehrt Strategien bei der Problembearbeitung einsetzen und bessere Leistungen beim mathematischen Problemlösen zeigten, als die Kontrollgruppe ohne Training (Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014).

Dabei kommt dem Metaaffekt, welches das Wissen über die eigene Person und die motivational- emotionalen Einflussfaktoren und deren Bedeutung für Regulationsprozesse impliziert, eine besondere Bedeutung zu (Artino, 2009; Duckworth, Akerman, MacGregor, Salter, & Vorhaus, 2009). Bei der Entscheidung, welche Strategien in einer gegebenen Situation zu bevorzugen sind, spielen sowohl Personen- als auch Aufgabenwissen eine entscheidende Rolle.

Die Wahrnehmung der Schüler/-innen, in der Anwendung von mathematischen Strategien kompetent zu sein, beeinflusst dabei das positive emotionale Erleben, wie durch die Ergebnisse dieser Studie belegt werden kann.

Damit kann auch von einer Erhöhung der Motivation ausgegangen werden (Olafson & Ferraro, 2001; Pintrich, 2003).

Einige Studien fanden heraus, dass die Schwierigkeiten von Schüler/-n/-innen beim Problemlösen nicht immer auf einen Mangel an mathematischem Wissen zurückzuführen sind, sondern eher auf eine ineffektive Aktivierung ihres Wissens, da ihnen die metakognitiven Fähigkeiten fehlen, die zur Steuerung, Überwachung und Reflexion der Lösungsprozesse erforderlich sind (u. a. Schoenfeld, 1992; Verschaffel, Greer, & De Corte, 2000).

Hierin liegt ein begründeter Ansatz für das hier durchgeführte Training.

Die Ergebnisse des Trainings deuten darauf hin, dass die Schüler/-innen ihre Strategien, vor allem in Übereinstimmung mit der Vorstellung von sich selbst als fähige (oder nicht fähige) Bearbeiter von mathematischen Aufgaben, besser wahrnehmen. Es kann angenommen werden, dass sie durch das Training die Anwendung metakognitiver Maße den Aufgabenanforderungen entsprechend vermehrt anwenden können. Theorien zum selbstregulierten Lernen unterstreichen diesen Ansatz (Efklides, 2011).

Demnach evaluieren sie vermehrt ihr Verständnis von Aufgaben. Dabei ermöglichen ihnen metakognitive Maße, eine intensivere Auseinandersetzung mit den Aufgaben.

4. Diskussion

Die Ergebnisse dieser Trainingsstudie, in dem mathematische Strategien und metakognitives Verhalten kombiniert wurden, reihen sich gut in die Forschungslage ein.

4.3 Trainingseffekt auf Emotionen

Wie in der Hypothese 2 zu Emotionswirkung formuliert, soll das metakognitive Training zu einer Erhöhung der positiven Emotionen und einer Verringerung der negativen Emotionen führen.

Diese Hypothese konnte für die Emotionen Freude, Stolz und für die negative Emotion der Hoffnungslosigkeit bestätigt werden. Das Training führte zu einer Steigerung von Freude und Stolz sowie zu einer Abnahme der Hoffnungslosigkeit.

Die begleitenden Emotionen wurden in dieser Studie für die TG, sowie für die KG vor, während und nach der Bearbeitung der Mathematikaufgaben erhoben, jeweils zu t1 und t2.

Die Ergebnisse deuten auf einen Trainingseffekt der TG hin und unterstreicht damit die bereits vorhandenen Trainingsansätze, sowie Forschungsergebnisse. Demnach fördert metakognitive Aktivität bei Schüler/-innen zum einen ein tieferes Verständnis für die Aufgaben und Herausforderungen im Mathematikunterricht, sowie sie dadurch bewusster die Mittel der Bearbeitung der Aufgaben wählen. (Hacker et al. 2019), Auch der Erwerb neuer Strategien kann dadurch gefördert werden (Carr & Biddlecomb, 1998).

Zum anderen helfen Metakognitionen ein positiveres Selbstkonzept zu entwickeln, da der Schüler seine Fähigkeiten und Kompetenzen als positiv erlebt (Nagengast & Marsh, 2012). Metakognition dabei vor allem zu Anfang bei der Analyse des Problems sowie beim Interpretieren und Überprüfen von Ergebnissen scheint dabei zum Tragen zu (Verschaffel, 1999). Möglicherweise verhindert metakognitive Fähigkeit, dass Lernende die Bearbeitung von Aufgaben einfach Drauflosrechnen beginnen (Vermeer et al., 2000).

Da neben der kognitiven auch die emotionale Reflexion Lernprozesse fördern und auch blockieren kann (Siebert, 2001), erscheint der Befund inhaltlich und praktisch relevant.

Ein Training, wie es hier vorgenommen wurde, beeinflusst demnach die positiven Emotionen. Als ableitende Modelle sei an dieser Stelle auf das kognitiv-motivationale Mediationsmodell (Pekrun, 1992 b; Abb.8) verwiesen, welches den Einfluss von Emotionen auf Motivation und Volition, auf Lern- und Problemlösestrategien und auf die Verfügbarkeit kognitiver Ressourcen gut abbildet, sowie Bezug genommen wird auf das Kontroll-Wert-Modell (Control-Value- Model, CVT; Pekrun, 2006).

4. Diskussion

Dieses beschreibt die signifikante Rolle der Lernemotionen für die akademische Leistung. Emotionen werden dabei als möglicher Mediator zwischen Lernschwierigkeiten und Leistung genannt (Pekrun, 2006). Der Zusammenhang zwischen dem Glauben an die eigenen Fähigkeiten und Emotionen wird dabei wesentlich herausgestellt.

Studien zur Rolle von Emotionen in Leistungssituationen heben Zusammenhänge zwischen Emotionen und verschiedenen Aspekten von Lernen, wie metakognitiver Strategien, intrinsischer, sowie extrinsischer Motivation und Leistung hervor (Efklides & Petkaki, 2005).

Pekrun und Frenzel (2009), sowie Pekrun et al. (2014) stellen heraus, dass Leistungsempfindungen Leistungsergebnisse beeinflussen, indem sie Prozesssteuerung, als auch Selbstregulationsstrategien und Motivation unterstützen können, sowie Aufmerksamkeit und kognitive Ressourcen fördern können, aber auch hemmen können (Pekrun & Frenzel, 2009; Pekrun et al., 2014).

Titz (2001) stellte fest, dass die positiven Gefühle von Freude und Hoffnung positiv mit dem Einsatz von Strategien korreliert waren. Negative Gefühle wie Wut, Angst und Langeweile auf der anderen Seite waren negativ mit Strategien korreliert.

Die Abnahme der Emotion Hoffnungslosigkeit in der TG lässt annehmen, dass die wahrgenommene Kontrolle über Erfolg bei der Bearbeitung der Aufgaben hoch ist. Es ist auch entsprechend der Appraisal-Theorie (Lazarus, 1991) davon auszugehen, dass das emotionale Erleben durch metakognitive Erfahrungen und somit durch kognitive Zuschreibungen erlebt wird. Auch lassen sich die Ergebnisse dieser Studie in Ergebnisse von Di Leo, Muis, Singh & Psaradellis (2019) einordnen, die in Einklang stehen mit der Kontroll-Wert-Theorie (Pekrun, 2006) und weiteren Studien, die postulierten, dass positive Emotionen einen häufigeren Einsatz von metakognitiven Strategien und negative Emotionen einen geringeren Einsatz dieser Strategien vorhersagen (Azevedo & Strain, 2011; Murayama, Pekrun, Lichtenfeld & vom Hofe, 2013; Pekrun et al., 2010). González, Fernández & Paoloni (2016) replizierten die Erkenntnisse von Cleary und Zimmerman (2012), dass der Einsatz metakognitiver Strategien Angst minimiert und Hoffnung fördert.

In der vorliegenden Studie lässt die Erweiterung der positiven, aktivierenden Emotionen Freude und Stolz bei der Bearbeitung der Mathematikaufgaben nach dem Training den Schluss zu, dass es einen Zusammenhang zwischen Emotionen und Metakognitionen gibt und dadurch der emotionale Einfluss auf die metakognitiven Strategien erhöht wurde und diese als Mediator zwischen Aufgabenschwierigkeit und Leistungseinsatz fungieren.

4. Diskussion

Umgekehrt werden durch das Training und die damit einhergehende Erhöhung metakognitiver Fähigkeiten die positiven Emotionen erhöht und dadurch das Selbstwirksamkeitserleben erweitert. Nach Boekaerts, Pintrich & Zeidner (2000) korreliert wahrgenommene Selbstregulation signifikant positiv mit positiven Emotionen. Damit reihen sich die Ergebnisse dieser Studie in bestehende Untersuchungen.

4. 4 Trainingseffekt auf Herzrate

Nach Fahrenberg (2001) kann die Herzrate als Indikator für kognitive und emotionale Beanspruchung gesehen werden. Wird eine Person mit einem komplexen Problem oder einer Aufgabe konfrontiert, in der kognitive Ressourcen beansprucht werden, steigt die Herzrate im Vergleich zu einer weniger komplexen Ruhebedingung an.

Soll nun auf eine erhöhte mentale Beanspruchung einer Person mittels der Herzratenveränderungen geschlossen werden, so ist es notwendig die motorische Bewegungsaktivität zu berücksichtigen. Denn unter Alltagsbedingungen ist die größte Varianzquelle von Herzfrequenzänderungen die körperliche Bewegungsaktivität.

Über die Kontrolle der Bewegungsaktivität ist es nun möglich die nicht-metabolisch bedingte Herzfrequenz oder auch "Zusatzherzfrequenz" (*additional heart rate*) zu bestimmen. Dieses ist der Anteil der Herzfrequenz, der nicht durch körperliche Ursachen (hauptsächlich dynamische und statische Muskelaktivität und auch thermoregulatorische Effekte), sondern durch kognitive oder emotionale Beanspruchung bedingt ist (z.B. Wilhelm & Roth, 1996; Fahrenberg, Leonhart & Foerster, 2002).

Verändert sich die Herzrate einer Person zwischen zwei Situationen (z.B. bearbeiten leichter vs. schwieriger Mathematikaufgaben), während die motorische Aktivität unverändert bleibt, können parallel registrierte Verhaltens- oder Selbstberichtsdaten (z.B. zur Aufgabenschwierigkeit oder zum emotionalen Befinden) zur Erklärung der Herzratenveränderungen herangezogen werden. Anders ausgedrückt, eine Veränderung der Herzrate bei gleichbleibender Bewegungsaktivität kann als Ausdruck einer veränderten mentalen Beanspruchung betrachtet werden, wenn gleichzeitig Ratingdaten eine kognitive oder emotionale Änderung in der Beanspruchung indizieren.

In dieser Trainingsstudie wurde erwartet (vgl. Hypothese 3), dass sich durch das metakognitive Training die mentale Beanspruchung erhöht, die sich dann in einer erhöhten Herzrate während der Aufgabenbearbeitung widerspiegeln soll. Von einer Zunahme der Herzfrequenz wurde ausgegangen, da bei verbesserten metakognitiven Kompetenzen (durch das Training) von einer erhöhten Investition kognitiver Ressourcen in die Mathematikaufgabe

4. Diskussion

auszugehen ist, z.B. durch gesteigertes Interesse, gesteigerte Motivation oder allgemein durch metakognitiver Kontroll- und Selbstregulationsprozesse, die zusätzlich auftreten und noch nicht automatisiert wurden (Op't Eynde & Hannula, 2006; Cuisinier, Clavel, de Rosnay und Pons, 2010).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die Herzrate über den Trainingsverlauf ansteigt. Damit kann Hypothese 3 angenommen werden. In wieweit der Anstieg der Herzrate jedoch auf eine Veränderung der kognitiven Beanspruchung zurückzuführen ist, soll im Folgenden diskutiert werden.

Zwar steigt die Herzrate über den Trainingsverlauf an, die Variation in der Herzrate tritt jedoch nicht unabhängig von der Bewegungsaktivität auf. Wie die nachfolgenden Analyseschritte zeigen, ist insbesondere die verstärkte Bewegungsaktivität der Kontrollgruppe zum zweiten Messzeitpunkt verantwortlich. Andererseits ist möglich, dass ein kleinerer Varianzanteil im Anstieg der Herzrate durch andere Faktoren als die Bewegung hervorgerufen sein kann. In der Trainingsgruppe findet sich ein systematischer Anstieg positiver Emotionen wie Freude und Stolz und eine Reduktion der Hoffnungslosigkeit. Freude und Stolz sind lernbezogene positive Emotionen, die zu einer vermehrten Zuweisung kognitiver Ressourcen an die Aufgabe führen können (Pekrun, 2006). Die Verringerung negativer lernbezogener Emotionen kann dabei vice versa betrachtet werden, wobei die so freigesetzten Ressourcen dann in den Dienst der Aufgabe gestellt werden können (Meinhardt & Pekrun, 2003).

4.5 Explorative Analysen

4.5.1 Bewegungsaktivität

Die Bewegungsaktivität diene nicht nur als Kontrollvariable der Herzrate, für sich betrachtet diene sie ebenso als weiterer physiologischer Aktivierungsindikator. Die Befunde hierzu zeigen, dass die Bewegungsaktivität über den Trainingsverlauf zunimmt, wobei der Zuwachs für die Trainingsgruppe geringer ausfällt als für die Kontrollgruppe. Demnach ist die motorische Unruhe während der Aufgabenbearbeitung in der Trainingsgruppe vergleichsweise geringer, was bei vorsichtiger Interpretation den Schluss zulässt, dass die verbesserte metakognitive Kompetenz mit erhöhter Konzentration einhergeht. Diese Interpretation wird gestützt durch den Befund, dass eine Reizaufnahme mit verstärkter muskulärer Ruhigstellung einhergeht (Schandry, 1996).

Bezogen auf den Vergleich zwischen verschiedenen und mental unterschiedlich beanspruchenden Situationen, zeigt sich die Herzrate durchaus als zuverlässiger Indikator der mentalen Beanspruchung. Auf Basis der vorliegenden Daten kann hier gezeigt werden, dass

4. Diskussion

man die Herzrate zwischen einer Nachtbaseline, während die Schülerinnen und Schüler schlafen und einer Ruhephase im Wachzustand trennen kann. Dabei ist die Herzrate während der Ruhephase deutlich gegenüber der Nacht erhöht. Zudem steigt die Herzrate auch während der höher beanspruchenden Situationen (Aufgaben- bzw. Fragebogenbearbeitung) im Vergleich zu den inaktiveren Situationen (Ruhephase und Nacht) an.

In wieweit es sich hierbei nun um eine Zunahme der mentalen Beanspruchung handelt, oder um eine Zunahme der dynamischen und statischen Muskelaktivität, hängt von der Bewegungsaktivität ab. Die Befunde hierzu zeigen, dass die Bewegungsaktivität von Nacht zu Ruhe ansteigt, sich zwischen Ruhe und Fragebogenbearbeitung nicht unterscheidet. Jedoch sinkt die Bewegungsaktivität dann während der Aufgabenbearbeitung wieder ab. Schandry (1996) fand heraus, dass mit einer Reizaufnahme eine muskuläre Ruhigstellung einhergeht. Teilweise ist von einer entkoppelten Reaktionsweise zwischen kardiovaskulärem System und muskulärem System auszugehen. Ein Ansteigen der Bewegungswerte in der Ruhephase, kann als eine empfundene kognitive Entspannung im Gegensatz zu der Aufgabenbearbeitung betrachtet werden

In Zusammenhang mit der Herzrate, die sich ja zwischen Aufgaben- und Fragebogenbearbeitung nicht unterscheidet, bedeutet dieser Befund, dass während der Aufgabenbearbeitung anscheinend eine größere kognitive Beanspruchung vorliegt, als während der Fragebogenbearbeitung. Zusammengenommen zeigen die Befunde zum Vergleich verschiedener Situationen, dass mittels der Herzrate auch kognitive Beanspruchungsprozesse zuverlässig getrennt werden, wenn die Situationen deutlich unterschiedliche Beanspruchungen fordern.

4.5.2 Emotionen

Im Rahmen der explorativen Analysen wurden auch Zusammenhänge zwischen den erhobenen Emotionen und der Herzrate untersucht. Hier ergeben sich signifikante Korrelationen zwischen Herzrate und Angst sowie zwischen Herzrate und Hoffnungslosigkeit jeweils in moderater Höhe. Beide Korrelationen fallen dabei negativ aus. Eine Zunahme der Herzrate geht dabei mit einer Abnahme der Emotionsintensität einher.

Zunächst zeigt dieser Befund, dass auch hier im Zusammenhang mit Emotionen die Herzrate als ein valider Aktivierungsindikator betrachtet werden kann, da Korrelationen mit der selbstberichteten Emotionsintensität verzeichnet werden können. Etwas überraschend ist dieser Befund jedoch, da die Korrelationen in negativer Richtung auftreten und das für bei Emotionen gleichermaßen.

4. Diskussion

Nach Berking (2015) und Lazarus (1991) lassen sich Emotionen zu verschiedenen Grundthemen zuordnen (vgl. Kuhbandner & Frenzel, 2019). Angst stellt eine aktivierende Emotion dar und geht mit der Vorbereitung des Organismus auf Flucht einher. Dieser Prozess sollte sich dann in einer erhöhten Herzrate zeigen. Andererseits steht Angst mit einer erhöhten Aufmerksamkeitszuwendung auf die Situation in Zusammenhang, was wiederum zu einer Herzratendezeleration führen kann (Schandry, 1988). Hoffnungslosigkeit stellt andererseits eine inaktivierende Emotion dar und sollte daher von einer verringerten Herzfrequenz begleitet werden, da hier kein Fluchtverhalten mit starker motorischer Aktivierung vorbereitet wird. Andererseits werden bei Hoffnungslosigkeit auch mentale Prozesse aktiviert, die helfen, eine Neuorientierung anzustreben. Dabei ist davon auszugehen, dass auch dieser Prozess ressourcenfordernd abläuft. Bezogen auf die vorliegenden Befunde würden dann bei Angst und bei Hoffnungslosigkeit kognitive Prozesse wie Aufmerksamkeitszuwendung und Neuorientierung die Varianzquelle der Herzratendezeleration beschreiben.

Zusätzlich soll hier noch eine alternative und ergänzende Erklärung erläutert werden, welche die Herzratendezeleration für beide Emotionen plausibel macht. Das Absinken der Herzrate bei Angst und Hoffnungslosigkeit könnte auch direkt im Zusammenhang mit der Ressourcenzuteilung während der Bearbeitung der Rechenaufgaben stehen. Dabei sei vorausgeschickt, dass die Herztätigkeit ja während der Bearbeitung der Rechenaufgaben gemessen wurde. Bei vorsichtiger Interpretation könnte die Herzratendezeleration, die mit beiden Emotionen verbunden ist, mit der verringerten Zuweisung von Verarbeitungsressourcen an die Rechenaufgabe verbunden sein. Diese Überlegung ist komptibel mit der Kontroll-Wert Theorie der Leistungsemotionen von Pekrun (2006). Daraus lässt sich ableiten, dass Angst, wie auch Hoffnungslosigkeit mit Leistungseinbußen einhergehen können, die u.a. durch die Zuweisung oder den Abzug kognitiver Ressourcen bedingt sein können. Welche der hier vorgestellten Ideen zur Erklärung der emotionskorrelierten Herzratendezeleration tragfähig ist, muss abschließend durch weitere Studien geklärt werden.

4.6 Limitierung der Studie

Metakognitionen werden in der vorliegenden Untersuchung über Fragebogen ermittelt. Als wesentliche Aspekte wurden Items zur Planung, Regulation und Reflektion abgefragt.

Eine klare Limitierung dieser Studie stellt die doch noch recht grobe Erfassung der Metakognitionen dar. Es wäre interessant, noch weitere Komponenten der Metakognition zu messen wie Personenvariablen, z.B. die Fähigkeitsselbsteinschätzung, sowie trait Variablen

4. Diskussion

zusätzlich untersucht werden sollten. Diese könnten dann mit den state Emotionen verglichen werden. Eine weiterführende Datenerhebung der Motivation könnte vertieften Aufschluss über den Zusammenhang mit Emotionen geben.

Items zu Begabungsfaktoren (Intelligenz) und Interesse könnten zusätzliche Einflussfaktoren auf Leistung abbilden.

Zu bedenken gilt, dass das Abfragen von Selbsteinschätzungen und subjektive Rekonstruktionen der eigenen Befindlichkeiten durchaus anfällig für bewusste oder unbewusste Verzerrungen sein können. Es stellt sich generell die Frage, wie sehr die Schüler im Sinne der sozialen Erwünschtheit bezüglich ihrer Metakognitionen und Emotionen antworten. Hier könnte eine explizite Messung zur sozialen Erwünschtheit Aufschluss geben. Korrelative Untersuchungen zwischen Metakognitionen, Emotionen und Herzratenvariabilität, könnten vertiefte Befunde hinsichtlich der kognitiven Belastung geben. Eine Erhebung der Auswirkung auf die Mathematiknoten und damit einer veränderten Leistungsfähigkeit durch metakognitives Training würde sich im Verlauf anbieten.

4.6.1 Implikationen für zukünftige Forschung

Aufbauend auf den oben geschilderten Limitationen ergeben sich einige Implikationen für zukünftige Forschungsarbeiten. Um exakte Aussagen über die Veränderung des Verhältnisses von Metakognition, Emotionen und physiologischen Maßen machen zu können, sind Längsschnittstudien über mehrere Schuljahre hinweg und die Erhebung von Daten zu mehreren Zeitpunkten erforderlich, da dadurch Effekte, insbesondere Veränderungsmuster, präziser erkennbar sind (Singer & Willet, 2003).

Um die Konstrukte Metakognition und Emotion genauer messen zu können, könnten neben Fragebögen auch Mehrfachbeobachtungsansätze (Reisenzein, Junge, Studtmann & Huber, 2014), Instrumente aus den Neurowissenschaften (Immordino-Yang & Christodoulou, 2014) oder Think-Aloud-Protokolle zum Einsatz kommen, um in Echtzeit ein präziseres Bild der metakognitiven Prozesse und Emotionen zu erhalten (Di Leo et al., 2019). In Kombination dazu könnten Videoanalyseverfahren und Interviews mit den Schülern durchgeführt werden, wie es bei Daher, Anabousy & Jabarin (2018) bereits gemacht wurde, oder Tagebucheinträge sowie Audios einbezogen wurden (Bellocchi & Ritchie, 2015).

4.6.2 Implikationen für den Mathematikunterricht - Lehrkräfte

Die Studie belegt ein gutes Ergebnis durch ein metakognitives Training, das es nur wenige Stunden dauert und sich dennoch als effektiv erwiesen hat.

4. Diskussion

Sogar Lehrkräfte können es im regulären Unterricht durchführen, da es keine großen, zeitlichen Ressourcen in Anspruch nimmt. Die metakognitive Kompetenz der Schüler wird dadurch verbessert. Es wirkt auf der Ebene der Emotionen Freude, Stolz, Hoffnungslosigkeit. Die Effektstärke (0.755) hat sich als gut erwiesen.

Es müsste sich noch erweisen, wie man das Training auch an andere LK vermitteln kann, die es dann an ihre Schüler weitervermitteln. Dazu müsste man noch Erfahrungen sammeln.

Im Mathematikunterricht sollten Lehrkräfte besondere Aufmerksamkeit auf die intrinsische Motivation der Schüler bezüglich mathematischen Lernens legen. Nach den Theorien zum selbstregulierten Lernen, verbessert das Wissen über relevante metakognitive Strategien das Verständnis nur dann, wenn die Lernenden auch motiviert sind, diese Strategien zu nutzen (Maier & Richter, 2014). Motivation gilt dabei als eine mögliche Mediatorvariable, zum einen auf Metakognitionen, sowie von Emotionen auf Motivation (Trigueros, Aguilar-Parra, Lopez-Liria, Cangas, González, & Álvarez, 2020).

Für den Unterricht wären metakognitive Anleitungen hilfreich für Schüler, Arbeitsprozesse zu strukturieren und bewusster an Aufgaben heranzugehen und zu reflektieren.

Um die Forschungslage vorliegender Ergebnisse zu vertiefen, sind sich anschließende Studien nötig, in denen das Training zeitlich erweitert werden sollte, sowie weitere Klassenstufen in den Blick genommen werden könnten.

4.6.3 Fazit und Ausblick

In dieser Untersuchung wurde die Bedeutung metakognitiver Kompetenzen und emotionalem Erleben, sowie physiologischer Reaktivität im schulischen Prüfungskontext verdeutlicht. Mittels der Methode des Ambulanten Assessment konnte aufgezeigt werden, dass Schüler während der Bearbeitung von Mathematikaufgaben nicht nur emotional-kognitiver, sondern auch physiologischer Beanspruchung ausgesetzt sind.

Für die vorliegende Studie wurde die Altersgruppe der 8. Jahrgangsstufe gewählt, da die Entwicklung der metakognitiven Fähigkeiten in diesem Alterszeitraum zwar meist noch nicht abgeschlossen, aber doch schon sehr weit fortgeschritten ist (Schneider, 2010).

Die Ergebnisse der Studien implizieren insgesamt, dass sowohl eine Förderung von metakognitiven Strategien, als auch die Kontrolle und Regulation des Schwierigkeits- oder Erfolgsgefühls sinnvolle schulische Inhalte darstellen sollten.

4. Diskussion

Da das Lösen mathematischer Probleme ist einer der zentralen und schwierigen Aspekte des Unterrichts (Verschaffel, Greer, & De Corte, 2000) ist, kann hier als ein wesentlicher Ansatz für Unterricht, das metakognitive Training gesehen werden.

Um mathematische Aufgaben zu lösen, sind metakognitive Fähigkeiten nötig (Efklides, 2001,2006,2011). Metakognitionen befähigen die Lernenden zur Planung von Prozessen, Lernressourcen zu planen und zuzuordnen, ihren eigenen Wissens- und Fähigkeitsstand zu überwachen und ihren eigenen Lernstand zu verschiedenen Zeitpunkten des Lernerwerbs zu bewerten. (Flavell, Miller & Miller, 2002).

Da Schüler oft kognitive und metakognitive Schwierigkeiten beim Lösen mathematischer Aufgaben haben, entwickeln sie aufgrund dessen häufig negative Emotionen und zeigen geringe Motivation, die ihre Bemühungen, Aufgaben zu lösen, oft behindern (Kramarski, Weiss, & Kololshi-Minsker, 2010).

Für das metakognitive Wissen im Bereich Mathematik stellen die hier dargestellten Ergebnisse des Trainings eine Brücke zu den bereits nachgewiesenen Ergebnissen, besonders für Siebt- und Achtklässler (Roeschl-Heils, Schneider & van Kraayenoord, 2003) dar.

Unter Betrachtung vorliegender Ergebnisse: der Zunahme metkognitiver Fähigkeiten der Zunahme der Emotionen Stolz und Freude, und der erhöhten Herzfrequenz zu t2, kann von einer Interdependenz der Metakognitionen, Emotionen und der Herzrate ausgegangen werden. Metakognitive Fähigkeiten nehmen Einfluss auf Emotionen und umgekehrt. Eine Beeinflussung der HR durch emotionale Befindlichkeit, im Sinne von Selbstwirksamkeitserleben durch Erhöhung der Metakognitionen und Erhöhung der positiven Emotionen, sowie Reduzierung der negativen Emotion, kann als Erfolg des Trainings abgeleitet werden.

Durch die Erhöhung der Metakognitionen durch das Training, kann für die TG eine verringerte intrinsische kognitive Belastung abgeleitet werden (Sweller, 2010), sowie eine erhöhte Fähigkeit der Selbstregulation angenommen werden kann.

Durch die Erweiterung der positiven Emotionen Freude und Stolz in der TG zu t2 (siehe kann eine erhöhte Motivation, Aufgaben bewältigen zu können, abgeleitet werden und führen zu vermehrter Anwendung von Metakognitionen.

Damit unterstützen die Ergebnisse vorliegender Studie das Modell von Efklides (*MASRL*, 2011), das besagt, dass metakognitives Wissen, Fähigkeiten und Motivation miteinander verbunden sind und sich im Bereich der Mathematik gegenseitig beeinflussen (Efklides, 2011).

4. Diskussion

Die Arbeit hat versucht, eine integrierte Perspektive der Verminderung kognitiver Belastung (CLT) und des selbstregulierten Lernens durch das metakognitive Training zu schaffen.

Ausblick

Im Zuge der schulischen curricularen Entwicklung ist eine intensivere Förderung eines Strategierepertoires zur Bewältigung mathematischer Anforderungen, sowie eine Förderung hin zur effektiven Auswahl, Überwachung und Regulation dieser Strategien sinnvoll. Eine konstante Einbindung metakognitiver Maße in das unterrichtliche Geschehen ermöglicht das Gefühl von Selbstwirksamkeit und damit einer erhöhten intrinsischen Motivation. Besonders in Bezug auf die intrinsische Belastung sollte ein zusätzlicher Schwerpunkt auf die Unterstützung der Lernenden bei der effektiven Bewältigung der Informationsverarbeitung gelegt werden.

Das Forschungsinteresse sollte in Zukunft vermehrt auf die Entwicklung geeigneter metakognitiver, emotionaler und physiologischer Bewältigungsstrategien für den Umgang mit Prüfungssituationen gerichtet werden. Einen besonderen Blick möchte ich auf die Inklusion und auf Differenzierungsmaßnahmen im Unterricht werfen. Besonders in diesem Bereich scheint mir eine metakognitive Anleitung äußerst unterstützend.

Schließlich ist eine physiologische Adaption, wie bereits in verschiedensten Untersuchungen gezeigt wurde (u.a. Spangler, 2000; Spangler, Pekrun & Kramer, 2002), eine zentrale Komponente für die Bewältigung von Prüfungssituationen.

Dabei sollte der Aspekt langfristiger gesundheitlicher Probleme bei all zu starker physiologischer Reaktivität nicht außer Acht gelassen werden. Schüler, die bereits in unteren Schulklassen mit einer erhöhten mentalen Beanspruchung während einer Prüfungssituation konfrontiert sind, entwickeln ungünstige Einstellungen und Strategien im Umgang mit Leistungssituationen.

Um Beanspruchung in schulischen Prüfungssituationen objektiv und ohne zeitliche Verzögerung zu erfassen, sowie alltagsbezogene Konzepte praktischer Relevanz zu entwickeln, sollten vermehrt portable Microcomputer und Messsysteme im Forschungsprozess eingesetzt werden, da diese letztlich die einzigen Methoden sind, welche die tatsächliche physiologische Beanspruchung widerspiegeln.

Das Erheben psychologischer und physiologischer Maße ist bisher kaum im schulischen Kontext an Schülern in der unmittelbaren Situation untersucht worden. Damit gehört diese Studie über Metakognitionen und insbesondere das Training metakognitiver Maße, sowie das

4. Diskussion

emotionale Erleben und die physiologische Reaktivität im schulischen Prüfungskontext zu den Pionierstudien im Bereich des Ambulanten Assessment.

Erst durch ambulante Messmethoden ist eine direkte, objektive Abbildung stressbehafteter Situationen möglich.

Obwohl die Studie einen geringen zeitlichen Aufwand hatte, zeigt sich dennoch ein bemerkenswerter Effekt der Trainingsgruppe.

Literaturverzeichnis

- Aelterman, N., & Vansteenkiste, M. (2023). Need-supportive and need- thwarting socialization: A circumplex approach. In *The Oxford handbook of self-determination theory* (pp. 236–257). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oxfordhob/9780197600047.013.21>
- Ahmed, W., Minnaert, A., Kuyper, H., & van der Werf, G. (2012). Reciprocal relationships between math self-concept and math anxiety. *Learning and Individual Differences*, 22, 385–389. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lindif.2011.12.004>
- Andersen, L., & Cross, T. L. (2014). Are students with high ability in math more motivated in math and science than other students? *Roeper Review*, 36, 221–234.
doi:10.1080/02783193.2014.945221
- Appelhans, B. M., and Luecken, L. J. (2006). Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. *Rev. Gen. Psychol.* 10, 229–240. doi: 10.1037/1089-2680.10.3.229
- Artelt, C. (2000). *Strategisches Lernen*. Münster: Waxmann
- Artelt, C. & Moschner, B. (2005). Lernstrategien und Metakognition. Implikationen für Forschung und Praxis-Einleitung. In C. Artelt, & B. Moschner (Hrsg.), *Lernstrategien und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis* (S.7-11). Münster: Waxmann.
- Artelt, C. & Schneider, W. (2015). Cross-Country Generalizability of the Role of Metacognitive Knowledge in Students' Strategy Use and Reading Competence. *Teachers College Record*, Volume 117, Issue 1
<https://doi.org/10.1177/016146811511700104>
- Artelt, C. & Stanat, P. (2008). Internationale Schulleistungsvergleiche. In W.Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 313-323). Göttingen: Hogrefe.
- Artelt, C., Demmrich, A. & Baumert, J. (2001). Selbstreguliertes Lernen. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, P. Stanat, K.-J. Tillmann & M. Weiß (Hrsg.), *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 271-298). Opladen: Leske + Budrich.
- Artelt, C., Baumert, J., & McElvany, N. (2003). *Selbstreguliertes Lernen: Motivation und Strategien in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland*. In PISA 2000 - Ein

- differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland (pp. 131-164). VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- Ashcraft, M. H. (2002). Math anxiety: Personal, educational, and cognitive consequences. *Current Directions in Psychological Science*, 11, 181–185.
- Ashcraft, M.H., Kirk, E.P. (2001). The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 224–237.
- Ashcraft, M. H., & Krause, J. A. (2007). Working memory, math performance, and math anxiety. *Psychonomic Bulletin and Review*, 14, 243–248. <https://doi.org/10.3758/BF03194059>
- Ashman, G., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2020). Problem-solving or explicit instruction: Which should go first when element interactivity is high? *Educational Psychology Review*, 32(1), 229–247. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09500-5>
- Azevedo, R., & Strain, A.C. (2011). Integrating cognitive, metacognitive and affective regulatory processes with MetaTutor. In R.A. Calvo, & S.K. D’Mello (Eds.), *New Perspectives on Affect and Learning Technologies* (pp. 141-154). Amsterdam: Springer.
- Bandura, A. (1982). Self-efficacy mechanism in human agency. *American psychologist*, 37(2), 122–147. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.37.2.122>
- Bandura, A. (1989a). Human agency in social cognitive theory. *Am. Psychol.* 44, 1175– 184. doi: 10.1037/0003-066X.44.9.1175
- Bandura, A. (1989b). Regulation of cognitive processes through perceived self-efficacy. *Dev. Psychol.* 25, 729–735. doi: 10.1037/0012-1649.25.5.729
- Bandura, A. (1993). Perceived self-efficacy in cognitive development and functioning. *Educational Psychologist*, 28 (2), 117–14. https://doi.org/10.1207/s15326985ep2802_3
- Bandura, A. (2003). *Self efficacy : The exercise of control* (6.printing ed.). New York: Freeman
- Bannert, M. (2007). *Metakognition beim Lernen mit Hypermedien. Erfassung, Beschreibung und Vermittlung wirksamer metakognitiver Strategien und Regulationsaktivitäten. Münster: Waxmann.*
- Barnes, V. A., Davis, H., and Treiber, F. A. (2007). Perceived stress, heart rate and blood pressure among adolescents with family members deployed in Operation Iraqi Freedom. *Mil. Med.* 172, 40–43. doi:0.7205 /milmed.172.1.40.biopsycho.2010.03.010

- Baumert, J., & Koller, O. (1996). Lernstrategien und schulische Leistungen. In J. Moller (Ed.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung* (pp. 137–154). Weinheim: Beltz.
- Baumeister, RF, Vohs, KD, Funder, DC (2007): Psychology as the science of selfreports and fingermovements: Whatever happened to actual behavior? *Perspectives on Psychological Science*, 2: 396-403 (2007).
- Beck, E., Guldemann, T., & Zutavern, M. (Hrsg.). (1996). *Eigenständig lernen*. St.Gallen, Konstanz: Universitätsverlag Konstanz.
- Bellocchi, A., & Ritchie, S.M. (2015). “I was proud of myself that I didn’t give up and did it”: Experiences of pride and triumph in learning sciences. *Science Education*, 99(4), 638-668.
- Bellhäuser, H., & Schmitz, B. (2013). Förderung selbstregulierten Lernens für Studierende in *of Social and Clinical Psychology*, 28(7), mathematischen Vorkursen: ein Web-Based-Training (WBT). In I. Bausch, R. Biehler, R. Bruder, P. R. Fischer, R. Hochmuth, W. Koepf, S. Schreiber & h.Wassong (Hrsg.), *Mathematische Vor- und Brückenkurse: Konzepte, Probleme und Perspektiven* (S. 343–358). Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Baird, G. L., Scott, W. D., Dearing, E., & Hamill, S. K. (2009). Cognitive self-regulation in youth with and without learning disabilities: Academic self-efficacy, theories of intelligence, learning vs. performance goal preferences, and effort attributions. *Journal* 881–908. <https://doi.org/10.1521/jscp.2009.28.7.881>
- Berk, L.E. (2003). *Child development*. Boston, MA: Allyn and Bacon.
- Berking, M. (2015). *Training emotionaler Kompetenzen*. Berlin: Springer.
- Blankstein, K.R., Flett, G.L. and Watson, M.S. (1992). Coping and academic problem-solving ability in test anxiety. *Journal of Clinical Psychology*, 48, 37–46.
- Blix, A.S., Stromme, S.B., Ursin, H., 1974. Additional heart rate -an indicator of psychological activation. *Aerospace Medicine* 45, 1219–1222.
- Blum, W. (2015). Quality teaching of mathematical modelling: What do we know, what can we do? In S. J. Cho (Hrsg.), *The proceedings of the 12th international congress on mathematical education* (S. 73-96). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12688-3_9
- Boekaerts, M. (1987). Situation-specific judgments of a learning task versus overall measures of motivational orientation. In E. De Corte, H. Lodewijks, & R. Parmentier (Eds.), *Learning & instruction: European research in an international context, Vol. 1*, pp. 169–179). Pergamon Press.

- Boekaerts, M. (1996). Self-regulated learning at the junction of cognition and motivation. *European Psychologist*, 1, 100–112.
- Boekaerts, M. (1999). Metacognitive experiences and motivational state as aspects of self-awareness. Review and discussion. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 571–584.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31, 445–457.
- Boekaerts, M. (2002). Bringing about change in the classroom: Strengths and weaknesses of the selfregulated learning approach— EARLI Presidential Address, 2001. *Learning and Instruction*, 12 (6), 589–604.
- Boekaerts, M. (2007). Understanding Students' Affective Processes in the Classroom. In P. Schutz, R. Pekrun, & G. Phye (Eds), *Emotion in Education* (pp. 37-56). San Diego, CA: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012372545-5/50004-6>
- Boekaerts, M., & Corno, L. (2005). Self-regulation in the classroom: A perspective on assessment and intervention. *Applied Psychology: An International Review*, 54(2), 199–231.
- Boekaerts, M., & Niemivirta, M. (2000). Self-Regulated learning: Finding a balance between learning goals and ego-protective goals. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of Self-Regulation* (pp. 417–451). San Diego, CA: Academic Press.
- Boekaerts, M., Pintrich, P.R., Zeidner, M. (2000). *Self Regulation*. San Diego: Academic Press.
- Bong, M., & Skaalvik, E. M. (2003). Academic self-concept and self-efficacy: how different are they really? *Educational Psychology Review*, 15 (1), 140.
- Bonneville-Roussy, A., Evans, P., Verner-Filion, J., Vallerand, R. J., & Bouffard, T. (2017). Motivation and coping with the stress of assessment: Gender differences in outcomes for university students. *Contemporary Educational Psychology*, 48, 28–42.
<https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.08.003>
- Borkowski, J. G. & Muthukrishna, N. (1992). Moving metacognition into classroom: "Working models" and effective strategy teaching. In M. Pressley, K. R. Harris & J. T. Guthrie (Hrsg.), *Promoting academic literacy: Cognitive research and instructional innovation* (S. 477-501). Orlando, FL: Academic Press
- Borkowski, J., Chan, L. Muthukrishna, N. (2000) A process-oriented model of metacognition. Links between motivation and executive functioning. In Schraw, G., Impara, J. (Hrsg.)

- Issues in the Measurement of Metacognition. Lincoln, NE: Buros Institute of Mental Measurement, S.1-41.
- Bouffard, T., & Vezeau, C. (2010). Intention d'apprendre, motivation et apprentissage autorégulé: Le rôle de la perception de compétence et des émotions. In M. Crahay, & M. Dutrèvis (Eds.), *Psychologie des apprentissages scolaires*. Bruxelles: Editions De Boeck Université.
- Boyes, M. E., Carmody, T. M., Clarke, P. J. F., and Hasking, P. A. (2017). Emotional reactivity and perseveration: independent dimensions of trait positive and negative affectivity and differential associations with psychological distress. *Pers. Individ. Dif.* 105, 70–77. doi: 10.1016/j.paid.2016.09.025
- Bradley, M.M., Lang, P.J., (1994). Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *J. Behav. Ther. Exp. Psychiatry* 25 (1), 49–59
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001) Emotion and motivation Defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*, 1, 276–298. doi: 10.1016/s0735- 1097(00)00595-7
- Briggs, C. (2014). Mathematics: Self-Efficacy, Identity, and Achievement Among African American Males from the High School Longitudinal Study. Ed.D. Alabama State University, Montgomery, AL
- Brown, A. L. (1978). Knowing when, where, and how to remember: A problem of metacognition. In R. Glaser (Hrsg.), *Advances in instructional psychology*, Vol. 1 (S. 77–165). Hillsdale: Erlbaum.
- Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation and understanding* (pp. 65-116). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bryce, D., Whitebread, D., & Szucs, D. (2015). The relationships among executive functions, metacognitive skills and educational achievement in 5 and 7 year-old children. *Metacognition and Learning*, 10(2), 181-198. doi: 10.1007/s11409-014-9120-4
- Buhle, J. T., Silvers, J. A., Wager, T. D., Lopez, R., Onyemekwu, C., Kober, H., et al. (2014). Cognitive reappraisal of emotion: a meta-analysis of human neuroimaging studies. *Cereb. Cortex* 24, 2981–2990. doi: 10.1093/cercor/bht154
- Bussmann, H.B.J., Ebner-Priemer, U., Fahrenberg, J. (2009): Ambulatory behavior monitoring: Progress in measurement of activity, posture, and specific motion patterns in daily life. *European Psychologist* 14: 142-152 (2009).

- Camahalan, F. M. G. (2006). Effects of self-regulated learning on mathematics achievement of selected Southeast Asian children. *Journal of Instructional Psychology*, 33(3), 194–205.
- Carr, M. & Biddlecomb, B. (1998). Metacognition in mathematics from a constructivist perspective. In D. J. Hacker, J. Dunlosky & A. C. Graesser (Hrsg.), *Metacognition in educational theory and practice*, (S. 69-91). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Cattell, R. B., & Scheier, I. H. (1961). *The meaning and measurement of neuroticism and anxiety*. New York: Ronald Press.
- Cernea, D., Kerren, A., 2015. A survey of technologies on the rise for emotion- enhanced interaction. *J. Vis. Lang. Comput.* 31, 70–86.
- Chang, C., Metzger, C. D., Glover, G. H., Duyn, J. H., Heinze, H.-J., and Walter, M. (2013). Association between heart rate variability and fluctuations in resting-state functional connectivity. *Neuroimage* 68, 93–104. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.11.038
- Chang, C. C. (2018). Outdoor ubiquitous learning or indoor CAL? Achievement and different cognitive loads of college students. *Behav. Inform. Technol.* 37, 1–12.
- Chen, Y.-C. (2010). Sources of Mathematics Self-Efficacy and Predictors of Mathematics Achievement Among Seventh- and Eighth-Grade Taiwanese Students. Ph.D. University of Kentucky, Lexington, KY.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science* 13, 145– 182.
- Cleary, T.J., & Chen, P. (2009). Self –regulation, motivation, and math achievement in middle school: variations across grade level and math context. *Journal of School Psychology* , 47, 291-314. Doi:10.1016/j.jsp.2009.04.002
- Cleary, T. J., & Zimmerman, B. J. (2004). Self-regulation empowerment program: A school-based program to enhance self-regulated and self-motivated cycles of student learning. *Psychology in the Schools*, 41, 537–550.
- Coelho, C.M., Lipp, O.V., Marinovic, W., Wallis, G., Riek, S., (2010). Increased corticospinal excitability induced by unpleasant visual stimuli. *Neurosci. Lett.* 481(3), 135–138.
- Cohors-Fresenborg, E.; Kramer, S.; Pundsack, F.; Sijts, J. & Sommer, N. (2010): The role of metacognitive monitoring in explaining differences in mathematics achievement. *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 42(2), 231-244.

- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–185.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922>
- Crocker, P. R. E., Kowalski, K. C. & Graham, T. R. (1998) ‘Measurement of Coping Strategies in Sport’, in J. L. Duda (ed.) *Advances in Sport and Exercise Psychology Measurement*, pp. 149–64. Morgantown, WV: Fitness Information Technology.
- Cuisinier, F., Clavel, C., de Rosnay, M., & Pons, F. (2010). Emotional experiences at elementary school: theoretical and pragmatical issues. In F. Pons, M. de Rosnay, & P. A. Doudin (Eds.), *Emotions in research and practice* (pp. 175e201). Aalborg: Aalborg University Press.
- Cuisinier, F., Sanguin-Bruckert, C., Bruckert, J. P., & Clavel, C. (2010). Do emotions affect spelling performance in dictation? *L'annee psychologique*, 110, 3e48.
- Daher, W., Anabousy, A. & Jabarin, R. (2018). Metacognition, positioning and emotions in mathematical activities. *International Journal of Research in Education and Science (IJRES)*, 4(1), 292-303. DOI:10.21890/ijres.383184
- Dansereau, D.F. (1985). *Learning strategy research*. In J.W. Segal S.F. Chipman, & R. Glaser (Hrsg.), *Thinking and learning skills: Vol.1, Relating instruction to research*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Davidson, R. J. (2000). Affective style, psychopathology and resilience: brain mechanisms and plasticity. *Am. Psychol.* 55, 1196–1214. doi: 10.1037/0003- 066X.55.11.1196
- Davis, E. L., & Levine, L. J. (2013). Emotion regulation strategies that promote learning: reappraisal enhances children's memory for educational information. *Child Development*, 84, 361e374.
- De Bruin, A. B. H., & van Merriënboer, J. J. G. (2017). Bridging cognitive load and self-regulated learning research. *Learning and Instruction*, 52, 1–98.
- De Bruin, A. B. H., Roelle, J., Carpenter, S. K., Baars, M., & EFG-MRE. (2020). Synthesizing cognitive load and self-regulation theory: A theoretical framework and research agenda. *Educational Psychology Review*, 32(4), 903–915.
<https://doi.org/10.1007/s10648-020-09576>

- De Corte, E., & Masui, C. (2009). Design and evaluation of a learning environment for self-regulation strategies: an intervention study in Higher Education. In Z. M. Charlesworth, C. Evans, & E. Cools (Eds.), *Learning in higher education ' how style matters. Proceedings of the 14th Annual Conference of the European Learnin Styles Information Network (ELSIN XIV)* (pp. 172-183). Brno, Czech Republic: Tribun EU.
- De Corte, E., Depaepe, F., Op 't Eynde, P. & Verschaffel, L. (2011). Students' self-Regulation of emotions in mathematics: an analysis of meta-emotional knowledge and skills. *ZDM Mathematics Education*, 43, 483-495.
- Dermitzaki, I., Leondari, A., & Goudas, M. (2009). Relations between young students' strategic behaviours, domain-specific self-concept, and performance in a problem-solving situation. *Learning and Instruction*, 19, 144–157.
- Desmet, P., 2003. *Measuring emotion: development and application of an instrument to measure emotional responses to products*, pp. 111–123.
- Desoete, A. & De Craene, B. (2019). Metacognition and mathematics education: an overview. *ZDM Mathematics Education*, 51, 565-575.
- Desoete, A., Roeyers, H., & Buysse, A. (2001). Metacognition and mathematical problem solving in Grade 3. *Journal of Learning Disabilities*, 34, 435–449.
- Desoete, A., Roeyers, H., & De Clercq, A. (2003). Can offline metacognition enhance mathematical problem solving? *Journal of Educational Psychology*, 95, 188–200. doi:10.1037/0022-0663.95.1.188
- Desoete, A., and Roeyers, H. (2006). Metacognitive macroevaluations in mathematical problem solving. *Learn. Instr.* 16, 12–25. doi: 10.1016/j. learninstruc.2005.12.003
- Deutsches PISA-Konsortium. PISA 2012: Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland. Verfügbar unter doi:http://www.pisa.tum.de/fileadmin/w00bgi/www/Berichtband_und_Zusammenfassung_2012/PISA_EBook_ISBN3001.pdf
- Deutsches PISA- Konsortium: OECD (2023), PISA 2022 Results (Volume II): Learning During – and From – Disruption, PISA, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a97db61c-en>
- Dignath, C., & Büttner, G. (2008). Components of fostering self-regulated learning among students: a meta-analysis on intervention studies at primary and secondary school level. *Metacognition and Learning*, 3, 231–264.

- Dignath, C., Büttner, G., & Langfeldt, H. P. (2008). How can primary school students learn self-regulated learning strategies most effectively? A meta-analysis on self-regulation training programmes. *Educational Research Review*, 3, 101-129.
- Di Leo, I., Muis, K. R., Singh, C. A., & Psaradellis, C. (2019). Curiosity, confusion? Frustration! The role and sequencing of emotions during mathematics problem solving. *Contemporary Educational Psychology*, 58, 121-137.
- Dinsmore, D. L., Alexander, P. A. & Loughlin, S. M. (2008). Focusing the conceptual lens on metacognition, self-regulation, and self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20, 391-409.
- Dobkin, P. L., Treiber, F. A., & Tremblay, R. E. (2000). Cardiovascular reactivity in Adolescent boys of low socioeconomic status previously characterized as anxious, disruptive, anxious-disruptive or normal during childhood. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 69, 50–56. <http://dx.doi.org/10.1159/000012366>
- Dörrenbächer, L. & Perels, F. (2015). Modellierung und Förderung des selbstregulierten Lernens bei Studierenden unter Einbezug individueller Unterschiede. Kolloquiumsband der Graduiertenförderung der Hochschulen des Saarlandes (S. 23). URN: urn:nbn:de:bzs:291-scidok-59899
- Dunlosky, J., & Thiede, K. W. (2013). Four cornerstones of calibration research: why understanding students' judgments can improve their achievement. *Learning and Instruction*, 24, 58–61. doi:10.1016/j.learninstruc. 2012.05.002.
- Ebner- Priemer, U. (Hrsg.) (2006): *Ambulantes psychophysiologische Monitoring - neue Perspektiven und Anwendungen*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Ebner-Priemer, U. W., & Trull, T. J. (2009). *Ambulatory assessment – An innovative and promising approach for clinical psychology*. European Psychologist.
- Eder, F. (2007). *Das Befinden von Kindern und Jugendlichen in der österreichischen Schule. Befragung 2005*. Innsbruck: Studienverlag
- Edlinger, H. & Hascher, T. (2008). Von der Stimmungs- zur Unterrichtsforschung: Überlegungen zur Wirkung von Emotionen auf schulisches Lernen und Leisten. *Unterrichtswissenschaft* 36 (1), 55-70.
- Efklides, A. (2001). Metacognitive experiences in problem solving: Metacognition, motivation, and self-regulation. In A. Efklides, J. Kuhl, & R. M. Sorrentino (Eds.), *Trends and prospects in motivation research* (pp. 297–323). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

- Efklides, A. (2006). Metacognition and affect: what can metacognitive experiences tell us about the learning process? *Educational Research Review*, 1, 3e14.
- Efklides, A. (2008). Metacognition: defining its facets and levels of functioning in relation to self -regulation and co-regulation. *Eur. Psychol.* 13, 277–287. doi: 10.1027/1016-9040.13.4.277
- Efklides, A. (2011). Interactions of metacognition with motivation and affect in self-regulated learning: the MASRL model. *Educ. Psychol.* 46, 6–25. doi: 10.1080/00461520.2011.538645
- Efklides, A. (2014). How does metacognition contribute to the regulation of learning? An integrative approach. *Psihologijske Teme*, 23(1), 1–30.
- Efklides, A., & Dina, F. (2004). Feedback from one's self and others: Their effect on affect. *Hellenic Journal of Psychology*, 1, 179-202.
- Efklides, A., & Dina, F. (2007). Is mastery orientation always beneficial for learning? In F. Salili & R. Hoosain (Eds.), *Culture, motivation and learning: A multicultural perspective* (pp. 131–167). Greenwich, CT: Information Age.
- Efklides, A., & Petkaki, C. (2005). Effects of mood on students' metacognitive experiences. *Learning and Instruction*, 15, 415–431.
- Efklides, A., & Tsiora, A. (2002). Metacognitive experiences, self-concept, and self-regulation. *Psychologia: An International Journal of Psychology in the Orient*, 45, 222–236.
- Efklides, A., & Vlachopoulos, S. P. (2012). Measurement of metacognitive knowledge of self, task, and strategies in mathematics. *Eur. J. Psychol. Assess.* 28, 227–239. doi: 10.1027/1015-5759/a000145
- Efklides, A. & Volet, S. (2005). Emotional experiences during learning: Multiple, situated and dynamic. *Learning and Instruction*, 15 (5), 377–380.
- Efklides A, Volet S., (2005) Feelings and emotions in the learning process. *Learn Instr* 15: 377–515.
- Efklides, A., Samara, A., & Petropoulou, M. (1999). Feelling of difficulty: An aspect of monitoring that influences control. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 461–476.
- Efklides, A., Kourkoulou, A., Mitsiou, F. & Ziliaskopoulou, D. (2006). Metacognitive knowledge of effort, personality factors, and mood state: Their relationships with effort- related metacognitive experiences. *Metacognition and Learning*, 1 (1), 33–49.

- Efklides, A. , Kourkoulou, A., Mitsiou ,F.,& Ziliaskopoulou, D.(2006).Effort regulation, effort perceptions,mood,and metacognitive experiences: What determines the estimate of effort expenditure ? *Metacognition and Learning* ,1, 33-49.
- Efklides, A., Papadaki, M., Papantoniou, G., & Kiosseoglou, G. (1998). Individual differences in school mathematics performance and feelings of difficulty: The effects of cognitive ability, affect, age, and gender. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 57–69.-
- Ekman, P., Levenson, R. W., & Friesen, W. V. (1983). Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 221, 1208–1210. doi: 0.1126/science.6612338
- Elliot, A. J., & Church, M. A. (1997). A hierarchical model of approach and avoidance achievement motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 72, 218–232.
- Elliot, A. J., & McGregor, H. A. (1999). Test anxiety and the hierarchical model of approach and avoidance achievement motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76, 628–644.
- Endler, N.S., Kantor, L. and Parker, J.D.A. (1994). State-trait coping, state-trait anxiety and academic performance. *Personality and Individual Differences*, 16, 663–670.
- Etkin, A., Büchel, C., and Gross, J. J. (2015). The neural bases of emotion regulation. *Nat. Rev. Neurosci.* 16, 693–700. doi: 10.1038/nrn4044
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and performance: The processing efficiency theory. *Cognition and Emotion*, 6, 409–434.
- Eysenck, M.W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory. *Emotion*, 7, 336– 353.
- Fabriz, S., Dignath-van Ewijk, C., Poarch, G. & Büttner, G. (2014). Fostering self- monitoring of university students by means of a standardized learning journal – a longitudinal study with process analyses. *European Journal of Psychology of Education*, 29, 239-255. <https://doi.org/10.1007/s10212-013-0196-z>
- Fahrenberg, J. (2001). Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie. In Rösler, F. (Hrsg.) *Enzyklopädie der Psychologie, Serie Biologische Psychologie, Band 4*. Göttingen: Hogrefe.
- Fahrenberg, J., Foerster, F (2002). Kontrolliertes und interaktives Blutdruck-Monitoring:m Neue Strategien und Ergebnissen Forschungsguppe Psychophysiologie- Psychologisches Institut Belfortstrasse 20 D-79085 Freiburg i. Br.

- Fahrenberg, J. & Myrtek, M. (2001): Ambulantes Monitoring und Assessment. In Rösler, F. (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich C Theorie und Forschung, Serie I: Biologische Psychologie, Band 4: Grundlagen und Methoden der Psychopathologie* (S. 657-798). Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Fahrenberg, J. & Myrtek, M. (2001b). Ambulantes Monitoring und Assessment. In: F. Rösler (Hrsg.). *Enzyklopädie der Psychologie. Serie Biologische Psychologie. Band 4: Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie* (pp. 657-798). Göttingen: Hogrefe.
- Fahrenberg, J., Heger, R., Foerster, F. & Müller, W. (1991). Differentielle Psychophysiologie von Befinden, Blutdruck und Herzfrequenz im Labor-Feld-Vergleich. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 12, 1-25.
- Fahrenberg, J., Myrtek, M., Pawlik, K., & Perrez, M. (2007): Ambulantes Assessment Verhalten im Alltagskontext erfassen. *Psychologische Rundschau*, 58 (1), 12-23.
- Feldon, D. F., Franco, J., Chao, J., Peugh, J., & Maahs-Fladung, C. (2018). Self-efficacy change associated with a cognitive load-based intervention in an undergraduate biology course. *Learning and Instruction*, 56, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.04.007>
- Flavell, J. H. (1971) First discussant's comments. What is memory development the development of . *Human Development* 14, 272-278.
- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence* (pp. 231-235). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, 906–911.
- Flavell, J. H. (1981). Cognitive monitoring. In W. P. Dickson (Hrsg.), *Children's oral communication skills* (S. 35–60). New York: Academic Press.
- Flavell, J. H., Miller, P. H. & Miller, S. A. (1993). *Cognitive development*. Englewood Cliffs: Prentice Hall
- Flavell, J.H., Miller, P. H. & Miller, S.A. (2002). *Cognitive development* (4th ed.) Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Flavell, J.H., & Wellmann, H.M. (1977). Metamemory. In R.V. Kail, & J.W. Hagen (Hrsg.) *Perspective on the development of memory and cognition* (S. 3-34) Hillsdale, New York: Erlbaum.

- Foerster, F. (2001). Assessment of posture, motion, and hand tremor by calibrated accelerometry. In M. Myrtek & J. Fahrenberg (Eds.), *Progress in ambulatory assessment* (pp. 233–256). Seattle: Hogrefe & Huber.
- Foerster, F., Myrtek, M. & Stemmler, G. (1993). Reactivity to multiple stressors: A course in synergism. *Journal of Psychophysiology*, 7, 115-124.
- Folkman, S., & Lazarus, R. S. (1985). If it changes it must be a process: Study of emotion and coping during three stages of a college examination. *Journal of Personality and Social Psychology*, 48(1), 150–170.
- Folkman, S., Lazarus, R. S., Dunkel-Schetter, C., DeLongis, A., & Gruen, R. J. (1986). Dynamics of a stressful encounter: Cognitive appraisal, coping, and encounter outcomes. *Journal of Personality and Social Psychology*, 50(5), 992–1003.
- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., and Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. *Rev. Educat. Res.* 74, 59–109. doi: 10.3102/00346543074001059
- Freedson PS, Miller K.(2000): *Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate*. Research Quarterly for Exercise and Sport 71: 21-29.
- Freer, E., & Evans, P. (2019). Choosing to study music in high school: Teacher support, psychological needs satisfaction, and elective music intentions. *Psychology of Music*, 47(6), 781–799. <https://doi.org/10.1177/0305735619864634>
- Frenzel, A. C., & Stephens, E. J. (2013). Emotions. In N. C. Hall & T. Goetz (Eds.), *Emotion, motivation, and selfregulation: A handbook for teachers* (pp. 1–56). Bingley, UK: Emerald.
- Frenzel, A. C., Pekrun, R., & Goetz, T. (2007). Girls and mathematics—a “hopeless” issue? A control-value approach to gender differences in emotions towards mathematics. *European Journal of Psychology of Education*, 22, 497–514.
- Frenzel, A., Götz, T., Pekrun, R. (2015). Emotionen. In Wild, E. Möller, J. (Hrsg.) *Pädagogische Psychologie* (2. Auflage). Berlin Heidelberg: Springer.
- Frenzel, A. C., Trash, T. M., Pekrun, R., & Goetz, T. (2007). Achievement emotions in Germany and China: A cross-cultural validation of the Academic Emotions Questionnaire-Mathematics. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 38, 302–309.
- Frenzel, A. C., Goetz, T., Lüdtke, O., Pekrun, R., & Sutton, R. (2009). Emotional transmission in the classroom: Exploring the relationship between teacher and student enjoyment. *Journal of Educational Psychology*, 101, 705–716.

- Friedrich, H.F., & Mandl, H. (1997). Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In F. E.Weinert & H. Mandl (Hrsg.) *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich D Praxisgebiete, Serie I Pädagogische Psychologie, Band 4 Psychologie der Erwachsenenbildung* (S.237-293). Göttingen: Hogrefe.
- Fries, E., Dettenborn, L., & Kirschbaum, C. (2009). The cortisol awakening response (CAR): Facts and future directions. *International journal of Psychophysiology*, 72(1), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.03.014>
- Fuchs, L. S. & Fuchs, D. (2002). Mathematical problem-solving profiles of students with mathematics disabilities with and without comorbid reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 35, 563-573.
- Fuchs, L.S., Fuchs, D., Prentice, K., Burch, M., Hamlett, C.L., Owen, R., & Schroeter, K. (2003). Enhancing third-grade students' mathematical problem solving with self-regulated learning strategies. *Journal of Educational Psychology*, 95, 306–315.
- Fullan, M., Quinn, J., and McEachen, J. (2018). *Deep learning: Engage the world change the world*. Thousand Oaks, CA: Corwin.
- Furrer, C. J., Skinner, E. A., and Pitzer, J. R. (2014). The influence of teacher and peer relationships on students' classroom engagement and everydaymotivational resilience. *Natl. Soc. Stud. Educat.* 113, 101–123.
- Gagnon, M-C. J., Durand-Bush, N., & Young, B. W. (2016). Self-regulation capacity is linked to wellbeing and burnout in physicians and medical students: Implications for nurturing self-help skills. *International Journal of Wellbeing*, 6(1), 101-116. doi:10.5502/ijw.v6i1.425
- Galy, E., Cariou, M., and Mélan, C. (2012). What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types? *Int. J. Psychophysiol.* 83, 269–275. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.09.023
- Geisler, F. C. M., & Kubiak, T. (2009). Heart rate variability predicts self-control in goal pursuit. *European Journal of Personality*, 23, 623–633.
- Georghiades, P. (2004). From the general to the situated: three decades of metacognition *International Journal of Science Education*, 26(3), 365e383.
- Glaser, C., & Brunstein, J.C. (2007). Improving fourth-grade students' composition skills: effects of strategy instruction and self-regulation procedures. *Journal of Educational Psychology*, 99, 297–310.

- Glaser, C. & Brunstein, J.C. (2007a). Improving fourth-grade student composition skills: Effects of strategy instruction and self-regulation procedures. *Journal of Educational Psychology*, 99, 297-310.
- Glaser, C. & Brunstein, J.C. (2007b). Förderung von Fertigkeiten zur Überarbeitung narrativer Texte bei Schülern der 6. Klasse: Effekte von Revisionsstrategien und selbstregulatorischen Prozeduren. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 21, 51-63.
- Glaser, C., Keßler, C. & Brunstein, J.C. (2009). Förderung selbstregulierten Schreibens bei Viertklässlern: Effekte auf strategiebezogene, holistische und subjektive Maße der Schreibkompetenz. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 5-18.
- Goel, V. & Vartanian, O. (2011). Negative emotions can attenuate the influence of beliefs on logical reasoning. *Cognition and Emotion*, 25 (1), 121-131.
- Gollwitzer, P.M., Fujita, K., & Oettingen, G. (2004). Planning and the implementation of goals. In R.F. Baumeister & K.D. Vohs. (Eds.). *Handbook of Self-Regulation* (pp. 211-228). New York: The Guilford Press.
- Gonzalez, A.M. (2013). *Six Principles of Self-Regulated Learning: Developing Self-Regulated Language Learners*. Retrieved from:
<https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5051&context=etd>
- González, A., Fernández, M., & Paoloni, P. (2016). Hope and anxiety in physics class: exploring their motivational antecedents and influence on metacognition and performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(5), 558–585.
- Goos, M. (2002). Understanding metacognitive failure. *Journal of Mathematical Behavior*, 21, 283–302. <https://doi.org/10.1002/tea.21377>
- Goswami, U. (2008). *Cognitive development—The learning brain* (2nd ed.). Hove, UK: Psychology Press.
- Götz, T. (2004). *Emotionales Erleben und selbstreguliertes Lernen bei Schülern im Fach Mathematik*. München: Utz.
- Götz, T., Frenzel, A., Pekrun, R., Hall, N. (2006): The Domain Specificity of Academic Emotional Experiences. *The Journal of Experimental Education*, 75(1), 5-29.
- Götz, T., Zirngibl, A., Pekrun, R. & Hall, N. (2003). Emotions, learning and achievement from an educational-psychological perspective. In P. Mayring & C. v. Rhoeneck (Eds.), *Learning emotions. The influence of affective factors on classroom learning* (pp. 9–28). Frankfurt am Main: Peter Lang.

- Götz, T., Bieg, M., Lüdtke, O., Pekrun, R., & Hall, N. C. (2013). Do girls really experience more anxiety in mathematics ? *Psychological Science*, 24(10), 2079–2087-01-212.
- Götz, T., Cronjaeger, H., Frenzel, A. C., Lüdtke, O., & Hall, N. (2010). Academic selfconcept and emotion relations: domain specificity and age effects. *Contemporary Educational Psychology*, 35, 44-58.
- Götz, T., Frenzel, A. C., Pekrun, R., Hall, N., Nathan, C., & Ludke, O. (2007). Between and within-domain relations of students' academic emotions. *Journal of Educational Psychology*, 99(4), 715–733.
- Götz, T., Pekrun, R., Zirngibl, A., Jullien, S., Kleine, M., Vom Hofe, R., & Blum, W. (2004): Leistung und emotionales Erleben im Fach Mathematik. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 18 (3/4), 2.
- Grieder, S. K. (2006). *Emotionen von Berufsschülern bei selbstreguliertem Lernen*. Eine Interventionsstudie (Dissertation, Universität Basel). Abgerufen von http://edoc.unibas.ch/451/1/DissB_7618.pdf
- Greulich, L., Al Otaiba, S., Schatschneider, C., Wanzek, J., Ortiz, M., & Wagner, R. K. 2014). understanding inadequate response to first-grade multi-tier intervention: Nomothetic and ideographic perspectives. *Learning Disability Quarterly*, 37(4), 204–217. doi:10.1177/0731948714526999
- Gross, J. J. (1999). Emotion regulation: past, present, future. *Cognition & Emotion*, 13, 551e573.
- Gross, J. J. (2002). Emotion regulation: affective, cognitive and social consequences. *Psychophysiology* 39, 281–291. doi: 10.1017/s0048577201393198
- Gross, J.J. (2007). *Handbook of Emotion Regulation*. New York: The Guilford Press.
- Gross, J.J. (Ed.).(2013). *Handbook of emotion regulation*. Guilford: New York.
- Gross, J. J., & John, O. P. (2003). Individual differences in two emotion regulation processes: Implications for affect, relationships, and well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85, 348–362.
- Gross, J. J., and Levenson, R. W. (1993). Emotional suppression: physiology, self-report and expressive behavior. *Journal of Pers. Soc. Psychol.* 64, 970–986. doi: 10.1037/0022-3514.64.6.970
- Gross, J. J., and Muñoz, R. F. (1995). Emotion regulation and mental health. *Clin. Psychol. Sci. Pract.* 2, 151–164.

- Gross, J. J. & Thompson, R. A. (2007). Emotion regulation: Conceptual foundations. In J. J. Gross (Hrsg.), *Handbook of emotion regulation* (S. 3–24). New York, NY: Guilford Press.
- Grossman, P., Wilhelm, F.H., Kawachi, I., Sparrow, D., (2001). Gender differences in psychophysiological responses to speech stress among older social phobics: congruence and incongruence between self-evaluative and cardiovascular reactions. *Psychosomatic Medicine* 63 (5), 765–777.
- Guldimann, T. (1996). *Eigenständiger Lernen durch metakognitive Bewusstheit und Erweiterung des kognitiven und metakognitiven Strategierepertoires*. Bern: Haupt-Verlag.
- Guldimann, T., & Lauth, G. W. (2004). *Förderung von Metakognition und strategischem Lernen*. In G. W. Lauth, M. Grünke, & J. C. Brunstein (Hrsg.), *Intervention bei Lernstörungen* (S. 176–186). Göttingen: Hogrefe.
- Gürtler, T., Perels, F., Schmitz, B. & Bruder, R. (2002). Training zur Förderung selbstregulativer Fähigkeiten in Kombination mit Problemlösen in Mathematik. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft*, 222-239.
- Haberkorn, K., Lockl, K., Pohl, S., Ebert, S., & Weinert, S. (2014). *Metacognitive knowledge in children at early elementary school*. Metacognition and Learning. doi: 10.1007/s11409-014-9115-1
- Hacker, D. J., Kihara, S. A. & Levin, J. R. (2019). A metacognitive intervention for teaching fractions to students with or at-risk for learning disabilities in mathematics. *ZDM Mathematics Education*, 51, 601-612
- Hagemann, D., Waldstein, S. R., & Thayer, J. F. (2003). Central and autonomic nervous system integration in emotion. *Brain and Cognition*, 52, 79–87. doi: 10.1016/S0278-2626(03) 00011-3
- Hagenauer, G. (2011). *Lernfreude in der Schule*. Münster: Waxmann.
- Hagenauer, G. & Hascher, T. (2011). Schulische Lernfreude in der Sekundarstufe 1 und deren Beziehung zu Kontroll- und Valenzkognitionen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 25, 63-80.

- Hajcak, G., and Nieuwenhuis, S. (2006). Reappraisal modulates the electrocortical response to unpleasant pictures. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 6, 291–297. doi: 10.3758/cabn.6.4.291
- Hakkarainen A. M., Holopainen L. K., Savolainen H. K. (2015). A five-year follow-up on the role of educational support in preventing dropout from upper secondary education in Finland. *Journal of Learning Disabilities*, 48(4), 408–421.
- Händel, M., Harder, B., & Dresel, M. (2020). Enhanced monitoring accuracy and test performance: Incremental Learning and Instruction. effects of judgment training over and above repeated testing. *Advance online publication*, 65, 101245. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101245>
- Händel, M., Lockl, K., Heydrich, J., Weinert, S. & Artelt, C. (2014) Assessment of metacognitive knowledge in students with special educational needs. *Metacognition and Learning*, 9 (3), 333-352. DOI: [10.1007/s11409-014-9119-x](https://doi.org/10.1007/s11409-014-9119-x)
- Harrer, K. (2012). Empirische Überprüfung des 3x2 Modells der Zielorientierungen und dessen Zusammenhang mit Lernfreude und Langeweile. Universität Wien. Diplomarbeit. <https://core.ac.uk/download/pdf/16427498.pdf>
- Hartman, H. J. (Hrsg.) (2001). *Neuropsychology and cognition: Vol. 19. Metacognition in learning and instruction: Theory, research and practice*. Dordrecht: Kluwer
- Hascher, T., Hagenauer, G. & Schaffer, A. (2011). Wohlbefinden in der Grundschule. *Erziehung und Unterricht*, 161 (3-4), 381-392.
- Hasselhorn, M. (1992). Metakognition und Lernen. In G. Nold (Hrsg.), *Lernbedingungen und Lernstrategie, welche Rolle spielen kognitive Verstehtungsstrukturen?* Tübingen: Narr 1992, (S.35-63). – Tübinger Beiträge zur Linguistik, 366.
- Hasselhorn, M. (1995). Individuelle Differenzen im Bereich des Lernens und des Gedächtnisses. In M. Amelang (Hrsg.), *Verhaltens- und Leistungsunterschiede* (S. 435-468). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M. (1996). *Kategoriales Organisieren bei Kindern. Zur Entwicklung einer Gedächtnisstrategie*. Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M. (2004). Individuelle Lernvoraussetzungen zwischen sechs und sechzehn Jahren: Allgemeine und differentielle Entwicklungsveränderungen. In C. Aeberli (Hrsg.) *Lehrmittel neu diskutiert* (s. 11-25). Zürich: Lehrmittelverlag des Kantons Zürich.

- Hasselhorn, M. (2006). Metakognition. In D.H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (3. Aufl., S.480-485). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Hasselhorn, M. (2008). Competencies for succesful learning: Developmental changes and constraints. In J. Hartig, E. Klieme & D. Leutner (Eds.), *Assessment of competencies in educational settings* (pp. 23-43). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M., & Artelt, C. (2018). Metakognition. In D.H. Rost, J.R. Sparfeldt, & S.R. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5. Aufl.) (S. 520-526). Weinheim: Beltz Verlagsgruppe.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2017). *Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren*. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Hasselhorn, M., Kunde, W., Schneider, S.(2017; Hrsg). *Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren*. Kohlhammer. Stuttgart.
- Hasselhorn, M., Labuhn, A.S. (2008). Metakognition und Selbstreguliertes Lernen. In Schneider, W. (Hrsg.); Hasselhorn, M.s (Hrsg.): *Handbuch der Pädagogischen Psychologie*. (S. 28-37). Göttingen u.a.: Hogrefe.
- Hasselhorn, M. & Mähler, C. (2000). Transfer: Theorien, Technologien und empirische Erfassung. In W. Hager, J.-L. Patry & H. Brezing (Hrsg.), *Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen* (86-101). Bern: Huber.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of meta-analyses relating to achievement*. London: Routledge.
- Heger, R. (1990). Apparative Datenerfassung in Feldstudien. *Diagnostica*, 36, 60-80.
- Helmke, A. (1993). Die Entwicklung der Lernfreude vom Kindergarten bis zur 5. Klassenstufe. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 7, 77-86.
- Helmke, A. (1993). Die Entwicklung der Lernfreude vom Kindergarten bis zur 5. Klassenstufe. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 7, 77-86.
- Hidayat, R., Zulnaida, H. & Syed Zamri, S. N. A. (2018). Roles of metacognition and achievement goals in mathematical modelling competency: A structural equation modelling analysis. *PLoS One*, 13(11), e0206211.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206211>
- Ho, H. -Z., Senturk, D., Lam, A. G., Zimmer, J. M., Hong, S., & Okamoto, Y. (2000). The affective and cognitive dimensions of math anxiety: A cross-national study. *Journal for Research in Mathematics Education*, 31, 362–379.
<http://dx.doi.org/10.2307/749811>.

- Hübner, S., Nückles, M., & Renkl, A. (2010). Writing learning journals: Instructional support to overcome learning-strategy deficits. *Learning and Instruction*, 20(1), 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.12.001>
- Hughes, C., Costley, J., and Lange, C. (2018). The effects of self-regulated learning and cognitive load on beginning to watch and completing video lectures at a cyber-university. *Interact. Technol. Smart Educat.* 15, 220–237. doi: 10.1108/itse-03-2018-0018
- Immordino-Yang, M.H., & Christodoulou, J.A. (2014). Neuroscientific contributions to understanding and measuring emotions in educational contexts. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink-García (Eds.), *International handbook of emotions in education* (pp. 607-624). New York: Routledge.
- Jang, H., Reeve, J., Ryan, R. M., & Kim, A. (2009). Can self-determination theory explain what underlies the productive, satisfying learning experiences of collectivistically oriented Korean students? *Journal of Educational Psychology*, 101(3), 644–661. <https://doi.org/10.1037/a0014241>
- Jerusalem, M. & Mittag, W. (1999). Selbstwirksamkeit, Bezugsnormen, Leistung und Wohlbefinden in der Schule. In M. Jerusalem & R. Pekrun (Hrsg.), *Emotion, Motivation und Leistung* (S. 221-245). Göttingen: Hogrefe.
- Johnson, E.S., Humphrey, M., Mellard, D.F., Woods, K. & Swanson H.L. (2010). Cognitive processing deficits and students with specific learning disabilities: A selective meta-analysis of the literature. *Learning Disability Quarterly*, Vol. 33, 3-18.
- Jong, M. S. Y., Lee, J. H. M., and Shang, J. J. (2013). “Educational use of computer game: Where we are and what’s next ?,” in *Reshaping learning: Frontiers of learning technology in a global context*, (eds K. R. Huang, and J. M. Spector, Heidelberg: Springer), 299–320. doi: 10.1007/978-3-642-32301-0_13
- Jong, M. S. Y., Chen, G. W., Tam, V., and Chai, C. S. (2019). Adoption of flipped learning in social humanities education: The FIBER experience in secondary schools. *Interact. Learn. Environ.* 27, 1222–1238. doi: 10.1080/10494820.2018.1561473
- Jungwirth, B. (2002). Information overload: The great opportunity. *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, 45(5), 90-91.
- Kaiser, A., Kaiser, R. (1999). *Metakognition, Denken und Problemlösen optimieren*. Neuwied: Luchterhand.

- Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory: How many types of load does it really need? *Educational Psychology Review*, 23(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9150-7>
- Kanfer, F.H., Reinecker, H. & Schmelzer, D. (2012, 5. Auflage). *Selbstmanagement Therapie*. Ein Lehrbuch für die klinische Praxis. Berlin: Springer.
- Kaplan, A., & Maehr, M. L. (1999). Achievement goals and student well-being. *Contemporary Educational Psychology*, 24, 330–358.
- Käppler, C., Brügger, G. & Fahrenberg, J. (2001). Pocketcomputer-unterstütztes Assessment mit MONITOR. *Zeitschrift für Differenzielle und Diagnostische Psychologie*, 22, 249–261.
- Karabenick, S. A., and Berger, J.-L. (2013). “Help seeking as a self-regulated learning strategy,” in *Applications of self-regulated learning across diverse disciplines: A tribute to Barry J. Zimmerman*, Ed Edn, eds T. J. C. H. Bembenutty, and A. Kitsantas, (Charlotte, NC: IAP), 237–261.
- Kario, K., Schwartz, J. E. & Pickering, T. G. (1999). Ambulatory physical activity as a determinant of diurnal blood pressure variation. *Hypertension*, 34, 685–691.
- Karmarck T.W., Muldoon M.F., Shiffman S., Sutton-Tyrrell, K., & Gwaltney, C. J. (2004). Experiences of demand and control in daily life as correlates of subclinical carotid atherosclerosis in a healthy older sample. *Health Psychology* 23, 24–32.
- Karmarck T.W., Muldoon M.F., Shiffman S. (2007). Experiences of demand and control during daily life are predictors of carotid atherosclerotic progression among healthy men. *Healthy Psychology* 26, 324–332.
- Kamarck, T.W., Shiffman, S.M., Smithline, L., Goodie, J.L., Thompson, H.S., Itmar, P.H.G., Jong, J.Y.K., Pro, V., Paty, J.A., Kassel, J.D., Gnys, M. & Perz, W. (1998). The diary of ambulatory behavioral states: A new approach to the assessment of psychosocial influences on ambulatory cardiovascular activity. In: D.S. Krantz & A. Baum (Eds.), *Technology and methods in behavioral medicine* (pp.163–193). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- King, R.B., Areepattamannil, Sh. (2014). What Students Feel in School Influences the Strategies They Use for Learning: Academic Emotions and Cognitive/Meta-Cognitive Strategies. *Journal of Pacific Rim Psychology*, Volume 8, Issue 1 pp. 18–27. C _ The Author(s), published by Cambridge University Press on behalf of Australian Academic Press Pty Ltd 2014.

- Kirschner, F., Kester, L., and Corbalan, G. (2011). Cognitive load theory and multimedia learning, task characteristics and learning engagement: The Current State of the Art. *Comput. Hum. Behav.* 27, 1–4. doi: 10.1016/j.chb.2010. 05.003
- Kistner, S., Rakoczy, K., Otto, B., Dignath-van Ewijk, C., Büttner, G., & Klieme, E. (2010). Promotion of selfregulated learning in classrooms: Investigating frequency, quality, and consequences for student performance. *Metacognition and Learning*, 5(2), 157–171.
- Kleinginna, P. R. & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, 5, 345-379.
- KMK. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik (2003). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Mittleren Schulabschluss (10. Jahrgangsstufe)*. Beschluss vom 4.12.2003 (Beschlüsse der Kultusministerkonferenz), Bonn.
- KMK. Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2016). *Bildung in der digitalen Welt*. Strategie der Kultusministerkonferenz (S. 10–19).
https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2016/Bildung_digitale_Welt_Webversion.pdf. Zugriffen: 05.02.2024
- Kohn, N., Eickhoff, S. B., Scheller, M., Laird, A. R., Fox, P. T., and Habel, U. (2014). Neural network of cognitive emotion regulation—an ALE meta-analysis and MACM analysis. *Neuroimage* 87, 345–355. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013. 11.001
- Koriat, A., & Levy - Sadot, R. (2001). The combined contributions of the cue familiarity and accessibility heuristics to feelings of knowing. *Journal of Experimental Psychology Learning, Memory and Cognition*, 27, 23-53.
- Koriat, A., Ma`ayan, H. & Nussison, R. (2006). The indicate relationship between monitoring and control in metacognition: Lessons for the cause and effect relation between subjective experience and behavior. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135, 36-69.
- Kong, Q. P., Wong, N. Y., and Lam, C. C. (2003). Student engagement in mathematics: Development of instrument and validation of construct. *Mathe. Educat. Res. J.* 15, 4–21. doi: 10.1007/bf03217366
- Kramarski, B. & Mevarech, Z.R. (2003). Enhancing mathematical reasoning in the classroom: The effects of cooperative learning and metacognitive training. *American Educational Research Journal*, 40(1), 281 – 310. <https://doi.org/10.3102/00028312040001281>

- Kramarski, B., Weiss, I., & Kololshi-Minsker, I. (2010). How can self-regulated learning (SRL) support problem solving of third-grade students with mathematics anxiety? *ZDM-The International Journal on Mathematics Education*, 42(2), 179–193.
- Krapp, A. (2005). Emotion und Lernen – Beiträge der Pädagogischen Psychologie. *Zeitschrift für Pädagogik*, , 603-609.
- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: a review. *Biol. Psychol.* 84, 394–421. doi: 10.1016/j
- Kreibig, S.D., & Gendolla, G.H.E. (2014). Autonomic nervous system measurement of emotion in education and achievement settings. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink-García (Eds.), *International handbook of emotions in education* (pp. 625-642). New York: Routledge.
- Kroesbergen, E. H., & van Luit, J. E. H. (2002). Teaching multiplication to low math performers: guided versus structured instruction. *Instructional Science*, 30, 361–378.
- Kuhbandner, C. & Frenzel, A. (2019). Emotionen. In D. Urhahne, M. Dresel & F. Fischer, (Hrsg.). *Psychologie für den Lehrberuf*. Berlin: Springer.
- Kuzle, A. (2018). Assessing metacognition of grade 2 and grade 4 students using an adaptation of multi-method interview approach during mathematics problem-solving *Mathematics Education Research Journal*, 30, 185-207.
<https://doi.org/10.1007/s13394-017-0227-1>
- Kyttälä, M., & Björn, P. M. (2010). Prior mathematics achievement, cognitive appraisals and anxiety as predictors of Finnish students' later mathematics performance and career orientation. *Educational Psychology*, 30, 431–448. <http://dx.doi.org/10.1080/01443411003724491>.
- Laborde, S., Mosley, E., and Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research-recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Front. Psychol.* 8:213. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00213
- Labuhn, A., Bögeholz, S. & Hasselhorn, M. (2008). Lernförderung durch Anregung der Selbstregulation im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22, 13–24.
- Landmann, M. & Schmitz, B. (2006): Selbstregulation erfolgreich fördern: Praxisnahe Trainingsprogramme für effektives Lernen: Kohlhammer-Verlag.

- Landmann, M. & Schmitz, B. (2007a). Welche Rolle spielt Self Monitoring bei der Selbstregulation und wie kann man mit Hilfe von Tagebüchern die Selbstregulation fördern? In M. Gläser-Zikuda & T. Hascher (Hrsg.), *Lernprozesse dokumentieren, reflektieren und beurteilen. Lerntagebuch & Portfolio in Forschung und Praxis* (S.149–169). Bad Heilbrunn: Klinkhardt Verlag.
- Landmann, M., Perels, F., Otto, B., & Schmitz, B. (2009). Selbstregulation. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 49-70). Springer.
- Landmann, M., Perels, F., Otto, B., Schnick-Vollmer, K. & Schmitz, B. (2015). Selbstregulation und selbstreguliertes Lernen. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 45–65). Heidelberg: Springer.
- Lane, R.D., Mcrae, K., Reiman, E.M., Chen, K.W., Ahern, G.L., Thayer, J. F.(2009). Neural correlates of heart rate variability during emotion. *Neuroimage* 44 (1), 213–222.
- Lang, P. J. (2014). Emotion's response patterns: the brain and the autonomic nervous system. *Emot. Rev.* 6, 93–99. doi: 10.1177/1754073913512004
- Lauth, G.W., Brunstein, J.C. & Grünke, M. (2004). Lernstörungen im Überblick: Arten, Klassifikation, Verbreitung und Erklärungsprozesse. In G.W. Lauth, M. Grünke & J.C. Brunstein (Hrsg.), *Interventionen bei Lernstörungen: Förderung, Training und Therapie in der Praxis* (S. 13-23). Göttingen: Hogrefe.
- Lauth, G. W.,Grünke,M.Brunstein,J.C.(2014).Interventionen bei Lernstörungen. Förderung, Training und Therapie in der Praxis. Hogrefe.
- Lawson, M. A., and Lawson, H. A. (2013). New conceptual frameworks for student engagement research, policy, and practice. *Rev. Educat. Res.* 83, 432–479. doi: 10.3102/0034654313480891
- Lazarus, R. S. (1974). Psychological stress and coping in adaptation and illness. *International Journal of Psychiatry in Medicine*, 5(4), 321–333. doi:10.2190/T43T-84P3-QDUR-7rtp
- Lazarus, S. (1991). *Emotion and Adaptation*. New York: Oxford University Press.
- Lazarus, R. S. (1999) *Stress and Emotion: A New Synthesis*. New York: Springer.
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). Coping and adaptation. In W. Gentry (Ed.), *The handbook of behavioral medicine* (pp. 282–325). New York: Guilford
- Lee, J. (2009). Universals and specifics of math self-concept, math self-efficacy, and math anxiety across 41 PISA 2003 participating countries. *Learning and Individual Differences*, 19, 355– 365. doi:10.1016/j.lindif.2008.10.009

- Leeb, Th. (2018) Lernmotivation, Lernregulation, und emotionales Erleben beim e-learning, eine Untersuchung bei Lehramtsstudenten- Roderer Verlag, zugl. Dissertation, Universität Regensburg, 2018
- Leopold, C. & Leutner, D. (2002). Der Einsatz von Lernstrategien in einer konkreten Lernsituation bei Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft, 240-258.
- Leppink, J., Paas, F., van Gog, T., van der Vleuten, C., and van Merriënboer, J. J. G. (2014). Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load. *Learn. Instruct.* 30, 32–42. doi: 10.1016/j.learninstruc.2013.12.001
- Leutner, D., Barthel, A., & Schreiber, B. (2001). Studierende können lernen, sich selbst zu motivieren: Ein Trainingsexperiment. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 155–167.
- Leutwyler, B. (2007). *Lernen lehren. Entwicklung und Förderung metakognitiver Lernstrategien im Gymnasium*. Dissertation Universität Zürich. Hamburg: Dr. Kovač.
- Leutwyler, B. (2009). Metacognitive learning strategies: differential development patterns in high school. *Metacognition Learning*, 4(2), 111–123. <https://doi.org/10.1007/s11409-009-9037-5>.
- Leutwyler, B., & Maag Merki, K. (2009). School effects on students' self-regulated learning. A multivariate analysis of the relationship between individual perceptions of school processes and cognitive, metacognitive, and motivational dimensions of self-regulated learning. *Journal for Educational Research Online*, 1, 197-223.
- Levenson, R. W. (2014). The autonomic nervous system and emotion. *Emot. Rev.* 6, 100–112. doi: 10.1177/1754073913512003
- Li, J., Pang, B., Zhang, B., and Du, H. (2011a). *Self-regulation: From basic theories to applications*. J. Beijing Norm. Univ. 2011, 5–13. doi: 10.1190/1.3659042
- Li, J., Antonenko, P. D., & Wang, J. (2019). Trends and issues in multimedia learning research in 1996–2016: A bibliometric analysis. *Educational Research Review*, 28, 100282. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.100282>.
- Lichtenfeld, S., Pekrun, R., Stupnisky, R. H., Reiss, K., & Murayama, K. (2012). Measuring students' emotions in the early years: The Achievement Emotions Questionnaire-Elementary School (AEQ-ES). *Learning and Individual Differences*, 22(2), 190-201.

- Lichtinger, E., Kaplan, A. (2015). Employing a case study approach to capture motivation and self-regulation of young students with learning disabilities in authentic educational contexts. *Metacognition and Learning*, 10 .119-149.
- Lindén-Boström, M., & Persson, C. (2015). Disparities in mental health among adolescents with and without impairments. *Scandinavian Journal of Public Health*, 43, 728–735 doi:10.1177/1403494815589219
- Lingel, K., Lenhart, J. & Schneider, W. (2019). Metacognition in mathematics: do different metacognitive monitoring measures make a difference?. *ZDM Mathematics Education*, 51, 587-600.
- Lingel, Neuenhaus, Artelt, Schneider (2014). Der Einfluss des metakognitiven Wissens auf die Entwicklung der Mathematikleistung am Beginn der Sekundarstufe I. *Journal of Math Didakt* 35:49–77 DOI 10.1007/s13138-013-0061-2 Originalarbeit/ original article
- Linnenbrink, E. A. (2006). Emotion research in education: Theoretical and methodological perspectives on the integration of affect, motivation, and cognition. *Educational Psychology Review*, 18 (4), 307–314.
- Linnenbrink, E. A. (2007). The role of affect in student' learning: a multidimensional approach to considering the interaction of affect, motivation, and engagement. In P. A. Schutz, & R. Pekrun (Eds.), *Emotions in education* (pp. 107e124). San Diego, CA: Elsevier.
- Lohrmann, K. (2008). *Langeweile im Unterricht*. Münster: Waxmann
- Lucangeli, D., Fastame, M. C., Pedron, M., Porru, A., Duca, V., Hitchcott, P. K. & Penna, M. P. (2019). Metacognition and errors: the impact of self-regulatory trainings in children with specific learning disabilities. *ZDM Mathematics Education*, 51, 577-585.
- Luchins, A.S. (1965). Mechanisierung beim Problemlösen. In C.F.Graumann (Hrsg.), *Denken* (S.171- 177). Köln: Kiepenheuer & Witsch
- Luczak, H. (1987). Psychophysiologische Methoden zur Erfassung psychophysischer Beanspruchungszustände. In: U. Kleinbeck & J. Rutenfranz (Hrsg.). *Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie. Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie*. Band 1. (S. 185-259). Göttingen.
- Lupien, S. J., Maheu, F., Tu, M., Fiocco, A., and Schramek, T. E. (2007). The effects of stress and stress hormones on human cognition: implications for the field of brain and cognition. *Brain Cogn.* 65, 209–237. doi: 10.1016/j.bandc.2007.02.007

- Ma, X. (1999). A meta-analysis of the relationship between anxiety toward mathematics and achievement in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30, 520–540. doi:10.2307/749772
- Ma, X., & Xu, J. (2004). The causal ordering of mathematics anxiety and mathematics achievement: A longitudinal panel analysis. *Journal of Adolescence*, 27(2), 165–179.
- Maier, J., and Richter, T. (2014). Fostering multiple text comprehension: how metacognitive strategies and motivation moderate the text-belief consistency effect. *Metacogn. Learn.* 9, 51–74. doi: 10.1007/s11409-013-9111-x
- Malmivuori, M. L. (2001). The dynamics of affect, cognition, and social environment in the regulation of personal learning processes: The case of mathematics. *Research Report 172*. Helsinki, Finland: Helsinki University Press.
- Maloney, E. A., & Beilock, S. L. (2012). Math anxiety: Who has it, why it develops, and how to guard against it. *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 404–406.
- Marcou, A. & Lerman, S. (2007). Changes in students' motivational beliefs and performance in a self-regulated mathematical problem-solving environment. In *CERME 5, Cyprus* (pp. 288-297).
- Martin, R. C., and Dahlen, E. R. (2005). Cognitive emotion regulation in the prediction of depression, anxiety, stress, and anger. *Pers. Individ. Dif.* 39 1249–1260. doi: 10.1016/j.paid.2005.06.004
- Mather, M., and Thayer, J. F. (2018). How heart rate variability affects emotion regulation brain networks. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 19, 98–104. doi: 10.1016/j.cobeha.2017.12.017
- 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
- McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D. & Bradley, R. T. (2006). The coherent heart: Heart-brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order. Boulder Creek, CA: HeartMath Research Center, Institute of HeartMath, Publication No. 06-022. Available as an electronic monograph at: <http://www.heartmath.org/research/scientific-ebooks.html>
- Meece, J. L., Wigfield, A., & Eccles, J. S. (1990). Predictors of math anxiety and its consequences for young adolescents' course enrollment intentions and performances in mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 82, 60–70.

- Mega, C., Ronconi, L., and De Beni, R. (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement. *J. Educ. Psychol.* 106, 121–131. doi: 10.1037/a0033546
- Meichenbaum, D., Arsanow, J. (1979). Cognitive –behavior modification and metacognitive development: Implications for the classroom. In P.C. Kendall & S.D. Hollon (Hrsg.), *Cognitive -behavioral interventions: Theory, research, and procedures* (S.11-35). New York: Academic Press.
- Meinhardt, J., Pekrun, R. (2003): Attentional Resource Allocation to Emotional Events: An ERP Study. *Cognition and Emotion*, 17 (3), 477-500.
- Meneghetti, C., De Beni, R. & Cornoldi, C. (2007). Strategic knowledge and consistency instudents with good and poor study skills. *European Journal of Cognitive Psychology* 19, 628-649.
- Meshkati, N. (1988) Heart rate variability and mental workload assessment. In: Hancock PA, Meshkati N (Hrsg) *Human Mental Workload*, Amsterdam Elsevier, S. 101-115.
- Metallidou, P., & Efklides, A. (2001). The effects of general success-related beliefs and specific metacognitive experiences on causal attributions. In A. Efklides, J. Kuhl, & R. M. Sorrentino (Eds.), *Trends and prospects in motivation research* (pp. 325–347). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Mevarech, Z. R., & Kramarski, B. (1997). IMPROVE: A multidimensional method for teaching mathematics in heterogeneous classroom. *American Educational Research Journal*, 34(2),
- Mevarech, Z. R., Terkieltaub, S., Vinberger, T., & Nevet, V. (2010). The effects of meta-cognitive instruction on third and sixth graders solving word problems. *ZDM – The International Journal on Mathematics Education*, 42, 195–203.
- Middelkoop, H. A. M., van Dam, E. M., Smilde-van den Doel, D. A. & van Dijk, G. (1997). 45-hour continuous quintuple-site actimetry: Relations between trunk and limb movements and effects of cir-cadian sleep-wake rhythmicity. *Psychophysiology*, 34, 199-203.
- Mihalca, L., Salden, R. J., Corbalan, G., Paas, F., and Miclea, M. (2011). Effectiveness of cognitive-load based adaptive instruction in genetics education. *Comput. Hum. Beha.* 27, 82–88. doi: 10.1016/j.chb.2010.05.027

- Mischel, W. & Ayduk, O. (2004). Willpower in a cognitive-affective processing system: the dynamics of delay of gratification. In R.F. Baumeister & K.D. Vohs (Eds), *Handbook of Self Regulation* (pp. 99—129). New York: The Guilford Press.
- Mischel, W., Ayduk, O., Berman, M. G., Casey, B. J., Gotlib, I. H., Jonides, J., et al. (2010). Willpower' over the life span: decomposing self-regulation. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 6, 252–256. doi: 10.1093/scan/nsq081
- Montague, M., Enders, C., & Dietz, S. (2011). Effects of cognitive strategy instruction on math problem solving of middle school students with learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*, 34, 262– 272.
- Morony, S., Kleitman, S., Lee, Y. P. & Stankov, L. (2013). Predicting achievement: confidence vs self-efficacy, anxiety, and self-concept in Confucian and European countries. *International Journal of Educational Research*, 58, 79–96. doi:10.1016/j.ijer.2012.11.002
- Möller, J., Retelsdorf, J., Köller, O., & Marsh, H. W. (2011). The reciprocal internal/external frame of reference model an integration of models of relations between academic achievement and self-concept. *American Educational Research Journal*, 48, 1315–1346. doi:10.3102/ 000283121141964
- Mungengast, S. (2022). Zur Bedeutung von Metakognition beim Umgang mit Mathematik Dokumentation metakognitiver Aktivitäten bei Studienanfänger-innen, Entwicklung eines Kategoriensystems für Metakognition beim Umgang mit Mathematik und Erörterung von Ansatzpunkten für Metakognition in der Analysis. Dissertation. Universität Würzburg.
- Murayama, K., Pekrun, R., Lichtenfeld, S., & Vom Hofe, R. (2013). Predicting long-term growth in students' mathematics achievement: The unique contributions of motivation and cognitive strategies. *Child Development*, 84(4), 1475-1490.
- Mutlu-Bayraktar, D., Cosgun, V., & Altan, T. (2019). Cognitive load in multimedia learning environments: A systematic review. *Computers & Education*, 141, 103618. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103618>
- Myhill, D., and Brackley, M. (2004). Making connections: Teachers' use of children's prior knowledge in whole class discourse. *Br. J. Educat. Stud.* 52, 263–275. doi: 10.1111/j.1467-8527. 2004.00267.x
- Myrtek, M. (2004): *Heart and Emotion: Ambulatory Monitoring Studies in Everyday Life*. Cambridge, MA: Hogrefe Verlag & Huber Publishers.

- Myrtek M, Spital, S. (1986): Psychophysiological response patterns to single, double, and triple stressors. *Psychophysiology* 23: 663-671.
- Mytek M, Aschenbrenner E, Brügger G (2005): Emotions in everyday life: an ambulatory monitoring study with female students. *Biological Psychology* 68: 237-255.
- Myrtek M, Dieterle W, Brügger G (1990): Psychophysiological response patterns to variations of the experimental load of a reaction time task. *Journal of Psychophysiology* 4:209-220.
- Myrtek M, Foerster F, Brügger G (2001): *Freiburger Monitoring System (FMS). Ein Daten-Aufnahme- und Auswertungssystem für Untersuchungen im Alltag: Emotionale Beanspruchung, Körperlage, Bewegung, EKG, subjektives Befinden, Verhalten*. Peter Lang, Frankfurt/Main, S. 15-33.
- Myrtek M, Brügger G, Scharff C, Müller W (1996a): Physiological, behavioral and psychological effects associated with television viewing in schoolboys: an exploratory study. *Journal of Early Adolescence* 16: 301-323.
- Myrtek, M., Scharff, C., Brügger, G. (1997). *Psychophysiologische Untersuchungen zum Fernsehverhalten bei 11- und 15jährigen Schülern unter besonderer Berücksichtigung der emotionalen Reaktionen*. In: M. Charlton & S. Schneider (Hrsg): *Rezeptionsforschung, Erklärungsmodelle und aktuelle Forschungsergebnisse zum Umgang mit Massenmedien*. Westdeutscher Verlag; (S.122-146).
- Myrtek M, Brügger G, Fichtler A, König K, Müller W, Foerster F, Höppner, V.(1988): Detection of emotionally induced ECG changes and their behavioral correlates: A new method for ambulatory monitoring. *European Heart Journal* 9: 55-60.
- Myrtek M, Brügger G, Müller W (1996b): Validation studies of emotional, mental, and physical workload components in the field. In: Fahrenberg J, Myrtek M (Hrsg) *Ambulatory Assessment. Computer-Assisted Psychological and Psychophysiological Methods in Monitoring and Field Studies*. Seattle Hogrefe & Huber, S. 287-304.
- Nagengast B, Marsh HW (2012) *Big fish in little ponds aspire more: Mediation and cross-cultural generalizability of school-average ability effects on self-concept and career aspirations in science*. J Educ Psychol. NCTM: Principles and Standards for School Mathematics. (National Council of Teachers Mathematics [NCTM], Reston, 2000.
- NCTM. (2000). Curriculum and evaluation standards for school mathematics. Reston: National Council of Teacher of Mathematics.
- Nelson, T. O. (1996). Consciousness and metacognition. *American Psychologist*, 51, 102–116.

- Nelson, T.O. & Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and some new findings. In G.H. Brown (Hrsg.), *The Psychology of Learning and Motivation*, 26, 125-173. New York: Academic Press.
- Nett, U. E., Goetz, T., & Daniels, L. M. (2010). What to do when feeling bored? Students' strategies for coping with boredom. *Learning and Individual Differences*, 20, 626-638.
- Nett, U. E., Goetz, T., & Hall, N. C. (2011). Coping with boredom in school: An experience sampling perspective. *Contemporary Educational Psychology*, 36, 49–59. doi: 10.1016/j.cedpsych.2010.10.003
- Neuenhaus, N., Artelt, C., Lingel, K., and Schneider, W. (2011). Fifth graders metacognitive knowledge: general or domain-specific? *Eur. J. Psychol. Educ.* 26, 163–178. doi: 10.1007/s10212-010-0040-7
- Newman, R. S. (2000). Social influences on the development of children's adaptive help seeking: The role of parents, teachers, and peers. *Devel. Rev.* 20, 350–404. doi: 10.1006/drev.1999.0502
- Nota, L., Soresi, S., & Zimmerman, B. J. (2004). Self-regulation and academic achievement and resilience: A longitudinal study. *International Journal of Educational Research*, 41(3), 198-215.
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Awh, E., Brown, G. D. A., Conway, A., Cowan, N....& Ward, G. (2018). Benchmarks for models of short-term and working memory. *Psychological Bulletin*, 144(9), 885–958. <https://doi.org/10.1037/bul0000153>.
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 242–249. doi: 10.1016/j.tics.2005.03.010
- Ochsner, K. N., Ray, R. D., Cooper, J. C., Robertson, E. R., Chopra, S., Gabrieli, J. D. E., et al. (2004). For better or for worse: neural systems supporting the cognitive down- and up-regulation of negative emotion. *Neuroimage* 23, 483–499. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.06.030
- Olafson, K. M., & Ferraro, F. R. (2001). Effects of emotional state on lexical decision performance. *Brain and Cognition*, 45, 15–20.
- Opetushallitus (2016). **National core curriculum for basic education 2014**. Helsinki, Finland: Finnish Board of Education.
- Op't Eynde, P., & Hannula, M. S. (2006). The case study of Frank. *Educational Studies in Mathematics*, 63, 123-129.

- Otterpohl, N., & Wild, E. (2015). Cross-lagged relations among parenting, children's emotion regulation, and psychosocial adjustment in early adolescence. *Journal of Clinical Child Adolescent Psychology*, 44, 93e108.
- Otto, B. (2010). How can motivated self-regulated learning be improved? In A. Mourad & J. de la Fuente Arias (Eds.), *International Perspectives on Applying Self-regulated Learning in Different Settings*. Frankfurt am Main: Lang.
- Otto, B. (2007). *Förderung von Lernmotivation*. Wiesbaden: IQ kompakt.
- Otto, B. (2007a). *SELVES – Schüler-, Eltern- und Lehrertrainings zur Vermittlung effektiver Selbstregulation*. Berlin: Logos.
- Ozhiganova, G. von (2018). Self Regulation and self regulatory capacities: Components, Levels, Models, *Rudn Journal of Psychology and Pedagogics*. Vol. 15 No. 3 255-270.
- Özsoy, G. (2012). Investigation of fifth grade students' mathematical calibration skills. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 12(2), 1190–1194.
- Paas, F. G., Van Merriënboer, J. J., and Adam, J. J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Percept. Motor Skills* 79, 419–430. doi: 10.2466/pms.1994.79.1.419
- Panadero, E. (2017). A review of self-regulated learning: six models and four directions for research. *Front. Psychol.* 8:422. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00422
- Paris, S. G., & Paris, A. H. (2001). Classroom applications of research on self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 36(2), 89–101.
- Paris, S. G., Lipson, M. & Wixson, K. (1983). Becoming a strategic reader. *Contemporary Educational Psychology*, 8, 293-316.
- Patall, E. A., Steingut, R. R., Vasquez, A. C., Trimble, S. S., Pituch, K. A., & Freeman, J. L. (2018). Daily autonomy supporting or thwarting and students' motivation and engagement in the high school science classroom. *Journal of Educational Psychology*, 110(2), 269–288. <https://doi.org/10.1037/edu0000214>
- Patterson, S. M., Krantz, D. S., Montgomery, L. C., Deuster, P. A., Hedges, S. M. & Nebel, L. E. (1993). Automated physical activity monitoring: Validation and comparison with physiological and self-report measures. *Psychophysiology*, 30, 296-305.
- Pauls, C.A. (1998): Emotion und Persönlichkeit. In *Psychophysiologie in Labor und Feld* (Band 8) Frankfurt am Main: Hogrefe Verlag.

- Pekrun, R. (1992). The Impact of Emotions on Learning and Achievement: Towards a Theory of Cognitive/Motivational Mediators. *Applied Psychology*, 41, 359-376. <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.1992.tb00712.x>
- Pekrun, R. (1992a): Kognition und Emotion in studienbezogenen Lern- und Leistungssituationen: Explorative Analysen. *Unterrichtswissenschaften*, 20, 308-324.
- Pekrun, R. (1992b). The impact of emotions on learning and achievement. : Towards a theory of cognitive/motivational mediators. *Applied psychology: An international Review*, 1, 359-376.
- Pekrun, R. (1998): Schüleremotionen und ihre Förderung: Ein blinder Fleck der Unterrichtsforschung. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 45, 230-248.
- Pekrun, R. (2000). A social-cognitive, control-value theory of achievement emotions. In J. Heckhausen (Hrsg.), *Motivational psychology of human development* (S. 143–163). Oxford: Elsevier.
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18, 315-341.
- Pekrun, R. & Bühner, M. (2014). Self-report measures of academic emotions. In R. Pekrun & L. Linnenbrink-Garcia (Hrsg.), *International handbook of emotions in education* (S. 561–579). New York, NY: Routledge.
- Pekrun, R., Frenzel, A. C. (2009): Persönlichkeit und Emotion. In: Brandstätter, Veronika; Otto, Jürgen H. (Hrsg.): *Handbuch der allgemeinen Psychologie - Motivation und Emotion*. Handbuch der Psychologie, Bd. 11. Göttingen [u.a.]: Hogrefe. S. 686-696.
- Pekrun, R., & Jerusalem, M. (1996): Leistungsbezogenes Denken und Fühlen: Eine Übersicht zur psychologischen Forschung. In Möller J. & Köller, O. (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung*, (S. 3-22). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Pekrun, R. & Linnenbrink-Garcia, L. (2012). Academic emotions and student engagement In S. L. Christenson, A. L. Reschly & C. Wylie (Hrsg.), *Handbook of research on student engagement* (S. 259–282). Boston, MA: Springer.
- Pekrun, R., Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2009). Achievement goals and achievement emotions: testing a model of their joint relations with academic performance *Journal of Educational Psychology*, 101, 115-135.

- Pekrun, R., Frenzel, A. C., Goetz, T., & Perry, R. P. (2007). The control-value theory of achievement emotions: An integrative approach to emotions in education. In P. A. Schultz & R. Pekrun (Eds.), *Emotion in education* (pp. 13-36). San Diego, CA: Elsevier Academic Press.
- Pekrun, R., Hall, N. C., Goetz, T., & Perry, R. P. (2014). Boredom and academic achievement: Testing a model of reciprocal causation. *Journal of Educational Psychology*, 106(3), 696–710.
- Pekrun, R., Götz, T., Titz, W., & Perry, R.P. (2002). Academic Emotions in Students' Self-regulated Learning and Achievement: A Program of Quantitative and Qualitative Research. *Educational Psychologist*, 37, 91-106.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002a). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research. *Educational Psychologist*, 37, 91–105.
- Pekrun, R., Goetz, T., Daniels, L. M., Stupnisky, R. H., & Perry, R. P. (2010). Boredom in achievement settings: Exploring control-value antecedents and performance outcomes of a neglected emotion. *Journal of Educational Psychology*, 102(3), 531-549.
- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P., & Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary Educational Psychology*, 36, 36– 48. doi:10.1016/j.cedpsych.2010.10.002
- Pekrun, R., Lichtenfeld, S., Marsh, H. W., Murayama, K., & Goetz, T. (2017). Achievement emotions and academic performance: Longitudinal models of reciprocal effects. *Child Development*, 88(5), 1653–1670. doi:10.1111/cdev.12704
- Pekrun, R., Hofe, R., Blum, W. Götz, T., Wartha, S., Frenzel, A. & Jullien, S. (2006). Projekt zur Analyse der Leistungsentwicklung in Mathematik (PALMA). In M. Prenzel (Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule* (S. 21-53). Münster: Waxmann.
- Perels, F. (2007). *Training für Schüler der Sekundarstufe I: Förderung: Förderung selbstregulierten Lernens. In Selbstregulation erfolgreich fördern. Praxisnahe Trainingsprogramme für effektives Lernen* (S.33-52). Stuttgart: Kohlhammer.
- Perels, F., Gürtler, T., & Schmitz, B. (2005). Training of self-regulatory and problem solving competence. *Learning and instruction*, 15, 123-139.

- Perels, F., Otto, B., Schmitz, B., & Bruder, R. (2007). Evaluation of a training programme to improve mathematical as well as self-regulatory competences. In M. Prenzel, & PISA-Konsortium Deutschland (Eds.), *Studies on the educational quality of schools* (pp. 197-219). Münster: Waxmann.
- Perels, F., Otto, B., Landmann, M., Hertel, S., & Schmitz, B. (2007). Self-Regulation from a Process Perspective. *Zeitschrift für Psychologie*, 215(3), 194–204.
- Perry, N.E., VandeKamp, K.J.O., Mercer, L.K., & Nordby, C.J. (2002). Investigating teacher-student interactions that foster self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 37(1), 5–15.
- Pickl, C. (2004). *Selbstregulation und Transfer*. Weinheim: Beltz PVU.
- Pierce, S. H. & Lange, G. (2000). Relationships among metamemory, motivation and memory performance in young school-age children. *British Journal of Developmental Psychology*, 18, 121-135.
- Pintrich, P. R. (2003). A motivational science perspective on the role of student motivation in learning and teaching contexts. *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 667–686.
- Pintrich, P.R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In Boekaerts, M., P.R. Pintrich, P.R., & Zeidner, M.(Hrsg.), *Handbook of self-regulation: Theory, research and applications* (S.451-502). San Diego,CA: Academic Press.
- Pintrich, P. R. & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 33-40.
- Pintrich, P. R., Wolters, C. A. & Baxter, G. P. (2000). Assessing metacognition and self-regulated learning. In G. Schraw & J. C. Impara (Hrsg.), *Issues in the measurement of metacognition* (S. 43-98). Lincoln, NE: Buros Institute of Mental Measurements.
- Pintrich, P. R., & Zusho, A. (2002). *The development of academic self-regulation: The role of cognitive and motivational factors*. In A. Wigfield & J. S. Eccles (Eds.), *Development of achievement motivation* (pp. 249–284). San Diego, CA: Academic Press.
- Pinxten, M., Marsh, H. W., De Fraine, B., Van Den Noortgate, W., & Van Damme, J. (2014). Enjoying mathematics or feeling competent in mathematics? Reciprocal effects on mathematics achievement and perceived math effort expenditure. *British Journal of Educational Psychology*, 84, 152–174. doi:10.1111/bjep.12028

- Plass, J. L., & Hovey, C. (2022). The emotional design principle in multimedia learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (3rd ed., pp. 324–336). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781108894333.034>
- Plass, J. L., & Kalyuga, S. (2019). Four ways of considering emotion in cognitive load theory. *Educational Psychology Review*, 31(2), 339–359.
<https://doi.org/10.1007/s10648-019-09473-5>
- Pons, F., de Rosnay, M., & Cuisinier, F. (2010). Cognition and emotion. In P. Peterson, E. Baker, & B. MacGaw (Eds.), *International encyclopedia of education* (Vol. 5, pp. 237–244). Oxford: Elsevier.
- Pons, F., Hancock, D., Lafortune, L., & Doudin, P.-A. (Eds.). (2005). *Emotions in learning*. Aalborg: Aalborg University Press.
- Pons, F., Harris, P. L., & de Rosnay, M. (2004). Emotion comprehension between 3 and 11 years: Developmental periods and hierarchical organization. *European Journal of Developmental Psychology*, 1, 127–152. doi: 10.1080/17405620344000022
- Pressley, M. (1986). The Relevance of the Good Strategy User Model to the Teaching of Mathematics. *Educational Psychologist*, 21, 139–161.
- Pressley, M., Borkowski, J.G. & Schneider, W. (1987). Cognitive strategies: Good strategy users coordinate metacognition and knowledge. In R. Vasta & G. Whitehurst (Hrsg.) *Annals of Child Development*, Vol. 4 (S. -129). Greenwich, CT: JAI Press. 89
- Prytula, M. P. (2008). *Scholarship epistemology: An exploratory study of teacher metacognition within the context of successful learning communities*. Dissertation. Canada: University of Saskatchewan.
- Purdie, N., Hattie, J., & Douglas, G. (1996). Student conceptions of learning and their use of self-regulated learning strategies: A cross-cultural comparison. *Journal of Educational Psychology*, 88, 87–100.
- Puustinen, M. and Pulkkinen, L. (2001). Models of self-regulated learning: a review. *Scand. J. Educ. Res.* 45, 269–286. Doi: 10.1080/00313830120074206.
- Raaijmakers, S. F., Baars, M., Paas, F., van Merriënboer, J. J., & Van Gog, T. (2018a). Training self-assessment Applied and task-selection skills to foster self-regulated learning: Do trained skills transfer across domains? *Cognitive Psychology*, 32 (2), 270–277. <https://doi.org/10.1002/acp.3392>

- Raaijmakers, S. F., Baars, M., Schaap, L., Paas, F., Van Merriënboer, J., & Van Gog, T. (2018b). Training self Instructional regulated learning skills with video modeling examples: Do task-selection skills transfer? *Science*, 46 (2), 273–290. <https://doi.org/10.1007/s11251-017-9434-0>
- Ratelle, C. F., Guay, F., Vallerand, R. J., Larose, S., & Senécal, C. B. (2007). Autonomous, controlled, and amotivated types of academic motivation: A person-oriented analysis. *Journal of Educational Psychology*, 99(4), 734–746. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.4.734>
- Rau, R. (2001). Objective characteristics of jobs affect blood pressure at work, after work, and at night. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Progress in ambulatory assessment. Computer-assisted psychological and psychophysiological method in monitoring and field studies* (pp. 361- 386). Seattle, WA: Hogrefe, Huber.
- Reeve, J. (2009). Why teachers adopt a controlling motivating style toward students and how they can become more autonomy supportive. *Educational Psychologist*, 44(3), 159–175. <https://doi.org/10.1080/00461520903028990>
- Reeve, J., Bolt, E., & Cai, Y. (1999). Autonomy supportive teachers: How they teach and motivate students. *Journal of Educational Psychology*, 91(3), 537–548.
- Reeve, J., Jang, H., Carrell, D., Jeon, S., & Barch, J. (2004). Enhancing students' engagement by increasing teachers' autonomy support. *Motivation and Emotion*, 28(2), 147–169. <https://doi.org/10.1023/B:MOEM.0000032312.95499.6f>
- Reims, H. M., Sevre, K., Fossum, E., Høieggen, A., Eide, I., & Kjeldsen, S. E. (2004). Plasma catecholamines, blood pressure responses and perceived stress during mental arithmetic stress in young men. *Blood Pressure*, 13, 287–294. <http://dx.doi.org/10.1080/08037050410016474>
- Reisenzein, R., Junge, M., Studtmann, M., & Huber, O. (2014). Observational approaches to the measurement of emotions. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink-García (Eds.), *International handbook of emotions in education* (pp. 580-606). New York: Routledge.
- Reuschenbach, B. & Funke, J. (2011). Ambulantes Assessment. In L. F. Hornke, M. Amelang & M. Kerstin (Hrsg.), *Leistungs-, Intelligenz- und Verhaltensdiagnostik* (S. 529-594). Göttingen: Hogrefe

- Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J. M., van Roon, A., and Duschek, S. (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: a review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology* 50, 477–487. doi: 10.1111/psyp.12027
- Richards, J. M., and Gross, J. J. (2000). Emotion regulation and memory: the cognitive costs of keeping one's cool. *Journal of Pers. Soc. Psychol.* 79, 410–424. doi: 10.1037//0022-3514.79.3.410
- Richter, P. & Hacker, W. (1998). *Belastung und Beanspruchung. Streß, Ermüdung und Burnout im Arbeitsleben*. Heidelberg: Asanger.
- Ripper, C. A., Boyes, M., Clarke, P., and Hasking, P. (2018). Emotional reactivity, intensity and perseveration: independent dimensions of trait affect and associations with depression, anxiety, and stress symptoms. *Pers. Individ. Dif.* 121, 93–99. doi: 10.1016/j.paid.2017.09.032
- Robinson MD, Barrett LF (2010). Belief and feeling in self-reports of emotion: Evidence for semantic infusion based on self-esteem. *Self Identity* 9: 87–111.
- Robinson, MD, Clore, G. (2002). Belief and feeling: Evidence for an accessibility model of emotional self-report. *Psychol Bulletin*, 128: 934–960.
- Rodrigues, S. (2007). Factors that influence pupil engagement with science simulations: the role of distraction, vividness, logic, instruction and prior knowledge. *Chem. Educat. Res. Pract.* 8, 1–12. doi: 10.1039/b6rp90016j
- Roebers, C. M., Cimeli, P., Röthlisberger, M., and Neuenschwander, R. (2012). Executive functioning, metacognition, and self-perceived competence in elementary school children: an explorative study on their interrelations and their role for school achievement. *Metacognitive Learning* 7, 151–173.
- Roebers, C. M., Krebs, S. S., and Roderer, T. (2014). Metacognitive monitoring and control in elementary school children: their interrelations and their role for test performance. *Learn. Individ. Dif.* 29, 141–149. doi: 10.1016/j.lindif.2012.12.003
- Roelle, J., Krüger, S., Jansen, C., & Berthold, K. (2012). *The use of solved example problems for fostering*. Education Research International., 2012, strategies of self-regulated learning in journal writing. 1-14. <https://doi.org/10.1155/2012/751625>.
- Roeschl-Heils, A., Schneider, W. & van Kraayenoord, C. (2003). Reading, metacognition, and motivation: A follow-up study of German students in Grades 7 and 8. *European Journal of Psychology of Education*, 18, 75-86.

- Roeser, R., Midgley, C., & Urdan, T. C. (1996). Perceptions of the school psychological environment and early adolescents' psychological and behavioral functioning in school: The mediating role of goals and belonging. *Journal of Educational Psychology*, 88, 408–422. doi:10.1037/0022-0663.88.3.408
- Rott, B. (2012b). Models of the Problem Solving Process – a Discussion Referring to the Processes of Fifth Graders. In T. Bergqvist (Ed.), *Proceedings from the 13th ProMath conference*, Sep. 2011 (pp. 95–109).
- Rueda, M.R., Posner, M.I., & Rothbart, M.K. (2011). Attentional control and self-regulation. In F. Baumeister, K.D. Vohs (Eds.), *Handbook of self-regulation: Research, theory, and applications* (pp. 284—299). New York, NY: Guilford Press.
- Ryan, R. M., & Connell, J. P. (1989). Perceived locus of causality and internalization: Examining reasons for acting in two domains. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(5), 749–761. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.57.5.749>
- Saarni, C. (2000). Emotional competence: A developmental perspective. In R. Bar-On & J. D. A. Parker (Eds.), *The handbook of emotional intelligence: Theory, development, assessment, and application at home, school, and in the workplace* (pp. 68–91). San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Sakaki, M., Yoo, H. J., Nga, L., Lee, T.-H., Thayer, J. F., and Mather, M. (2016). Heart rate variability is associated with amygdala functional connectivity with MPFC across younger and older adults. *Neuroimage* 139, 44–52. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.05.076
- Saul, J. P. (1990). Beat-to-beat variations of heart rate reflect modulation of cardiac autonomic outflow. *Physiology* 5, 32–37. doi: 10.1152/physiologyonline.1990.5.1.32
- Schandry, R. (1988). *Lehrbuch der Psychophysiologie* (2. Aufl.). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schandry, R. (1996): *Lehrbuch Psychophysiologie. Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.
- Schellings, G. L. M., van Hout-Wolters, B. H. A. M., Veenman, M. V. J. & Meijer, J. (2013). Assessing metacognitive activities: the in-depth comparison of a task-specific questionnaire with think-aloud protocols. *European Journal of Psychology of Education*, 28, 963-990
- Scherer, K. R., Schorr, A. & Johnstone, T. (Hrsg.). (2001). *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research*. New York, NY: Oxford University Press.

- Schlagmüller, M., Visé, M., & Schneider, W. (2001). Zur Erfassung des Gedächtniswissens bei Grundschulkindern: Konstruktionsprinzipien und empirische Bewährung der Würzburger Testbatterie zum deklarativen Metagedächtnis. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 33, 91–102.
- Schmidt, T.H., Steinmetz, T., Wittenhaus, J., Piccolo, P. & Lüpsen, H. (1992). A new dimension of blood pressure measurement in man: 24-h ambulatory continuous noninvasive recording with Portapress. In T.F.H. Schmidt, B.T. Engel & G. Blümchen (Eds.), *Temporal variations of the cardiovascular system* (pp. 181-221). Berlin: Springer.
- Schmidt, T.H. & Jain, A. (1996). Continuous assessment of finger blood pressure and other haemodynamic and behavioral variables in everyday life. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Ambulatory Assessment: computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies* (pp. 189-213). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Schmitz, B. (2001). Neue Trainingsansätze in der Pädagogischen Psychologie: Schwerpunkt Motivation. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 127-129.
- Schmitz, B. (2001). Self – Monitoring zur Unterstützung des Transfers einer Schulung in Selbstregulation für Studierende. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 179-195.
- Schmitz, B., Landmann, M., & Perels, F. (2007). Das Selbstregulationsprozessmodell und theoretische Implikationen (Theoretical implications of self-regularization). In M. Landmann & B. Schmitz (Eds.), *Selbstregulation erfolgreich fördern: Praxisnahe Trainingsprogramme für effektives Lernen* (Successful promotion of self-regularization: Practical training programs for effective learning) (pp. 312- 326). Stuttgart: Kohlhammer.
- Schmitz, B., & Wiese, B.S. (2006). New perspectives for the evaluation of training sessions in self regulated learning: Time series analyses of diary data. *Contemporary Educational Psychology*, 31, 64-96.
- Schneider, W. (1985). Metagedächtnis, gedächtnisbezogenes Verhalten und Gedächtnisleistung. Eine Analyse der empirischen Zusammenhänge bei Grundschulern der dritten Klasse. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 17(1), 1-16.

- Schneider, W. (2008). The development of metacognitive knowledge in children and adolescents: major trends and implications for education. *Mind Brain and Educ.* 2, 114–121. doi: 10.1111/j.1751-228X.2008.00041.x
- Schneider, W. (2010). Metacognition and memory development in childhood and adolescence. In H. S. Waters & W. Schneider (Eds.), *Metacognition, strategy use, and instruction* (pp. 54-81). New York: Guilford Press.
- Schneider, W., and Artelt, C. (2010). *Metacognition and mathematics education*. ZDM 42, 149–161. doi: 10.1007/s11858-010-0240-2
- Schneider, W., Hasselhorn, M. (2008). (Hrsg.) *Handbuch der Pädagogischen Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Schneider, W. & Hasselhorn, M. (1988). Metakognitionen bei der Lösung mathematischer Probleme: Gestaltungsperspektiven für den Mathematikunterricht. *Heilpädagogische Forschung*, 14, 113-118.
- Schoenfeld, H. (1992). Learning to think mathematically: problem solving, metacognition and sense making in mathematics. In D. A. Grouws (Ed), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 334-368). New York: McMillan.
- Schönhofen, K., Schwerdtfeger, A. (2006): Ambulantes Monitoring zur Erfassung der Beanspruchung von Mainzer Grund- und Hauptschullehrkräften. In Ebner-Priemer, U.W. (Hrsg.): *Ambulantes psychophysiologisches Monitoring – neue Perspektiven und Anwendungen*. In Psychologie in Labor und Feld (Band 15). Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Schraw, G., & Crippen, K. J., & Hartley, K. (2006). Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36, 111–139.
- Schwab S, Hessels MGP (Eds) (2015). European Research in inclusive Education. *Journal of Cognitive Education on Psychology* 14(3).
- Schraw, G. & Moshman, D. (1995). Metacognitive theories. *Educational Psychology Review*, 7, 351-371.
- Schraw, G., Crippen, K.J. & Hartley, K. (2006). Promoting Self Regulation in Science Education: Metacognition as Part of a Broader Perspective on Learning. *Research in Science Education* 36. 11-139.
- Schreblowski, S. (2004). *Training von Lesekompetenz*. Münster: Waxmann.

- Schukajlow, S., Kolter, J. & Blum, W. (2015). Scaffolding mathematical modelling with a solution plan. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 47, 1241–1254.
- Schunk, D.H. (1990). Goal setting and self-efficacy during self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 25, 71—86.
- Schunk, D. (2001). Social-cognitive theory and self-regulated learning. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Eds.), *Self-regulated learning and academic achievement: Theoretical perspectives* (2nd ed., pp. 125–152). Mahwah: NJ: Erlbaum.
- Schunk, D. H. (2008). Metacognition, self-regulation, and self-regulated learning: Research recommendations. *Educational Psychology Review*, 20, 463–467.
- Schunk, D. H., & Ertmer, P. A. (2000). Self-regulation and academic learning: Self-efficacy enhancing interventions. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. H. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 631–649). San Diego, CA: Academic Press.
- Schunk, D. H., & Zimmerman, B. J. (Eds.). (1998). *Self-regulated learning: From teaching to self-reflective practice*. New York, NY: Guilford Press.
- Schuster, C., Stebner, F., Wirth, J., & Leutner, D. (2018). Förderung des Transfers metakognitiver Lernstrategien durch direktes und indirektes Training. *Unterrichtswissenschaft*, 46, 409-435.
- Schutz, P. & Lanehart, S. (2002). Introduction: Emotions in Education. *Educational Psychologist*, 37 (2), 67-68.
- Schutz, P. A., & Pekrun, R. (Hrsg., 2007). *Emotions in education*. San Diego, CA: Elsevier.
- Schwarzer, R, und Jerusalem, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. In *Zeitschrift für Pädagogik*, 44, Beiheft, 28-53.
- Schwarzer, R., & Jerusalem, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. *Zeitschrift für Pädagogik*, 44. Beiheft: Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen, 28-53.
- Schwartz, B.L., & Metcalfe, J. (1994). S Methodological problems and pitfalls in the study of human metacognition. In J. Metcalfe and A.P. Shimamura (Hrsg.), *Metacognition: knowing about knowing*, (S.115-135). Cambridge, MA:MIT Press.
- Schwartz, G. E., Weinberger, D. A., & Singer, J. A. (1981). Cardiovascular differentiation of happiness, sadness, anger, and fear following imagery and exercise. *Psychosomatic Medicine*, 43, 343–364. doi: 10.1097/00006842-198108000- 00007

- Schwerdtfeger, A. & Kohlmann, C.-W. (2004). Repressive coping style and the significance of verbal-autonomic response dissociations. In U. Hentschel, G. Smith, J. G. Draguns, & W. Ehlers (Eds.), *Defense mechanisms: Theoretical, research, and clinical perspectives* (pp. 239-278). Amsterdam: Elsevier
- Schwerdtfeger, A., Eberhardt, R., & Chmitorz, A. (2008). Is there an association between everyday-life physical activity and psychological well-being? – A methodological study using ambulatory monitoring. *Zeitschrift für Gesundheitspsychologie*, 16, 2–11.
- Segerstrom, S. C., & Nes, L. S. (2007). Heart rate variability reflects self-regulatory strength, effort, and fatigue. *Psychological Science*, 18, 275–281.
- Seidel, W. (2008). *Emotionale Kompetenz. Gehirnforschung und Lebenskunst*. Heidelberg: Spektrum.
- Seufert, T., Jänen, I., and Brünken, R. (2007). The impact of intrinsic cognitive load on the effectiveness of graphical help for coherence formation. *Comput. Hum. Behav.* 23, 1055-1071. doi: 10.1016/j.chb.2006. 10.002
- Shahrestani, S., Stewart, E. M., Quintana, D. S., Hickie, I. B., & Guastella, A. J. (2015). Heart rate variability during adolescent and adult social interactions: A meta-analysis. *Biological Psychology*, 105, 43–50. doi: 10.1016/j.biopsycho. 2014.12.012
- Shapiro, D. & Goldstein, I. B. (1998). Wrist actigraph measures of physical activity level and ambulatory blood pressure in healthy elderly persons. *Psychophysiology*, 35, 305-312.
- Shapiro, D., Jamner, L. D., Goldstein, I. B. & Delfino, R. J. (2001). Striking a chord: Moods blood pressure, and heart rate in everyday life. *Psychophysiology*, 38, 197-204.
- Sheppes, G., Suri, G., Gross, J.J., (2015). Emotion regulation and psychopathology. *Annu. Rev. Clin. Psychol.* 11, 379–405.
- Sherman, W. M., Morris, D. M., Kirby, T. E., Petosa, R. A., Smith, B. A., Frid, D. J. & Leenders, N. (1998). Evaluation of a commercial accelerometer (Tritrac) to measure energy expenditure during ambulation. *International Journal of Sports Medicine*, 19, 43-47.
- Shilo, A. & Kramarski, B. (2019). Mathematical – metacognitive discourse: how can it be developed among teachers and their students ? Empirical evidence from a videotaped lesson and two case studies. *ZDM Mathematics Education*, 51, 625 - 640
- Siebert, H. (2001). *Selbstgesteuertes Lernen und Lernberatung*. Neuwied.
- Singer, J.D., & Willett, J.B. (2003). *Applied longitudinal data analysis*. Oxford: Oxford University Press. DOI:10.1093/acprof:oso/9780195152968.001.0001

- Skaalvik, E. M., Federici, R. A., and Klassen, R. M. (2015). Mathematics achievement and self-efficacy: relations with motivation for mathematics. *Int. J. Educ. Res.* 72, 129–136. doi: 10.1016/j.ijer.2015.06.008
- Skinner, E. A., and Pitzer, J. R. (2012). “Developmental dynamics of student engagement, coping, and everyday resilience,” in *Handbook of research on student engagement*, (eds S. L. Christenson, and A. L. Reschly, New York, NY: Springer), 21–44. doi: 10.1007/978-1-4614-2018-7_2
- Smart, D., Prior, M., Sanson, A., & Oberklaid, F. (2001). Children with reading difficulties: A six-year follow-up from early primary school to secondary school. *Australian Journal of Psychology*, 53(1), 45-53.
- Smith, C. A., & Ellsworth, P. C. (1985). Patterns of cognitive appraisal in emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 48 (4), 813–838.
- Smith, C. A., Haynes, K. N., Lazarus, R. S., & Pope, L. K. (1993). In search of the “hot” cognitions: Attributions, appraisals, and their relation to emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 65(5), 916–929.
- Souvignier, E., & Behrmann, L. (2017). Professionalisierung von Lehrkräften zur Förderung des Leseverständnisses: Implementation komplexer Instruktionkonzepte. In C. Gräsel & K. Trempler (Hrsg.). *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals. Interdisziplinäre Betrachtungen, Befunde und Perspektiven* (S. 153–171). Wiesbaden: Springer.
- Souvignier, E., & Mokhlesgerami, J. (2006). Using self-regulation as a framework for implementing strategy instruction to foster reading comprehension. *Learning and Instruction*, 16, 57-71. doi:10.1016/j.learninstruc.2005.12.006
- Souvignier, E., Streblow, L., Holodyski, M. & Schiefele, U. (2007). Textdetektive und LEKOLEMO – Ansätze zur Förderung von Lesekompetenz und Lesemotivation. In M. Landmann & B. Schmitz (Hrsg.), *Selbstregulation erfolgreich fördern. Praxisnahe Trainingsprogramme für effektives Lernen* (S. 52-88). Stuttgart: Kohlhammer.
- Spangler, G. (1997): Psychological and Physiological Responses During an Exam and Their Relation to Personality Characteristics. *Psychoneuroendocrinology*, 22 (6), 423 - 441.
- Spangler, G. (2000): Leistung, Motivation und Stress in der Grundschule: Vorhersage aus dem Kleinkind- und Vorschulalter. In Fösterling, F., Stiensmeier-Pelster, J., Silny, L-M.(Hrsg.), *Kognitive und emotionale Aspekte der Motivation*. Göttingen: Hogrefe Verlag.

- Spangler, G. and Grossmann, K.E. (1993). Biobehavioral organization in securely and insecurely attached infants. *Child Development*, 64, 1439–1450.
- Spangler, G., Langenfelder, A. (2001): Prüfungsangst und physiologische Reaktionen von Grundschulern bei Klassenarbeiten: Emotionale Disposition, Bewältigungsstrategien und elterliche Erziehungsstil. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 48, 179 - 199.
- Spangler, G., Pekrun, R., Kramer, C., & Hofmann, H. (2002). Students' Emotions, Physiological Reactions, and Coping in Academic Exams. *Anxiety, Stress and Coping*, 15 (4), 413-432.
- Sparfeldt, J., Buch, S., Schwarz, F., Jachmann, J. & Rost, D. (2009). "Rechnen ist langweilig"-Langeweile in Mathematik bei Grundschulern. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 56, 16-26.
- Sperling R. A., Howard B. C., Miller L. A., Murphy C. (2002). Measures of children's knowledge and regulation of cognition. *Contemporary Educational Psychology*, 27, 51–79.
- Spörer, N. & Brunstein, J. C. (2006). Erfassung selbstregulierten Lernens mit Selbstberichtsverfahren. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20, 147-160.
- Stebner, F., Schmeck, A., Marschner, J., Leutner, D., & Wirth, J. (2015). Ein Training zur Förderung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren. In H. Wendt & W. Bos (Hrsg.), Auf dem Weg zum Ganztagsgymnasium. Erste Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung zum Projekt GanzIn (S. 396–413). Paderborn: Waxmann.
- Stemmler, G. (2000). *Emotionsspezifische physiologische Aktivität*. In H.A. Euler & H. Mand (Hrsg.), *Emotionspsychologie*. Ein Handbuch, (S. 479-490). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Stephens, A. (2001). Ambulatory monitoring of blood pressure in daily life: A tool for investigating psychosocial processes. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Progress in ambulatory assessment. Computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies* (pp. 257-270). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Stevens, T., Olivarez, A., Lan, W.Y., and Tallent-Runnels, M. K. (2004). Role of mathematics self-efficacy and motivation in mathematics performance across ethnicity. *J. Educ. Res.* 97, 208–222. doi: 10.3200/JOER.97.4.208-222

- Stillman, G. (2011). Applying Metacognitive Knowledge and Strategies in Applications and Modelling Tasks at Secondary School. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri & G. A. Stillman (Hrsg.), *Trends in teaching and learning of mathematical modelling* (S. 165–180). Dordrecht: Springer Science Business Media B.V
- Stoeger, H., & Ziegler, A. (2008). Evaluation of a classroom based training to improve self-regulation in time management tasks during homework activities with fourth graders. *Metacognition and Learning*, 3(3), 207– 230. doi:10.1007/s11409-008-9027-z.
- Stück, M., Rigotti, T., Balzer, H.-U. (2005). Wie reagieren Lehrer bei Belastungen? Berufliche Bewältigungsmuster und psychophysiologische Korrelate. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 52, 250-260.
- Sungur, S. (2007). Contribution of motivational beliefs and metacognition to students' performance under consequential and nonconsequential test conditions. *Educ. Res. Eval.* 13, 127–142. doi: 10.1080/13803610701234898
- Sweller, J. (2010). 'Element interactivity and intrinsic, extraneous and germane cognitive load, *Educational Psychology Review*, 22, pp. 123 - 138, <http://dx.doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York, NY: Springer.
- 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>
- Sweller, J., Clark, R. & Kirschner, P. (2010). *Teaching general problem-solving skills is not a substitute for, or a viable addition to, teaching mathematics. Notices of the American Mathematical Society*, 57(10), 1303–1304.
- Tarricone, P. (2011). *The taxonomy of metacognition*. Hove: Psychology Press.
- Temur, Ö. D., Özsoy, G. & Turgut, S. (2019). Metacognitive instructional behaviours of preschool teachers in mathematical activities. *ZDM Mathematics Education*, 51, 655-666.
- Thayer, J. F., Ahs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J. & Wager, T. D. (2012) A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36, 747-756. doi: 0.1016/j.neubiorev.2011.11.009
- Thiede, K.W. (1999).The importance of monitoring and self regulation during multitrial learning. *Psychonomic Bulletin & Review*,6, 662-667.

- Thiede, K.W., Dunlosky, J., Griffin, T.D., & Wiley, J. (2005). Understanding the delayed-keyword effect on metacomprehension accuracy. *Journal of Experimental Psychology*, 31, 1267-1280.
- Tice, D. M., Bratslavsky, E., & Baumeister, R. F. (2001). Emotional distress regulation takes precedence over impulse control: If you feel bad, just do it! *Journal of Personality and Social Psychology*, 80, 53–67.
- Titz, W. (2001). *Emotionen von Studierenden in Lernsituationen: Explorative Analysen und Entwicklung von Selbstberichsskalen*. Münster: Waxmann.
- Touroutoglou, A., & Efklides, A. (2010). Cognitive interruption as an object of metacognitive monitoring: Feeling of difficulty and surprise In A. Efklides & P. Misailidi (Hrsg.), *Trends and prospects in metacognition research* (S.171-208). New York: Springer.
- Trigueros, R., Aguilar-Parra, J., Lopez-Liria, R., Cangas, A., González, J., & Álvarez, J. (2020). The Role of Perception of Support in the Classroom on the Students' Motivation and Emotions: The Impact on Metacognition Strategies and Academic Performance in Math and English Classes. *Frontiers in Psychology*, 10, 1-10. DOI:10.3389/fpsyg.2019.02794.
- Trull, T. J., & Ebner-Priemer, U. (2013). Ambulatory assessment. *Annual Review of Clinical Psychology*, 9, 151-176
- Tryon WW (1991): Activity measurement in psychology and medicine. Plenum Press, New York, S. 23-62.
- Tulis, M., Ainley, M. (2011). Interest, enjoyment and pride after failure experiences? Predictors of students' state-emotions after success and failure during learning in *mathematics Educational Psychology Aquatic Insects Vol. 31*, No. 7, December 2011, 779–807. Routledge
- Tuomisto, M.T., Johnston, D.W. & Schmidt, T.F.H. (1996). The ambulatory measurement of posture, thigh acceleration, and muscle tension and their relationship to heart rate. *Psychophysiology*, 33, 409- 415.
- Turner JR, Carroll D, Hanson J, Sims J (1988): A comparison of additional heart rates during active psychological challenge calculates from upper body and lower body dynamic exercise. *Psychophysiology* 25: 209-216.
- Turner, J. E., & Schallert, D. L. (2001). Expectancy-value relationships of shame reactions and shame resiliency. *Journal of Educational Psychology*, 93, 320-329.

- Tyson, D. F., Linnenbrink-Garcia, L., & Hill, N. E. (2009). Regulating debilitating emotions in the context of performance: Achievement goal orientations, achievement-elicited emotions, and socialization contexts. *Human Development* 52, 329-356.
- Tzohar, M., Kramarski, B. (2018) *Metacognition, Motivation, and Emotions: Contribution of Self-Regulated Learning to Solving Mathematical Problems*
<https://www.researchgate.net/publication/329988511>
- Tzohar-Rosen, Meirav & Kramarski, B. (2014). Metacognition, motivation and emotions: Contribution of self-regulated learning to solving mathematical problems. *Global Education Review*, 1 (4). 76-95.
- Ushiyama, K. U., Ogawa, T., Ishii, M., Ajisaka, R., Sugishita, Y., & Ito, I. (1991). Physiologic neuroendocrine arousal by mental arithmetic stress test in healthy subjects. *The American Journal of Cardiology*, 67, 101–103. [http://dx.doi.org/10.1016/0002-9149\(91\)90112-X](http://dx.doi.org/10.1016/0002-9149(91)90112-X).
- Valenza, G., Lanata, A., Scilingo, E.P. (2012). The role of nonlinear dynamics in affective valence and arousal recognition. *IEEE Trans. Affect. Comput.* 3 (2), 237–249.
- Valenza, G., Citi, L., Gentili, C., Lanata, A., Scilingo, E.P., Barbieri, R. (2014). Pointprocess nonlinear autonomic assessment of depressive states in bipolar patients. *Methods Inf. Med.* 53 (4), 296–302.
- Van der Stel, M. & Veenman, M. V. J. (2014). Metacognitive skills and intellectual ability of young adolescents: a longitudinal study from a developmental perspective. *European Journal of Psychology of Education*, 29, 117-137.
- Van der Stel, M., Veenman, M. V. J., Deelen, K. & Haenen, J. (2010). The increasing role of metacognitive skills in math: a cross-sectional study from a developmental perspective. *ZDM Mathematics Education*, 42, 219-229.
- Van Gog, T., & Rummel, N. (2010). Example-based learning: Integrating cognitive and social-cognitive research perspectives. *Educational Psychology Review*, 22(2), 155–174. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9134-7>
- Van Hout-Wolters, B. H. A. M., Simons, P. R. J., & Volet, S. (2000). Active learning: Self-directed learning and independent work. In P. R. J. Simons, J. L. van der Linden, & T. M. Duffy (Eds.), *New learning* (pp. 21–37). Dordrecht: Kluwer.
- Van Riesen, S. A., Gijlers, H., Anjewierden, A. A., and de Jong, T. (2019). *The influence of prior knowledge on the effectiveness of guided experiment design*. *Interact. Learn. Environ.* 2019, 1-17. doi: 10.1080/10494820.2019.1631193

- Van Slooten, C. (2013). *Intrinsic Mathematics Motivation as a Mediator between Regulatory Fit and Mathematics Performance*. ProQuest Dissertations Publishing.
- Vansteenkiste, M., Simons, J., Lens, W., Sheldon, K. M., & Deci, E. L. (2004). Motivating learning, performance, and persistence: The synergistic effects of intrinsic goal contents and autonomy-supportive contexts. *Journal of Personality and Social Psychology*, 87(2), 246–260. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.87.2.246>
- Veenman, M. V. (2006). *The Role of Intellectual and Metacognitive Skills in Math Problem Solving*. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.
- Veenman, M. V. J. (2007). The assessment of metacognition: A matter of multi-method designs. *EAPA Newsletter of the European Association of psychological Assessment*, 1, 8-9.
- Veenman, M.V.J., (2007) The assessment and instruction of self-regulation in computer-based environments: a discussion. *Metacognition Learning* (2), 177–183 DOI 10.1007/s11409-007-9017-6
- Veenman, M. V. J. (2011 a). Alternative assessment of strategy use with self-report instruments: a discussion. *Metacognition and Learning*, 6, 205-211. <https://doi.org/10.1007/s11409-011-9080-x>
- Veenman, M. V. J., & Elshout, J. J. (1999). Changes in the relation between cognitive and metacognitive skills during the acquisition of expertise. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 509–523.
- Veenman, M. V. J. & van Cleef, D. (2019). Measuring metacognitive skills for mathematics: students' self-reports versus on-line assessment methods. *ZDM Mathematics Education*, 51, 691-701.
- Veenman, M. V. J., & Spaans, M. A. (2005). Relation between intellectual and metacognitive skills: Age and task differences. *Learning and Individual Differences*, 15, 159-176.
- Veenman, M. V., van Hout-Wolters, H. A. M., & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1, 3-14.
- Veenman, M. V. J., Wilhelm, P., & Beishuizen, J. J. (2004). The relation between intellectual and metacognitive skills from a developmental perspective. *Learning and Instruction*, 14, 89-109. doi: 10.1016/j.learninstruc.2003.10.004
- Verschaffel, L., Greer, B., & De Corte, E. (2000). *Making sense of word problems*. Heereweg, The Netherlands: Swets & Zeitlinger.

- Vierhaus, M., Lohaus, A., & Ball, J. (2007). Developmental changes in coping: situational and methodological influences. *Anxiety, Stress, and Coping*, 20, 267e282.
- Vorhölter, K., Krüger, A., Wendt, L. (2019). Chapter 2: Metacognition in Mathematical Modeling- An Overview. In: Chamberlin, S.A., Sriraman, B. (eds) *Affect in Mathematical Modeling. Advances in Mathematics Education*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04432-9_3
- Waeytens, K., Lens, W., & Vandenberghe, R. (2002). "Learning to learn": teachers' conceptions of their supporting role. *Learning and Instruction*, 12(3), 305–322.
- Wang, M. C., Haertel, G. D., & Walberg, H. J. (1993). Toward a knowledge base for school learning. *Re-view of Educational Research*, 63, 249–294.
- Weinstein, C. E., Acee, T. W., & Jung, J. (2011). Self-regulation and learning strategies. *New Directions for Teaching and Learning*, 120, 45-53. <https://doi.org/10.1002/tl.443>
- Werth, S., Wagner, W., Ogrin, S., Trautwein, U., Friedrich, A., Keller, S., Ihringer, A., & Schmitz, B. (2012). Förderung des selbstregulierten Lernens durch die Lehrkräftefortbildung „Lernen mit Plan“: Effekte auf fokale Trainingsinhalte und die allgemeine Unterrichtsqualität. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 26, 291–305.
- Whitebread, D., Bingham, S., Grau, V., Pasternak, D. P. & Sangster, C. (2007). development of metacognition and self-regulated learning in young children: Role of collaborative and peer-assisted learning. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 6(3), 433-455. <https://doi.org/10.1891/194589507787382043>
- Whitebread, D., Coltman, P., Anderson, H., Mehta, S. & Pasternak, D. P. (2005). Metacognition in young children: Evidence form a naturalistic study of 3–5 year olds. Cyprus: University of Nicosia.
- Wild, E. & Möller, J. (2009). *Pädagogische Psychologie*. Heidelberg: Springer.
- Wild, K.-P. & Schiefele, U. (1994). LIST. Functioning. *Journal of Learning Disabilities*, 46(6), 500–516. <https://doi.org/10.1177/0022219413477476> Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neu en Fragebogens. *Zeitschrift für differentielle und Diagnostische Psychologie*, 15, 185–200.
- Wilhelm, F. H. & Grossman, P. (2010). Emotions beyond the laboratory: Theoretical fundamentals, study design, and analytic strategies for advanced ambulatory assessment. *Biological Psychology*, 84 (3), 552–569. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.01.017>

- Wilhelm, F.H., Roth, W.T., (1996). *Ambulatory assessment of clinical anxiety*. In: Fahrenberg, J., Myrtek, M. (Eds.), *Ambulatory Assessment: Computer-Assisted Psychological and Psychophysiological Methods in Monitoring and Field Studies*. Hogrefe & Huber Publishers, Gottingen, Germany, pp. 317–345.
- Wilhelm, F.H., Handke, E.M., Roth, W.T. (2003a). Detection of speaking with a new respiratory inductive plethysmography system. *Biomedical Sciences Instrumentation* 39, 136–141
- Wilhelm, F.H., Pfaltz, M.C., Grossman, P., (2006a). Continuous electronic data capture of physiology, behavior and experience in real life: towards ecological momentary assessment of emotion. *Interacting with Computers* 18 (2), 171– 186.
- Wilhelm, F.H., Pfaltz, M.C., Grossman, P., Roth, W.T., (2006b). Distinguishing emotional from physical activation in ambulatory psychophysiological monitoring. *Biomedical Sciences Instrumentation* 42, 458–463.
- Wilks, S. E. (2008). Resilience amid academic stress: The moderating impact of social support among social work students. *Advances in Social Work*, 9(2), 106–125. <https://doi.org/10.18060/51>
- Willcutt, E. G., Petrill, S. A., Wu, S., Boada, R., DeFries, J. C., Olson, R. K., & Pennington, B. F. (2013). Comorbidity Between Reading Disability and Math Disability: Concurrent Psychopathology, Functional Impairment, and Neuropsychological
- Willemsen, G., Ring, C., McKeever, S., & Carroll, D. (2000). Secretory immunoglobulin A and cardiovascular activity during mental arithmetic: Effects of task difficulty and task order. *Biological Psychology*, 52, 127–141. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-0511\(99\)00028-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-0511(99)00028-9)
- Wilson, G.F., 1988. Measurement of operator workload with the neuropsychological workload test battery. In: Hancock, P.A., Meshkati, N. (Eds.), *Human Mental Workload*. Elsevier, Amsterdam, pp. 63–100.
- Wilson, D. & Conyers, M. (2016). *Teaching students to drive their brains: Metacognitive strategies, activities, and lesson ideas*. Alexandria: ASCD.
- Winne, P. H. (2004). Students' calibration of knowledge and learning processes: Implications for designing powerful software learning environments. *Educational Research*, 41, 466–488.

- Wiradhany, W., Vugt, M. K., & Nieuwenstein, M. R. (2019). Media multitasking, mind-wandering, and distractibility: A large-scale study. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 82(3), 1112–1124. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01842-0>
- Wirth, J./Leutner, D. (2008): Self-regulated learning as a competence. Implications of theoretical models for assessment methods. In: *Zeitschrift für Psychologie/Journal of Psychology* 216, S. 102–110.
- Yang, T.-C., Chen, M. C., and Chen, S. Y. (2018). The influences of self-regulated learning support and prior knowledge on improving learning performance. *Comput. Educat.* 126, 37–52. doi: 10.1016/j.compedu.2018.06.025
- Zeidner, M., & Endler, N. S. (1996). *Handbook of coping*. New York: Wiley.
- Zeidner, M. (2014). Anxiety in education. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink-García (Eds.), *International handbook of emotions in education* (pp. 265-288). New York: Routledge.
- Zhang, S., de Koning, B. B., & Paas, F. (2023). Effects of finger and mouse pointing on learning from online split-attention examples. *British Journal of Educational Psychology*. <https://doi.org/10.1111/bjep.12556>
- Zimmer-Gembeck, M. J., & Skinner, E. A. (2011). Review: the development of coping across childhood and adolescence: an integrative review and critique of research. *International Journal of Behavioral Development*, 35, 1e17.
- Zimmerman, B. J. (2011). Motivational sources and outcomes of self-regulated learning and performance. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 49–64). New York, NY: Routledge.
- Zimmerman, B. J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement: An overview. *Educational Psychologist*, 25, 3–17.
- Zimmerman, B.J. (1994). Dimension of academic self-regulation: A conceptual framework for education. In D.H. Schunk & B.J. Zimmermann (Hrsg.) , *Self regulation of learning an performance:Issues and educational applications* (S.3-24).Hillsdale: Erlbaum.
- Zimmerman, B. J. (1995) Self-efficacy and educational development. In A. Bandura (Ed.), *Self-efficacy in changing societies* (pp. 202–231). New York: Cambridge University Press.
- Zimmerman, B. J. (1998). Developing self-fulfilling cycles of academic regulation: An analysis of exemplary instructional models. In D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulated learning: From teaching to self-reflective practice* (pp. 1–19). New York, NY, US: Guilford Publications.

- Zimmerman, B.J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich, & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 13-41). San Diego: Academic Press.
- Zimmerman, B. J. (2001). Theories of self-regulated learning and academic achievement: An overview and analysis. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Eds.), *Self-regulated learning and academic achievement - theoretical perspectives* (pp. 1-37). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Zimmerman, B.J. (2002). *Becoming a self-regulated learner: An overview*. Theory into practice, 41, 64–70.
- Zimmerman, B. J. (2008). Investigating self-regulation and motivation: Historical background, methodological developments and future prospects. *American Educational Research Journal*, 45, 166–183.
- Zimmerman, B., Bonner, S., & Kovach, R. (1996). Goal 1: Understanding the principles of self-regulated learning. In *Developing self-regulated learners: Beyond achievement to self-efficacy* (pp. 5—24). Washington, D.C.: American Psychological Association.
- Zimmerman, B. J., & Campillo, M. (2003). Motivating self-regulated problem solvers. In J. E. Davidson & R. J. Sternberg (Eds.), *The Psychology of Problem Solving* (pp. 233-262). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9780511615771.009>
- Zimmerman, B. J. & Martinez-Pons, M. (1988). Construct validation of a strategy model of student self-regulated learning. *Journal of Educational Psychology*, 80, 284-290.
- Zimmerman, B. J. & Martinez-Pons, M. (1986). Development of a structured interview for assessing student use of self-regulated learning strategies. *American Educational Research Journal*, 23, 614-628.
- Zimmerman, B. J., & Schunk, D. H. (Eds.). (2001). *Self-regulated learning and academic achievement: theoretical perspectives* (2nd ed.). Mahwah: Erlbaum.
- Zusho, A., Pintrich, P. R., & Cortina, K. S. (2005). Motives, goals, and adaptive patterns of Performance in Asian American and Anglo American students. *Learning and Individual Differences*, 15, 141–158. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2004.11.003>

ANHANG

ANHANG A

Abbildung 1. Flavell's Metakognitions Modell.	23
Abbildung 2. Rahmenmodell der Selbsteinschätzung.....	24
Abbildung 3. Phasenmodell des Selbstregulierten Lernens.	42
Abbildung 4. Dreischichtenmodell des Selbstregulierten Lernens.	43
Abbildung 5. Hierarchieebenen der Selbstbeobachtung und- regulation.....	44
Abbildung 6. MASRL-Modell.	45
Abbildung 7. Sozial- kognitives Modell der Emotionsentwicklung	59
Abbildung 8. Kognitiv- motivationales-Mediationsmodell	61
Abbildung 9. Kontroll-Wert-Modell der Leistungsempfindungen.....	63
Abbildung 10. Klassifikation von Lernempfindungen	68
Abbildung 11. Varioport Minicomputer	108
Abbildung 12. Metakognitive Kompetenz.	114
Abbildung 13. Emotionen Freude, Stolz, Hoffnungslosigkeit	120
Abbildung 14. Emotionen Flow, Angst, Ärger, Langeweile	121
Abbildung 15. Bewegungsaktivität während der Aufgabenbearbeitung	124
Abbildung 16. Zusammenhang Bewegung und Herzrate bei der Aufgabenbearbeitung.....	126
Abbildung 17. Herzrate während der Aufgabenbearbeitung.....	127
Abbildung 18. Herzrate in unterschiedlichen Situationen	129
Abbildung 19. Scatter-Plot zu Herzrate und Angst.....	130
Abbildung 20. Scatter- Plot zu Herzrate und Hoffnungslosigkeit.....	131
Abbildung 21. Bewegungsintensität in unterschiedlichen Situationen.	133
Tabelle 1 Module des metakognitiven Trainings	106
Tabelle 2 Items zur Selbsteinschätzung metakognitiver Kompetenz (Reliabilität)	110
Tabelle 3 Items zu Emotionen.....	111
Tabelle 4 Demografische Informationen zur Stichprobe	113
Tabelle 5 Dreifaktorielle ANOVA (Zeitpunkt,Emotion,Gruppe)	115
Tabelle 6 Zweifaktorielle ANOVAs über die verschiedenen Emotionskategorien	117
Tabelle 7 Deskriptive Maße Emotionen (separiert nach Gruppe und Messzeitpunkt)	118
Tabelle 8 Ergebnisse der post-hoc t-Tests für Emotionskategorien.....	119
Tabelle 9 Post-hoc-t-Tests der Bewegungsaktivität während Aufgabenbearbeitung	124
Tabelle 10 Korrelation Herzrate und Kontrollmaß der Bewegungsaktivität	125

ANHANG B

Staatliche Schulämter in der Stadt und im
Landkreis XXX

XXX

Barbara Klostermeyer, Schul.-Psych.

XXX

Doktorandin am Lehrstuhl für
Entwicklungspsychologie der LMU

Herrn XXX

Schulamtsdirektor

München

Sehr geehrter Herr XXX,

hier die genauere Beschreibung der Untersuchung.

Zu Beginn der Studie werden aus ca. zwei Schulklassen mittels Vortest 30 besonders leistungssängstliche Schüler ermittelt. Der Vortest kann im Monat Mai stattfinden, wird im Unterricht durchgeführt und hat eine Dauer von ca. 30 Minuten. Die Schüler werden durch zufällige Auswahl in zwei Gruppen zu je 15 Schülern eingeteilt. Im Anschluss daran sollte während der Unterrichtszeit ein kurzer, mathematischer Eingangstest von 30 min. Dauer durchgeführt werden, der zunächst von Gruppe A durchgeführt wird und dann von Gruppe B.

Gruppe A erhält ein Metakognitives Training und Gruppe B trainiert lediglich die mathematischen Kompetenzen. Durch die Teilung lässt sich später abschätzen, welche Effekte das Training hat. Gruppe A trainiert an den Tagen Montag, Mittwoch und Freitag, für jeweils ca. 90 min. Gruppe B erhält an drei anderen Tagen der Woche, Dienstag, Donnerstag und Montag ebenfalls jeweils ca. 90 min. Am darauffolgenden Dienstag- und Mittwochvormittag durchlaufen beide Gruppen wieder einen kurzen Leistungstest, der 30 min. dauern wird. Im Vergleich zum ersten Leistungstest lassen sich somit Trainingseffekte auf Stressverarbeitung und Leistungsverhalten auch in realen Unterrichtssituationen feststellen.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit des Trainings soll u. a. die Herzrate dienen, die als zuverlässiger Stressindikator mittels eines kleinen Datenrecorders, der in der Tasche getragen wird, aufgezeichnet werden soll.

Die Datenrecorder werden an zwei Vormittagen von den Schülern getragen und vor dem Unterricht unter Mithilfe von Mitarbeitern des Lehrstuhls angelegt.

Eigene Vorstudien haben gezeigt, dass das Tragen der Datenrecorder weder störenden Einfluss auf den schulischen Alltag, noch auf die Bewegungsmöglichkeiten der Schüler nimmt.

ANHANG B Genehmigungen und Informationen für Eltern

Zusammenfassend ergibt sich folgender Zeitaufwand: Die Studie erstreckt sich über einen Zeitraum von 2 Wochen. Dabei nimmt jeder einzelne Schüler mit 3 x 30 min. vormittags an der Studie teil. Weitere 3 x 90 min entfallen auf die Trainingseinheiten.

Zu klären bleibt, ob das Training am Vormittag oder am Nachmittag stattfinden kann.

In der Anlage finden Sie den Elternbrief sowie das Informationsschreiben für die Lehrkräfte. Für die Schüler wird anstelle eines Schreibens eine ausführliche mündliche Informationsveranstaltung im Vorfeld der Studie durchgeführt. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, gezielt auf Fragen einzugehen und gleichzeitig die Motivation an der Studie teilzunehmen, zu erhöhen.

Das Einverständnis der Eltern wird selbstverständlich vorausgesetzt.

Ich hoffe, Ihre noch offenen Fragen beantwortet zu haben. Über eine positive Rückmeldung wäre ich sehr erfreut.

Mit freundlichem Gruß

Barbara Klostermeyer

Volksschule XXX

Barbara Klostermeyer,

Staatliche Schulpsychologin

Doktorandin am Lehrstuhl für
Entwicklungspsychologie der LMU

München

Liebe Eltern,

im Rahmen einer wissenschaftlichen Untersuchung an der Ludwig- Maximilians- Universität München befaße ich mich mit Möglichkeiten der Stressreduktion durch Anwenden metakognitiver Strategien im Mathematikunterricht. Die Arbeit wird unterstützt vom Lehrstuhl für Entwicklungspsychologie der Universität München.

In der Rolle als Lehrerin und Schulpsychologin bin ich häufig mit Schulleistungsproblemen konfrontiert.

Metakognitionen geben Aufschluss des „Denkens über das Denken“. Sie befähigen Schüler dazu, ihre geistigen Aktivitäten bewusster zu steuern. Damit liefern sie eine wichtige Voraussetzung selbstregulierten Lernens.

Ein wesentliches Ziel der Untersuchung besteht darin, Schülern Fertigkeiten mit Hilfe eines Trainings zu vermitteln, mit denen sie in stressbehafteten Leistungssituationen sicherer im Lösen von Aufgaben werden und in einem größeren Maß zu selbstreguliertem Lernen befähigt werden. Das Training soll helfen, den Schülern Arbeitsprozesse bewusster zu machen und freier und kompetenter mit Lernplanung und Lernarbeit umzugehen

Die Eigenbeobachtung, das Bewusstmachen des emotionalen Erlebens und der Zielerklärung stellen dabei einen wichtigen Teil des selbstregulierten Lernens dar.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit des Trainings soll u. a. die Herzrate dienen. Diese gibt einen zuverlässigen Hinweis auf Stress und kann für die Schüler mittels eines kleinen Datenrecorders, der in der Tasche getragen wird, aufgezeichnet werden. Zusätzlich sollen Leistungsdaten und Einschätzungen der Schüler zu ihrer Beanspruchung in unterschiedlichen Unterrichtssituationen erhoben werden.

Die Studie erstreckt sich über einen Zeitraum von 2 Wochen. Dabei nimmt jeder einzelne Schüler mit 3 x 30 min. vormittags an der Studie teil. Weitere 3 x 90 min entfallen auf die Trainingseinheiten.

Der reguläre Unterricht wird wenig gestört. Schüler erhalten ein weiteres „Handwerkszeug“ für ihre Leistungsanforderungen.

ANHANG B Genehmigungen und Informationen für Eltern

Es handelt sich um einen Beitrag, der sich der aktuellen Diskussion der Stressreduzierung im Leistungskontext von Schülern und den Studien der Kompetenzerweiterung anschließt.

Durch Ihre Einverständniserklärung mit der Sie Ihren Kindern die Teilnahme an der Studie erlauben, würden Sie wesentlich das wissenschaftliche Interesse am stressreduzierten Umgang mit Leistungsanforderungen in Schulen unterstützen, aber natürlich besonders ihre Kinder.

Als Anerkennung stellen wir ihren Kindern eine Belohnung in Aussicht.

Über den Verlauf der Studie und über die Ergebnisse sind wir gerne bereit, sie jederzeit zu informieren.

Mit freundlichen Grüßen

Barbara Klostermeyer

ANHANG C

MATHEMATIKAUFGABEN TESTZEITRAUM 1

1

Tobias und seine Großmutter sind zusammen 100 Jahre alt. Seine Großmutter ist dreimal so alt wie er. Stelle einen **Term** auf.

2

In einem Betrieb arbeiten 90 Frauen, das sind 45% der Beschäftigten. Wie viele Beschäftigte hat der Betrieb?

3

In einem Dreieck ist die zweite Seite doppelt so lang wie die erste, die dritte Seite ist eineinhalbmal so lang wie die erste. Berechne die Seitenlänge.

Trainingsaufgabe 1

Praktisches Beispiel als Modellaufgabe:

Wasserumfüll-Problem Luchin (1942)

Du hast drei Krüge mit unterschiedlichem Volumen, einen Wasserhahn und einen Ausguss.
Deine Aufgabe: Miss ein bestimmtes Wasservolumen ab.

Du darfst: die Krüge nach Belieben füllen und wieder ausleeren und Wasser von einem Krug in einen anderen umschütten.

Beispiel 1:

Krug A: 21 Liter

Krug B: 127 Liter

Krug C: 3 Liter

Wie kannst du 100 Liter abmessen?

Beispiel 2:

Krug A: 15 Liter

Krug B: 39 Liter

Krug C: 3 Liter

Wie kannst du 18 Liter abmessen?

1. Phase **der Orientierung** ist die in der Aufgabenstellung gegebene Information zu verarbeiten und zu verstehen.
2. Phase (**Planung**) geht es um die Strukturierung der Aufgabenlösung und die Anordnung der zur Lösung notwendigen Schritte.
3. Phase beinhaltet dann die **Ausführung des Lösungsplanes** und die
4. Phase die Evaluation der erarbeiteten Lösung und ihre **Reflexion**

Trainingsaufgabe 2

Der Suez Kanal ist 193 km lang. Die Fahrt mit dem Schiff durch den Kanal dauert 14 Stunden.

Würde man um die Südspitze Afrikas fahren, benötigt das Schiff ca. 5-8 Tage.

1. Wie viele Stunden spart der Kanal?
2. Wie viel Mal länger dauert es um die Südspitze Afrikas?
3. Berechne die Geschwindigkeit, mit der das Schiff im Kanal fährt.

1. Erkenne die Aufgabenanforderungen
2. Schätze dein Vorwissen ein
3. Formuliere Ziele (Grob-und Feinziele)
4. Aktiviere dein Lernstrategiewissen
5. Lege eine Handlungsabfolge fest
6. Beobachte dein Handeln – Bewerte es
7. Finde Gründe für Diskrepanzen zwischen Ist und Soll – was benötigst du noch?

Trainingsaufgabe 3

$$3(a - 4) = 1 - \frac{1}{6}(2 - a)$$

Gemeinsam erarbeitete Lösung:

1. Multipliziere die Klammer aus:

$$3a - 12 = 1 - \frac{2}{6} + \frac{1}{6}a$$

2. Fasse zusammen:

$$3a - 12 = \frac{4}{6} + \frac{1}{6}a \quad // - \frac{1}{6}a + 12$$

$$3a - \frac{1}{6}a = \frac{4}{6} + 12$$

3. Fasse zusammen:

$$\frac{17}{6}a = \frac{76}{6} \quad // : \frac{17}{6}$$

$$a = \frac{76}{17} = 4,47$$

1. Erkenne die Aufgabenanforderungen
2. Schätze dein Vorwissen ein
3. Formuliere Ziele (Grob- und Feinziele)
4. Aktiviere dein Lernstrategiewissen
5. Lege eine Handlungsabfolge fest
6. Beobachte dein Handeln – Bewerte es
7. Finde Gründe für Diskrepanzen zwischen Ist und Soll – was benötigst du noch?

Trainingsaufgabe 4

Löse die Gleichung nach x auf:

$$4,75x - (3,5 - 2x) \cdot 3 - (0,5x + 1) \cdot 3 = 2x$$

1. Erkenne die Aufgabenanforderungen
2. Schätze dein Vorwissen ein
3. Formuliere Ziele (Grob- und Feinziele)
4. Aktiviere dein Lernstrategiewissen
5. Lege eine Handlungsabfolge fest
6. Beobachte dein Handeln – Bewerte es
7. Finde Gründe für Diskrepanzen zwischen Ist und Soll – was benötigst du noch?

MATHEMATIKAUFGABEN TESTZEITRAUM 2

1

Eine Jugendgruppe unternimmt eine zweitägige Wanderung in die Berge. Am zweiten Tag wandert die Gruppe 8 km mehr als am ersten Tag. Insgesamt legt sie 46 km zurück. Berechne die Wanderstrecke pro Tag.

2

Frau Berger schließt eine Versicherung in Höhe von 37 500 Euro ab. Ihr Beitrag beträgt 5%. Wie hoch ist ihr jährlich zu leistender Beitrag?

3

Ein Rechteck hat einen Umfang von 144 cm. Seine Länge ist doppelt so groß wie seine Breite. Berechne Länge, Breite und Flächeninhalt des Rechtecks.

ANHANG D

METAKOGNITIVES TRAINING

Training des Self Monitoring (vgl. Kapitel 2.4.1)

Präaktionale Phase

Reflexion von Motivation / Emotion

Bewusstmachen kognitiver Fähigkeiten (was weiß ich schon über...)

Meine Erfahrungen mit Matheaufgaben sind: ich kann gut ..., ich benötige Hilfe bei...

Manchmal bin ich auch abgelenkt (was lenkt mich ab? Ich führe z.B. ein Tagebuch über störende Gedanken-Gedanken-Stopp Technik- Was hat mir geholfen, konzentriert weiter zu arbeiten?

Wie teile ich mir meine Arbeitszeit ein?

Meine klaren und erreichbaren Ziele für die Bearbeitung der Aufgaben sind (wie gehe ich vor? Was will ich erreichen?)

Welche Gefühle habe ich beim Bearbeiten von Aufgaben? Wie bin ich damit umgegangen?

Wie fühle ich mich jetzt, wenn ich an die folgenden Mathematikaufgaben denke?

Aktionale Phase

Reflexion metakognitiver Strategien

Beispiel *Luchin*; Beispiel *Seile* siehe PP

Überprüfe:

Lies die Aufgabe genau

Frage dich, ob du die Aufgabe verstanden hast

Lies nochmals, bis du die Aufgabe verstehst

Finde die wichtigsten Informationen der Aufgabe und wiederhole sie mit eigenen Worten-

Erkennst du die Problemstellung?

Was könnte dir jetzt noch helfen?

Verankere

Frage dich, welche weiteren Informationen du benötigst, um eine Entscheidung für die Weiterarbeit zu treffen?

Hast du alle Informationen, um anzufangen?

Welche Informationen kannst du verwenden, um die Aufgabe zu lösen?

Planung der Lösung

Überlege dir, wie viele Schritte und Vorgänge nötig sind, um zu einer Lösung zu kommen?

(Mache evtl. eine Skizze!)

Warum ist *diese Strategie* die am besten geeignetste?

Was würde passieren, wenn du eine andere Strategie anwenden würdest?

Überprüfe nach jedem Schritt, ob die Strategie, die du anwendest, die am besten geeignetste ist!

Reflexion der Lösung

Überprüfe deine Berechnungen auf Fehler oder fehlende Informationen!

Frage dich, ob du die richtige Entscheidung getroffen hast- denke laut!

Postaktionale Phase

Reflexion- Evaluation

Bewertung der Bearbeitung der Aufgabe (was konnte ich gut? wo war es schwierig für mich?)

Zielregulation (was hat geholfen? habe ich erreicht, was ich mir vorgenommen habe?)

Strategieregulation (welche [mathematische] Strategie hat mir besonders geholfen?

was hätte ich noch tun können? Peer Feedback.)

Was hat mich abgelenkt?

Reflexion der Emotionen (wie ist es dir ergangen beim Bearbeiten?)

Wie bin ich mit meiner Emotion umgegangen?

(Was könnte ich noch tun im Umgang mit meinen Emotionen?)

METAKOGNITIVES TRAINING Beispiele für Self-Monitoring

ABLENKER

Häufig lenkt mich beim Rechnen ab...

Was tust du dagegen ?

MOTIVATION

Manchmal bin ich nicht motiviert..

Dann mache ich....

ZIELORIENTIERUNG

In Mathematik möchte ich erreichen ...

Meine Schritte, um das zu erreichen sind....

SOZIALFORMEN	
<p>In Mathematik arbeite ich in verschiedenen Sozialformen ...</p> <p>Ich arbeite allein...</p> <p>Ich arbeite in der Gruppe...</p> <p>Ich arbeite im Klassenverband...</p>	<p>wenn...</p>

STIMMUNG	
<p>Wenn ich in einer guten Stimmung im Mathematikunterricht bin...</p> <p>Wenn ich in einer schlechten Stimmung im Mathematikunterricht bin..</p>	<p>dann...</p>

PLANUNG MEINER ARBEITSZEIT	
<p>Ich teile mir die Zeit für die Bearbeitung von Mathematikaufgaben ein.</p>	<p>Das mache ich, indem ich...</p>

LAUTES DENKEN	
Es hilft mir bei Mathematikaufgaben, laut zu denken,	weil....

ABLAUF DES TRAININGS ANHAND POWER POINT DARSTELLUNG

Planen – beobachten - regulieren

Folie 2

Planen einer Aufgabe

Z weck warum ?

I nhalt

E rgebnis

L änge

Für folgende

Aufgabe bedeutet das..

Folie 3

Überlege:

Du hast drei Wassereimer A, B und C.

A fasst 21 l, B 127 l und C 3 Liter.

Ausserdem steht Dir ein beliebig großer Wasservorrat und ein Spülbecken zur Verfügung.

Deine Aufgabe besteht darin, mit Hilfe dieser drei Eimer, 100 l Wasser abzumessen.

Folie 4

Überlege:

Zwei von der Decke eines Raumes herabhängende Seile

sollen aneinandergestrickt werden. Sie sind jedoch

so weit auseinander, dass eine Person nicht beide Seilenden auf einmal ergreifen kann.

In dem Raum befindet sich ausserdem ein Stuhl, etwas Papier, Pinnadeln und eine Schere

Folie 5

**Versuche ein Grobziel
und Feinziele für
diese Aufgabe zu entwickeln.**

Folie 6

**Wir schauen auf Max –
Er muss die Aufgabe in ...
Grobziele und Feinziele
einteilen.
Warum ? Überlege für diese
Aufgabe !**

Folie 7

**Bei der Bearbeitung der
Aufgabe kann Max sich
beobachten-**

**Er fragt sich, wie es ihm
geht, bevor er beginnt.**

Folie 8

**...auch während er
arbeitet...**

Folie 9

und nachdem er fertig ist...

Folie 10

Hat er / Du alles geschafft ?

**Wo hatte er / hattest Du
Schwierigkeiten?**

**Was ist ihm / Dir leicht
gefallen ?**

**Welche Hilfsmittel/
Strategien waren hilfreich ?**

Folie 11

**Was könnte ihm bei der Aufgabe
helfen ?**

Überlege

Folie 12

Freund fragen

Probieren

Skizze

Lehrer

Buch

Internet

Arbeitsgruppe

**Aufzeichnungen der letzten Stunde
ansehen...**

Folie 13

**Max entscheidet sich für eine
Skizze .
Warum ?**

Was könnte er darauf zeichnen ?

Folie 14

**Für das Bearbeiten braucht Max
Konzentration.**

Wie geht es Dir damit ?

Welche Ablenker kennst Du ?

Lärm

(Geschwister)

Hunger

Gedanken an die Freizeit

(Fernsehen)

Computer

Was machen sie mit Dir ?

Überlege und notiere!

Folie 17

**Max hat negative Gefühle
Sie plagen ihn besonders,
er ist ängstlich darüber,
ob seine Freunde ihn noch
mögen...**

**Kennst Du ähnliche Gefühle ?..
Welche Gefühle hast Du?**

Folie 18

STOP!

**Ich kann diese Gefühle
umformulieren !**

Hilf Max!

**Max ist eben oft abgelenkt.
Er möchte etwas dagegen tun...
Könnte er eine kurze Pause
einlegen ?**

Hast Du andere Ideen für ihn ?

**Er braucht einen „Willen“ –
eine Absicht
einen Entschluss...
oder einen Vertrag mit sich
selbst...**

**Dies ist deine
Trainingsaufgabe...
Hier hast Du
Möglichkeiten der
Umsetzung dessen, was wir
trainiert haben...**

**Starte durch mit Hilfe
der
Trainingsmodule
Löse die Gleichung nach x auf!**

$$7,25x - (1,5 + 0,75x) - (x + 3,25)5 = -6$$

ANHANG E

Skala Metakognitionen

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten wie man Aufgaben angeht. Bitte bewerte die folgenden Lösungsansätze.		Sehr gute Lösung	Gute Lösung	Mittelmäßige Lösung	Schlechte Lösung	Sehr schlechte Lösung
1	Klaus lernt ähnliche Aufgaben auswendig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	Sabine unterstreicht die wichtigsten Aussagen der Aufgabe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Michael erkennt, dass er für das Berechnen eine Formel braucht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	Christian schreibt die Aufgabe bei einem Freund ab.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	Maria fertigt eine Skizze an.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6	Jan versucht den Lösungsweg zu raten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	Christine hat die Aufgabe beim Durchlesen nicht verstanden. Christine liest sie nochmals.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8	Martin versucht die Aufgabe durch Kürzen zu lösen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9	Anna formuliert eine Gleichung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Skala Emotionen

Bitte kreuze an, wie es dir bei der Bearbeitung der Matheaufgabe gegangen ist.		Stimmt gar nicht	Stimmt kaum	Stimmt teilweise	Stimmt überwiegend	Stimmt genau
1	Die Aufgabe hat mir Spaß gemacht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	Die Aufgabe hat mich verärgert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Am liebsten hätte ich aufgegeben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	Die Aufgabe hat mich gelangweilt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	Ich hatte Angst.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6	Ich bin stolz darauf, dass ich die Matheaufgabe lösen konnte.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	Ich bin ganz in der Bearbeitung aufgegangen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Anmerkung: Die Items wurden jeweils nach der Bearbeitung einer Mathematikaufgabe vorgegeben.

Abkürzungen

Abkürzungen

AA	<i>Ambulantes Assessment</i>
Abb	<i>Abbildung</i>
CVT	<i>Control value model</i>
TG	<i>Experimentalgruppe /Trainingsgruppe</i>
Hrsg	<i>Herausgeber</i>
HR	<i>Herzrate</i>
KG	<i>Kontrollgruppe</i>
MK	<i>Metakognition</i>
S	<i>Seite</i>
SRL	<i>Selbstreguliertes Lernen</i>
Tab	<i>Tabelle</i>
TR	<i>Training</i>
t1	<i>Testzeitpunkt 1</i>
t2	<i>Testzeitpunkt 2</i>