Integrative und interaktive Mechanismen bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko: Die Verarbeitung langfristiger Konsequenzen und ungefährer Zahlen

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Abteilung Informatik und Angewandte Kognitionswissenschaft
der Universität Duisburg-Essen

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigte kumulative Dissertation

von
Silke M. Müller
aus
Coesfeld

Gutachter: Prof. Dr. Matthias Brand
Gutachterin: Prof. Dr. Margarete Delazer

Tag der mündlichen Prüfung: 08.11.2018

Danksagung

Ich habe das gemacht, was mir Spaß macht.
Trotz aller schwierigen Zeiten, Rückschläge und Durststrecken: Diese Worte nun in dieses Dokument schreiben zu können, zeigt mir, wie glücklich ich mich schätzen kann.

Ich danke…

… Ihnen, die Sie diese Arbeit (wenn auch nur in Teilen) lesen
und ihr damit eine Bedeutung geben.

… Dir, als Person, die mich kennt und mich geprägt hat,
für Deine Unterstützung und Inspiration. Ob fachlich oder emotional, direkt oder indirekt, groß oder klein – Du hast einen Teil dazu beigetragen, dass ich diese Aufgabe meistern konnte, ohne den Boden unter den Füßen oder das Leben aus den Augen zu verlieren.

Ich habe die Ehre und das unfassbare Glück auf meinem Weg einer Reihe unverwechselbarer Menschen begegnet zu sein, auf die das Obengenannte in besonderem Maße zutrifft. Mein ausdrücklicher Dank gilt...

… Dir,
Matthias Brand (für die verlässliche Betreuung, immerwährende Wertschätzung, Förderung und Forderung); Margarete Delazer (für die Begutachtung, fachlichen Austausch und Inspiration); meinem gesamten (und ehemaligen) Team mit seinen liebenswerten Individuen und deren spezifischen Kompetenzen, allen voran Elisa Wegmann (Role Model, Empathie-Bombe und Ersthelferin in diversen Lebenslagen), darüber hinaus: Johannes Schiebener und Bettina Gathmann (Wegbereiter und -begleiter), Patrick Trotzke (Kümmerer und Kritiker mit Witz im Feedback), Magnus Liebherr (Triebwerk und Energie-Lieferant in dunklen Stunden), Jaro Pekal (Projektpartner und [Reise-]Gefährte mit Tiefgang), Gerrit Stöckigt (stabiler Beistand, Leidens- und Bürogenosse), Stephanie Antons (Positiver Pol mit Bindung zu OH-Gruppen), Emily Jameson (Gratifikationsspenderin), Guillermo Carbonell (Temperamentsbolzen mit Hüftschwung), Benjamin Stodt (Fuchs mit Wortwitz) sowie allen (Hilfs-)Kräften (Zahnräder, Motoröl und Stützpfeiler), ohne die das wissenschaftliche Arbeiten kaum möglich und nur halb so schön (gewesen) wäre.

… meiner Familie
und allen, die ich dazu zähle – ihr wisst Bescheid.
♥

It is our choices […] that show what we truly are,
far more than our abilities.

(Joanne K. Rowling)

Zusammenfassung

Das Treffen von Entscheidungen stellt in Abhängigkeit von der Situation und der Person unterschiedliche Anforderungen an kognitive Prozesse. Die Situation bedingt, welche Informationen zum Treffen einer Entscheidung zur Verfügung stehen. Die Person bedingt, wie diese Informationen verarbeitet werden. Die vorliegende Dissertation fokussiert Entscheidungssituationen unter objektivem Risiko, bei denen im Vorfeld explizite Informationen über mögliche Konsequenzen einer Entscheidung und deren Wahrscheinlichkeiten vorliegen. Sogenannte Dual-Prozess Theorien postulieren zwei Arten von Informationsverarbeitungsprozessen, die miteinander interagieren: emotionsbasiert-intuitive und analytisch-reflektierende Prozesse (für einen Überblick siehe z.B. Evans & Stanovich, 2013). Derartige Dual-Prozess Annahmen finden sich in verschiedenen Forschungsansätzen wieder, so auch bezüglich Forschung zur Abwertung verzögerter Konsequenzen, Zahlenverarbeitung und Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko. Studien zeigen, dass bei objektiven Risikoentscheidungen jene kognitiven Funktionen bedeutsam sind, die der reflektierenden Verarbeitung zugeschrieben werden (Arbeitsgedächtnis, Exekutivfunktionen und Wahrscheinlichkeitsverarbeitung). Mechanismen des Zusammenwirkens dieser mit intuitiven Faktoren wurden jedoch in diesem Kontext bislang kaum empirisch untersucht. Hierfür mangelt es unter anderem an experimentellen Methoden zur Operationalisierung von Fähigkeiten, intuitive und reflektierende Verarbeitungsprozesse beim Treffen von Entscheidungen zu integrieren. Die vorliegende kumulative Dissertation adressiert ebendiese Forschungslücken. Dabei werden Dual-Prozess Annahmen über die Verarbeitung zeitlich unterschiedlicher Konsequenzen sowie über die Verarbeitung von Zahlen im Kontext objektiver Risikoentscheidungen betrachtet. Schrift 1 untersucht Entscheidungen, die eine Integration von Informationen über in Konflikt stehende kurzfristige (intuitive Verarbeitung) und langfristige Konsequenzen (reflektierende Verarbeitung) erfordern. Zusätzlich werden Interaktionen zwischen Eigenschaften der Person und der Situation (in Form von Feedback), welche jeweils mit intuitiver bzw. reflektierender Verarbeitung assoziiert werden, bei derartigen Entscheidungen untersucht. Um diese spezifischen Entscheidungssituationen abzubilden, wurde ein neues Instrument entwickelt, mit dem Feedback über kurz- und langfristige Konsequenzen im Rahmen objektiver Risikoentscheidungen systematisch variiert werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass die individuelle Neigung zu reflektierender Verarbeitung nur dann einen positiven Effekt auf

die Entscheidungsleistung hat, wenn kein Feedback über langfristige Konsequenzen vorliegt. Schrift 2 und Schrift 3 untersuchen die Beteiligung intuitiver Zahlenverarbeitungsprozesse (Approximation) beim Treffen objektiver Risikoentscheidungen. Schrift 2 prüft direkte Effekte von Fähigkeiten, ungefähre, approximierte Zahlen (intuitiv) zu verarbeiten und an verschiedenen Stufen des Entscheidungsprozesses adäquat zu integrieren. Zur Operationalisierung entsprechender Fähigkeiten bestand die Notwendigkeit der Entwicklung eines weiteren, neuen Instruments. Unter dessen Verwendung wird aufgezeigt, dass die Fähigkeit, von approximierten Zahlen präzise Risikoevaluationen ableiten zu können, die Entscheidungsleistung unter objektivem Risiko bedeutend mitbedingt, über den Einfluss reflektierender Kompetenzen hinaus. Daran anschließend prüft Schrift 3 Interaktionen zwischen ungefähren (intuitiven) und exakten (reflektierenden) Zahlenverarbeitungskompetenzen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine hohe Approximationspräzision mit Fähigkeiten zur exakten Zahlenverarbeitung (Exekutivfunktionen und *Numeracy*) interagiert. Die Befunde deuten an, dass intuitive Verarbeitungskompetenzen Defizite in reflektierenden Kompetenzen zum Teil kompensieren können.

Insgesamt bieten die Befunde der Schriften des vorliegenden Kumulus neue Erkenntnisse über das Zusammenspiel von intuitiv und reflektierend assoziierten Verarbeitungsprozessen im Rahmen der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko. Die Einordnung der Ergebnisse unter Einbezug multidisziplinärer Dual-Prozess Ansätze ermöglicht eine Konkretisierung und Erweiterung bisheriger Annahmen, wofür die vorliegende Arbeit Vorschläge anbietet. Die beiden neu entwickelten Instrumente stellen zudem wichtige Ansatzpunkte für Folgestudien zur Erforschung spezifischer kognitiver Teil-Prozesse der Entscheidungsfindung dar wie beispielsweise dem Abwägen von Konsequenzen oder dem (intuitiven) Evaluieren von Risiken.

Abstract

Decision making places different demands on cognitive processes, depending on situational and individual factors. Decision situations under objective risk offer information about possible consequences and their probabilities, which enables a priori evaluations of the given options based on objective criteria. Research shows that advantageous decisions in such situations are associated with characteristics that favor reflective information processing (e.g. low impulsivity, high executive control, or ratio processing skills). A variety of theories postulate a dual-process approach with reflective (analytical) and intuitive (emotion-based) processes interacting. This is also assumed for decisions under objective risk. However, interactions between these processes have yet rarely been differentiated regarding the involvement of situational and individual factors in this context. Also, there is a lack of instruments for operationalizing respective individual abilities and manipulating situational factors. This dissertation fills these research gaps. Script 1 investigates decisions that require the integration of conflicting short-term (intuitive processing) and long-term consequences (reflective processing). Therefore, a new decision task was developed, which represents respective situations and allows systematic feedback variations. Using this, interaction effects between processing preference (individual factors) and feedback (situational factor) on these kind of objective risk decisions are analyzed. The results indicate that intuitive processing preferences lead to risky (short-term-oriented) decision making, but only in case feedback on short- but not on long-term consequences was present. Script 2 and script 3 look at the involvement of intuitive number processing (approximation) in decision making under objective risk. Script 2 investigates direct effects of different abilities to integrate approximate numbers in the decision making process. By using a newly developed task, the meaningful effects of approximative risk-evaluation skills are highlighted. Script 3 analyses interactions of exact and approximate number processing on decisions under objective risk. Interactions between executive functions, numeracy, and approximation skills are reported, suggesting compensatory effects of intuitive number skills in case of low reflective skills.

Overall, the reported findings provide new insights on the interplay between reflective and intuitive processes with situational and individual factors in decision making under objective risk. The classification of the results by involving multidisciplinary dual-process approaches enables putting previous assumptions into concrete terms.

Vermerk der Schriften des Kumulus

Alle Schriften des vorliegenden Kumulus sind zum Zeitpunkt der Einreichung dieser Dissertation in internationalen *peer-reviewed* Journals publiziert.

Schrift 1

Mueller, S. M., Schiebener, J., Stöckigt, G. & Brand, M. (2017). Short- and long-term consequences in decision-making under risk: Immediate feedback about long-term prospects benefits people tending to impulsive processing. *Journal of Cognitive Psychology*, *29*(2), 217-239. doi:10.1080/20445911.2016.1245660

Schrift 2

Mueller, S. M., Schiebener, J., Delazer, M. & Brand, M. (2018). Risk approximation in decision making: Approximative numeric abilities predict advantageous decisions under objective risk. *Cognitive Processing*. *19*(3), 297-315. doi:10.1007/s10339-018-0854-9

Schrift 3

Mueller, S. M. & Brand, M. (2018). Approximate number processing skills contribute to decision making under objective risk: Interactions with executive functions and objective numeracy. *Frontiers in Psychology: Cognition,* *9*(1202), 1-16. doi:10.3389/fpsyg.2018.01202

Inhaltsverzeichnis

Danksagung I
Zusammenfassung III
Abstract V
Vermerk der Schriften des Kumulus VI
1 Einleitung 1
2 Theoretischer Hintergrund 2
2.1 Duale Prozesse der Verarbeitung kurz- und langfristiger Konsequenzen 4
2.1.1 Hot/Cool Framework des Belohnungsaufschubs nach Metcalfe und Mischel 5
2.1.2 Neurokognitive Perspektive der Willensstärke nach Bechara 6
2.2 Duale Prozesse der Zahlenverarbeitung 10
2.2.1 Exakte Zahlenverarbeitung 12
2.2.2 Approximative Zahlenverarbeitung 14
2.3 Dual-Prozess Modell der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko 16
2.4 Alternativer Dual-Prozess Ansatz: Fuzzy Trace Theory 21
3 Forschungsziele 24
4 Zusammenfassung der Schriften des Kumulus 30
4.1 Schrift 1: Kurz- und langfristige Konsequenzen bei Entscheidungen unter objektivem Risiko 30
4.2 Schrift 2: Ungefähre Zahlenverarbeitungskompetenzen bei Entscheidungen unter objektivem Risiko 33
4.3 Schrift 3: Interaktionen der Approximationsfähigkeit mit Exekutivfunktionen und Numeracy bei objektiven Risikoentscheidungen 36
5 Diskussion 38
5.1 Die Verarbeitung von Konsequenzen bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko 39
5.2 Die Verarbeitung numerischer Information bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko 44
5.3 Synthese: Abgeleitete Annahmen für den Prozess der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko 47
6 Ausblick und Fazit 54
7 Literaturverzeichnis 57
Abbildungsverzeichnis VII
Erklärung über die eigenständige Verfassung der vorgelegten Dissertation VIII

1 Einleitung

Die Ergründung des Entscheidungsverhaltens fasziniert Menschen seit jeher. Das Thema wird in verschiedenen Disziplinen betrachtet, von der (antiken) Philosophie über Ökonomie und Soziologie bis hin zu verschiedenen Bereichen der Psychologie. Basierend auf ökonomischen Modellen, die größtenteils in den 1950er Jahren aufkamen, entwickelte sich die Entscheidungsforschung zu einem extensiven Feld, dessen Theorien und Modelle durch fortwährende Überarbeitungen und Spezifikationen immer zahlreicher und komplexer wurden. Ziel war und ist es, Entscheidungspräferenzen, die Menschen in verschiedenen Situationen haben, immer präziser abzubilden und vorherzusagen. Während sich das Forschungsfeld *Judgment and Decision Making* (dt.: Urteilsbildung und Entscheidungsfindung) lange als verwandt zu, aber unabhängig von den Kognitionswissenschaften sah, werden zunehmend Annahmen aus anderen psychologischen Disziplinen wie der Informationsverarbeitung einbezogen (Oppenheimer & Kelso, 2015). In vielen Ansätzen wird von dualen Prozessen der Informationsverarbeitung ausgegangen: von emotionsbasiert-intuitiven und analytisch-reflektierenden Prozessen, die miteinander interagieren.

Das jüngere Feld der kognitiven Neurowissenschaften, dessen Sichtweise in der vorliegenden Dissertation fokussiert wird, widmet sich der Untersuchung kognitiver Funktionen, die am Entscheidungsfindungsprozess beteiligt sind. Diese bestimmen im Zusammenspiel mit situativen Faktoren das Entscheidungsverhalten. Dabei wird zwischen zwei Arten von Situationen unterschieden: Entscheidungen unter Ambiguität (oder ambiguem Risiko) und unter objektivem Risiko (Brand, Labudda & Markowitsch, 2006). Die vorliegende Dissertation fokussiert Entscheidungen unter objektivem Risiko, für die ebenfalls ein Dual-Prozess Ansatz angenommen wird (Schiebener & Brand, 2015a). Diese sind dadurch charakterisiert, dass sie explizite Informationen über mögliche Folgen und deren Wahrscheinlichkeiten in Form numerischer Informationen darbieten, die zur Ableitung objektiver Risiken genutzt werden können. Bisherige Forschung zeigte, dass in diesen Situationen kognitive Fähigkeiten mit situativen Eigenschaften wie dem Vorhandensein von Feedback über Konsequenzen interagieren. Außerdem wurde die Bedeutung reflektierender Fähigkeiten wie Exekutivfunktionen und Fähigkeiten zur exakten Zahlenverarbeitung (z.B. Rechnen mit Wahrscheinlichkeiten) für das Treffen objektiv vorteilhafter Entscheidungen herausgestellt (für einen Überblick siehe Schiebener & Brand, 2015a).

Eine Differenzierung zwischen kurz- und langfristigen Konsequenzen sowie zwischen exakten und inexakten numerischen Informationen wurde bislang in diesem Kontext noch nicht vorgenommen. Für beide Bereiche (die Verarbeitung von kurz- versus langfristigen Konsequenzen und die Verarbeitung von numerischen Informationen) werden ebenfalls Dual-Prozess Ansätze postuliert. Bislang fehlt jedoch eine Übertragung und systematische Prüfung dieser Annahmen im Kontext objektiver Risikoentscheidungen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Spezifikation von Fähigkeiten, kurz- und langfristige Konsequenzen sowie exakte und ungefähre numerische Informationen in den Entscheidungsprozess unter objektivem Risiko zu integrieren. Darüber hinaus werden Interaktionen zwischen Faktoren geprüft, die mit intuitiver bzw. reflektierender Verarbeitung assoziiert werden, um daraus Rückschlüsse über beteiligte kognitive Prozesse zu ziehen. Hierzu werden zunächst spezifische Dual-Prozess Annahmen einerseits über die Verarbeitung von Konsequenzen (siehe Kapitel 2.1), andererseits über die Verarbeitung von numerischen Informationen (siehe Kapitel 2.2) vorgestellt. Anschließend wird das Dual-Prozess Modell der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko als zentrales Element dieser Arbeit erläutert (siehe Kapitel 2.3). Darüber hinaus wird die *Fuzzy Trace Theory* als ein alternativer Dual-Prozess Ansatz vorgestellt (siehe Kapitel 2.4). Auf Grundlage der genannten Theorien werden übergeordnete Forschungsziele abgeleitet (siehe Kapitel 3). Anschließend werden die Schriften des vorliegenden Kumulus zusammengefasst (siehe Kapitel 4) und deren Ergebnisse vor dem Hintergrund weiterer theoretischer und empirischer Arbeiten diskutiert (siehe Kapitel 5). Die Diskussion beinhaltet eine über die Einzel-Diskussionen hinausgehende, übergreifende Einordnung der Ergebnisse, inklusive des Vorschlags eines modifizierten Prozess-Modells der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko, welches die aktuellen Ergebnisse sowie weiterführende empirische und theoretische Annahmen einbezieht (siehe Kapitel 5.3). Abschließend wird ein Ausblick auf weitere Forschung gegeben sowie ein Fazit gezogen (siehe Kapitel 6).

2 Theoretischer Hintergrund

In der Entscheidungsforschung dominierte anfänglich eine ökonomische Sichtweise, die den Menschen als rationales Wesen betrachtete, welches optimale Entscheidungen in Form einer Nutzenmaximierung anstrebt (für einen Überblick siehe Oppenheimer & Kelso, 2015). Als eine der einflussreichsten Theorien gilt die *Expected Utility Theory*

(EUT; Von Neumann & Morgenstern, 1947). Diese Theorie formuliert Grundsätze (Vollständigkeit, Unabhängigkeit, Transitivität und Kontinuität), wann Personen eine Option gegenüber anderen Optionen präferieren. Diese Grundsätze ermöglichen Vorhersagen des Entscheidungsverhaltens vor der Annahme, dass stets rational entschieden wird.

Zunehmend wurden systematische Verstöße gegen die von der EUT postulierten Rationalitäts-Annahmen deutlich. Beispielsweise entscheiden sich die meisten Personen bei einer Wahl zwischen Option A: „900 € sicher gewinnen“ und Option B: „90% Chance 1000 € zu gewinnen und 10% Chance nichts zu gewinnen“ für die sicherere Option A. Ist selbiges Szenario jedoch als Verlust formuliert (Option A: „900 € sicher verlieren“; Option B: „90% Chance 1000 € zu verlieren und 10% Chance nichts zu verlieren“), tendieren die meisten Personen zur Wahl von Option B, was den Grundsätzen der EUT widerspricht. Dieses Beispiel verdeutlicht Unterschiede in der subjektiven Wertigkeit von Gewinnen und Verlusten, welche Kahneman und Tversky (1979) in ihrer *Prospect Theory* als Weiterentwicklung der EUT aufgriffen. Das Forschungsprogramm *heuristics and biases* (dt.: Heuristiken und Neigungen) stand der Sicht des Menschen als rationales Wesen entgegen und widmete sich der Erforschung der Eigenarten und Beeinflussbarkeit des Entscheidungsverhaltens. Die Ergebnisse anschließender jahrzehntelanger Forschung führten zu der zentralen Annahme der Unterscheidung zweier Arten von Verarbeitungssystemen oder -modi, die unser Denken und somit auch unser Entscheidungsverhalten bestimmen: einem emotionsbasiert-intuitiven Modus, der schnell, aber fehleranfällig arbeitet, und einem analytisch-reflektierender Modus, der langsam, aber präzise arbeitet (Kahneman, 2011).

Solche Dual-Prozess Ansätze stehen sowohl im Fokus des Forschungsfeldes der Urteilsbildung und Entscheidungsfindung (Epstein, 2003; Evans, 2006; Sloman, 1996; Stanovich & West, 2000), als auch im Fokus anderer psychologischer Disziplinen wie der Sozial- und Lernpsychologie (Chaiken & Trope, 1999; Dienes & Perner, 1999; Kruglanski & Orehek, 2007). Basierend auf sowohl ökonomischen als auch neuropsychologischen Theorien existieren Annahmen, dass beim Abwägen zwischen kurz- und langfristigen Konsequenzen zwei entsprechende Verarbeitungsmodi interagieren (siehe Kapitel 2.1). Darüber hinaus wird ebenso in der numerischen Kognitionsforschung von zwei unterschiedlichen Arten von Verarbeitungsprozessen ausgegangen (siehe Kapitel 2.2). Auch für die im Rahmen dieser Arbeit fokussierten Entscheidungen unter objektivem Risiko wird ein entsprechender Dual-Prozess Ansatz

postuliert, bei dem von einem impulsiven und einem reflektierenden Verarbeitungsmodus ausgegangen, die miteinander interagieren (siehe Kapitel 2.3).

Die Einbringung verschiedener Dual-Prozess Annahmen speziell aus den Bereichen der Verarbeitung kurz- und langfristiger Konsequenzen und der Zahlenverarbeitung in den Kontext der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko bildet den Kern der vorliegenden kumulativen Dissertation. Daher werden im Folgenden ausgewählte, grundlegende Theorien aus den beiden fokussierten Bereichen vorgestellt. Zusätzlich werden Bezüge zu einer anerkannten, alternativen Dual-Prozess Theorie hergestellt, der *Fuzzy Trace Theory* (Reyna & Brainerd, 1995a, 2011), welche in jedem der genannten Bereiche Anwendung findet (siehe Kapitel 2.4).

2.1 Duale Prozesse der Verarbeitung kurz- und langfristiger Konsequenzen

Entscheidungen, bei denen Folgen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten eintreten, gegeneinander abgewogen werden, sind für viele Forschungsbereiche von Interesse. Dabei steht das Phänomen im Fokus, dass Menschen tendenziell (aus unterschiedlichen Beweggründen) sofortige Folgen gegenüber zeitlich verzögerten bevorzugen. Aus der Ökonomie stammend, beschreibt der Begriff des *Delay Discounting* (oder auch *Temporal Discounting*) die subjektive Abwertung von Konsequenzen mit steigender zeitlicher Verzögerung. Beispielsweise wird ein Geldgewinn als geringer wertig empfunden, wenn er nächste Woche anstatt sofort verfügbar wäre. Die Stärke der Abwertung ist interindividuell verschieden, wobei eine Bevorzugung kleinerer, sofortiger Gewinne gegenüber größerer, späterer Gewinne als ein Maß für impulsives Entscheiden betrachtet werden kann (z.B. Ainslie, 1975). Impulsives Entscheidungsverhalten ist nicht nur in der Ökonomie, sondern auch – im extremeren Sinn – für die Suchtforschung relevant. Personen mit einer Abhängigkeitserkrankung kennzeichnet eine starke Tendenz, sich immer wieder für kurzfristig belohnende Alternativen zu entscheiden, und dabei schwerwiegende langfristige Konsequenzen zu vernachlässigen (z.B. die Erhöhung des Krebsrisikos durch ständiges Rauchen). Studien zeigen, dass süchtige Verhaltensweisen wie Alkohol- oder Drogenmissbrauch oder pathologisches Glücksspiel mit hohen *Delay Discounting* Raten einhergehen (Alessi & Petry, 2003; Kirby, Petry & Bickel, 1999; MacKillop et al., 2011). Zur Erklärung der Prozesse, die beim Abwägen zwischen kurz- und langfristigen Konsequenzen stattfinden, werden Dual-Prozess Ansätze herangezogen. Im Folgenden werden zwei solcher Ansätze, das *Hot/Cool Framework* des

Belohnungsaufschubs (siehe Kaiptel 2.1.1) sowie die neurokognitive Perspektive der Willensstärke (siehe Kaiptel 2.1.2) dargestellt. Auch wenn diese aus verschiedenen Forschungszweigen herrühren, vereinen sie die Annahme zweier Systeme, deren Interaktion maßgeblich bestimmt, ob eher langfristig-orientierte oder kurzfristig-orientierte Entscheidungen getroffen werden.

2.1.1 Hot/Cool Framework des Belohnungsaufschubs nach Metcalfe und Mischel

Kurzfristig-orientiertes Entscheidungsverhalten ist gekennzeichnet durch die Bevorzugung sofortiger Belohnungen gegenüber langfristigen (wenn auch vorteilhafteren) Konsequenzen, wie es besonders bei suchtartigem Verhalten der Fall ist (für eine Meta-Analyse siehe MacKillop et al., 2011). Dem gegenüber steht die Fähigkeit, sich selbst regulieren und auf zukünftige Belohnungen warten zu können. Metcalfe und Mischel (1999) stellen das sogenannte *Hot/Cool Framework* vor, um die Mechanismen des *Delay of Gratification* (dt.: Belohnungsaufschub) zu beschreiben. Die Autoren gehen von der Interaktion zweier unterschiedlicher Verarbeitungsprozesse aus, die sie als „heißes“, emotionales und „kühles“, kognitives System bezeichnen. Das Rahmenwerk beschreibt Annahmen, auf welche Weise es die Interaktion beider Systeme ermöglicht, kurzfristigen Impulsen zu widerstehen. Hierbei werden keine Aussagen über neuronale Grundlagen der Systeme getroffen. Dennoch ähnelt der Ansatz neuropsychologisch begründeten Ansätzen wie dem nachfolgend beschriebenen (siehe Kapitel 2.1.2) in vielerlei Hinsicht. Die Ähnlichkeiten äußern sich zum einen in der Konzeptualisierung der Willensstärke als Ausmaß der Kontrolle des „kühlen“, kognitiven Systems über das „heiße“, emotionale System. Zum anderen wird eine starke Verknüpfung und die Möglichkeit paralleler Aktivierung beider Systeme angenommen. Metcalfe und Mischel (1999) gehen davon aus, dass eine Dominanz des „heißen“, emotionalen Systems durch die (temporäre oder generelle) fehlende Aktivierung des „kühlen“, kognitiven Systems zu spontanen, impulsiven Reaktionen auf affektive Reize führt. Hierbei wird betont, dass ein Objekt nicht zwingend eine bestimmte emotionale Reaktion auslöst, sondern dass verschiedene Eigenschaften eines Objekts unterschiedliche affektive Komponenten beinhalten können. Die Autoren führen verschiedene kognitive (Impuls-) Kontrollstrategien auf, die die Annahmen über die Interaktion zwischen dem „kühlen“, kognitiven und dem „heißen“, emotionalen System verdeutlichen. Hierbei geht es häufig um die Salienz des affektiven Reizes. Theoretisch könne man die Dominanz des „heißen“

Systems mildern, indem man durch Abwenden oder Verdecken des Stimulus dessen Salienz verringert oder indem man versucht, sich gegensätzlich-affektive Eigenschaften desselben Stimulus zu vergegenwärtigen (Metcalfe & Mischel, 1999). Bei einer Diät würde letzteres beispielsweise bedeuten, sich beim Anblick eines Stück Kuchens eher die Kalorienanzahl und die damit verbundenen, langfristig negativen Konsequenzen („kühle" Eigenschaft) als den kurzfristig leckeren Geschmack („heiße" Eigenschaft) zu vergegenwärtigen, um die Kontrolle impulsiver Reaktionen zu erleichtern.

Bildgebende Verfahren unterstützen die These, dass zwei voneinander unterscheidbare neuronale Systeme bzw. Schaltkreise für die Verarbeitung kurzfristiger und langfristiger Konsequenzen existieren (Casey et al., 2011; McClure, Ericson, Laibson, Loewenstein & Cohen, 2007; McClure, Laibson, Loewenstein & Cohen, 2004; Rangel, Camerer & Montague, 2008). In einem Überblicksartikel führen Carter, Meyer und Huettel (2010) funktionale Bildgebungsstudien an, welche differentielle neuronale Korrelate von Entscheidungen bezüglich riskanten versus verzögerten Konsequenzen demonstrieren. Die Ergebnisse implizieren große Überschneidungen aktiver Hirnregionen, wobei die Stärke der Aktivierung im posterioren cingulären Cortex spezifisch der Verzögerung und nicht dem Risiko zugeschrieben werden kann. Neurowissenschaftliche Befunde wurden ebenfalls zur Beschreibung des Entscheidungsprozesses unter objektivem Risiko herangezogen, an dem sich die vorliegende Arbeit orientiert (siehe Kapitel 2.3). Daher wird im Folgenden, ein dem *Hot/Cool Framework* ähnlicher Dual-Prozess Ansatz beschrieben, der Entscheidungsprozesse des Abwägens kurzfristiger Belohnungen gegenüber langfristiger Risiken aus Sicht der kognitiven Neurowissenschaften darstellt.

2.1.2 Neurokognitive Perspektive der Willensstärke nach Bechara

Die kognitive neurowissenschaftliche Entscheidungsforschung basierte zunächst vor allem auf Studien mit neurologisch erkrankten Personen, bei denen Veränderungen in bestimmten Hirnarealen mit merklichen Beeinträchtigungen im Entscheidungsverhalten einhergehen. Die Studienlage in diesem Forschungsfeld wird zunehmend durch neuere Bildgebungsstudien komplettiert (Carter et al., 2010; Krain, Wilson, Arbuckle, Castellanos & Milham, 2006; Platt & Huettel, 2008). Es zeigt sich, dass Betroffene mit Läsionen im ventromedialen Präfrontalcortex (VMPC) verglichen mit gesunden Kontrollpersonen ein riskanteres, unvorteilhafteres Wahlverhalten in Glückspielaufgaben aufweisen (Bechara, Damasio, Damasio & Anderson, 1994; Bechara, Tranel & Damasio,

2000; Weller, Levin, Shiv & Bechara, 2007). Obwohl Intelligenz und andere kognitive Funktionen weitestgehend unbeeinträchtigt sind, tendieren Personen mit VMPC Läsionen dazu, kurzfristig belohnenden Aktivitäten nachzugehen, selbst wenn diese auf lange Sicht schwerwiegende, negative Konsequenzen mit sich bringen wie beispielsweise den Verlust des Arbeitsplatzes oder der Familie (Bechara, 2001). Bechara (2005) postuliert, auf diesen Erkenntnissen aufbauend, einen Dual-Prozess Ansatz der Entscheidungsfindung im Kontext von Abhängigkeitserkrankungen. Er geht davon aus, dass im Falle einer Abhängigkeit jene neuronalen Mechanismen geschwächt sind, die es ermöglichen, Entscheidungen zugunsten langfristiger Konsequenzen zu treffen und dafür kurzfristigen Versuchungen zu widerstehen. Ähnlich zu anderen Dual-Prozess Ansätzen wird angenommen, dass diese Form der Willensstärke von der Interaktion zweier neuronaler Systeme herrührt: einem reflektierenden (*reflective*) System und einem impulsiven (*impulsive*) System (Bechara, 2005). Das impulsive System wird mit limbischen Hirnstrukturen wie der Amygdala und dem ventralen Striatum assoziiert, welche sofortige, emotionale Reaktionen auf unmittelbare Ereignisse (d.h. auf kurzfristige Konsequenzen) auslösen. Die Amygdala veranlasst das schnelle Ausführen von spontanen (erlernten), emotionalen Reaktionen auf affektive Reize, die positiv (z.B. Geld) oder negativ (z.B. Spinnen) sein können. Das reflektierende System wird mit dem VMPC als wichtige Struktur assoziiert, welche affektive Reaktionen bezüglich langfristiger Konsequenzen auslöst (Bechara, 2005). Langfristige Konsequenzen können zwar nicht direkt erfahren, aber durch Erinnerung und Antizipation von positiven oder negativen Erfahrungen im Vorfeld emotional bewertet werden (siehe auch Damasio, 1994). Dabei müssen Erfahrungen nicht zwingend selbst erlebt worden sein, um affektive Reaktionen auszulösen, sondern können auch durch externe Informationsquellen gesammelt werden. So muss beispielsweise das Rauchen von Zigaretten nicht erst ausprobiert werden, um negative langfristige Folgen (und somit eine Abneigung) damit zu verbinden.

Bei der Interaktion der beiden Systeme geht Bechara (2005) ähnlich zu anderen Dual-Prozess Ansätzen davon aus, dass das reflektierende System Kontrolle über das impulsive System ausübt, um kurzfristige Impulse zugunsten späterer Folgen zu unterdrücken. Hierbei können verschiedene inhibierende Prozesse zum Tragen kommen, wie beispielsweise das Unterdrücken automatischer Impulse oder Aufmerksamkeitskontrolle (Friedman & Miyake, 2004). Umgekehrt können auch affektive Reaktionen des impulsiven Systems Auswirkungen auf Denkprozesse des reflektierenden Systems haben.

So wird davon ausgegangen, dass beim Entscheidungsfindungsprozess diverse affektive Signale gleichzeitig vom impulsiven und reflektierenden System ausgelöst werden und miteinander in Konflikt stehen können. Der übergeordnete emotionale Zustand, der aus diesen potentiell konträren, affektiven Signalen entsteht, bestimmt schließlich die Entscheidung (Bechara, 2005).

Dysfunktionales Entscheidungsverhalten, wie z.B. die Entwicklung einer Sucht, wird als Ungleichgewicht der Interaktion zwischen impulsivem und reflektierendem System angesehen. Es wird davon ausgegangen, dass Personen, die nicht gut darin sind, über längerfristige Konsequenzen ihrer Entscheidungen nachzudenken, anfälliger sind, eine Sucht zu entwickeln, welche wiederum das Ungleichgewicht noch verstärkt (Bechara, 2005). Tendenzen eines Ungleichgewichts hin zu impulsiven Entscheidungen werden mit verschiedenen Persönlichkeitsmerkmalen in Verbindung gebracht wie beispielsweise nicht-planende und motorische Impulsivität, Perseveration oder ein Mangel der Eigenschaft, vor dem Handeln zunächst über Konsequenzen nachzudenken (Bechara, 2005).

Verschiedene Arbeiten untermauern die Dual-Prozess Annahmen der Ansätze von Bechara (2005) und Metcalfe und Mischel (1999). Die Ergebnisse hirnbildgebender Studien weisen darauf hin, dass die Verarbeitung kurz- und langfristiger Konsequenzen mit der Aktivierung zweier separater, neuronaler Systeme einhergeht (Ballard & Knutson, 2009; McClure et al., 2004). Entscheidungen im Hinblick auf unmittelbare, kurzfristige Konsequenzen zeigen erhöhte Aktivierung limbischer Hirnstrukturen wie dem ventralen Striatum und der Amygdala, wohingegen Entscheidungen in Bezug auf zeitlich verzögerte Folgen mit Aktivierungen in präfrontalen Regionen wie dem dorsolateraler präfrontaler Cortex, dem anterioren cingulären Cortex und dem VMPC einhergehen (Bickel, Pitcock, Yi & Angtuaco Edgardo, 2009; Kable & Glimcher, 2007; McClure et al., 2007; Monterosso et al., 2007). Entsprechend können Entscheidungen zugunsten unmittelbarer Folgen mit dem impulsiven System und Entscheidungen zugunsten langfristiger Folgen dem reflektierenden System assoziiert werden (vgl. Bechara, 2005; aber siehe Kable & Glimcher, 2010 für konträre Ergebnisse).

Das Entscheidungsverhalten unter objektivem Risiko wird in ökologisch validen Entscheidungsaufgaben häufig durch virtuelle Glücksspiel-Situationen abgebildet, bei denen die Wahl einer bestimmten (mehr oder weniger riskanten) Option je eine bestimmte Konsequenz nach sich zieht: meist den Gewinn oder Verlust von virtuellem Geld. Ein sehr häufig verwendetes Instrument ist die *Game of Dice Task* (GDT; Brand et al., 2005),

die auch in den Schriften des vorliegenden Kumulus zur Operationalisierung der Entscheidungsleistung unter objektivem Risiko eingesetzt wird (als abhängige Variable in Schrift 2 und Schrift 3). Im Rahmen objektiver Risikoentscheidungen wurde die Verarbeitung langfristiger Konsequenzen bisher in der Hinsicht berücksichtigt, als dass die Anwendung langfristig orientierter Strategien betrachtet wurde, welche von den wiederholten (kurzfristigen) Wahlen abgeleitet wurden (z.B. Brand, Heinze, Labudda & Markowitsch, 2008). Im Rahmen der Forschung zum Phänomen des *Delay Discounting* werden Entscheidungen zwischen Konsequenzen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten eintreten, untersucht wie beispielsweise beim *Monetary Choice Questionnaire* (Kirby et al., 1999). Was jedoch fehlt, sind Instrumente, die Situationen abbilden, bei denen in Konflikt stehende kurz- und langfristige Konsequenzen ein und derselben Option integriert und gegen die (kurz- und langfristigen) Konsequenzen anderer Optionen abgewogen werden müssen. Dies sind Mechanismen des Zusammenspiels impulsiver und reflektierender Prozesse, die in den Theorien des aktuellen Kapitels angesprochen werden. Ein neu entwickeltes Instrument, welches entsprechende Modalitäten im Kontext objektiver Risikoentscheidungen abbildet, wird im Rahmen von Schrift 1 vorgestellt und eingesetzt.

Auf Grundlage der beschriebenen Theorien und empirischen Befunde werden in der vorliegenden Arbeit jene Personenmerkmale adressiert, die mit der individuellen Neigung zu eher impulsiver oder reflektierender Verarbeitung (d.h. der Verarbeitungspräferenz) assoziiert werden. Eine impulsive Verarbeitungspräferenz wird mit hohen Ausprägungen in Impulsivitätsfacetten, eine reflektierende Verarbeitungspräferenz wird mit hohen Ausprägungen in der Tendenz, genau nachzudenken (*Need for Cognition*), in Verbindung gebracht. In Bezug auf situative Eigenschaften werden ebenfalls jene fokussiert, die eher mit impulsiver oder reflektierender Verarbeitung assoziiert werden können. Zum einen wird das Vorhandensein von Feedback als situativer Faktor betrachtet, dessen direkte Verfügbarkeit der impulsiven und dessen Abwesenheit der reflektierenden Verarbeitung entsprechender Konsequenzen zugeschrieben wird. Zum werden – die in objektiven Risikoentscheidungen stets vorhandenen – numerischen Informationen betrachtet, bei deren Verarbeitung ebenfalls von dualen Prozessen ausgegangen wird. Diese werden im folgenden Kapitel unter Berücksichtigung empirischer Arbeiten aus dem Bereich der numerischen Kognitionsforschung beschrieben.

2.2 Duale Prozesse der Zahlenverarbeitung

In vielen Entscheidungssituationen liegen numerische Informationen in Form von Zahlen- oder Mengenangaben vor, die Auskunft über die Höhe möglicher Konsequenzen und Wahrscheinlichkeiten geben. Dies kennzeichnet insbesondere Entscheidungssituationen unter objektivem Risiko. Numerische Informationen können dabei in verschiedenen Kontexten (z.B. finanzielle oder Gesundheitsrisiken), Formaten und Abstraktionsebenen vorliegen, beispielsweise als symbolische Prozentangaben (20%), Brüche ($^1/_5$) oder absolute Zahlen (30 von 150), oder auch als nicht-symbolische Mengenangaben (·/·::). Deren Verarbeitung und Einbezug in den Entscheidungsprozess kann zur Ermittlung von Wertigkeiten, Chancen oder Risiken genutzt werden. Unter dem Begriff *Numeracy* (äquivalent zu *Literacy*, dt.: Lese- und Schreibfähigkeit) werden eine Reihe mathematischer und numerischer Fähigkeiten zusammengefasst, die benötigt werden, um verschiedene Arten von Zahlen verstehen, vergleichen und miteinander in Beziehung setzen zu können (Peters et al., 2006; Reyna, Nelson, Han & Dieckmann, 2009). Hierzu zählt neben der Rechenleistung (z.B. Zahlen addieren, subtrahieren, multiplizieren oder dividieren zu können) auch ein Verständnis für Häufigkeiten und deren Beziehungen zueinander (z.B. die Wahrscheinlichkeit bestimmen, mit der bei einem Münzwurf zwei Mal hintereinander „Kopf“ geworfen wird).

Gerade in Bezug auf Verhältnis- und Wahrscheinlichkeitsangaben fällt vielen Menschen eine korrekte Interpretation schwer und selbst hochgebildete Personen weisen hier Defizite auf (Estrada, Barnes, Collins & Byrd, 1999; Hoffrage, Lindsey, Hertwig & Gigerenzer, 2000; Lipkus, Samsa & Rimer, 2001). Beispielsweise baten Slovic, Monahan und MacGregor (2000) psychologisch und psychiatrisch arbeitende Fachkräfte, die Wahrscheinlichkeiten für Risiken am Arbeitsplatz einzuschätzen. Es zeigte sich, dass Risiken als höher eingeschätzt wurden, wenn sie als Häufigkeiten (z.B. 10 von 100) im Gegensatz zu Prozentzahlen (z.B. 10%) angegeben waren, obwohl beide Angaben das gleiche objektive Risiko darstellen. Dual-Prozess Ansätze sind eine von verschiedenen Herangehensweisen, um solch individuelle Unterschiede in der Verarbeitung numerischer Informationen zu erklären, inklusive Phänomenen der Verzerrung (vgl. Reyna et al., 2009). Systematische Verzerrungen zeichnen sich nach klassischer Dual-Prozess Sichtweise durch eine übermäßige impulsive Verarbeitung aus, wohingegen eine reflektierende Verarbeitung diesen Verzerrungen entgegenwirkt. Ein Beispiel für eine Verzerrung ist der sogenannte *ratio bias* (dt.: Verhältnis-Fehler), bei dem

Wahrscheinlichkeiten fälschlicher Weise höher eingeschätzt werden, wenn sie als größere Verhältniszahl dargestellt werden (z.B. 50/550), als wenn sie als kleinere Verhältniszahl dargestellt werden. Beispielsweise würde 50/550 subjektiv größer eingeschätzt werden als 1/10, obwohl ersteres die objektiv kleinere Zahl darstellt. Es wird angenommen, dass eine reflektierende Verarbeitung nötig ist, um Zähler und Nenner miteinander in Beziehung zu setzen, wohingegen impulsive Verarbeitung zu einer Fokussierung auf den Zähler, und damit häufig zu einer Vernachlässigung des Nenners führt, was fehlerhafte Interpretationen verursachen kann (Kirkpatrick & Epstein, 1992; Reyna & Brainerd, 1994). Peters und Kollegen (2006) übertrugen die Dual-Prozess Annahmen auf Entscheidungen, die numerische Informationen beinhalten, um Verbindungen zwischen *Numeracy* und Affekt zu untersuchen (Peters et al., 2006; Studies 3 and 4). Es wird davon ausgegangen, dass es Personen mit guten numerischen Fähigkeiten (d.h. hoher *Numeracy*) leichter fällt reflektierende Prozesse anzuwenden, da sie die Fähigkeit und Kapazität zur akkuraten und exakten Verarbeitung der Zahlenwerte besitzen. Die Verarbeitung über das impulsive System verläuft hingegen schnell, assoziativ und unpräzise. In Bezug auf numerische Informationsverarbeitung wird angenommen, dass dem intuitiven Verarbeitungsmodus potentiell inexakte, approximative Zahlenkonzepte zu Grunde liegen (Peters et al., 2006).

In der numerischen Kognitionsforschung wird von zwei voneinander unterscheidbaren, neuronalen Systemen bzw. Schaltkreisen ausgegangen, die bei der Verarbeitung numerischer Informationen zusammenwirken (und teilweise gleiche Hirnregionen einbeziehen): einem verbalen System, das exakte symbolische Zahlwörter verarbeitet, und einem quantitativen System, das nicht-symbolische Objektmengen verarbeitet (Dehaene, Piazza, Pinel & Cohen, 2003; Lemer, Dehaene, Spelke & Cohen, 2003; für eine Metaanalyse siehe Sokolowski, Fias, Mousa & Ansari, 2017). Während symbolische Zahlwörter der exakten Verarbeitung und Berechnung dienen, können Objektmengen intuitiv schnell approximiert werden. Beim Treffen von Entscheidungen in Situationen, die numerische Informationen beinhalten, sind potentiell beide Arten numerischer Verarbeitung relevant. Deshalb wird im Folgenden auf beide Arten – exakte und approximative Zahlenverarbeitung – eingegangen und (potentielle) Bezüge zum Entscheidungsprozess unter objektivem Risiko werden dargelegt.

2.2.1 Exakte Zahlenverarbeitung

Zahlen auf exakte Weise verarbeiten zu können, geht, obwohl es womöglich auf approximativen Fähigkeiten gründet, mit erlernten mathematischen Prinzipien und Kenntnissen sowie deren Anwendung einher. Dies setzt bestimmte kognitive Verarbeitungsfähigkeiten voraus. Besonders das Verstehen und der Umgang mit Verhältniszahlen und Wahrscheinlichkeiten stellt für viele Menschen eine Herausforderung dar (Estrada et al., 1999; Hoffrage et al., 2000; Lipkus et al., 2001). Aufgaben zur objektiven Erfassung von *Numeracy* fokussieren Fähigkeiten zu ebendieser probabilistischen Verarbeitung. Bei typischen *Numeracy*-Tests müssen symbolische Verhältnisangaben miteinander verglichen (z.B. „Welches Risiko ist höher: 1 von 10 oder 1 von 1000?“), umgewandelt (z.B. „Was entspricht einem Risiko von 10%: 1 von 100, 1 von 1000 oder 100 von 1000?“) oder auf grundlegende Prinzipien angewendet (z.B. „Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit bei einem normalen sechsseitigen Würfel eine 3 zu würfeln?“) werden (vgl. Lipkus et al., 2001; Schwartz, Woloshin, Black & Welch, 1997). Dual-Prozess Sichtweisen ordnen entsprechende Verarbeitungsprozesse dem analytisch reflektierenden Modus zu (Peters, 2012; Peters et al., 2006; Schiebener & Brand, 2015a). *Numeracy* spielt für das Verständnis von objektiven Risiken und somit auch für das Treffen von Entscheidungen, die Risiken bergen, eine entscheidende Rolle (Peters et al., 2006; Reyna et al., 2009). In dieser Arbeit wird der Begriff *Numeracy* angelehnt an dessen typische Operationalisierung (Reyna & Brainerd, 2007) als Bezeichnung für die Fähigkeit verwendet, exakte (symbolische) Verhältnisangaben (z.B. Brüche oder Prozentwerte) verstehen und akkurat verarbeiten zu können.

Es gibt eine Reihe empirischer Studien, die die Bedeutung von Fähigkeiten zur exakten Zahlenverarbeitung für das Treffen von Risikoentscheidungen unterstreichen (Lipkus & Peters, 2009; Peters et al., 2006), was im Einklang mit klassischen Dual-Prozess Ansätzen der Entscheidungsfindung steht. Konsistent dazu unterstreichen Studien zum Entscheidungsverhalten unter objektivem Risiko, dass höhere *Numeracy* mit höherer Entscheidungsleistung einhergeht (Pertl, Zamarian & Delazer, 2017; Peters et al., 2006, Studie 3). Die Analyse von Strukturgleichungsmodellen ergab, dass Wahrscheinlichkeitsverarbeitung (repräsentiert durch *Numeracy* und Wissen über Wahrscheinlichkeitskonzepte) den Einfluss von Exekutivfunktionen auf das Entscheidungsverhalten unter objektivem Risiko mediiert (Brand, Schiebener, Pertl & Delazer, 2014). Da diese Fähigkeiten dem reflektierenden Modus zugeschrieben werden

(siehe auch Kapitel 2.3), bekräftigt dies die Annahme, dass besonders reflektierende Verarbeitungskompetenzen von Relevanz sind, um objektiv vorteilhafte Risikoentscheidungen zu treffen.

Andere Studien scheinen jedoch widersprüchliche Ergebnisse aufzuzeigen: Bei der Beurteilung verschieden riskanter Wetten bewerteten Personen mit hoher numerischer Kompetenz objektiv nachteilige Wetten als attraktiver, wohingegen Personen mit niedriger numerischer Kompetenz diese Tendenz nicht zeigten (Peters et al., 2006, Studie 4). In Analogie dazu berichten Slovic et al. (2004), dass Personen mit hoher *Numeracy* ungünstigere Risiko-Situationen attraktiver bewerteten. Um der Frage nachzugehen, ob Personen mit hoher *Numeracy* auch mehr über die gegebenen numerischen Angaben reflektieren, befragten Cokely und Kelley (2009) Versuchspersonen retrospektiv, wie sie bei der Wahl zwischen sicheren und riskanten Optionen (z.B. Option A: 125$ sicher oder Option B: 30% Chance 900$ zu gewinnen) zu ihren Entscheidungen kamen. Wie erwartet, zeigten Personen mit hoher *Numeracy* ein vorteilhaftes Wahlverhalten. Allerdings berichteten diese Personen selten davon, exakte Berechnungen durchgeführt zu haben. Stattdessen resultierten die meisten vorteilhaften Entscheidungen aus simpleren Überlegungen wie beispielsweise vereinfachten, ordinalen Vergleichen (z.B. „900$ ist einiges mehr als 125$.“). Als Erklärung wird vermutet, dass generell weniger die exakten Zahlenwerte, als vielmehr grobe übergeordnete Bedeutungen verarbeitet werden und Personen mit hoher *Numeracy* potentiell höherwertige Schlussfolgerungen aus den numerischen Informationen ziehen können inklusive affektiver Konnotationen (Peters, 2012). Diese Interpretation ist im Einklang mit den Annahmen der *Fuzzy Trace Theory* (siehe Kapitel 2.4), die als alternativer Dual-Prozess Ansatz der Entscheidungsfindung intuitiven Verarbeitungsprozessen eine größere Bedeutung zuschreibt. Zudem wird vermutet, dass intuitive Strategien positiv zum Tragen kommen, wenn es an Zeit, Motivation oder Fähigkeiten mangelt, formale Berechnungen durchzuführen (Peters & Bjalkebring, 2015).

Im Gegensatz zu Fähigkeiten zur exakten Zahlenverarbeitung, fehlt bislang eine dezidierte Betrachtung von Fähigkeiten zur intuitiven Verarbeitung im Rahmen objektiver Risikoentscheidungen. Daher wird im Folgenden auf ebendiese intuitive Zahlenverarbeitung und relevante empirische Arbeiten eingegangen.

2.2.2 Approximative Zahlenverarbeitung

Die Verarbeitung von ungefähren (approximierten) Zahlen bzw. Mengen ist eine basale und entwicklungsgeschichtlich alte Fähigkeit, die Menschen schon vor dem Erwerb von Sprache oder mathematischem Wissen besitzen und mit Primaten, Vögeln und anderen Tieren gemeinsam haben (Brannon, Cantlon & Terrace, 2006; Halberda & Feigenson, 2008; Pica, Lemer, Izard & Dehaene, 2004; Scarf, Hayne & Colombo, 2011). Dabei geht es um die grobe, mentale Repräsentation von Objektmengen (Quantitäten), ohne deren verbale Abbildung als Zahlwort (z.B. „Dreiunddreißig“) oder Symbol (z.B. „33“ oder „XXXIII“). Das kognitive System, welches diese inexakten Zahlenrepräsentationen hervorbringt, wird häufig als *Approximate Number System* (dt.: Ungefähre-Zahlen-System) bezeichnet (z.B. Barth et al., 2006; Halberda & Feigenson, 2008). Auch wenn diese Bezeichnung kritisiert wird, herrscht Einigkeit über die Existenz eines distinkten kognitiven Systems, welches Approximation und ein schnelles Unterscheiden größerer von kleineren Objektmengen (ohne zu zählen)[1] ermöglicht (Gebuis, Kadosh & Gevers, 2016). Korrekte Unterscheidungen werden schwieriger und unpräziser je ähnlicher sich die Mengen sind, d.h. je größer das Verhältnis beider Mengen ist (Barth et al., 2006; Pica et al., 2004). Die Genauigkeit, mit der zwei approximierte Mengen unterschieden werden können, wird im Folgenden als Approximationspräzision bezeichnet. Diese Präzision schärft sich bis ins junge Erwachsenenalter. Während Kleinkinder Mengen bis zu einem Verhältnis von 1:2 verlässlich differenzieren können, gelingt dies Erwachsenen bis zu einem Verhältnis von etwa 9:10 (Feigenson et al., 2004; Pica et al., 2004; Xu & Spelke, 2000). Hirnbildgebende Studien zeigen, dass vor allem der intraparietale Sulcus bei der Verarbeitung nicht-symbolischer Mengen aktiv ist (Ansari & Dhital, 2006; Kadosh et al., 2005; Piazza, Izard, Pinel, Le Bihan & Dehaene, 2004). Eine aktuelle Metaanalyse von Bildgebungsdaten legt nahe, dass weitere Regionen im parietalen Cortex und auch im frontalen Cortex an der Verarbeitung nicht-symbolischer Mengenrepräsentationen beteiligt sind (Sokolowski et al., 2017). Diese grundlegende approximative Zahlenverarbeitung mit dem zugehörigen kognitiven System wird als Basis für die Entwicklung exakter numerischer Fähigkeiten und selbst höherer Mathematik betrachtet

---

[1] Objektmengen bis drei oder vier können selbst bei sehr kurzer Präsentation noch exakt verarbeitet werden: Ein Vorgang, der von Approximation zusätzlich unterschieden werden kann (Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004).

(Butterworth, 2005; Dehaene, 2009; Halberda, Ly, Wilmer, Naiman & Germine, 2012).

Approximative Zahlenverarbeitung wurde in Bezug auf ihre Verbindung zu exakter Zahlenverarbeitung und mathematischen Leistung hin extensiv untersucht. Diverse Arbeiten stützen die These, dass die Approximationspräzision (unabhängig von anderen kognitiven Funktionen) mit mathematischen Fähigkeiten korreliert (für Überblicksartikel siehe Chen & Li, 2014; Feigenson, Libertus & Halberda, 2013). Studien, die approximative Fähigkeiten mit dem Verhalten in Risikoentscheidungsaufgaben in Verbindung bringen, sind hingegen rar. Eine der wenigen Studien von Winman et al. (2014) untersucht, wie Approximationspräzision und *Numeracy* mit der Stimmigkeit von Wahrscheinlichkeitsurteilen in einer Glücksspielaufgabe zusammenhängen. Im Gegensatz zu *Numeracy* korrelierte die Approximationspräzision nicht direkt mit der subjektiven Kalibrierung von Wahrscheinlichkeiten. Jedoch gaben Personen mit hoher Approximationspräzision realistischere Einschätzungen der eigenen Leistung ab (Winman et al., 2014). In ähnlicher Weise untersuchten Patalano et al. (2015) die Einflüsse von *Numeracy* und Approximationspräzision auf Wahrscheinlichkeitsverzerrungen bei Wahlen zwischen unterschiedlich riskanten und sicheren Optionen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Stärke der Verzerrungen vielmehr durch die Ausprägung der *Numeracy* als durch die Approximationspräzision bestimmt wird. Die Autorinnen und Autoren folgern, dass Approximationsprozesse eher an generellen mathematischen Prozessen aber weniger an der genutzten Glücksspielaufgabe beteiligt sind (Patalano et al., 2015). Weiter wird vermutet, dass vielleicht nicht die Approximationspräzision als Fähigkeit, mentale Repräsentationen zu unterscheiden, sondern die Fähigkeit, symbolische Zahlen auf akkurate Weise mental zu repräsentieren, in den verwendeten Aufgaben von Relevanz sein könnte. Diese Annahme basiert auf Studien von Schley und Peters (2014), die zeigen, dass die Fähigkeit, symbolische Zahlen als mentale Repräsentationen abzubilden, die Effekte von *Numeracy* auf Risikobewertungen und Risikoentscheidungen mediiert. Entsprechend würde die Bewertung eines symbolischen Werts (z.B. 100€) entscheidend davon abhängen, wie dieser Wert mental repräsentiert wird. Die Präzision, symbolische Zahlen mental zu repräsentieren und die Präzision, Zahlen zu approximieren (Approximationspräzision) stehen in engem Zusammenhang miteinander (Mazzocco, Feigenson & Halberda, 2011). Daher wird es als wahrscheinlich angesehen, dass auch die Approximationspräzision einen Einfluss auf das Treffen von Entscheidungen hat, die numerische Informationen beinhalten (Schley & Peters, 2014). Dabei könnten approximative Kompetenzen eher bei solchen Evaluationen

und Entscheidungen eine Rolle spielen, die bezüglich nicht-symbolischer Zahlen (d.h. Objektmengen) getroffen werden.

Insgesamt weisen diese und andere empirische Befunde daraufhin, dass bei der Evaluation numerischer Informationen eher intuitive (Präzision mentaler Repräsentationen) und eher reflektierende Prozesse (*Numeracy*) zwar voneinander unterscheidbar, aber nicht unabhängig voneinander sind und sich vielmehr gegenseitig beeinflussen. Die Unterscheidung, welche verschiedenen approximativen Fähigkeiten (z.B. Approximationspräzision, nicht-symbolische Zahlen als mentale Repräsentationen abbilden, geschätzte Mengen in symbolische Zahlen transformieren) in welcher Form eine Rolle bei der Bewertung von Risiken und der Entscheidungsfindung spielen, bedarf weiterer Forschung (vgl. Schley & Peters, 2014). Schrift 2 und Schrift 3 des Kumulus adressieren ebendiese Forschungslücke, indem erstmalig verschiedene approximative Zahlenverarbeitungsfähigkeiten in Zusammenhang mit dem Treffen objektiver Risikoentscheidungen untersucht werden.

Den bis dato aktuellen Forschungsstand in Bezug auf Einflussfaktoren und kognitive Prozesse beim Treffen objektiver Risikoentscheidungen haben Schiebener und Brand (2015a) in einem Überblicksartikel zusammengefasst. Das zugehörige Dual-Prozess Modell dient als theoretischer Ausgangs- sowie Anknüpfungspunkt für die Arbeiten des vorliegenden Kumulus, weshalb dessen Annahmen im Folgenden erläutert werden.

2.3 Dual-Prozess Modell der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko

Neben Charakteristika der Person und Umwelteinflüssen wie z.B. Stress bestimmen vor allem situative Eigenschaften, wie Entscheidungen getroffen werden. Die Situation determiniert die Art, Menge und Darstellung der Informationen, die für das Treffen einer Wahl herangezogen werden können.

In der neuropsychologischen Entscheidungsforschung wird, wie bereits erwähnt (siehe Kapitel 1), zwischen Entscheidungen unter Ambiguität und Entscheidungen unter Risiko unterschieden (Brand et al., 2006). Bei Entscheidungen unter Ambiguität sind die potentiellen Folgen sowie Chancen und Risiken der Entscheidungsoptionen ungewiss. Bei wiederholten Wahlen kann das Feedback von bereits getroffenen Entscheidungen genutzt werden, um Rückschlüsse über die Entscheidungsoptionen und potentiellen Risiken zu ziehen. Die Verarbeitung von Feedback führt zudem zu emotionsbasierten

körperlichen Reaktionen, die in Form von sogenannten somatischen Markern (oder Bauchgefühlen) zukünftige Entscheidungen beeinflussen können (Bechara, 2004). Im Gegensatz dazu sind bei Entscheidungen unter Risiko die Folgen und Wahrscheinlichkeiten einzelner Optionen bekannt (Brand et al., 2006). Jedoch können bei Entscheidungen unter Ambiguität durch mehrfaches Wählen und der Verarbeitung des Feedbacks, die Risiken mit der Zeit ebenfalls explizit und bekannt werden (Brand, Recknor, Grabenhorst & Bechara, 2007). Zur klaren Abgrenzung wird in der vorliegenden Arbeit der Terminus „Entscheidungen unter objektivem Risiko“ (in Anlehnung an Schiebener & Brand, 2015a) gewählt, der die in den vorliegenden Schriften untersuchten Entscheidungssituationen beschreibt .

Entscheidungen unter objektivem Risiko sind dadurch gekennzeichnet, dass die Entscheidungssituation explizite Informationen über mögliche Folgen und deren Wahrscheinlichkeiten bietet, die es ermöglichen, anhand objektiver Kriterien zwischen gegebenen Alternativen abzuwägen. Hierzu können beispielsweise Zahlenwerte verglichen oder Berechnungen durchgeführt werden, um zu einer (für das Individuum) optimalen Entscheidung zu gelangen. Ein Beispiel wären Entscheidungen über die Einnahme eines bestimmten Medikaments, zu dem Informationen über potentielle Nebenwirkungen und deren Eintrittswahrscheinlichkeit vorliegen. Informationen über mögliche Folgen sowie Chancen und Risiken können entweder als exakte Zahlenangaben vorliegen (z.B. „50% Chance“) oder anhand von Häufigkeitsangaben exakt abgeleitet werden (z.B. die Chance, bei einem Münzwurf „Kopf“ zu werfen).

Brand, Labudda und Markowitsch (2006) beschreiben ein Prozess-Modell der kognitiven Vorgänge beim Treffen von Entscheidungen unter objektivem Risiko. Hierbei wurden die Befunde neuropsychologischer Studien mit verschiedenen Entscheidungs-aufgaben bei klinischen und gesunden Stichproben herangezogen, um die kognitiven Mechanismen von Entscheidungen unter objektivem Risiko von denen unter ambiguem Risiko zu differenzieren. Einen Hauptunterschied stellt die Möglichkeit dar, bei Entscheidungen unter objektivem Risiko ausschließlich auf Basis rationaler analytischer Prozesse und ohne die Verarbeitung von Feedback (und somit ohne die Beteiligung somatischer Marker) entscheiden zu können. Neben diesem kognitiven Weg, wird jedoch auch von einem emotionalen Verarbeitungsweg ausgegangen, bei dem Entscheidungen auf Grundlage von Vermutungen und Affekt (einem „Bauchgefühl“) getroffen werden (vgl. Bechara, 2004; Damasio, 1994). Beide Verarbeitungswege können parallel ablaufen, aber auch interagieren. Es wird angenommen, dass die optimale Art der

Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko die Nutzung beider Wege, also sowohl kognitiv rationaler Strategien als auch emotionaler Feedback-Signale ist (Brand et al., 2006).

Schiebener und Brand (2015a) modifizierten und erweiterten das Modell zur Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko unter Einbezug von Dual-Prozess-Ansätzen. Das Modell (siehe Abbildung 1) illustriert, dass der innere Verarbeitungsprozess (bei dem zwei Systeme interagieren) von individuellen und situativen Eigenschaften sowie von externen Einflüssen bedingt wird. In Analogie zum Modell von Brand et al. (2006) werden emotionale Reaktionen und somatische Aktivierung einerseits und Exekutivfunktionen, Arbeitsgedächtnis und kognitive Verarbeitung andererseits als zentrale involvierte Funktionen aufgeführt. Erstere werden dem „impulsiven System“ letztere dem „reflektierenden System“ zugeordnet.

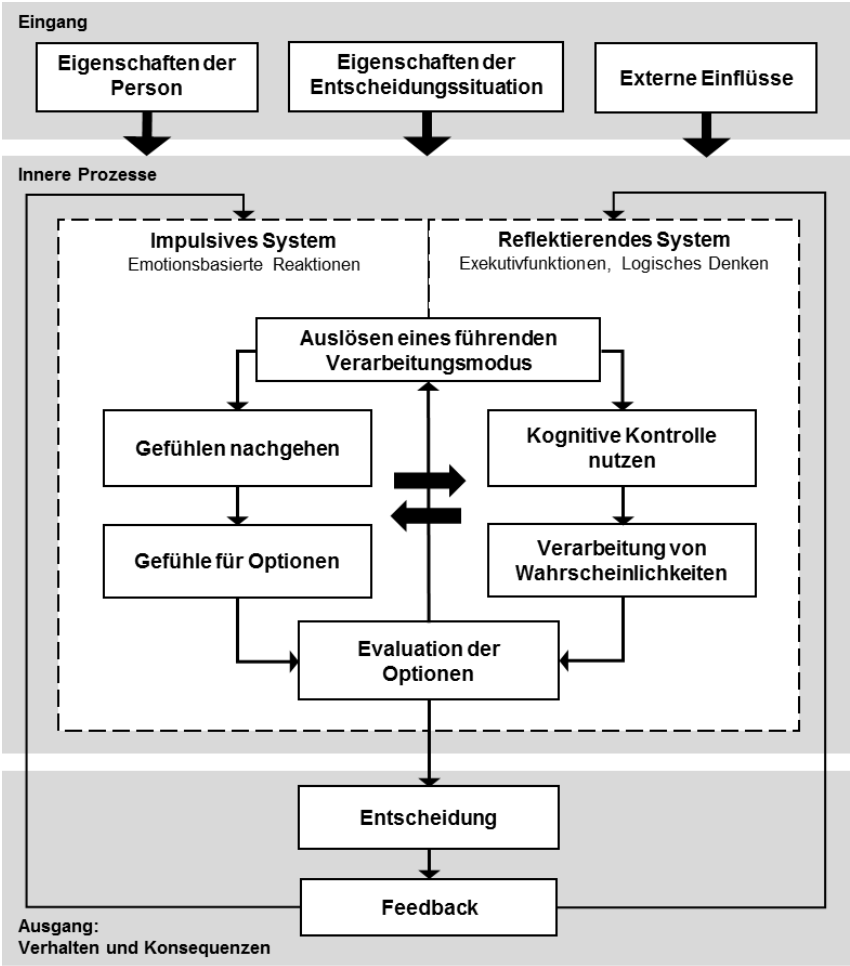

Abbildung 1. Prozess-Modell der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko. Modifiziert und ins Deutsche übersetzt nach Schiebener und Brand (2015a).

Im Detail postulieren die Autoren, dass im Prozess der Entscheidungsfindung initial einer der beiden Verarbeitungsmodi als führender angeregt wird. Bedingt wird dies durch Eigenschaften der Entscheidungssituation (Verfügbarkeit und Salienz der Information über Wahrscheinlichkeiten und Konsequenzen verschiedener Entscheidungsoptionen), Merkmale der entscheidenden Person (z.B. Impulsivität und exekutive/ kognitive Fähigkeiten) sowie externe Einflüsse (z.B. zusätzliche unterstützende/ irreführende Informationen und Stress). Bei vornehmlich impulsiver Verarbeitung (siehe Abbildung *1*; linke Hälfte des inneren Prozesses) wird davon ausgegangen, dass affektive Reaktionen ausgelöst werden und einem „Bauchgefühl" bzw. einer „Intuition" gefolgt wird (Schiebener & Brand, 2015a). Somatische Marker (Damasio, 1994) führen zu einer emotional gefärbten Wahrnehmung der Optionen als eher ansprechend oder aversiv. Diese emotionale Bewertung kann sich sowohl auf direkte Eigenschaften der Optionen (z.B. Gewinn/ Verlust) als auch auf antizipierte Konsequenzen (z.B. Erwartung langfristig negativer Folgen oder Erwartung eines positiven Gefühls bei einer riskantes Wahl Glück zu haben) beziehen. Wird hingegen der reflektierende Modus ausgelöst (siehe Abbildung 1; rechte Hälfte des inneren Prozesses), wird von der Anwendung kognitiver (Selbst-) Kontrollfunktionen ausgegangen, die vor allem mit Exekutivfunktionen und logischem Denken assoziiert sind. Diese Funktionen ermöglichen die Extraktion und Verarbeitung objektiver Informationen, wie beispielsweise die Eigenschaften verschiedener Optionen zu analysieren, Regeln zu erkennen, mögliche Folgen zu berechnen, Konzepte und Strategien zu entwickeln oder Rückmeldung von bereits getroffenen Entscheidungen einzubeziehen (Schiebener & Brand, 2015a). Als davon losgelöster Schritt wird die Evaluation und Verarbeitung von Wahrscheinlichkeiten, also Chancen und Risiken, aufgeführt. Dieser Teil-Prozess der Evaluation von Optionen setzt ebengenannte analytische Kontrollprozesse voraus und bedingt deren Einfluss auf das Entscheidungsverhalten. Die Autoren weisen darauf hin, dass reflektierende Verarbeitung nicht zwingend zu objektiv vorteilhafteren Entscheidungen führen muss, sondern auch fehlerhaft sein kann, beispielsweise durch unvollständiges oder fehlerhaftes Einbeziehen von Informationen (Schiebener & Brand, 2015a).

Schließlich münden impulsive und reflektierende Verarbeitungsprozesse in einer Evaluation der gegebenen Optionen. Im Einklang mit neurokognitiven Dual-Prozess Ansätzen (z.B. Bechara, 2005; siehe Kapitel 2.1.2), gehen auch Schiebener und Brand (2015a) davon aus, dass beide Verarbeitungsmodi parallel aktiv sein können und an

verschiedenen Stellen des Entscheidungsprozesses interagieren. Beispielsweise können durch den impulsiven Modus ausgelöste Gefühle einen Wechsel zu reflektierender Verarbeitung begünstigen (z.B. aversive Gefühle durch hohes wahrgenommenes Risiko) oder diese behindern (z.B. ansprechendem Gefühl einer potentiellen Belohnung folgen, trotz Wissen um mögliche Risiken). Interaktionen in umgekehrter Richtung sind ebenso möglich. Die abschließende Evaluation der Optionen führt letztlich zu einer Entscheidung für eine bestimmte Option. Darüber hinaus kann die Evaluation auch zur Entwicklung und Anwendung langfristiger Strategien für nachfolgende (ähnliche) Entscheidungen führen, was jedoch stark von der jeweiligen Situation abhängig ist.

Es wird angenommen, dass Feedback, welches auf die Entscheidung folgt, wiederum eine direkte, emotionale Reaktion im impulsiven System auslöst (positiv oder negativ). Zusätzlich kann Feedback aber auch reflektierend verarbeitet werden, indem beispielsweise die Häufigkeit bestimmter Folgen mit in die Planung weiterer Entscheidungen einbezogen wird. Bestärkendes Feedback wird mit der Begünstigung impulsiver Verarbeitung verbunden, bestrafendes Feedback wird mit der Begünstigung reflektierender Verarbeitung verbunden (Schiebener & Brand, 2015a).

Zusammengefasst beschreibt das Modell den Entscheidungsprozess unter objektivem Risiko, an dem interagierende impulsive und reflektierende Funktionen beteiligt sind. Dieser Prozess wird durch individuelle, situative und externe Faktoren beeinflusst, was zu Verzerrungen und Komplikationen in verschiedenen Bereichen des Entscheidungsprozesses führen kann. Für diese kumulative Dissertation sind insbesondere jene individuellen und situativen Eigenschaften relevant, von denen angenommen wird, dass sie eine eher impulsive Verarbeitung (z.B. Impulsivität oder direktes Feedback über kurzfristige Konsequenzen) bzw. eine eher reflektierende Verarbeitung begünstigen (z.B. *Need for Cognition* oder Informationen über langfristige Konsequenzen). Hierbei stehen Fähigkeiten im Fokus, die eine Integration eher impulsiv und eher reflektierend assoziierter Informationen abbilden. Ähnlich wie viele andere klassische Dual-Prozess Ansätze wird auch hier davon ausgegangen, dass vor allem eine reflektierende, kognitive Verarbeitung zu vorteilhaften Entscheidungen unter objektivem Risiko führt.

Dem entgegen steht ein alternativer Ansatz, der die Bedeutung intuitiver Verarbeitung hervorhebt. Im Modell von Schiebener und Brand (2015a) wird Intuition dem impulsiven System zugeordnet, welches der Kontrolle des reflektierenden Systems unterliegt (siehe auch Bechara, 2005). Die *Fuzzy Trace Theory* differenziert Intuition und

Impulsivität und beschreibt Intuition als eine überlegene Form der Verarbeitung, die mit steigendem Alter und Wissen reift. Diese alternative Sichtweise wurde bereits auf die Verarbeitung von Zahlen sowie auf die Verarbeitung von kurzfristigen im Vergleich zu langfristigen Konsequenzen angewendet. Um die Ergebnisse später in diesen erweiterten Kontext einordnen zu können, werden die zentralen Annahmen der Theorie skizziert.

2.4 Alternativer Dual-Prozess Ansatz: Fuzzy Trace Theory

Die *Fuzzy Trace Theory* (Reyna & Brainerd, 1995a, 2011) bietet einen alternativen Dual-Prozess Ansatz, der auf Evidenz von formalen mathematischen Modellen sowie behavioralen und neurowissenschaftlichen Studien aus den Bereichen der Gedächtnis-, Sprach-, und Entscheidungsforschung gründet und in vielen weiteren Disziplinen Anwendung findet. Ihre Annahmen wurden unter anderem auch auf die Verarbeitung numerischer Informationen (Reyna & Brainerd, 2007; Reyna et al., 2009), die Verarbeitung verzögert eintretender Konsequenzen (Reyna & Wilhelms, 2017) und die Entstehung riskanten Entscheidungsverhaltens (Reyna, 2018; Reyna & Brainerd, 2011; Reyna, Wilhelms, McCormick & Weldon, 2015) übertragen – die drei Bereiche, die in dieser kumulativen Dissertation behandelt werden.

Generell differenziert die *Fuzzy Trace Theory* zwei Arten, wie Informationen repräsentiert werden können: *gist* (dt.: Quintessenz, Kern) und *verbatim* (dt.: wortwörtlich, buchstäblich). Die aus der Psycholinguistik stammenden Begriffe stehen für zwei Arten von Gedächtnisinhalten, die sich in ihrer Bedeutung und ihrem Präzisionsgrad bzw. ihrer Detailtiefe unterscheiden (Reyna & Brainerd, 1995b). Während *verbatim* Repräsentationen die exakten Fakten einer Information beinhalten, fangen *gist* Repräsentationen die individuelle Bedeutung oder Interpretation ein. *Gist* Repräsentationen sind weniger präzise und bilden die *fuzzy traces* (dt.: unscharfe Spuren) der Theorie. Es wird postuliert, dass die beiden Repräsentationsarten die Grundlagen für unterschiedliche Verarbeitungsprozesse bilden, die jedoch parallel ablaufen können: analytische Prozesse, die auf detaillierter Verarbeitung exakter Informationen basieren (*verbatim*-basierte Verarbeitung), und intuitive Prozesse, die auf der Verarbeitung grober übergeordneter Bedeutungen inklusive emotionaler Bedeutung basieren (*gist*-basierte Verarbeitung). Im Gegensatz zu vielen anderen Dual-Prozess Theorien wird die intuitive Verarbeitung als Basis höheren Denkens und der präzisen Verarbeitung übergeordnet angesehen (Reyna, 2012; Reyna & Brainerd, 1995a; Reyna et al., 2009). Intuition wird

klar von Impulsivität abgegrenzt. Beide werden als unabhängig voneinander betrachtet mit unterschiedlicher Entstehung und differentiellen Einflüssen auf das Entscheidungsverhalten (Reyna, Wilhelms, et al., 2015). Auch Inhibition wird als eigenständiges Konzept unabhängig von (*gist*-basierter) intuitiver oder (*verbatim*-basierter) exakter Verarbeitung gesehen.

Im Rahmen der Entscheidungsfindung gehen Ansätze der *Fuzzy Trace Theory* davon aus, dass Personen mit zunehmender Reife und Erfahrung stärker zu intuitiver Verarbeitung von *gist* Repräsentationen neigen (genannt *fuzzy-processing preference*). Zunächst wird die gröbst-mögliche bzw. am wenigsten präzise Repräsentationsform genutzt. Dies geschieht in Form von groben Kategorien wie z.B. nichts versus etwas, wenig versus viel, gut versus schlecht. Diese intuitive Kategorisierung geht häufig mit Affekt einher (siehe Brainerd, Stein, Silveira, Rohenkohl & Reyna, 2008). Nur wenn grobe Repräsentationen unzureichend zum Treffen einer Entscheidung sind (z.B. aufgrund einer komplexen Entscheidungssituation), wird auf präzisere Verarbeitung (d.h. auf einem Kontinuum von *gist* bis *verbatim* näher zur *verbatim*-basierten Verarbeitung) zurückgegriffen. Riskantes Entscheidungsverhalten wird laut *Fuzzy Trace Theory* durch präzise Verarbeitung gefördert, wohingegen intuitive Verarbeitung vor riskantem Entscheidungsverhalten (z.B. im Jugendalter) bewahren kann (Reyna, Weldon & McCormick, 2015; Reyna, Wilhelms, et al., 2015). Entsprechend wird angenommen, dass intuitive Verarbeitung mit dem Heranwachsen nicht ab-, sondern zunimmt.

Der Dual-Prozess Ansatz der *Fuzzy Trace Theory* wird ebenso auf Prozesse der Zahlenverarbeitung angewendet, wobei zwischen exakter (*verbatim*-basierter) und approximativer (*gist*-basierter) Verarbeitung numerischer Informationen differenziert werden kann (Reyna & Brainerd, 2008). Auch exakte Zahlen oder Wahrscheinlichkeitsangaben werden laut *Fuzzy Trace Theory* zunächst intuitiv (*gist*-basiert) verarbeitet. Entsprechend gibt es auch bei der Zahlenverarbeitung die Neigung, eher in vagen Kategorien oder Relationen (z.B. „nichts oder etwas“) als in präzisen Zahlen zu denken (Reyna & Brainerd, 2008). Mit diesen Annahmen werden systematische Verzerrungen erklärt. Beispielsweise wird der subjektiv größere Unterschied zwischen 0% und 1% im Vergleich zu 10% und 11% auf die *gist*-basierte Verarbeitung zurückgeführt, da der erste Fall – im Gegensatz zum zweiten – einen Wechsel von „nichts“ zu „etwas“ impliziert. Die *Fuzzy Trace Theory* kann außerdem zur Erklärung weiterer Verzerrungen herangezogen werden, beispielsweise in Bezug auf Präferenz-Wechsel bei der Formulierung gleicher Szenarien als Gewinn oder Verlust, auf entwicklungsbedingte

Änderungen in der Risikopräferenz (Reyna, Wilhelms, et al., 2015) oder auf unvorteilhaftes Entscheidungsverhalten aufgrund fehlerhafter Verarbeitung von Wahrscheinlichkeitsangaben (Reyna & Brainerd, 2008; Reyna et al., 2009).

Außerdem wird die *Fuzzy Trace Theory* zur Erklärung intertemporaler Entscheidungen, also solcher zwischen Optionen mit zeitlich unterschiedlich eintretenden Konsequenzen, herangezogen (Reyna & Wilhelms, 2017). Demnach bestehen vorteilhafte Überlegungen bei der Wahl zwischen kleineren, sofortigen oder größeren, späteren Konsequenzen weniger aus der Abwägung exakter Mengen über exakte Zeitangaben (z.B. 10€ jetzt versus 53€ in 14 Tagen) als vielmehr aus groben Richtlinien (z.B. „Lieber jetzt verzichten, um später zu genießen"). Derartige Grundprinzipien und Werte werden in Form von vagen, langfristigen Erinnerungen (*gist*) repräsentiert. Sie bilden grobe Richtlinien, die von bestimmten kontextspezifischen Hinweisreizen hervorgerufen werden. Die Ausprägung der *gist*-basierten Tendenz, auf Belohnungen warten zu können, wird als prädiktiv für die Vermeidung riskanter Verhaltensweisen wie Kontoüberziehung oder Substanzmissbrauch herausgestellt (Reyna & Wilhelms, 2017).

Die Annahmen der *Fuzzy Trace Theory* über duale Repräsentationsformen, können potentiell auf ziemlich alle Arten von Stimuli bzw. Informationen, die für eine Entscheidung relevant sein können, übertragen werden. Nicht zuletzt durch ihre Bezüge zu numerischer Informationsverarbeitung, eignet sich die *Fuzzy Trace Theory* auch zur Erklärung des Entscheidungsverhaltens unter objektivem Risiko. Beispielsweise kann angenommen werden, dass vorteilhafte Entscheidungen häufig auf groben, *gist*-basierten Überlegungen beruhen und numerische Informationen eher unpräzise (z.B. „Lieber auf viele als auf wenige Zahlen setzen") als exakt (z.B. Berechnung von Wahrscheinlichkeiten) verarbeitet werden, obwohl die gegebenen objektiven Risiko-informationen in entsprechenden Entscheidungssituationen exakte Kalkulationen ermöglichen würden. Die Erforschung des Zusammenwirkens solch intuitiver und reflektierender Verarbeitungsprozesse steht im Fokus der vorliegenden Arbeit. Insbesondere Annahmen über den Einbezug von Informationen über gegensätzliche kurz- und langfristige Konsequenzen sowie die Beteiligung intuitiver Zahlenverarbeitungs-prozesse wurden im Kontext objektiver Risikoentscheidungen bislang nicht explizit empirisch geprüft. Aus diesen Forschungslücken ergeben sich übergeordnete Forschungsfragen und -ziele für die vorliegende Arbeit.

3 Forschungsziele

Der Prozess der Entscheidungsfindung ist geprägt von der Verarbeitung der Informationen, die in einer bestimmten Entscheidungssituation zur Verfügung stehen. Entsprechend werden Entscheidungen durch Eigenschaften der Person und der Situation bestimmt (z.B. Finucane & Lees, 2005). Der interne Entscheidungsfindungsprozess ist – klassischen Dual-Prozess Ansätzen folgend (z.B. siehe Kapitel 2.3) – geprägt durch das Zusammenspiel eines (emotionsbasierten) intuitiven und eines (kognitiven) reflektierenden Informationsverarbeitungsmodus. Die vorliegende Dissertation und die zugehörigen Schriften fokussieren Entscheidungssituationen unter objektivem Risiko (d.h. Situationen mit expliziten, objektiv vergleichbaren Informationen über mögliche Folgen und Risiken) unter dem Gesichtspunkt verschiedener Personenmerkmale und Fähigkeiten, die mit intuitiver bzw. reflektierender Verarbeitung in Verbindung gebracht werden.

Das Ziel der Untersuchungen des vorliegenden Kumulus ist es, von Dual-Prozess Ansätzen postulierte Integrations- und Interaktionsmechanismen intuitiver und reflektierender Verarbeitungsprozesse für den Bereich der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko zu spezifizieren. Die Forschungsfragen der vorliegenden Dissertation orientieren sich an dem Dual-Prozess Modell der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko von Schiebener und Brand (2015a; siehe Kapitel 2.3). Dieses basiert auf dem aktuellen Stand neuropsychologisch orientierter Entscheidungsforschung und dient der theoretischen Einordnung der in dieser Arbeit behandelten Themen. Eine generelle Überprüfung der Grundannahmen von Dual-Prozess Ansätzen liegt außerhalb der Reichweite der vorliegenden Arbeit. Vielmehr werden individuelle Fähigkeiten und Einflussfaktoren untersucht, welche auf Mechanismen des Zusammenwirkens von kognitiven Prozessen schließen lassen, die dem intuitiven oder dem reflektierenden Verarbeitungsmodus zugeschrieben werden können.

Die Innovation der vorliegenden Arbeit besteht darin, Dual-Prozess Annahmen aus (neuro-)kognitiven Theorien über das Abwägen kurzfristiger versus langfristiger Konsequenzen (siehe Kapitel 2.1) sowie aus der numerischen Kognitionsforschung (siehe Kapitel 2.2) mit den Dual-Prozess Annahmen über den Entscheidungsfindungsprozess unter objektivem Risiko (Kapitel 2.3) in Verbindung zu bringen und empirisch zu prüfen. Die aus den Studien gewonnen Erkenntnisse sollen bisherige Modellannahmen ergänzen und erweitern. Die Ergebnisse lassen sich darüber hinaus vor dem Hintergrund

alternativer Dual-Prozess Ansätze, wie beispielsweise der *Fuzzy Trace Theory* (siehe Kapitel 2.4), einordnen und diskutieren.

Zwei Verarbeitungsprozesse werden in der vorliegenden Arbeit in Bezug auf den Entscheidungsprozess unter objektivem Risiko genauer betrachtet: Prozesse der (1) Verarbeitung von kurz- und langfristigen Konsequenzen sowie der (2) Verarbeitung ungefährer und exakter Zahlen. Beide Teilbereiche werden im Kontext anderer Forschungsschwerpunkte (*Delay of Gratification* und Suchtforschung [siehe Kapitel 2.1] bzw. numerische Kognitionsforschung [siehe Kapitel 2.2]) aus Dual-Prozess Sicht betrachtet. Obwohl diese Sichtweise auch für den Entscheidungsprozess unter objektivem Risiko angenommen wird (siehe Kapitel 2.3), wurden die genannten Bereiche bislang wenig integriert, sondern vornehmlich in Bezug auf jeweils einen der potentiell dualen Prozesse berücksichtigt.

Bezüglich der (1) Verarbeitung von Konsequenzen fokussierten neuro-psychologisch basierte Entscheidungsaufgaben bislang auf Entscheidungen, die jeweils eine bestimmte kurzfristige, unmittelbare Konsequenz nach sich ziehen (z.B. Geldgewinn/ -verlust). In *Delay Discounting* Aufgaben werden Mechanismen der Abwertung verspäteter, größerer gegenüber kleinerer, sofortiger Gewinne abgebildet (siehe Kapitel 2.1). Hingegen fehlt die Betrachtung von Prozessen und Fähigkeiten, kurzfristige Konsequenzen und zusätzliche langfristige Konsequenzen einer Entscheidung, die potentiell in Konflikt stehen, zu vorteilhaften Entscheidungen zu integrieren. Kurzfristig orientiertes Entscheidungsverhalten wird mit impulsiver Verarbeitung, langfristig orientiertes Entscheidungsverhalten wird mit reflektierender Verarbeitung assoziiert (siehe Kapitel 2.1). In den meisten Fällen folgt kurzfristig orientierten Entscheidungen ein direktes Feedback, welches vorwiegend emotionsbasiert-impulsiv verarbeitet wird (als „heißer“ Stimulus, siehe Kapitel 2.1.1). Hingegen fehlt bei zukunftsorientierten Entscheidungen oft ein direktes Feedback über deren Auswirkungen. Der Theorie folgend (siehe Kapitel 2.1) setzt die Berücksichtigung langfristiger Konsequenzen eine reflektierende Verarbeitung voraus. Bei der Darbietung von direktem Feedback über sowohl kurzfristige als auch langfristige Auswirkungen, können jedoch differentielle Zusammenhänge mit Impulsivitätsmaßen angenommen werden. Diese vermuteten Interaktionen bei der Verarbeitung kurz- und langfristiger Konsequenzen wurden im Kontext objektiver Risikoentscheidungen bislang nicht untersucht. Eine systematische Prüfung der Annahmen, dass individuelle Tendenzen zu impulsiver bzw. reflektierender Informationsverarbeitung mit situativer Rückmeldung über kurz- und

langfristige Konsequenzen interagieren, macht die Entwicklung von Entscheidungsaufgaben notwendig, die derartige Modalitäten abbilden können.

In Bezug auf die (2) Verarbeitung von Zahlen wurde der positive Effekt von Fähigkeiten zur exakten Zahlenverarbeitung (z.B. *Numeracy*) für das Treffen objektiver Risikoentscheidungen bereits herausgestellt. Fähigkeiten zur exakten numerischen Verarbeitung (Verarbeitung von Wahrscheinlichkeiten) werden modellbasiert dem reflektierenden Verarbeitungsmodus zugeschrieben (Schiebener & Brand, 2015a; siehe Kapitel 2.3). Die numerische Kognitionsforschung und verwandte Theorien lassen vermuten, dass numerische Informationen nicht nur exakt, sondern auch approximativ in Form ungefährer mentaler Zahlenrepräsentationen verarbeitet werden können (siehe Kapitel 2.2). Letztere Zahlenkonzepte werden schnell und ohne kognitiven Aufwand repräsentiert, weshalb sie der intuitiven Verarbeitung zugeordnet werden können. Die Ergebnisse verschiedener empirischer Studien führen zu der Hypothese, dass auch intuitive Zahlenverarbeitung am Entscheidungsprozess unter objektivem Risiko beteiligt ist. Zum einen deuten Befunde an, dass ungefähre Zahlenverarbeitungskompetenzen bei der Evaluation von Mengenverhältnissen eine Rolle spielen (siehe Kapitel 2.2.2), wobei Mengenverhältnisse in Situationen unter objektivem Risiko häufig zur Darstellung von Wahrscheinlichkeiten (Chancen/ Risiken) genutzt werden. Zum anderen gilt die Kompetenz zur Verarbeitung ungefährer Zahlen (intuitiv) als Grundlage mathematischer Kompetenzen (reflektierend), die für objektive Risikoentscheidungen relevant sind (siehe Kapitel 2.2.1). Dennoch wurden intuitive Zahlenverarbeitungsfähigkeiten im Rahmen objektiver Risikoentscheidungen bisher nicht explizit betrachtet. Eine experimentelle Prüfung, ob und in welcher Form die Verarbeitung ungefährer Zahlen am Entscheidungsprozess beteiligt ist (z.B. beim Vergleichen von Mengen, beim Schätzen von exakten Zahlen oder von Risiken), erfordert die Entwicklung spezifischer Aufgaben, die untereinander vergleichbare Maße hervorbringen können.

Infolgedessen fehlen Paradigmen zur Operationalisierung von Fähigkeiten, Informationen über kurz- und langfristige Konsequenzen sowie ungefähre Zahlen adäquat in den Entscheidungsprozess integrieren zu können. Entsprechend mangelt es an empirischen Studien zur Prüfung solch integrativer Prozesse. Außerdem wurden vermutete Interaktionen zwischen individuellen Eigenschaften (z.B. Verarbeitungspräferenz) und situativen Faktoren (z.B. Feedback) im Kontext objektiver Risikoentscheidungen bislang wenig geprüft und es wurde nicht hinsichtlich der Verarbeitung kurz- und langfristiger Konsequenzen unterschieden.

Die vorliegende Arbeit schließt ebendiese Forschungslücken. Die vorliegenden Untersuchungen prüfen modellbasierte Annahmen über duale Prozesse der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko mit dem Ziel, diese im Hinblick auf die Verarbeitung verschiedenartiger Konsequenzen und numerischer Informationen zu spezifizieren. Dabei werden übergeordnete Fragestellungen verfolgt, die sich auf das Zusammenwirken intuitiver und reflektierender Verarbeitungsprozesse beziehen.

Folgende übergeordnete Forschungsfragen werden adressiert:

- Welche individuellen Fähigkeiten spielen bei der Integration kurzfristiger und langfristiger Konsequenzen in objektiven Risikoentscheidungen eine Rolle?
- Interagiert die individuelle Verarbeitungspräferenz (Person) mit der Verarbeitung von Feedback über kurz- und langfristige Konsequenzen (Situation)?
- Welche individuellen Fähigkeiten zur Integration ungefährer und exakter Zahlen spielen beim Treffen objektiver Risikoentscheidungen eine Rolle?
- Interagiert die Fähigkeit zu (intuitiver) ungefährer Zahlenverarbeitung mit Fähigkeiten zu (reflektierender) exakter Zahlenverarbeitung?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen wurden verschiedene Methoden eingesetzt. Darunter fallen zwei neu entwickelte Instrumente, die erstmals eine Operationalisierung der oben genannten Fähigkeiten sowie eine gezielte Variation relevanter Faktoren ermöglichen:

- Die *Cards and Lottery Task* (CLT; vorgestellt in Schrift 1)

  Sie dient der Erfassung der Fähigkeit, Informationen über gegensätzliche kurz- und langfristige Konsequenzen (inkl. Feedback) zu vorteilhaften Entscheidungen unter objektivem Risiko integrieren zu können.

- Die *Risk Approximation Task* (RAT; vorgestellt in Schrift 2)

  Sie dient der Erfassung von Fähigkeiten, approximierte Zahlen in Evaluationsprozesse unterschiedlicher Komplexität (Mengen unterscheiden, exakte Mengen schätzen, Risiken schätzen, Entscheidungen treffen) integrieren zu können.

Im Folgenden wird der Beitrag der einzelnen Schriften zur Beantwortung der übergeordneten Fragestellungen erläutert. Zur Veranschaulichung werden die innerhalb des vorliegenden Kumulus adressierten Forschungsthemen und -fragen sowie Bezüge zu den Schriften des Kumulus und dort adressierte Mechanismen grafisch dargestellt (siehe Abbildung 2).

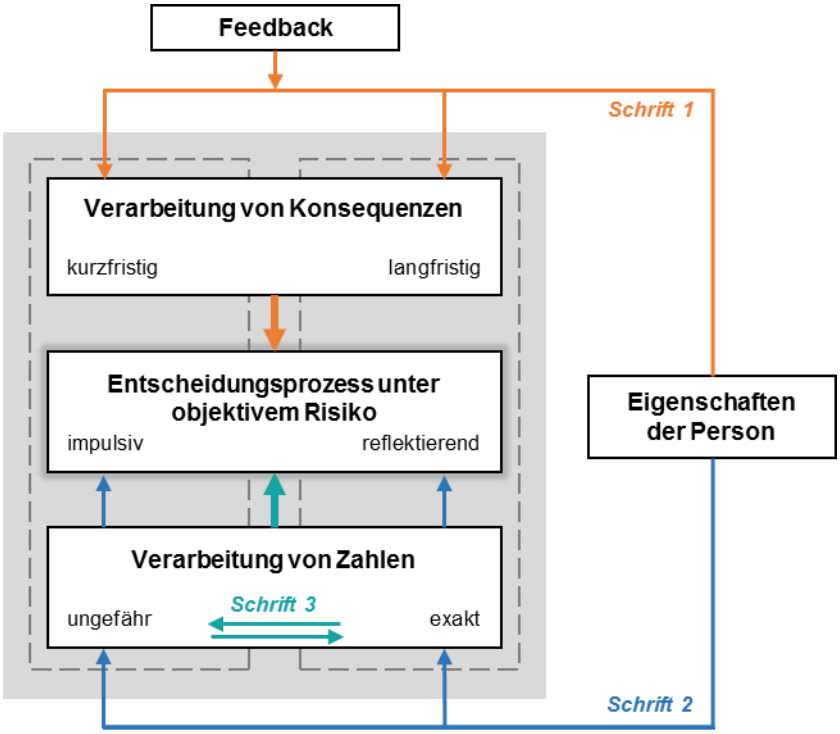

Abbildung 2. Schematische Darstellung der innerhalb der Schriften des vorliegenden Kumulus behandelten Forschungsthemen und -fragen. Vermutete Beziehungen und Interaktionen zwischen Variablen, die in den jeweiligen Schriften adressiert werden, sind durch verschiedenfarbige Pfeile repräsentiert.

Schrift 1 beschreibt eine neu entwickelte experimentalpsychologische Entscheidungsaufgabe (CLT), mit der die Fähigkeit, gegensätzliche kurz- und langfristige Konsequenzen zu vorteilhaften Entscheidungen unter objektivem Risiko zu integrieren zu können, operationalisiert werden kann. Diese Aufgabe ermöglicht erstmals die Simulation von objektiven Risikoentscheidungen zwischen Optionen, die jeweils sowohl kurzfristige als auch langfristige Auswirkungen mit sich bringen, welche miteinander in Konflikt stehen. Dies repräsentiert Modalitäten alltäglicher Entscheidungen wie beispielsweise dem Abwägen zwischen dem Genuss zu rauchen und der Vermeidung, das

Risiko für Lungenkrebs zu erhöhen. Zudem ermöglicht die CLT eine spezifische Variation des Feedbacks in Bezug auf kurz- und langfristige Konsequenzen. In vielen realweltlichen Entscheidungssituationen kann direktes Feedback über die kurzfristigen Konsequenzen erlebt werden (z.B. das Genusserleben beim Rauchen einer Zigarette), wobei direktes Feedback über langfristige Auswirkungen der Entscheidung ausbleibt (z.B. die Erhöhung des Risikos für Lungenkrebs). Diese Unterschiede im Feedback über kurz- im Vergleich zu langfristigen Konsequenzen können mit der CLT abgebildet werden. Außerdem kann in der Aufgabe direktes Feedback über sowohl kurzfristige als auch langfristige Konsequenzen dargeboten werden. Je nach Variation des Feedbacks werden Unterschiede in der Entscheidungsleistung und in Zusammenhängen derer mit kognitiven Funktionen und weiteren Personenmerkmalen vermutet. In der experimentellen Studie werden unter systematischer Variation des Feedbacks Interaktionen zwischen Eigenschaften der Person (Verarbeitungspräferenz und kognitive Funktionen) und der Feedback-Präsentation (Vorhandensein von direktem Feedback über langfristige Konsequenzen) beim Treffen von objektiven Risikoentscheidungen mit konfliktären kurz- und langfristigen Konsequenzen untersucht (siehe Abbildung *2*, orangene Pfeile).

Schrift 2 widmet sich der Untersuchung von Fähigkeiten, ungefähre (approximierte) Zahlen in unterschiedlich komplexe Stufen des Entscheidungsprozesses zu integrieren. Zur Operationalisierung dieser Fähigkeiten wird ein neu entwickeltes Paradigma (RAT) vorgestellt. Vier Subaufgaben bilden neben der Approximations-fähigkeit selbst (d.h. der Präzision mit der zwei kurz aufblinkende, nicht zählbare Punkt-Mengen unterschieden werden können) weitere approximative Fähigkeiten ab, die eine Integration in komplexere Verarbeitungsprozesse erfordern (z.B. von approximierten Zahlen Risiken oder Entscheidungen abzuleiten). Diese neuartige Aufgabe erlaubt einerseits erste Erkenntnisse darüber zu erlangen, bei welchen Prozessen die Verarbeitung ungefährer Zahlen für die Entscheidungsfindung von Relevanz ist. Andererseits können die mit der Aufgabe abgebildeten Zahlenverarbeitungskompetenzen mit anderen kognitiven Fähigkeiten in Beziehung gesetzt werden, um relative Einflüsse intuitiv und reflektierend assoziierter numerischer Fähigkeiten zu bestimmen. Es wird angenommen, dass nicht nur Kompetenzen zur exakten Zahlenverarbeitung (z.B. *Numeracy*), sondern auch (wie bisher noch nicht untersucht) ungefähre Zahlen-verarbeitungskompetenzen bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko eine Rolle spielen (siehe Kapitel 2.2). In einer empirischen Studie wird geprüft, ob und

inwiefern approximative Fähigkeiten über exakte Zahlenverarbeitungsfähigkeiten hinaus einen Effekt auf Entscheidungen unter objektivem Risiko haben (siehe Abbildung 2, blaue Pfeile).

Schrift 3 widmet sich – in Abgrenzung zu den direkten Effekten verschiedener ungefährer Zahlenverarbeitungsfähigkeiten in Schrift 2 – der Prüfung potentieller Interaktionseffekte zwischen spezifischen intuitiven und reflektierenden Zahlenverarbeitungskompetenzen bei der Vorhersage der Entscheidungsleistung unter objektivem Risiko (siehe Abbildung 2, türkise Pfeile). Die Ergebnisse werden als Indiz für die von Dual-Prozess Ansätzen postulierten Wechselwirkungen zwischen dem intuitiven und dem reflektierenden Verarbeitungsmodus beim Treffen von Entscheidungen herangezogen.

Insgesamt prüfen die vorliegenden Untersuchungen modellbasierte Annahmen über duale Prozesse der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko, mit dem Ziel diese im Hinblick auf die Verarbeitung verschiedenartiger Konsequenzen und numerischer Informationen zu spezifizieren. Im Folgenden werden die theoretischen Hintergründe, Ziele und Ergebnisse separat für die drei Schriften des Kumulus zusammengefasst.

4 Zusammenfassung der Schriften des Kumulus

Jede der drei Schriften beinhaltet spezifische Forschungsziele, Ergebnisse und Diskussionen, die in den folgenden Zusammenfassungen umrissen werden. In der anschließenden Diskussion (siehe Kapitel 5) werden die Ergebnisse der Schriften vor dem Hintergrund der vorgestellten übergeordneten Forschungsfragen ausführlicher diskutiert.

4.1 Schrift 1: Kurz- und langfristige Konsequenzen bei Entscheidungen unter objektivem Risiko

Originaltitel: *Short- and long-term consequences in decision-making under risk: Immediate feedback about long-term prospects benefits people tending to impulsive processing*

Einige Situationen zwingen Individuen dazu, intuitive und reflektierende Überlegungen gleichermaßen einzubeziehen, um vorteilhafte Entscheidungen zu treffen. Beispielsweise solche, in denen die Wahl einer Alternative verschiedene Konsequenzen nach sich ziehen

kann, die miteinander in Konflikt stehen. In vielen Bereichen des alltäglichen Lebens steht man vor der Wahl zwischen kurzfristigen Belohnungen unter Inkaufnahme langfristiger Risiken oder – im Gegensatz dazu – kurzfristigem Verzicht/ Investition zugunsten positiver, langfristiger Konsequenzen beispielsweise bei Entscheidungen für oder gegen kalorienreiches Essen, Rauchen oder Geldausgeben. Derartige Entscheidungen zur Vermeidung langfristiger Risiken erfordern die Fähigkeit, kurzfristigen Verlockungen zu widerstehen und entsprechendes impulsives Entscheidungsverhalten kontrollieren zu können. Basierend auf theoretischen und empirischen Arbeiten wird angenommen, dass kurzfristige und langfristige Konsequenzen neuronal unterschiedlich verarbeitet werden (siehe Kapitel 2.1). Kurzfristige Konsequenzen sind direkt erfahrbar und werden emotionsbasiert, impulsiv verarbeitet. Über langfristige Folgen einer Entscheidung (z.B. über das Ausmaß mit dem das Rauchen einer Zigarette das Lungenkrebsrisiko erhöht) gibt es meist keine direkte Rückmeldung. Um langfristige Konsequenzen dennoch gleichermaßen in den Entscheidungsprozess einzubeziehen, lässt sich vermuten, dass in derartigen Entscheidungssituationen eine reflektierende Verarbeitung und damit assoziierte Fähigkeiten von besonderer Relevanz sind.

Um diese Vermutung experimentell zu untersuchen, wird ein neues computerbasiertes Instrument, die CLT, vorgestellt. Die CLT wurde entwickelt, da bis dato keine experimentelle Aufgabe existierte, um objektive Risikoentscheidungen zwischen Optionen mit konträren kurz- und langfristigen Konsequenzen abzubilden. Hierbei werden in mehreren Durchgängen je zwei Optionen präsentiert, zwischen denen entschieden werden muss. Die eine Option bietet tendenziell kurzfristige hohe Gewinne (virtuelles Geld) gepaart mit hohen Risiken auf langfristig negative Konsequenzen (virtuelle Bomben, die zur Subtraktion eines hohen Betrages am Spielende führen). Die andere Option bietet tendenziell kurzfristige Verluste oder kleine Gewinne (virtuelles Geld) gepaart mit hohen Chancen auf langfristig vorteilhafte Konsequenzen (virtuelle Sterne, die zur Addition eines hohen Betrages am Spielende führen). Die Informationen über mögliche Konsequenzen und deren Wahrscheinlichkeiten sind explizit angegeben, weshalb die CLT Entscheidungen unter objektivem Risiko repräsentiert. In jeder Runde muss sich die Versuchsperson für eine der beiden Optionen entscheiden, wobei Geldbeträge, Chancen und Risiken von Runde zu Runde variieren. Die Leistung in der Aufgabe dient als Maß für die Fähigkeit, objektive Informationen über kurz- und langfristige Folgen (und deren Chancen und Risiken) zu vorteilhaften Entscheidungen

integrieren zu können. Zudem ermöglicht die CLT, die Präsentation von Feedback separat für kurz- und langfristige Konsequenzen systematisch zu variieren.

Schrift 1 untersucht mit Hilfe der CLT, wie Entscheidungen, die die Integration von kurz- und langfristigen Konsequenzen erfordern, mit impulsiv bzw. reflektierend assoziierten kognitiven Fähigkeiten und Personenmerkmalen korrelieren. Hierzu zählen unter anderem Arbeitsgedächtnisleistung (erfasst mit einer 3-*back* Aufgabe; vgl. Schoofs, Preuß & Wolf, 2008), höhere Exekutivfunktionen (*set-shifting*, kognitive Flexibilität und Feedbacklernen, erfasst mit dem *Modified Card Sorting Test*; Nelson, 1976), Impulsivitätsmaße (*Barratt Impulsiveness Scale*; Meule, Vögele & Kübler, 2011; Spinella, 2007; *Delay Discounting task*; Weatherly & Ferraro, 2011) und *Need for Cognition* (Rational-Experiential Inventory; Keller, Bohner & Erb, 2000). Zusätzlich werden Interaktionen der individuellen Verarbeitungspräferenz mit situativen Merkmalen in Form von unterschiedlichem Feedback untersucht. Hierzu führte eine Gruppe (n = 80) die CLT-Version mit partiellem Feedback durch (d.h. mit direkter Rückmeldung über kurzfristige, aber nicht über langfristige Folgen einer Entscheidung), die andere Gruppe (n = 70) erhielt volles Feedback (d.h. direkte Rückmeldung auch über langfristige Auswirkungen der Entscheidung). Unter Einbezug der Gruppenvariable wird getestet, inwiefern die Darbietung von direktem Feedback über langfristige Konsequenzen einen moderierenden Effekt auf den Zusammenhang zwischen Personenmerkmalen und der Entscheidungsleistung hat. Insgesamt 150 Teilnehmende durchliefen die Testung jeweils einzeln, unter kontrollierten Laborbedingungen und unter Einhaltung wissenschaftsethischer Grundsätze.

Die Ergebnisse zeigen keine Unterschiede in der durchschnittlichen Entscheidungsleistung (rechnerisch vorteilhafte Wahlen) zwischen den beiden Gruppen. In beiden Feedback-Bedingungen korreliert die Entscheidungsleistung mit logischem Denken und der Arbeitsgedächtnisleistung, jedoch nicht mit höheren Exekutivfunktionen. Konform mit den vorherigen Annahmen sind nur in der Gruppe mit partiellem Feedback zusätzliche signifikante Zusammenhänge der Entscheidungsleistung mit Variablen vorhanden, die eine reflektierende Verarbeitungspräferenz andeuten (negative Korrelationen mit Impulsivitätsmaßen; positive Korrelationen mit *Need for Cognition*). Die Analyse der Interaktionseffekte ergab signifikante Wechselwirkungen zwischen individueller Verarbeitungspräferenz (Ausprägung in Impulsivität und *Need for Cognition*) und Feedback-Präsentation (partielles oder volles). Im Detail wirkten sich individuelle Unterschiede in der Verarbeitungspräferenz nur dann auf die

Entscheidungsleistung aus, wenn partielles Feedback, d.h. kein Feedback über langfristige Konsequenzen, vorlag. Bei vollem Feedback unterschieden sich Personen mit impulsiver Verarbeitungspräferenz (hohe Impulsivität bzw. niedriges *Need for Cognition*) in ihrer Entscheidungsleistung nicht von denen mit reflektierender Verarbeitungspräferenz (niedrige Impulsivität bzw. hohes *Need for Cognition*), wohingegen erstere bei partiellem Feedback eine signifikant geringere Performanz aufwiesen.

Insgesamt deuten die Ergebnisse von Schrift 1 darauf hin, dass es beim Treffen von Entscheidungen unter objektivem Risiko mit kurz- und langfristigen Konsequenzen Interaktionen zwischen situativen und individuellen Faktoren gibt, die jeweils impulsive oder reflektierende Entscheidungen begünstigen. Zum einen wird deutlich, dass eine Integration kurz- und langfristiger Konsequenzen vor allem dann in einem vorteilhaften Entscheidungsverhalten resultiert, wenn eine individuelle Neigung zu reflektierender Verarbeitung vorherrscht. Zum anderen zeigt sich, dass eine Neigung zu impulsiver Verarbeitung besonders dann einen negativen Effekt auf die Entscheidungsleistung hat, wenn situative Faktoren eine impulsive Verarbeitung begünstigen (in diesem Fall: das Vorhandsein von direktem Feedback über kurzfristige aber nicht über langfristige Konsequenzen). Bietet die Entscheidungssituation hingegen ebenso unmittelbar erfahrbare Rückmeldung über langfristige Auswirkungen der getroffenen Entscheidung, tendieren Personen mit impulsiver Verarbeitungspräferenz zu ebenso vorteilhaftem Entscheidungsverhalten wie Personen mit reflektierender Verarbeitungspräferenz. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass Feedback als zusätzlicher situativer Einflussfaktor einen bedeutenderen Effekt auf den Entscheidungsprozess unter Einbezug kurz- und langfristiger Konsequenzen hat, als die Verarbeitung der gegebenen objektiven Informationen über mögliche Konsequenzen allein.

4.2 Schrift 2: Ungefähre Zahlenverarbeitungskompetenzen bei Entscheidungen unter objektivem Risiko

Originaltitel: *Risk approximation in decision making: Approximative numeric abilities predict advantageous decisions under objective risk.*

Wie beim Treffen von Entscheidungen, wird auch im Bereich der Zahlenverarbeitung von zwei verschiedenartigen Verarbeitungsprozessen ausgegangen. Empirische Arbeiten weisen darauf hin, dass numerische Informationen zum einen exakt und zum anderen

ungefähr (oder approximativ) verarbeitet werden können (siehe Kapitel 2.2). Die Verarbeitung exakter Zahlen, beispielsweise das Rechnen mit symbolischen (z.B. arabischen) Zahlen- und Verhältnisangaben (z.B. 3 × ¼), basiert auf der Anwendung erlernter mathematischer Kenntnisse und Regeln, weshalb dies den analytisch reflektierenden Informationsverarbeitungsprozessen zugeordnet werden kann. Die Verarbeitung ungefährer Zahlen, wie beispielsweise das Vergleichen zweier approximierter Mengen, basiert auf einer basalen Fähigkeit größere Objektmengen schnell und grob erfassen und vergleichen zu können, ohne sie zu zählen. Diese Approximationsprozesse laufen sehr schnell (innerhalb von wenigen Zehntelsekunden), ohne kognitiven Aufwand ab und können schon vom Säuglingsalter an vollzogen werden, weshalb sie den intuitiven Informationsverarbeitungsprozessen zugeordnet werden können (siehe Kapitel 2.2.2). Während *Numeracy* als eine Form exakter Zahlenverarbeitungsfähigkeit im Kontext objektiver Risikoentscheidungen bereits ausgiebig untersucht wurde (siehe Kapitel 2.2.1), fehlt eine ähnlich ausgiebige Betrachtung approximativer Zahlenverarbeitung in diesem Kontext. Schrift 2 adressiert diesen Aspekt mit der Untersuchung der Beteiligung von Fähigkeiten ungefährer (approximativer) gegenüber exakter Zahlenverarbeitung bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko. Hierbei werden erstmals verschiedene approximative Fähigkeiten differenziert, die darauf schließen lassen, bei welchen Arten von Verarbeitungsprozessen die Integration ungefährer Zahlen potentiell zum Tragen kommt. Ziel ist es, im ersten Schritt, verschiedene approximative Fähigkeiten, die eine unterschiedlich starke Integration ungefährer, intuitiver und exakter, reflektierender Zahlenverarbeitung repräsentieren, auf vergleichbare Weise zu operationalisieren. Mithilfe dieser vergleichbaren Maße wird, im zweiten Schritt, angestrebt, deren relative direkte Effekte – über exakte Zahlenverarbeitungsfähigkeiten hinaus – auf objektive Risikoentscheidungen zu prüfen.

Eine neue computerbasierte Aufgabe, die RAT, wurde entwickelt, um dem ersten Ziel nachzukommen. Mit der RAT können verschiedene Fähigkeiten gemessen werden, die abbilden, wie akkurat ungefähre Zahlen in andere Verarbeitungsprozesse integrieren werden können. Die Aufgabe kombiniert Methoden aus unterschiedlichen Forschungsbereichen. Als Grundlage dient eine Punkt-Vergleich-Aufgabe ähnlich derer, die in der numerischen Kognitionsforschung zur Messung der Approximationspräzision genutzt werden. Bei diesen Aufgaben soll wiederholt diejenige von zwei nebeneinander kurz aufblitzenden Punktwolken identifiziert werden, die mehr Punkte beinhaltet. Die Punktwolken werden für wenige Zehntelsekunden (in der RAT sind es 300

Millisekunden) präsentiert, um auszuschließen, dass die Punkte gezählt und damit exakt repräsentiert werden können. Zudem werden die Punktwolken hinsichtlich einiger Kontroll-Parameter wie Umfang, Punktgröße oder Mengenverhältnis variiert. Die RAT folgt diesem Prinzip und erweitert die Approximationsaufgabe um Elemente neuropsychologischer Entscheidungsaufgaben. Insgesamt werden mit vier Subaufgaben vier approximative Fähigkeiten operationalisiert: approximierte Mengen akkurat (1) unterscheiden zu können („Wo waren mehr?“, entsprechend klassischer Aufgaben zur Bestimmung der Approximationspräzision), exakt (2) schätzen zu können („Wie viele waren zu sehen?“) sowie von ihnen akkurate (3) Risiko-Evaluationen („Wie hoch ist das Risiko…?“) und vorteilhafte (4) Entscheidungen ableiten zu können („Worauf setzen Sie?“). Vor allem die letzten beiden Subaufgaben bilden Methoden ab, die in dieser Art (nach dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Erstellung von Schrift 2) nicht existierten. Aufgrund der Aufgabenbeschaffenheit und der verwendeten Stimuli, können die Leistungen in den vier RAT Subaufgaben miteinander in Beziehung gesetzt werden. Insgesamt 153 Versuchspersonen absolvierten die RAT sowie Aufgaben zur Messung der Entscheidungsleistung unter objektivem Risiko (eine Version der GDT; Brand et al., 2014), Exekutivfunktionen (*Modified Card Sorting Test*; Nelson, 1976; *Trail Making Test*; Reitan & Wolfson, 1995) und exakter Zahlenverarbeitungskompetenzen (Tests zu *Numeracy*, Kopfrechnen und Wissen über Wahrscheinlichkeiten; Brand et al., 2014; Delazer, Kemmler & Benke, 2013). Mittels aufeinander aufbauender hierarchischer Regressionsanalysen wurde geprüft, ob intuitiv assoziierte Zahlenverarbeitungsfähigkeiten über reflektierend assoziierte Fähigkeiten (Exekutivfunktionen, exakte Zahlenverarbeitungskompetenzen) hinaus einen zusätzlichen Beitrag zur Erklärung der Entscheidungsleistung unter objektivem Risiko leisten.

Die Ergebnisse deuten an, dass einige intuitive Zahlenverarbeitungsprozesse die Entscheidungsleistung unter objektivem Risiko entscheidend mitbestimmen. Die Fähigkeit, auf Grundlage von Approximationen präzise Risiko-Bewertungen abgeben zu können (RAT Subaufgabe 3) stellte sich als bedeutender Prädiktor für die Entscheidungsleistung in der verwendeten GDT Version heraus. Im Regressionsmodell erklärte dieses Maß einen größeren Anteil der Entscheidungsleistung, als die Maße für Exekutivfunktionen und exakte Zahlenverarbeitungskompetenzen, die in vorangegangenen Studien als bedeutsame Prädiktoren herausgestellt wurden (siehe Kapitel 2.2.1). Basale Approximationsfähigkeiten (RAT Subaufgabe 1 und Subaufgabe 2) zeigten hingegen keine direkten Effekte.

Die Befunde verdeutlichen die Wichtigkeit von intuitiven Prozessen der Risikoevaluation bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko und zeigen erstmals die Relevanz von intuitiver Zahlenverarbeitung in diesem Prozess. Das Entscheidungsverhalten scheint maßgeblich von der Fähigkeit, ungefähre und exakte Zahlenrepräsentationen mental zu einer akkuraten Risikobewertung integrieren zu können, bestimmt zu werden. Somit unterstreicht Schrift 2, dass auch intuitive Zahlenverarbeitungsprozesse an der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko beteiligt sind, und dass die Verarbeitung von Wahrscheinlichkeiten und Risiken nicht ausschließlich reflektierende Prozesse beinhalten muss.

4.3 Schrift 3: Interaktionen der Approximationsfähigkeit mit Exekutivfunktionen und Numeracy bei objektiven Risikoentscheidungen

Originaltitel: *Approximate number processing skills contribute to decision making under objective risk: Interactions with executive functions and objective numeracy*

Schrift 3 untersucht – als Erweiterung zu Schrift 2 – potentielle moderierende Effekte basaler Approximationsfähigkeiten auf die Zusammenhänge zwischen Fähigkeiten zur exakten Zahlenverarbeitung und der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko. Auf diese Weise werden die von Dual-Prozess Ansätzen (z.B. siehe Kapitel 2.3) postulierten interaktiven Mechanismen zwischen intuitiv und reflektierend assoziierten Verarbeitungsprozessen beim Treffen von Entscheidungen adressiert. Zum einen fokussiert Schrift 3 Exekutivfunktionen und *Numeracy* als zwei Haupt-Funktionen reflektierender Verarbeitungsprozesse, die miteinander in Zusammenhang stehen (siehe Kapitel 2.3). Zum anderen wird die grundlegende Approximationsfähigkeit (Approximationspräzision) betrachtet, die den intuitiven Verarbeitungsprozessen zugeordnet werden kann. Es wird angenommen, dass das Anwenden intuitiver Zahlenverarbeitungsstrategien mangelnde Zeit, Motivation oder Fähigkeit, formale Berechnungen durchzuführen, kompensieren kann (siehe Kapitel 2.2). Dennoch ist der potentielle Beitrag von Approximationsprozessen bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko bislang weitgehend erforscht. Entsprechend zielt Schrift 3 darauf ab, zu prüfen, ob die Approximationspräzision mit Exekutivfunktionen und *Numeracy* bei der Vorhersage von objektiven Risikoentscheidungen interagiert.

Die Testbatterie beinhaltet die RAT, deren erste Subaufgabe eine Punkt-Vergleich-Aufgabe darstellt, die Approximationspräzision erfasst. Das Entscheidungsverhalten wurde mit zwei Versionen der GDT operationalisiert, die in einem Between-Design eingesetzt wurden. Eine Hälfte der Versuchspersonen (n = 64) führte die Originalversion der GDT (Brand et al., 2005) durch. Die andere Hälfte (n = 64, bestehend aus alters- und geschlechtsspezifisch abgestimmten Personen aus dem Datensatz der vorherigen Studie) vollzog eine spezifizierte GDT Version (Brand et al., 2014), die mittels Frage nach Verdopplung des jeweiligen Wetteinsatzes zu zusätzlicher Reflektion über potentielle Konsequenzen und Risiken anregt. Zusätzlich kam eine computerbasierte Version des *Modified Card Sorting Test* (Nelson, 1976) zur Messung höherer Exekutivfunktionen und ein *Numeracy* Test (Delazer et al., 2013) bei allen Probanden zum Einsatz.

Die Ergebnisse stützen die vermuteten Effekte unter der Betrachtung eines Maßes für hohe Approximationspräzision. Unabhängig von der Entscheidungsaufgabe (GDT Version) zeigten sich Interaktionen einer hohen Approximationspräzision mit sowohl Exekutivfunktionen als auch *Numeracy.* Da keine Effekte der GDT Version auftraten, wurden zusätzlich die Probanden beider Gruppen zusammengenommen (N = 128), um Dreifachinteraktionen zwischen Approximationspräzision, Exekutivfunktionen und *Numeracy* auf das Risikoentscheidungsverhalten (Wahl der riskantesten Alternative) zu prüfen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Dreifachinteraktion signifikant zusätzliche Varianz im Entscheidungsverhalten aufklärt. Die weitere Analyse des Interaktionseffekts verdeutlicht, dass lediglich Personen, die Schwächen in allen drei Kompetenzen aufwiesen, bedeutend häufiger hoch-riskante, unvorteilhafte Entscheidungen trafen. Im Vergleich dazu zeigten Personen mit hoher Approximationspräzision ein tendenziell vorteilhafteres Entscheidungsverhalten, auch wenn Exekutivfunktionen und *Numeracy* gering ausgeprägt waren.

Die Ergebnisse deuten an, dass bei Entscheidungen unter objektivem Risiko intuitive Zahlenverarbeitungskompetenzen mit reflektierenden Verarbeitungskompetenzen interagieren. In Einklang mit den Vermutungen scheint eine hohe Approximationsfähigkeit Schwächen in Fähigkeiten, die mit reflektierender Verarbeitung assoziiert werden (Exekutivfunktionen und *Numeracy*), in Teilen kompensieren zu können und so zur Vermeidung hoch-riskanter Entscheidungen beizutragen. Entsprechend können Interaktionen ungefährer und exakter Zahlenverarbeitung bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko angenommen werden, deren Implikationen und Bezüge zu Dual-Prozess Ansätzen im Folgenden diskutiert werden.

5 Diskussion

Die Ergebnisse der in den Schriften des vorliegenden Kumulus beschriebenen Untersuchungen geben Aufschluss über spezifische Fähigkeiten und damit einhergehende Verarbeitungsprozesse, die an der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko beteiligt sind. Im Allgemeinen wird angenommen, dass das Entscheidungsverhalten durch das Zusammenwirken intuitiver und reflektierender Verarbeitungsprozesse bestimmt wird, welches von Eigenschaften der Person und der Situation bedingt wird (Figner & Weber, 2011; Finucane & Lees, 2005; Schiebener & Brand, 2015a). Die Ergebnisse aller drei Studien stehen im Einklang mit dieser Annahme. Zum einen lassen sie auf die Effekte individueller Fähigkeiten schließen, unterschiedliche Informationen der Entscheidungssituation, welche mit intuitiver bzw. reflektierender Verarbeitung assoziiert werden (Schrift 1, kurz- und langfristige Konsequenzen; Schrift 2, ungefähre und exakte Zahlen), zu vorteilhaften Entscheidungen unter objektivem Risiko zu integrieren. Zum anderen werden bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko Interaktionen zwischen Eigenschaften der Person und der Situation deutlich (Schrift 1, Verarbeitungspräferenz und Feedback-Präsentation) sowie Interaktionen zwischen individuellen Fähigkeiten, die einerseits intuitive und andererseits reflektierende Verarbeitungsprozesse implizieren (Schrift 3, ungefähre und exakte Zahlenverarbeitung).

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Schriften des Kumulus vor dem Hintergrund bisheriger empirischer und theoretischer Arbeiten in der Gesamtschau diskutiert. Dies geschieht einerseits mit Hinblick auf die Verarbeitung von Konsequenzen und andererseits in Bezug auf Prozesse der Zahlenverarbeitung. Fokussiert wird – bei beiden Themenbereichen – die Einordnung der vorliegenden Befunde in das theoretische Prozessmodell der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko (Schiebener & Brand, 2015a; siehe Kapitel 2.3). Darauf basierend wird anschließend unter Einbezug weiterer theoretischer Ansätze ein modifiziertes Modell vorgeschlagen. Abschließend wird auf Limitationen hingewiesen und ein Ausblick auf angrenzende Forschungsfragen und notwendige Folgestudien gegeben.

5.1 Die Verarbeitung von Konsequenzen bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko

Objektive Risikoentscheidungen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Entscheidungssituation konkrete Informationen über mögliche Konsequenzen (z.B. Gewinne/ Verluste) und deren Wahrscheinlichkeiten darbietet (Schiebener & Brand, 2015a). Bisherige neuropsychologisch basierte Aufgaben zur experimentellen Untersuchung des Entscheidungsverhaltens bieten die Wahl zwischen verschiedenen Optionen, die jeweils eine bestimmte Folge (Gewinn oder einen Verlust) nach sich ziehen. Bei objektiven Risikoentscheidungsaufgaben variieren diese Folgen, neben der Gewinn- und Verlusthöhe, hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit (mehr versus weniger wahrscheinlich, sicher versus riskant). Bei *Delay Discounting* Aufgaben variieren die Folgen hinsichtlich ihrer zeitlichen Dimension (jetzt versus später). Entscheidungsaufgaben mit mehreren Durchgängen (wie beispielsweise der GDT) lassen anhand der Entscheidungspräferenzen für bestimmte Optionen auf eher kurz- oder langfristig ausgerichtete Entscheidungsstrategien schließen (Brand et al., 2008; Pachur & Galesic, 2013; Schiebener & Brand, 2015b). Bisher gab es jedoch keine Aufgabe, die den Charakter von Entscheidungen zwischen Optionen darstellt, die in Konflikt stehende kurzfristige und langfristige Konsequenzen mit sich bringen, d.h., die entweder kurzfristig vorteilhaft sind, aber langfristige Risiken erhöhen oder die kurzfristig unvorteilhaft sind, aber Chancen auf langfristige Vorteile erhöhen. Um die Kompetenz, kurz- und langfristige Konsequenzen zu vorteilhaften Entscheidungen zu integrieren, abbilden und daran beteiligte kognitive Prozesse untersuchen zu können, war die Entwicklung einer neuen Entscheidungsaufgabe notwendig, die ebendiese Modalitäten aufweist. Die in Schrift 1 des vorliegenden Kumulus beschriebene Aufgabe (CLT) kann hinsichtlich der Darbietung von Feedback separat für kurz- und langfristige Konsequenzen variiert werden. Mit zwei Versionen (mit partiellem und vollem Feedback) wurde zusätzlich geprüft, ob der Effekt von Personeneigenschaften auf die Entscheidungsleistung mit situativen Eigenschaften (Feedback über langfristige Konsequenzen) interagiert.

Die Analyse des Wahlverhaltens in der CLT deutet darauf hin, dass sowohl kurzfristige als auch zukünftige Konsequenzen bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden, was ein wesentlicher Faktor für die Erreichung langfristig positiver Ergebnisse ist (Schiebener & Brand, 2015a). Insgesamt zeigt sich eine bereits

in der *Prospect Theory* beschriebene und auch in neueren Arbeiten berichtete Verlustaversion (Kahneman & Tversky, 1979; Tom, Fox, Trepel & Poldrack, 2007) in der Hinsicht, dass Optionen, die mit sofortigen Verlusten oder hohen Risiken für spätere Verluste einhergehen, tendenziell vermieden werden. Dies impliziert, dass Informationen über potentielle kurz- und langfristige Konsequenzen verschiedener Optionen während des Entscheidungsprozesses integriert werden. Dabei werden Informationen über kurzfristige Folgen eher vom impulsiven („heißen") System und Informationen über langfristige Folgen eher vom reflektierenden („kühlen") System verarbeitet (siehe Kapitel 2.1). Es ist anzunehmen, dass der innere Abwägungsprozess unter Einbezug beider Systeme schließlich zu einer Evaluation der vorhandenen Optionen führt, anhand derer die Entscheidung für eine bestimmte Option gefällt werden kann, was theoretischen Modellannahmen entspricht (Schiebener & Brand, 2015a; siehe Kapitel 2.3).

Unabhängig vom Feedback korrelierte die CLT Leistung mit spezifischen kognitiven Fähigkeiten, nämlich mit logischem Denken und der Arbeitsgedächtnisleistung, wie es auch bei anderen Entscheidungsaufgaben unter objektivem Risiko der Fall ist (Brand & Schiebener, 2013; Brevers et al., 2012; Buelow, 2015; Figner, Mackinlay, Wilkening & Weber, 2009; Zamarian, Sinz, Bonatti, Gamboz & Delazer, 2008). Diese Funktionen sind in der Hinsicht wichtig für die Entscheidungsfindung, als dass im Arbeitsgedächtnis verschiedene Eigenschaften der Situation (z.B. Höhe von Gewinnen/ Verlusten oder Risiken) repräsentiert und mit generellen Denk- und Problemlösungsstrategien kombiniert werden (Schiebener & Brand, 2015b). Nichtsdestotrotz zeigen die Ergebnisse der ersten Studie (Schrift 1) keinen direkten Zusammenhang zwischen der CLT Leistung und der GDT Leistung, obwohl beide Aufgaben Entscheidungen unter objektivem Risiko abbilden. Daraus lässt sich schließen, dass sich der Evaluations- und Entscheidungsprozess bezüglich Optionen, die sowohl kurz- als auch langfristige Konsequenzen beinhalten (wie bei der CLT), von dem Entscheidungsprozess bezüglich Optionen mit nur kurzfristigen Konsequenzen (wie in der GDT) unterscheidet. Dies könnte von unterschiedlichen subjektiven Interpretationen bzw. Evaluation der Risiken herrühren. Bei der CLT kann die Evaluation einer Option als „riskant" entweder von der Betrachtung der kurz- oder der langfristigen Folgen resultieren, was zu unterschiedlichen Entscheidungen führt. Bei der GDT, wie auch bei anderen Risikoentscheidungsaufgaben, ist die Zuschreibung des Risikos einer Option hingegen eindeutig. Dies könnte außerdem erklären, weshalb keine direkten Korrelationen zwischen CLT Leistung und höheren Exekutivfunktionen (gemessen mit

dem *Modified Card Sorting Test*; Nelson, 1976) vorliegen, wie es jedoch von Studien mit der GDT und anderen objektiven Risikoentscheidungsaufgaben zu erwarten gewesen wäre (Brand, Laier, Pawlikowski & Markowitsch, 2009; Buelow, 2015; Schiebener et al., 2014; Schiebener, Zamarian, Delazer & Brand, 2011). Stattdessen scheint die individuelle Verarbeitungspräferenz (angezeigt durch Ausprägungen in Impulsivität bzw. *Need for Cognition*) eine größere Rolle für vorteilhaftes Entscheiden zu spielen, wenn Informationen über gegensätzliche kurz- und langfristige Konsequenzen integriert werden müssen. Zur Prüfung potentiell differenzieller Effekte in Abhängigkeit des dargebotenen Feedbacks wurden zusätzlich Interaktionseffekte analysiert.

Die Ergebnisse der Analyse der Interaktionseffekte stehen im Einklang mit der Annahme, dass Entscheidungen durch das Zusammenspiel von Eigenschaften der Situation und der Person bestimmt werden (Figner & Weber, 2011; Finucane & Lees, 2005; Schiebener & Brand, 2015a). Die Ergebnisse aus Schrift 1 verdeutlichen dementsprechend, dass Feedback über langfristige Konsequenzen nicht prinzipiell, aber in Interaktion mit Eigenschaften der Person (nämlich der Verarbeitungspräferenz), differentielle Auswirkungen auf die Entscheidungsleistung hat. Die Neigung zu eher schneller impulsiver Informationsverarbeitung scheint besonders dann einen Einfluss auf die Entscheidungsfindung zu haben, wenn keine direkte Rückmeldung über langfristige, sondern nur über kurzfristige Konsequenzen vorliegt. Dies bestätigt den bedeutenden Einfluss von unmittelbarem Feedback auf Entscheidungen unter objektivem Risiko (siehe auch Brand, 2008; Figner et al., 2009).

Dem theoretischen Modell von Schiebener und Brand (2015a) folgend, bedingen sowohl die Ausprägung von Personenmerkmalen als auch die Darbietung von Feedback, ob zu Beginn des Entscheidungsprozesses eher der impulsive oder der reflektierende Verarbeitungsmodus als führender angestoßen wird (siehe Kapitel 2.3). Die Ergebnisse von Schrift 1 stützen die Hypothese, dass ein kurzfristig orientiertes Entscheidungsverhalten besonders dann auftritt, wenn eine impulsive Verarbeitung sowohl von Eigenschaften der Person (hohe Impulsivität; niedriges *Need for Cognition*) als auch von Eigenschaften der Situation (kein Feedback über langfristige Folgen) begünstigt wird. Direktes Feedback entspricht der Darbietung „heißer“, affektiver Stimuli, die emotionsbasierte Reaktionen auslösen (Brand et al., 2006; Metcalfe & Mischel, 1999). Liegt dies in Bezug auf kurzfristige, aber nicht für langfristige Konsequenzen vor, so wird potentiell ein kurzfristig orientiertes Entscheidungsverhalten begünstigt (Figner et al., 2009; Metcalfe & Mischel, 1999). Allerdings zeigen die Befunde aus Schrift 1 auch, dass

das Ausbleiben von Feedback über langfristige Konsequenzen keine negativen Auswirkungen auf Personen mit niedriger Impulsivität oder hohem *Need for Cognition* hat. Dies entspricht Arbeiten, die zeigen, dass begünstigende Prädispositionen für reflektierende und selbstregulatorische Fähigkeiten, sich – in diversen Lebensbereichen – langfristig positiv auswirken können (für einen Überblick siehe Mischel et al., 2011).

Des Weiteren verdeutlichen die in Schrift 1 berichteten Interaktionseffekte, dass Personen mit impulsiver Verarbeitungspräferenz (hohe Impulsivität; niedriges *Need for Cognition*) ähnlich hohe Entscheidungsleistungen aufweisen wie Personen mit reflektierender Verarbeitungspräferenz, sofern direktes Feedback nicht nur über kurzfristige, sondern auch über langfristige Konsequenzen vorliegt. Eine Erklärung könnte die durch die direkte Rückmeldung erhöhte Salienz langfristiger Auswirkungen sein. Zum einen könnte diese kognitive Prozesse anstoßen, beispielsweise eine stärkere Bewusstmachung von negativen Eigenschaften kurzfristig belohnender Optionen (z.B. die Erhöhung des Risikos, später an Lungenkrebs zu erkranken, bei der Wahl, eine Zigarette zu rauchen). Dies entspräche, der Theorie von Metcalfe und Mischel (1999) zufolge, der Kontrollstrategie der Umformung der Bedeutung des „heißen“ Stimulus (siehe Kapitel 2.1.1). Zum anderen kann direktes Feedback Hirnregionen aktivieren, die mit Emotionsverarbeitung in Verbindung stehen und mit impulsiver Verarbeitung assoziiert werden (siehe Kapitel 2.1). Zusätzliches direktes Feedback über langfristige Konsequenzen könnte dementsprechend dazu führen, dass verstärkt emotionsbasierte Reaktionen bezüglich langfristiger Konsequenzen ausgelöst werden und diese somit bei der Integration in den Entscheidungsprozess gleichwertig zu den kurzfristigen Konsequenzen Berücksichtigung finden. Studien deuten an, dass Entscheidungen stärker durch die Verarbeitung von Feedback bestimmt werden, als durch die Verarbeitung objektiver Risikoinformationen, oder dass sie letztere gar komplett ersetzen kann (Jessup, Bishara & Busemeyer, 2008; Lejarraga & Gonzalez, 2011). In Einklang mit Jessup et al. (2008) nehmen Brand et al. (2006) basierend auf Studien mit der GDT an, dass es für Entscheidungen unter objektivem Risiko optimal ist sowohl die beschreibenden Informationen (auf reflektierender Ebene) als auch somatische Feedback-Reaktionen (auf emotionaler Ebene) in den Entscheidungsprozess einzubeziehen. Entscheidungen, die Feedback über kurzfristige aber nicht über langfristige Folgen mit sich bringen (wie in der CLT mit partiellem Feedback), lösen entsprechend emotionale Reaktionen bezüglich kurzfristiger aber weniger bezüglich langfristiger Konsequenzen aus. Diese Unausgewogenheit kann potentiell das Entscheidungsverhalten verzerren und zu

kurzfristig orientierten Wahlen führen. Personen mit einem hohem *Need for Cognition* neigen eher zum Umdenken und zur spontanen Entwicklung alternativer Konzepte eines Problems, was Verzerrungen entgegenwirkt (Broniatowski & Reyna, 2017). Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen diese Annahmen erstmalig im Kontext von objektiven Risikoentscheidungen unter Einbezug kurz- und langfristiger Konsequenzen (Schrift 1).

Der generelle Mechanismus des Abwägens gegensätzlicher kurz- und langfristiger Konsequenzen kann darüber hinaus auf diverse realweltliche Entscheidungssituationen übertragen werden wie beispielsweise Entscheidungen Geld zu wetten, Sport zu treiben, zur Arbeit zu gehen, zu Rauchen oder andere Genussmittel zu konsumieren. So kennzeichnen kurzfristig orientierte Entscheidungen unter Vernachlässigung langfristiger Risiken riskante Verhaltensweisen wie Glücksspiel oder Drogenmissbrauch, welche ebenfalls mit Personenmerkmalen wie Impulsivität und *Delay Discounting* in Verbindung gebracht werden (Alessi & Petry, 2003; Bickel & Marsch, 2001; Madden, Petry, Badger & Bickel, 1997; Verdejo-García, Lawrence & Clark, 2008). Vor allem Personen mit Suchterkrankungen scheinen bei Entscheidungen (vor allem bzgl. der Nutzung einer Droge bzw. der Ausübung eines süchtigen Verhaltens) langfristige Konsequenzen weniger stark einzubeziehen (vgl. Kapitel 2.1.2). Dies wird damit begründet, dass ein dominantes impulsives System Ressourcen des reflektierenden Systems einnimmt, die benötigt würden, um durch suchtassoziierte Reize ausgelöste Impulse zu kontrollieren (Bechara, 2005). Die CLT könnte potentiell als Maß für die Unausgewogenheit im Entscheidungsverhalten suchterkrankter Personen fungieren und im Einsatz in Folgestudien mit verschiedenen Gruppen von Betroffenen zur Erklärung zusätzlicher Varianz im Entscheidungsverhalten beitragen.

Insgesamt deuten die Ergebnisse von Schrift 1 an, dass Feedbackpräsentation und individuelle Verarbeitungspräferenz in Interaktion den Entscheidungsprozess unter objektivem Risiko, bei dem gegensätzliche kurz- und langfristige Konsequenzen integriert werden müssen, mitbestimmen. Die Darbietung von unmittelbarem Feedback über langfristige Auswirkungen gerade getroffener Entscheidungen kann dazu beitragen, dass Personen mit einer Neigung zu impulsiver Verarbeitung weniger unvorteilhafte Entscheidungen treffen. Die Befunde sind auf verschiedene Anwendungskontexte übertragbar und bieten unter anderem Ansatzpunkte im Bereich der Primärprävention. Mit den vorliegenden Befunden lässt sich beispielsweise die positive Resonanz auf digitale Applikationen erklären, die im Rahmen von Fitness, kontrolliertem Essverhalten

oder zur Rauchentwöhnung eingesetzt werden. Diese nutzen direktes Feedback über zukünftige Auswirkungen (in Form von Visualisierungen, Scores oder Prognosen), mit dem Ziel langfristig orientiertes Entscheidungsverhalten zu fördern. Die Bewusstmachung von langfristig negativen Konsequenzen ist darüber hinaus ein wichtiger Bestandteil kognitiver Verhaltenstherapie (Ellis, 1962), die unter anderem zur Behandlung von Suchterkrankungen erfolgreich eingesetzt wird (Butler, Chapman, Forman & Beck, 2006). Die CLT könnte perspektivisch als Instrument zur gezielten Erforschung von Abwägungsprozessen zwischenkurz- und langfristigen Konsequenzen, die miteinander in Konflikt stehen, eingesetzt werden. Potentiell besteht die Möglichkeit die Aufgabe für spezifische Anwendungsfelder zu modifizieren.

5.2 Die Verarbeitung numerischer Information bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko

Numerische Informationen können einerseits auf ungefähre, approximative Weise und andererseits auf exakte Weise mental repräsentiert werden (siehe Kapitel 2.2). Dabei scheint die exakte Verarbeitung von Zahlenwerten (z.B. mit exakten arabischen Zahlensymbolen zu rechnen) auf der Fähigkeit approximativer Zahlenverarbeitung zu basieren. Empirische Studien unterstreichen die Bedeutsamkeit von Kompetenzen exakter Zahlenverarbeitung wie *Numeracy*, Rechenfertigkeit oder mathematischem Wissen für das Treffen vorteilhafter Risikoentscheidungen (Brand et al., 2014; Pertl, Benke, Zamarian & Delazer, 2015; Pertl et al., 2017; Peters, 2012; Peters et al., 2006; Reyna & Brainerd, 2007, 2008; Reyna et al., 2009; Schiebener & Brand, 2015a; Schiebener et al., 2011). Schrift 2 und Schrift 3 widmeten sich den bislang kaum erforschten Wirkmechanismen approximativer Zahlenverarbeitungskompetenzen beim Treffen von Entscheidungen unter objektivem Risiko. Die Ergebnisse der in Schrift 2 beschriebenen Studie zeigen keine direkten Effekte basaler Approximationspräzision auf das Entscheidungsverhalten, was bisherige Befunde bestätigt (Patalano et al., 2015; Winman et al., 2014). Allerdings deuten die Befunde der vorliegenden Schriften an, dass ungefähre Zahlenverarbeitungsprozesse dennoch an dem Prozess der Entscheidungsfindung unter objektivem beteiligt sind. Zum einen zeigt sich, dass bestimmte approximative Fähigkeiten, welche die Integration ungefährer und exakter Zahlen erfordern, die Entscheidungsleistung – über exakte Zahlenverarbeitungskompetenzen hinaus – bedeutend mitbestimmen (Schrift 2). Zum anderen werden Interaktionen zwischen

ungefähren und exakten Zahlenverarbeitungskompetenzen deutlich (Schrift 3). Die Befunde beider Schriften lassen auf die Beteiligung ungefährer Zahlenverarbeitungsprozesse beim Treffen von Entscheidungen unter objektivem Risiko schließen. Vergleichbare Maße zur Operationalisierung von Fähigkeiten, ungefähre und exakte Zahlenrepräsentationen adäquat in verschieden komplexe Verarbeitungsprozesse zu integrieren, existierten bis dato nicht. Mit der neu entwickelten Aufgabe, der RAT (beschrieben in Schrift 2), konnten direkte Effekte verschieden komplexer approximativer Fähigkeiten auf die Entscheidungsleistung unter objektivem Risiko (gemessen mit der GDT) untersucht und geprüft werden.

Eine der vier Subaufgaben der RAT dient der Erfassung der Präzision, mit der Risikoeinschätzungen basierend auf ungefähren Zahlen abgegeben werden können. Es ist anzunehmen, dass diese RAT Risikoschätzungs-Aufgabe kognitive Verarbeitungsprozesse erfordert, die über jene hinausgehen, die mit klassischen Approximationsaufgaben (Punktemengen vergleichen) gemessen werden. Gestützt wird diese Annahme durch nicht vorhandene Korrelationen beider, unterschiedlich komplexer Aufgabentypen. Letzteres bestätigt die Befunde anderer Autoren, die von keinen signifikanten direkten Zusammenhängen zwischen Wahrscheinlichkeitsbeurteilungen und Approximationsfähigkeit berichten (O'Grady, Griffiths & Xu, 2016; Patalano et al., 2015; Winman et al., 2014). In der RAT Risikoschätzungs-Aufgabe müssen zunächst zwei approximierte Mengen zueinander in Verhältnis gesetzt werden und dieses Verhältnis muss wiederum in eine explizite Risiko-Angabe übersetzt bzw. umgewandelt werden, wobei die Beteiligung exakter Zahlenverarbeitung wahrscheinlich ist. Folglich wird davon ausgegangen, dass die RAT Risikoschätzungs-Aufgabe die Fähigkeit repräsentiert, ungefähre und exakt verarbeitete numerische Informationen zu integrieren.

Die Ergebnisse aus Schrift 2 weisen erstmals auf die Bedeutung approximativer Verarbeitungsfähigkeiten bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko hin. Die approximative Fähigkeit zur Risikoschätzung stellte – über den Einfluss von Exekutivfunktionen und exakten Zahlenverarbeitungskompetenzen hinaus – den bedeutendsten Prädiktor für die Güte objektiver Risikoentscheidungen dar. Dieses Ergebnis ergänzt Studien und Theorien, die die Beteiligung verschieden komplexer numerischer Fähigkeiten beim Treffen von Entscheidungen und Risikobeurteilungen andeuten (Peters & Bjalkebring, 2015; Peters, Slovic, Västfjäll & Mertz, 2008; Schley & Peters, 2014). Entsprechend kann angenommen werden, dass die Verarbeitung von Risiken und Wahrscheinlichkeiten nicht nur unter Anwendung mathematischer

Operationen und exakter Zahlenrepräsentationen erfolgt, sondern auch auf ungefähren Schätzungen beruhen kann. Studien deuten an, dass Entscheidungen selbst in Situationen unter objektivem Risiko häufig nicht auf vorherigen Berechnungen, sondern auf wesentlich simpleren Überlegungen beruhen (z.B. Cokely & Kelley, 2009). Dies geht Annahmen der *Fuzzy Trace Theory* (siehe Kapitel 2.4) einher, die eine generelle Präferenz für eher ungenaue Verarbeitung (*fuzzy processing preference*) postuliert. Demzufolge werden die gegebenen Informationen zum Treffen einer Entscheidung zunächst in grober dichotomer Form repräsentiert (z.B. nichts oder etwas). Exaktere Repräsentationen werden erst angewendet und verarbeitet, wenn grobe Repräsentationen die gegebenen Optionen nicht genug voneinander abgrenzen und zu keiner eindeutigen Entscheidung führen würden (siehe Kapitel 2.4). Inwiefern approximative Risikoeinschätzung und andere integrative Prozesse im Rahmen von Dual-Prozess Ansätzen und Modellen der Entscheidungsfindung genau zu verorten sind, bleibt spekulativ und kann mit den vorliegenden Ergebnissen nicht näher eingegrenzt werden.

Die vorliegende Arbeit deckt Interaktionen zwischen Fähigkeiten ungefährer und exakter Zahlenverarbeitung bei der Vorhersage objektiver Risikoentscheidungen auf. Die Ergebnisse von Schrift 3 bieten erste Anhaltspunkte dafür, dass die Approximationspräzision (obwohl sie nicht direkt mit der Entscheidungsleistung zusammenhängt) beim Treffen objektiver Risikoentscheidungen von Bedeutung ist. Neben den erwartungskonformen inkrementellen, positiven Effekten von *Numeracy* (vgl. Brand et al., 2014; Pachur & Galesic, 2013; Peters et al., 2006) und Exekutivfunktionen (vgl. Brand et al., 2005; Brand et al., 2007; Buelow, 2015; Figner et al., 2009; Schiebener et al., 2011) auf die Risikoentscheidungsleistung erklärt die Interaktion beider Faktoren mit der Approximationspräzision zusätzliche Varianz. Diese Wechselwirkung zeigt sich jedoch nur, wenn als Maß zur Operationalisierung der Approximationsfähigkeit ein sehr präzises (d.h. sehr kleine Abstände zwischen den zu diskriminierenden Punktemengen) gewählt wurde. Wesentliche individuelle Unterschiede in der Approximationspräzision erwachsener Personen zeigen sich ab Punkteverhältnissen von etwa 9:10 oder höher (Halberda & Feigenson, 2008; siehe Kapitel 2.2.2). Wurden nur jene Durchgänge mit diesem Verhältnis als Maß zur Berechnung der Approximationspräzision herangezogen, zeigten sich die deutlichsten Effekte. Jedoch sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren, da die verwendete Aufgabe (und besonders das präzisere Maß), verglichen mit anderen Approximationsaufgaben, aus zeitökonomischen Gründen eine relativ geringe Anzahl an Durchgängen aufweist (für eine ausführliche Diskussion dieses

Punktes siehe Schrift 3). Nichtsdestotrotz deuten die Ergebnisse aus Schrift 3 auf potentielle Interaktionen zwischen intuitiv und reflektierend assoziierten Zahlenverarbeitungskompetenzen beim Treffen von Risikoentscheidungen hin und stützen damit Vermutungen über wechselseitige Beziehungen zwischen Exekutivfunktionen und der Approximationsfähigkeit (Halberda & Feigenson, 2008).

Die in Schrift 3 berichteten Interaktionseffekte lassen sich derart interpretieren, dass das Entscheidungsverhalten unter objektivem Risiko besonders dann unvorteilhaft zu sein scheint, wenn alle drei untersuchten Fähigkeiten (Exekutivfunktionen, *Numeracy* und Approximationspräzision) gering sind. Hingegen kann eine hohe Approximationspräzision womöglich Defizite in den beiden anderen Domänen zumindest teilweise ausgleichen.

Auf klassische Dual-Prozess Annahmen bezogen können Approximationsprozesse aufgrund ihrer Schnelligkeit, Inexaktheit und ihres entwicklungsgeschichtlichen Alters dem intuitiven Verarbeitungsmodus zugeordnet werden. Exekutivfunktionen und *Numeracy* werden dem reflektierenden Verarbeitungsmodus zugeordnet (Schiebener & Brand, 2015a). Diesem Gedanken folgend bekräftigen die Ergebnisse aus Schrift 3 die Annahmen über die Interaktionen zwischen dualen Verarbeitungsmodi, was im Einklang mit den Annahmen des Modells von Schiebener & Brand (2015a) steht (siehe Kapitel 2.3). Jedoch lassen sich die Ergebnisse ebenso vor dem Hintergrund alternativer Dual-Prozess Ansätze wie der *Fuzzy Trace Theory* (siehe Kapitel 2.4) sowie weiteren Theorien zur Informationsverarbeitung betrachten. Diese alternativen Sichtweisen werden in der folgenden Zusammenführung expliziter herausgestellt und in einer modellhaften Darstellung miteinander in Beziehung gesetzt.

5.3 Synthese: Abgeleitete Annahmen für den Prozess der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko

Insgesamt kann von unterschiedlichen, kognitiven Verarbeitungsprozessen ausgegangen werden, die bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko eine Rolle spielen. Wie einleitend erwähnt (siehe Kapitel 1), sind Dual-Prozess Modelle in vielen Forschungsbereichen vertreten, wobei zunehmend Annahmen unterschiedlicher Disziplinen kombiniert und in neuen Modellen und Theorien berücksichtigt werden. Das aktuelle Prozessmodell der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko (Schiebener

& Brand, 2015a) basiert auf den Ergebnissen neuropsychologischer Entscheidungsforschung unter Einbezug zusätzlicher Dual-Prozess Ansätze der Entscheidungsfindung (Bechara, 2005; Epstein, 2003; Evans, 2003; Levin et al., 2012). Wie im Theorieteil beschrieben (siehe Kapitel 2.3), werden die Verarbeitungsprozesse, als Neuerung zum vorherigen Modell von Brand et al. (2006), einem impulsiven und einem reflektierenden Verarbeitungsmodus zugeordnet und Wahrscheinlichkeitsverarbeitung als explizites Element innerhalb des reflektierenden Modus eingefügt. Zudem wird betont, dass somatische Reaktionen nicht nur als Folge von Feedback, sondern auch im Vorfeld durch Eigenschaften der Entscheidungssituation ausgelöst werden können. Das Modell berücksichtigt zudem weitere externe und interne Einflussfaktoren, die auf die dualen inneren Verarbeitungsprozesse wirken. Entsprechend wird ein Dual-Prozess Ansatz im Rahmen des Entscheidungsprozesses unter objektivem Risiko verfolgt.

Kritiker von Dual-Prozess Ansätzen bemängeln unter anderem die dualistische Unterteilung der Prozesse sowie die Menge, Schlüssigkeit, Konsistenz und Konkretheit der Ansätze (z.B. Keren & Schul, 2009; Kruglanski & Gigerenzer, 2011; Osman, 2004). Evans und Stanovich (2013) betonen hingegen, dass Dual-Prozess Ansätze zum Teil große Unterschiede aufweisen und die Kritik einzelne, aber nicht alle Ansätze angreift. Sie vertreten die Einteilung in autonome, schnelle „Typ 1“ Prozesse und ausgeprägte, höhere Denkprozesse des „Typ 2“. Ihrer Sichtweise nach ist eine Einteilung in ausschließlich zwei neuronale Systeme nicht haltbar. Jedoch erachten sie die Beteiligung distinkter, neuronaler und kognitiver Prozesse als notwendig, um als „wahre Dual-Prozess Theorie“ (Evans & Stanovich, 2013, S. 226) zwischen zwei Typen von Prozessen zu differenzieren. Dabei beinhalten beide Typen diverse neuronale Prozesse, welche mit verschiedenen Hirnregionen und Schaltkreisen assoziiert werden, die sich zum Teil überschneiden können. Diese Sichtweise stimmt im groben mit den Dual-Prozess Annahmen von Schiebener und Brand (2015a) überein.

Andere multidisziplinäre Ansätze betonen die Sichtweise, dass emotionale und kognitive Prozesse während des Entscheidungs- und Evaluationsprozesses fortlaufend und dynamisch integriert werden, anstatt in Konflikt zu stehen (Moll, Zahn, de Oliveira-Souza, Krueger & Grafman, 2005; Van Bavel, Jenny Xiao & Cunningham, 2012). Auch die *Fuzzy Trace Theory* als alternativer Dual-Prozess Ansatz der Entscheidungsfindung (siehe Kapitel 2.4) nimmt einen eher dynamisch-integrativen Entscheidungsfindungsprozess an. Neuropsychologische Befunde werden zwar zur Untermauerung der Theorie herangezogen, allerdings werden die dualen Prozesse weniger anhand beteiligter

neuronaler Mechanismen als vielmehr anhand der Art, wie Informationen mental repräsentiert werden, eingeteilt.

Broniatowski und Reyna (2017) beschreiben ein formales und mathematisch testbares Modell der Theorie. Dabei gehen sie davon aus, dass kognitive Kompetenzen und eine reflektierende Verarbeitungspräferenz (vor allem *Numeracy* und *Need for Cognition*) kompensierende Effekte auf Risikoentscheidungen haben, was im Einklang mit den Annahmen von Schiebener und Brand (2015a) steht. Laut des *Fuzzy Trace* Modells (Broniatowski & Reyna, 2017) beginnt die Verarbeitung mit der Repräsentation eines Stimulus (einer Option) entweder als grobe, kategoriale (z.B. etwas versus nichts), ordinale (z.B. weniger versus mehr) oder feine intervallskalierte Repräsentation (z.B. linearer Erwartungswert). Entscheidungen werden dabei meist basierend auf der Valenz bzw. emotionalen Färbung getroffen, welche zur Repräsentation hinzukommt, und schließlich zur einer präferierten Konsequenz führt. Entsprechend wird innerhalb einer Repräsentation die Option mit positiverer Valenz bevorzugt (z.B. Geld gewinnen zu können wird gegenüber der Option kein Geld gewinnen zu können präferiert, da Geld positiv besetzt ist). In dem Modell von Schieber und Brand (2015a) entspräche dies dem inneren Verarbeitungsprozess, bei dem emotionale Reaktionen und Gefühle des impulsiven Systems mit der faktenbasierten, reflektierten Verarbeitung interagieren, um zu einer Evaluation der Optionen zu gelangen. Dieser Evaluationsprozess kann mehrfach durchlaufen werden, bevor es zu einer Entscheidung kommt (Schiebener & Brand, 2015a).

Aus der sozialen Kognitionsforschung stammt ein Ansatz, der beiden Sichtweisen ähnelt. Das *Iterative Reprocessing Model* (Cunningham, Zelazo, Packer & Van Bavel, 2007) beschreibt den Evaluationsprozess als hoch dynamischen, iterativen Prozess, bei dem die Evaluation eines Stimulus unter Einbezug zusätzlicher Informationen mit jedem Zyklus dynamisch aktualisiert und präzisiert wird (siehe auch Van Bavel et al., 2012). Aufbauend darauf postulieren Van Bavel und Kollegen (2012), dass der Prozess der Evaluation durch die Eigenschaften aktiver Repräsentationen und der Dynamik des Informationsverarbeitungssystems geprägt ist. Letzteres wird als „Kombination internaler und externaler Faktoren“ (Van Bavel et al., 2012, S. 448) bezeichnet, was den Annahmen des Modells von Schiebener und Brand (2015a) ähnelt.

Was in den Annahmen des Modell der Entscheidungen unter objektivem Risiko (siehe Kapitel 2.3) keine Berücksichtigung findet, ist, dass objektive numerische Informationen über Chancen und Risiken nicht nur in ihrer Art (z.B. in Form von

Prozentzahlen oder Verhältnissen von blauen zu roten), sondern auch mental unterschiedlich repräsentiert sein können (z.B. mehr oder weniger exakt). Zudem können objektive Informationen über Risiken nicht nur in Bezug auf sofortige, sondern auch zukünftige Konsequenzen vorliegen und so den Entscheidungs- und Evaluationsprozess beeinflussen. Daher wird ein dahingehend modifiziertes Modell vorgeschlagen, welches die Befunde der Schriften des vorliegenden Kumulus mit den eben skizzierten Prozessannahmen zusammenbringt. Aus den Ergebnissen der Schriften des Kumulus und den Synergien und Komplementen der erwähnten theoretischen Ansätze lassen sich Annahmen über potentielle Wirkmechanismen und beteiligte Verarbeitungsprozesse bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko ableiten, die in Abbildung *3* modellhaft dargestellt sind. Anzumerken ist, dass das vorgeschlagene Modell weder den Anspruch erhebt, statistisch prüfbar (im Sinne eines Strukturgleichungsmodells) noch vollständig zu sein, sondern der Veranschaulichung der Befunde und weiterführender theoretischen Annahmen dient.

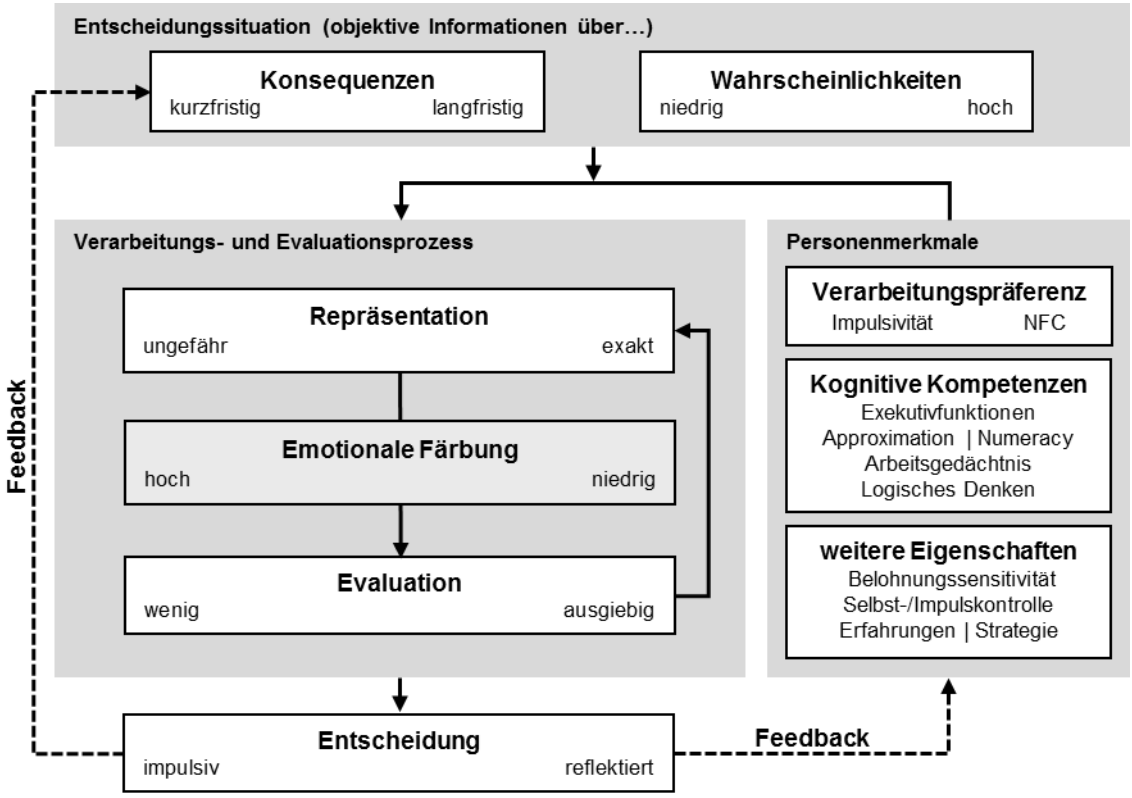

Abbildung 3. Modellannahmen des Prozesses der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko in Anlehnung an die Modelle von Schiebener und Brand (2015a), Broniatowski und Reyna (2017) sowie Van Bavel, Xiao und Cunningham (2012).

Bei Entscheidungen unter objektivem Risiko bietet die Entscheidungssituation objektive Informationen über potentielle Konsequenzen und deren Wahrscheinlichkeiten in Form von numerischen Angaben. Aus der Art der potentiell negativen Konsequenzen und der Höhe ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit können im inneren Verarbeitungsprozess die (objektiven) Risiken verschiedener Optionen ermittelt werden (vgl. Schiebener & Brand, 2015a). Das vorgeschlagene Modell berücksichtigt, dass Konsequenzen sowohl kurz- als auch längerfristiger Natur sein können, und dass objektive Informationen über beide Arten von Konsequenzen vorliegen können. Wie Schrift 1 des Kumulus herausstellt, können objektive Informationen über beide Arten von Konsequenzen bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt und zu insgesamt vorteilhaften Entscheidungen integriert werden. Besonders wenn kurz- und langfristige Konsequenzen gegensätzlich sind (wie in Schrift 1 untersucht) ist anzunehmen, dass ein abwägender, iterativer Verarbeitungs- und Evaluationsprozess ausgelöst wird (vgl. Cunningham et al., 2007; Van Bavel et al., 2012).

Der innere Verarbeitungsprozess, welcher in einer Evaluation und schließlich einer Entscheidung mündet (vgl. Schiebener & Brand, 2015a) wird aus der Interaktion von Eigenschaften der Entscheidungssituation und der Person bestimmt. Individuelle Unterschiede in Personenmerkmalen wie der Verarbeitungspräferenz (gekennzeichnet durch z.B. *Need for Cognition* oder Impulsivität), kognitive Kompetenzen (z.B. Exekutivfunktionen oder Zahlenverarbeitungskompetenz) sowie weitere Eigenschaften (z.B. Belohnungssensitivität oder Erfahrungen) bestimmen (a) wie exakt die vorhandenen Informationen repräsentiert werden, (b) wie hoch der Grad der emotionalen Färbung ist, die auf die Repräsentationen wirken und (c) wie ausgiebig sie evaluiert werden (vgl. Broniatowski & Reyna, 2017; Van Bavel et al., 2012). Diese dreistufige Abfolge von Prozessen wird ebenfalls im vorgeschlagenen Modell angenommen und soll im Folgenden anhand eines Beispiels illustriert werden: Beispielsweise können bei der Wahl zwischen zwei Mobiltelefonen, die entscheidungsrelevanten Informationen auf grobe, ordinale Weise repräsentiert sein (z.B. mehr versus weniger teuer; schöneres versus weniger schönes Design) oder aber in exakter Weise miteinander verglichen werden (z.B. „um die Hälfte teurer, aber dafür mit drei zusätzlichen Funktionen versehen“). Dem Beispiel folgend kann die Entscheidung zusätzlich mehr oder weniger emotional gefärbt sein, je nachdem wie bedeutsam der Erwerb eines neuen Mobiltelefons für das Individuum ist. Des Weiteren können wenige oder mehrere Iterationen durchlaufen werden beispielsweise in Abhängigkeit davon, ob allein der Preis betrachtet wird (wenig

Evaluation), oder ob weitere Attribute einbezogen und gegeneinander abgewogen werden (ausgiebigere Evaluation).

Die im vorgeschlagenen Modell aufgeführten dualen Attribute der (a) Repräsentation, (b) emotionalen Färbung und (c) Evaluation sind jeweils als Endpunkte eines Kontinuums zu betrachten. Entsprechend kann beispielsweise die emotionale Färbung nicht nur hoch oder niedrig ausfallen, sondern auch diverse Ausprägungen dazwischen annehmen. Die Endpunkte auf der jeweils linken Seite können nach gängigen Dual-Prozess Annahmen mit eher impulsivem Entscheidungsverhalten assoziiert werden (ungefähre Repräsentation, hohe emotionale Färbung, wenig Evaluation; folglich schnell und mit wenig kognitivem Aufwand). Die Gegenstücke auf der jeweils rechten Seite können mit eher reflektiertem Entscheidungsverhalten assoziiert werden (exakte Repräsentation, niedrige emotionale Färbung, ausgiebige Evaluation; entsprechend langsamer und mit höherem kognitiven Aufwand).

In Anlehnung an Cunningham und Kollegen (2007) wird angenommen, dass nach einer ersten Evaluation weitere iterative Schleifen durchlaufen werden können, bei denen zusätzliche Informationen (detailliertere Repräsentationen und/oder weitere mit den Optionen assoziierte Emotionen) zu einer steten Aktualisierung und Vertiefung der Evaluation führen. In ähnlicher Weise nimmt auch das Modell von Schiebener und Brand (2015a) Rückkopplungen von der Evaluation zurück zum Auslösen eines führenden Verarbeitungsmodus an (siehe Kapitel 2.3). Schrift 2 und Schrift 3 des Kumulus stützen die Prozessannahmen des vorgeschlagenen Modells, indem sie unterstreichen, dass nicht die Präzision von ungefähren Zahlen-Repräsentationen (Approximation), sondern vielmehr die Präzision von Risiko-Evaluationen, die auf Basis solcher Repräsentationen geformt werden, das Entscheidungsverhalten unter objektivem Risiko entscheidend mitbedingen (Schrift 2). Schrift 3 illustriert außerdem, dass verschiedene (intuitiv und reflektierend assoziierte) kognitive Kompetenzen in Interaktion auf den Entscheidungsprozess wirken. Genauer gesagt lässt sich anhand der in Schrift 3 berichteten Ergebnisse vermuten, dass eine hohe Approximationspräzision (d.h. eine intuitive, *gist*-basierte Verarbeitung ungefährer Zahlenrepräsentationen) besonders dann positive Auswirkungen auf das Entscheidungsverhalten unter objektivem Risiko haben hat, wenn wenig reflektierende Verarbeitungskompetenzen (in Schrift 3: *Numeracy* und Exekutivfunktionen) zur Verfügung stehen.

Als Modifikation zu vorherigen Modellen der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko (Brand et al., 2006; Schiebener & Brand, 2015a) postuliert das

vorgeschlagene Modell, dass auf eine Entscheidung (und einer ggf. entsprechend ausgeführten Handlung) potentiell Feedback über Konsequenzen der Entscheidung folgen kann, aber nicht muss. Feedback kann derart vorliegen, dass es zusätzliche objektive Informationen über Konsequenzen der getroffenen Entscheidung bietet (z.B. Feedback über den Verlust eines bestimmten Geldbetrags). Ein solches Feedback stellt in darauffolgenden, ähnlichen Entscheidungssituationen wiederum eine objektive Information über Konsequenzen dar, die zusätzlich in Folgeentscheidungen einbezogen werden kann. Dabei kann sich das Feedback sowohl auf unmittelbare als auch auf langfristige Konsequenzen beziehen und mit mehr oder weniger Verzögerung folgen. Der Einbezug in Folgeentscheidungen ist als wahrscheinlicher anzusehen, je direkter das Feedback auf die Entscheidung folgt. Neuropsychologische Arbeiten zeigen, dass direktes Feedback Aktivierungen in Hirnregionen auslöst, die mit Emotionsverarbeitung assoziiert sind (siehe Kapitel 2.1). Entsprechend kann vermutet werden, dass direktes Feedback vor allem die emotionale Färbung der Folgeentscheidung beeinflusst, in Abhängigkeit weiterer situativer und individueller Merkmale. Beispielswese kann eine zuvor positiv evaluierte Option aufgrund von Feedback über einen unmittelbaren Verlust (und eine dadurch ausgelöste hohe, negative affektive Färbung) beim nächsten Mal negativ evaluiert und damit impulsiv abgelehnt werden.

Schrift 1 verdeutlicht, dass Feedback über kurz- und langfristige Konsequenzen den Effekt der Verarbeitungspräferenz einer Person auf die Entscheidungsfindung moderiert. Diese Interaktion zwischen Eigenschaften der Entscheidungssituation und Personenmerkmalen ist ebenfalls im vorgeschlagenen Modell illustriert. Die Ergebnisse von Schrift 1 zeigen, dass ein Ungleichgewicht des Feedbacks über kurz- und langfristige Konsequenzen bei Personen mit hoher Impulsivität bzw. niedrigem *Need for Cognition* zu kurzfristig orientiertem, impulsivem Entscheidungsverhalten führen kann. Potentiell kann durch das Fehlen von direktem Feedback über langfristige Konsequenzen, deren anschließende Evaluation weniger stark emotional gefärbt ausfallen als die Evaluation kurzfristiger Konsequenzen, über die direktes Feedback vorliegt. Die Entscheidung wird dann, unter potentieller Vernachlässigung langfristiger Folgen, auf die kurzfristigen Konsequenzen hin ausgerichtet, die mit höherem (positivem oder negativem) Affekt besetzt sind (Broniatowski & Reyna, 2017). Jedoch kann ein hohes *Need for Cognition* kognitiven Verzerrungen entgegenwirken (vgl. Broniatowski & Reyna, 2017) und eine tiefergehende, ausgiebigere Evaluation der gegebenen Optionen anhand ihrer objektiven Eigenschaften veranlassen, welche zur Berücksichtigung langfristiger Konsequenzen

trotz ausbleibendem Feedback führt (siehe Ergebnisse aus Schrift 1). Dies ist im Einklang mit Annahmen, dass direktes Feedback beispielsweise in Form von (antizipierten) unmittelbaren Belohnungen „heiße“, affektive Reize darstellen, bei denen es kognitiver Kompetenzen und Kontrollfunktionen bedarf, damit die Entscheidung nicht allein daran ausgerichtet wird (siehe Kapitel 2.1). Wie ebenfalls im Modell von Schiebener und Brand (2015a) angenommen, kann Feedback über getroffene Entscheidungen (sofern es vorliegt) auch auf die Person wirken beispielsweise in Form gesammelter Erfahrungen oder Belohnungssensitivität.

Das vorgeschlagene Modell kann auf verschiedene Anwendungskontexte der Entscheidungsfindung übertragen werden. Suchtverhalten – als Form extrem impulsiven Entscheidungsverhaltens – könnte beispielsweise der linken Seite der im vorgeschlagenen Modell aufgeführten Prozesse und Faktoren zugeordnet werden. Kurzfristig belohnende Konsequenzen werden fokussiert, wohingegen langfristige Konsequenzen und Risiken weniger in den Entscheidungsprozess einbezogen werden. Gegebene Optionen (der Sucht nachzugehen oder nicht) werden eher grob repräsentiert und unterliegen, aufgrund des bereits mehrfach erfahrenen belohnenden Charakters des jeweiligen Suchtmittels oder -verhaltens, einer hohen emotionalen Färbung. Entsprechend schnell findet eine emotionale Bewertung statt und wenige Evaluationsschleifen werden durchlaufen, was zu impulsiven Entscheidungstendenzen führt, der Sucht nachzugehen. Direktes belohnendes Feedback (z.B. verbesserte Stimmung) verstärkt den Mechanismus impulsiver, kurzfristig orientierter Entscheidungen, was zu erneuter Ausführung des Suchtverhaltens unter Vernachlässigung potentieller (langfristiger) Risiken führt. Wiederkehrende Ausführung und das Erleben positiver Rückmeldung kann langfristig zu Änderungen in Personenmerkmalen beitragen, die wiederum impulsives Entscheidungsverhalten begünstigen (de Wit, 2009). Auch dieser Wirkmechanismus ist im vorgeschlagenen Modell repräsentiert.

6 Ausblick und Fazit

Um die Mechanismen des Verarbeitungs- und Evaluationsprozesses beim Treffen von Entscheidungen zu spezifizieren, bedarf es weiterer Forschung. Die in den Schriften des vorliegenden Kumulus beschriebenen neuen Paradigmen bieten erste Ansatzpunkte, um bestimmte Teilaspekte des Entscheidungsfindungsprozesses und der darauf wirkenden

situativen und individuellen Faktoren abzubilden und empirisch zu prüfen. Die primären Variablen der vorgestellten Aufgaben bilden Entscheidungs- bzw. Schätzleistungen ab, von denen auf zugrundeliegende Verarbeitungsprozesse geschlossen werden kann. Die neu entwickelten Instrumente (CLT und RAT) bedürfen weiterer Einsätze in Folgestudien. Replikationen der vorliegenden Untersuchungen sollten angestrebt werden, um die berichteten Ergebnisse sowie die Reliabilität der neuen Aufgaben zu prüfen. Außerdem können die Paradigmen in Folgestudien eingesetzt werden, um mit Hilfe weiterer Modifikationen zusätzliche Modellannahmen zu testen. Beispielsweise könnte die Repräsentation von Risiken systematisch in ihrer Darstellungsform variiert werden (z.B. Geldschein-Symbole statt exakten Zahlenwerten). Zudem könnten die emotionalen Reaktionen auf bestimmte Optionen vor dem Treffen der Entscheidung physiologisch gemessen werden oder das Ausmaß der Evaluation könnte durch zeitliche Restriktionen manipuliert werden. Eine systematische Manipulation und Variation der verschiedenen Einflussfaktoren kann zur weiteren Aufklärung des Zusammenspiels intuitiver und reflektierend assoziierter Prozesse bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko beitragen. Des Weiteren erscheint eine zukünftige Verwendung zusätzlicher physiologischer Erhebungsmethoden (z.B. Elektroenzephalografie oder funktionelle Magnetresonanztomographie) als sinnvoll. Diese ermöglichen es, kognitive und emotive Prozesse der Entscheidungsfindung direkter abzubilden, und so die in dieser Arbeit aufgezeigten Befunde und Annahmen über beteiligte neuronale Prozesse und Schaltkreise aus neurophysiologischer Sicht zu untermauern.

In Folgestudien sollten Eigenschaften der Person und der Situation berücksichtigt und miterfasst werden. Besonders Personenmerkmale, die auf eine Präferenz zu eher impulsiver bzw. reflektierender Informationsverarbeitung hindeuten (z.B. Impulsivität und *Need for Cognition*), sowie kognitive Kompetenzen (z.B. Exekutivfunktionen, *Numeracy* und approximative Fähigkeiten) haben sich – auch in den Untersuchungen des vorliegenden Kumulus – als bedeutende Einflussfaktoren auf die Entscheidungsleistung unter objektivem Risiko herausgestellt. Einige der betrachteten individuellen Eigenschaften und Kompetenzen bestehen aus mehrdimensionalen Konstrukten (z.B. Exekutivfunktionen, Impulsivität oder *Numeracy*), deren Subfacetten bislang wenig betrachtet wurden. Eine dezidierte Erfassung und Berücksichtigung der Subfacetten (z.B. *Numeracy* aufgeteilt in Faktenwissen, Rechnen mit Wahrscheinlichkeiten, Umformung von symbolischen und nicht-symbolischen Verhältnisangaben), könnte zusätzlichen Erkenntnisgewinn über mehr oder weniger relevante Faktoren bringen. Außerdem ist eine

Prüfung der berichteten Ergebnisse unter der Verwendung anderer objektiver Risikoentscheidungsaufgaben notwendig, um zwischen aufgabenspezifischen und übergeordneten Effekten differenzieren zu können.

Insgesamt erweitern die Ergebnisse des vorliegenden Kumulus die Kenntnislage darüber, welche individuellen Fähigkeiten und Verarbeitungsprozesse an objektiven Risikoentscheidungen beteiligt sind. Während für Prozesse und Kompetenzen, die mit reflektierender Verarbeitung assoziiert werden, in diesem Kontext bereits ausgiebige empirische Forschung vorliegt, sind solche, die der intuitiven Verarbeitung zugeschrieben werden, bislang weniger spezifiziert. Die vorliegenden Ergebnisse bekräftigen, dass approximative Fähigkeiten, die die Anwendung intuitiver Zahlenverarbeitungsprozesse voraussetzen, bei der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko mitwirken. Zudem wird deutlich, dass die Verarbeitung langfristiger Konsequenzen nicht zwingend mit reflektierender Entscheidungsfindung assoziiert ist. Stattdessen zeigt sich, dass reflektierende Verarbeitungskompetenzen nur dann eine Rolle spielen, wenn kein direktes Feedback über langfristige Auswirkungen gegeben ist. Insgesamt verdeutlicht die vorliegende Arbeit die Relevanz der (intuitiven und reflektierenden) Verarbeitung von Zahlen und des Einbezugs von kurz- und langfristigen Konsequenzen für das Treffen von Entscheidungen unter objektivem Risiko.

7 Literaturverzeichnis

Ainslie, G. (1975). Specious reward: A behavioral theory of impulsiveness and impulse control. *Psychological Bulletin, 82*(4), 463-496. doi:10.1037/h0076860

Alessi, S. M. & Petry, N. M. (2003). Pathological gambling severity is associated with impulsivity in a delay discounting procedure. *Behavioural Processes, 64*(3), 345-354. doi:10.1016/S0376-6357(03)00150-5

Ansari, D. & Dhital, B. (2006). Age-related changes in the activation of the intraparietal sulcus during nonsymbolic magnitude processing: An event-related functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(11), 1820-1828. doi:10.1162/jocn.2006.18.11.1820

Ballard, K. & Knutson, B. (2009). Dissociable neural representations of future reward magnitude and delay during temporal discounting. *NeuroImage, 45*(1), 143-150. doi:10.1016/j.neuroimage.2008.11.004

Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., Dehaene, S., Kanwisher, N. & Spelke, E. (2006). Non-symbolic arithmetic in adults and young children. *Cognition, 98*(3), 199-222. doi:10.1016/j.cognition.2004.09.011

Bechara, A. (2001). *Neurobiology of decision-making: Risk and reward.* Konferenzbeitrag präsentiert bei Seminars in Clinical Neuropsychiatry.

Bechara, A. (2004). The role of emotion in decision-making: Evidence from neurological patients with orbitofrontal damage. *Brain and Cognition, 55*(1), 30-40. doi:10.1016/j.bandc.2003.04.001

Bechara, A. (2005). Decision making, impulse control and loss of willpower to resist drugs: A neurocognitive perspective. *Nature Neuroscience, 8*(11), 1458-1463. doi:10.1038/nn1584

Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H. & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition, 50*(1), 7-15. doi:10.1016/0010-0277(94)90018-3

Bechara, A., Tranel, D. & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain, 123*(11), 2189-2202. doi:doi.org/10.1093/brain/123.11.2189

Bickel, W. K. & Marsch, L. A. (2001). Toward a behavioral economic understanding of drug dependence: Delay discounting processes. *Addiction, 96*(1), 73-86. doi:10.1046/j.1360-0443.2001.961736.x

Bickel, W. K., Pitcock, J. A., Yi, R. & Angtuaco Edgardo, J. C. (2009). Congruence of BOLD response across intertemporal choice conditions: fictive and real money gains and losses. *Journal of Neuroscience, 29*(27), 8839-8846. doi:10.1523/JNEUROSCI.5319-08.2009

Brainerd, C. J., Stein, L. M., Silveira, R., Rohenkohl, G. & Reyna, V. F. (2008). How does negative emotion cause false memories? *Psychological Science, 19*(9), 919-925. doi:10.1111/j.1467-9280.2008.02177.x

Brand, M. (2008). Does the feedback from previous trials influence current decisions? A study on the role of feedback processing in making decisions under explicit risk conditions. *Journal of Neuropsychology, 2*(2), 431-443. doi:10.1348/174866407X220607

Brand, M., Fujiwara, E., Borsutzky, S., Kalbe, E., Kessler, J. & Markowitsch, H. J. (2005). Decision-making deficits of Korsakoff patients in a new gambling task with explicit rules: Associations with executive functions. *Neuropsychology, 19*(3), 267-277. doi:10.1037/0894-4105.19.3.267

Brand, M., Heinze, K., Labudda, K. & Markowitsch, H. J. (2008). The role of strategies in deciding advantageously in ambiguous and risky situations. *Cognitive Processing, 9*(3), 159-173. doi:10.1007/s10339-008-0204-4

Brand, M., Labudda, K. & Markowitsch, H. J. (2006). Neuropsychological correlates of decision-making in ambiguous and risky situations. *Neural Networks, 19*(8), 1266-1276. doi:10.1016/j.neunet.2006.03.001

Brand, M., Laier, C., Pawlikowski, M. & Markowitsch, H. J. (2009). Decision making with and without feedback: The role of intelligence, strategies, executive functions, and cognitive styles. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 31*(8), 984-998. doi:10.1080/13803390902776860

Brand, M., Recknor, E. C., Grabenhorst, F. & Bechara, A. (2007). Decisions under ambiguity and decisions under risk: Correlations with executive functions and comparisons of two different gambling tasks with implicit and explicit rules. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 29*(1), 86-99. doi:10.1080/13803390500507196

Brand, M. & Schiebener, J. (2013). Interactions of age and cognitive functions in predicting decision making under risky conditions over the life span. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 35*(1), 9-23. doi:10.1080/13803395.2012.740000

Brand, M., Schiebener, J., Pertl, M.-T. & Delazer, M. (2014). Know the risk, take the win: How executive functions and probability processing influence advantageous decision making under risk conditions. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 36*(9), 914-929. doi:10.1080/13803395.2014.955783

Brannon, E. M., Cantlon, J. F. & Terrace, H. S. (2006). The role of reference points in ordinal numerical comparisons by rhesus macaques (Macaca mulatta). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 32*(2), 120-134. doi:10.1037/0097-7403.32.2.120

Brevers, D., Cleeremans, A., Goudriaan, A. E., Bechara, A., Kornreich, C., Verbanck, P. & Noël, X. (2012). Decision making under ambiguity but not under risk is related

to problem gambling severity. *Psychiatry Research, 200*(2), 568-574. doi:10.1016/j.psychres.2012.03.053

Broniatowski, D. A. & Reyna, V. F. (2017). A formal model of fuzzy-trace theory: Variations on framing effects and the Allais paradox. *Decision*, vorzeitige online Publikation. doi:10.1037/dec0000083

Buelow, M. T. (2015). Predicting performance on the Columbia Card Task: Effects of personality characteristics, mood, and executive functions. *Assessment, 22*(2), 178-187. doi:10.1177/1073191114539383

Butler, A. C., Chapman, J. E., Forman, E. M. & Beck, A. T. (2006). The empirical status of cognitive-behavioral therapy: a review of meta-analyses. *Clinical Psychology Review, 26*(1), 17-31. doi:10.1016/j.cpr.2005.07.003

Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46*(1), 3-18. doi:10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x

Carter, R. M., Meyer, J. R. & Huettel, S. A. (2010). Functional neuroimaging of intertemporal choice models: A review. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics, 3*(1), 27-45. doi:10.1037/a0018046

Casey, B., Somerville, L. H., Gotlib, I. H., Ayduk, O., Franklin, N. T., Askren, M. K., . . . Teslovich, T. (2011). Behavioral and neural correlates of delay of gratification 40 years later. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(36), 14998-15003. doi:10.1073/pnas.1108561108

Chaiken, S. & Trope, Y. (1999). *Dual-process theories in social psychology*. New York: Guilford Press.

Chen, Q. & Li, J. (2014). Association between individual differences in non-symbolic number acuity and math performance: A meta-analysis. *Acta Psychologica, 148*, 163-172. doi:10.1111/cdep.12019

Cokely, E. T. & Kelley, C. M. (2009). Cognitive abilities and superior decision making under risk: A protocol analysis and process model evaluation. *Judgment and Decision Making, 4*(1), 20-33.

Cunningham, W. A., Zelazo, P. D., Packer, D. J. & Van Bavel, J. J. (2007). The iterative reprocessing model: A multilevel framework for attitudes and evaluation. *Social Cognition, 25*(5), 736-760. doi:10.1521/soco.2007.25.5.736

Damasio, A. R. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. New York: Putnam's Son.

de Wit, H. (2009). Impulsivity as a determinant and consequence of drug use: a review of underlying processes. *Addiction Biology, 14*(1), 22-31. doi:10.1111/j.1369-1600.2008.00129.x

Dehaene, S. (2009). Origins of mathematical intuitions. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1156*(1), 232-259. doi:10.1111/j.1749-6632.2009.04469.x

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology, 20*(3-6), 487-506. doi:10.1080/02643290244000239

Delazer, M., Kemmler, G. & Benke, T. (2013). Health numeracy and cognitive decline in advanced age. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 20*(6), 639-659. doi:10.1080/13825585.2012.750261

Dienes, Z. & Perner, J. (1999). A theory of implicit and explicit knowledge. *Behavioral and Brain Sciences, 22*(5), 735-808. doi:10.1017/S0140525X99002186

Ellis, A. (1962). *Reason and emotion in psychotherapy*. Oxford, England: Lyle Stuart.

Epstein, S. (2003). Cognitive-experiential self-theory of personality. In T. Millon & M. J. Lerner (Hrsg.), *Handbook of Psychology* (Bd. 5, S. 159-184). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Estrada, C., Barnes, V., Collins, C. & Byrd, J. C. (1999). Health literacy and numeracy. *JAMA, 282*(6), 527-527. doi:10-1001/pubs.JAMA-ISSN-0098-7484-282-6-jbk0811

Evans, J. S. B. (2003). In two minds: Dual-process accounts of reasoning. *Trends in Cognitive Sciences, 7*(10), 454-459. doi:10.1016/j.tics.2003.08.012

Evans, J. S. B. (2006). The heuristic-analytic theory of reasoning: Extension and evaluation. *Psychonomic Bulletin & Review, 13*(3), 378-395. doi:10.3758/BF03193858

Evans, J. S. B. & Stanovich, K. E. (2013). Dual-process theories of higher cognition advancing the debate. *Perspectives on Psychological Science, 8*(3), 223-241. doi:10.1177/1745691612460685

Feigenson, L., Dehaene, S. & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences, 8*(7), 307-314. doi:10.1016/j.tics.2004.05.002

Feigenson, L., Libertus, M. E. & Halberda, J. (2013). Links between the intuitive sense of number and formal mathematics ability. *Child Development Perspectives, 7*(2), 74-79. doi:10.1111/cdep.12019

Figner, B., Mackinlay, R. J., Wilkening, F. & Weber, E. U. (2009). Affective and deliberative processes in risky choice: Age differences in risk taking in the Columbia Card Task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 35*(3), 709-730. doi:10.1037/a0014983

Figner, B. & Weber, E. U. (2011). Who takes risks when and why? Determinants of risk taking. *Current Directions in Psychological Science, 20*(4), 211-216. doi:10.1177/0963721411415790

Finucane, M. L. & Lees, N. B. (2005). *Decision-making competence of older adults: Models and methods.* Konferenzbeitrag präsentiert bei National research Councul Workshop on Decision Making by Older Adults, Washington DC.

Friedman, N. P. & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*(1), 101-135. doi:10.1037/0096-3445.133.1.101

Gebuis, T., Kadosh, R. C. & Gevers, W. (2016). Sensory-integration system rather than approximate number system underlies numerosity processing: A critical review. *Acta Psychologica, 171*, 17-35. doi:10.1016/j.actpsy.2016.09.003

Halberda, J. & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "Number Sense": The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology, 44*(5), 1457-1465. doi:10.1037/a0012682

Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q. & Germine, L. (2012). Number sense across the lifespan as revealed by a massive Internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 109*(28), 11116-11120. doi:10.1073/pnas.1200196109

Hoffrage, U., Lindsey, S., Hertwig, R. & Gigerenzer, G. (2000). Communicating statistical information. *Science, 290*(5500), 2261-2262. doi:10.1126/science.290.5500.2261

Jessup, R. K., Bishara, A. J. & Busemeyer, J. R. (2008). Feedback produces divergence from prospect theory in descriptive choice. *Psychological Science, 19*(10), 1015-1022. doi:10.1111/j.1467-9280.2008.02193.x

Kable, J. W. & Glimcher, P. W. (2007). The neural correlates of subjective value during intertemporal choice. *Nature Neuroscience, 10*(12), 1625-1633. doi:10.1038/nn2007

Kable, J. W. & Glimcher, P. W. (2010). An “as soon as possible” effect in human intertemporal decision making: behavioral evidence and neural mechanisms. *Journal of Neurophysiology, 103*(5), 2513-2531. doi:10.1152/jn.00177.2009

Kadosh, R. C., Henik, A., Rubinsten, O., Mohr, H., Dori, H., van de Ven, V., . . . Linden, D. E. (2005). Are numbers special? The comparison systems of the human brain investigated by fMRI. *Neuropsychologia, 43*(9), 1238-1248. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.12.017

Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. New York: Farrar, Straus and Giroux.

Kahneman, D. & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica: Journal of the Econometric Society, 47*(2), 263-292. doi:10.2307/1914185

Keller, J., Bohner, G. & Erb, H.-P. (2000). Intuitive und heuristische Urteilsbildung– verschiedene Prozesse? Präsentation einer deutschen Fassung des „Rational-Experiential Inventory“ sowie neuer Selbstberichtskalen zur Heuristiknutzung. *Zeitschrift für Sozialpsychologie, 31*(2), 87-101. doi:10.1024//0044-3514.31.2.87

Keren, G. & Schul, Y. (2009). Two is not always better than one: A critical evaluation of two-system theories. *Perspectives on Psychological Science, 4*(6), 533-550. doi:10.1111/j.1745-6924.2009.01164.x

Kirby, K. N., Petry, N. M. & Bickel, W. K. (1999). Heroin addicts have higher discount rates for delayed rewards than non-drug-using controls. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*(1), 78-87. doi:10.1037/0096-3445.128.1.78

Kirkpatrick, L. A. & Epstein, S. (1992). Cognitive-experiential self-theory and subjective probability: Further evidence for two conceptual systems. *Journal of Personality and Social Psychology, 63*(4), 534-544. doi:10.1037//0022-3514.63.4.534

Krain, A. L., Wilson, A. M., Arbuckle, R., Castellanos, F. X. & Milham, M. P. (2006). Distinct neural mechanisms of risk and ambiguity: A meta-analysis of decision-making. *NeuroImage, 32*(1), 477-484. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.02.047

Kruglanski, A. W. & Gigerenzer, G. (2011). Intuitive and deliberate judgments are based on common principles. *Psychological Review, 118*(1), 97-109. doi:10.1037/a0020762

Kruglanski, A. W. & Orehek, E. (2007). Partitioning the domain of social inference: Dual mode and systems models and their alternatives. *Annual Review of Psychology, 58*, 291-316. doi:10.1146/annurev.psych.58.110405.085629

Lejarraga, T. & Gonzalez, C. (2011). Effects of feedback and complexity on repeated decisions from description. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 116*(2), 286-295. doi:10.1016/j.obhdp.2011.05.001

Lemer, C., Dehaene, S., Spelke, E. & Cohen, L. (2003). Approximate quantities and exact number words: Dissociable systems. *Neuropsychologia, 41*(14), 1942-1958. doi:10.1016/S0028-3932(03)00123-4

Levin, I. P., Xue, G., Weller, J. A., Reimann, M., Lauriola, M. & Bechara, A. (2012). A neuropsychological approach to understanding risk-taking for potential gains and losses. *Frontiers in Neuroscience, 6*(15), 1-11. doi:10.3389/fnins.2012.00015

Lipkus, I. M. & Peters, E. (2009). Understanding the role of numeracy in health: Proposed theoretical framework and practical insights. *Health Education & Behavior, 36*(6), 1065-1081. doi:10.1177/1090198109341533

Lipkus, I. M., Samsa, G. & Rimer, B. K. (2001). General performance on a numeracy scale among highly educated samples. *Medical Decision Making, 21*(1), 37-44. doi:10.1177/0272989X0102100105

MacKillop, J., Amlung, M. T., Few, L. R., Ray, L. A., Sweet, L. H. & Munafò, M. R. (2011). Delayed reward discounting and addictive behavior: A meta-analysis. *Psychopharmacology, 216*(3), 305-321. doi:10.1007/s00213-011-2229-0

Madden, G. J., Petry, N. M., Badger, G. J. & Bickel, W. K. (1997). Impulsive and self-control choices in opioid-dependent patients and non-drug-using control patients: Drug and monetary rewards. *Experimental and Clinical Psychopharmacology, 5*(3), 256-262.

Mazzocco, M. M. M., Feigenson, L. & Halberda, J. (2011). Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia). *Child Development, 82*(4), 1224-1237. doi:10.1111/j.1467-8624.2011.01608.x

McClure, S. M., Ericson, K. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G. & Cohen, J. D. (2007). Time discounting for primary rewards. *The Journal of Neuroscience, 27*(21), 5796-5804. doi:10.1523/JNEUROSCI.4246-06.2007

McClure, S. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G. & Cohen, J. D. (2004). Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science, 306*(5695), 503-507. doi:10.1126/science.1100907

Metcalfe, J. & Mischel, W. (1999). A hot/cool-system analysis of delay of gratification: Dynamics of willpower. *Psychological Review, 106*(1), 3-19. doi:10.1037/0033-295X.106.1.3

Meule, A., Vögele, C. & Kübler, A. (2011). Psychometrische Evaluation der deutschen Barratt Impulsiveness Scale – Kurzversion (BIS-15). *Diagnostica, 57*, 126-133. doi:10.1026/0012-1924/a000042

Mischel, W., Ayduk, O., Berman, M. G., Casey, B. J., Gotlib, I. H., Jonides, J., . . . Shoda, Y. (2011). 'Willpower' over the life span: Decomposing self-regulation. *Social Cognitive Affective Neuroscience, 6*, 252-256. doi:10.1093/scan/nsq081

Moll, J., Zahn, R., de Oliveira-Souza, R., Krueger, F. & Grafman, J. (2005). The neural basis of human moral cognition. *Nature Reviews Neuroscience, 6*(10), 799-809. doi:10.1038/nrn1768

Monterosso, J. R., Ainslie, G., Xu, J., Cordova, X., Domier, C. P. & London, E. D. (2007). Frontoparietal cortical activity of methamphetamine-dependent and comparison subjects performing a delay discounting task. *Human Brain Mapping, 28*(5), 383-393. doi:10.1002/hbm.20281

Nelson, H. E. (1976). A modified card sorting test sensitive to frontal lobe defects. *Cortex, 12*(4), 313-324. doi:10.1016/S0010-9452(76)80035-4

O'Grady, S., Griffiths, T. L. & Xu, F. (2016). *Do simple probability judgments rely on integer approximation?* Konferenzbeitrag präsentiert bei 38th Annual Conference of the Cognitive Science Society.

Oppenheimer, D. M. & Kelso, E. (2015). Information processing as a paradigm for decision making. *Annual Review of Psychology, 66*, 277-294. doi:10.1146/annurev-psych-010814-015148

Osman, M. (2004). An evaluation of dual-process theories of reasoning. *Psychonomic Bulletin & Review, 11*(6), 988-1010. doi:10.3758/BF03196730

Pachur, T. & Galesic, M. (2013). Strategy selection in risky choice: The impact of numeracy, affect, and cross-cultural differences. *Journal of Behavioral Decision Making, 26*(3), 260-271. doi:10.1002/bdm.1757

Patalano, A. L., Saltiel, J. R., Machlin, L. & Barth, H. (2015). The role of numeracy and approximate number system acuity in predicting value and probability distortion. *Psychonomic Bulletin & Review, 22*(6), 1820-1829. doi:10.3758/s13423-015-0849-9

Pertl, M.-T., Benke, T., Zamarian, L. & Delazer, M. (2015). Decision making and ratio processing in patients with mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's Disease, 48*(3), 765-779. doi:10.3233/JAD-150291

Pertl, M.-T., Zamarian, L. & Delazer, M. (2017). Reasoning and mathematical skills contribute to normatively superior decision making under risk: Evidence from the game of dice task. *Cognitive Processing, 18*(3), 249-260. doi:10.1007/s10339-017-0813-x

Peters, E. (2012). Beyond comprehension the role of numeracy in judgments and decisions. *Current Directions in Psychological Science, 21*(1), 31-35. doi:10.1177/0963721411429960

Peters, E. & Bjalkebring, P. (2015). Multiple numeric competencies: When a number is not just a number. *Journal of Personality and Social Psychology, 108*(5), 802-822. doi:10.1037/pspp0000019

Peters, E., Slovic, P., Västfjäll, D. & Mertz, C. (2008). Intuitive numbers guide decisions. *Judgment and Decision Making, 3*(8), 619-635.

Peters, E., Västfjäll, D., Slovic, P., Mertz, C., Mazzocco, K. & Dickert, S. (2006). Numeracy and decision making. *Psychological Science, 17*(5), 407-413. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01720.x

Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D. & Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron, 44*(3), 547-555. doi:10.1016/j.neuron.2004.10.014

Pica, P., Lemer, C., Izard, V. & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science, 306*(5695), 499-503. doi:10.1126/science.1102085

Platt, M. L. & Huettel, S. A. (2008). Risky business: The neuroeconomics of decision making under uncertainty. *Nature Neuroscience, 11*(4), 398-403. doi:10.1038/nn2062

Rangel, A., Camerer, C. & Montague, P. R. (2008). A framework for studying the neurobiology of value-based decision making. *Nature Reviews Neuroscience, 9*(7), 545-556. doi:10.1038/nrn2357

Reitan, R. M. & Wolfson, D. (1995). Category test and trail making test as measures of frontal lobe functions. *The Clinical Neuropsychologist, 9*(1), 50-56. doi:10.1080/13854049508402057

Reyna, V. F. (2012). A new intuitionism: Meaning, memory, and development in fuzzy-trace theory. *Judgment and Decision Making, 7*(3), 332-359.

Reyna, V. F. (2018). Neurobiological models of risky decision-making and adolescent substance use. *Current Addiction Reports, 5*(2), 128-133. doi:10.1007/s40429-018-0193-z

Reyna, V. F. & Brainerd, C. J. (1994). The origins of probability judgment: A review of data and theories. In G. Wright & P. Ayton (Hrsg.), *Subjective Probability* (S. 239-272). Oxford, England: John Wiley & Sons.

Reyna, V. F. & Brainerd, C. J. (1995a). Fuzzy-trace theory: An interim synthesis. *Learning and Individual Differences, 7*(1), 1-75. doi:10.1016/1041-6080(95)90031-4

Reyna, V. F. & Brainerd, C. J. (1995b). Fuzzy-trace theory: Some foundational issues. *Learning and Individual Differences, 7*(2), 145-162. doi:10.1016/1041-6080(95)90028-4

Reyna, V. F. & Brainerd, C. J. (2007). The importance of mathematics in health and human judgment: Numeracy, risk communication, and medical decision making. *Learning and Individual Differences, 17*(2), 147-159. doi:10.1016/j.lindif.2007.03.010

Reyna, V. F. & Brainerd, C. J. (2008). Numeracy, ratio bias, and denominator neglect in judgments of risk and probability. *Learning and Individual Differences, 18*(1), 89-107. doi:10.1016/j.lindif.2007.03.011

Reyna, V. F. & Brainerd, C. J. (2011). Dual processes in decision making and developmental neuroscience: A fuzzy-trace model. *Developmental Review, 31*(2), 180-206. doi:10.1016/j.dr.2011.07.004

Reyna, V. F., Nelson, W. L., Han, P. K. & Dieckmann, N. F. (2009). How numeracy influences risk comprehension and medical decision making. *Psychological Bulletin, 135*(6), 943-973. doi:10.1037/a0017327

Reyna, V. F., Weldon, R. B. & McCormick, M. (2015). Educating intuition: Reducing risky decisions using fuzzy-trace theory. *Current Directions in Psychological Science, 24*(5), 392-398. doi:10.1177/0963721415588081

Reyna, V. F. & Wilhelms, E. A. (2017). The gist of delay of gratification: Understanding and predicting problem behaviors. *Journal of Behavioral Decision Making, 30*(2), 610-625. doi:10.1002/bdm.1977

Reyna, V. F., Wilhelms, E. A., McCormick, M. J. & Weldon, R. B. (2015). Development of risky decision making: Fuzzy-trace theory and neurobiological perspectives. *Child Development Perspectives, 9*(2), 122-127. doi:10.1111/cdep.12117

Scarf, D., Hayne, H. & Colombo, M. (2011). Pigeons on par with primates in numerical competence. *Science, 334*(6063), 1664-1664. doi:10.1126/science.1213357

Schiebener, J. & Brand, M. (2015a). Decision making under objective risk conditions – a review of cognitive and emotional correlates, strategies, feedback processing, and external influences. *Neuropsychology Review, 25*(2), 1-28. doi:10.1007/s11065-015-9285-x

Schiebener, J. & Brand, M. (2015b). Self-reported strategies in decisions under risk: Role of feedback, reasoning abilities, executive functions, short-term-memory, and working memory. *Cognitive Processing, 16*(4), 401-416. doi:10.1007/s10339-015-0665-1

Schiebener, J., Wegmann, E., Gathmann, B., Laier, C., Pawlikowski, M. & Brand, M. (2014). Among three different executive functions, general executive control ability is a key predictor of decision making under objective risk. *Frontiers in Psychology, 5*(1386), 1-13. doi:10.3389/fpsyg.2014.01386

Schiebener, J., Zamarian, L., Delazer, M. & Brand, M. (2011). Executive functions, categorization of probabilities, and learning from feedback: What does really matter for decision making under explicit risk conditions? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 33*(9), 1025-1039. doi:10.1080/13803395.2011.595702

Schley, D. R. & Peters, E. (2014). Assessing "economic value" symbolic-number mappings predict risky and riskless valuations. *Psychological Science, 25*(3), 753-761. doi:10.1177/0956797613515485

Schoofs, D., Preuß, D. & Wolf, O. T. (2008). Psychosocial stress induces working memory impairments in an n-back paradigm. *Psychoneuroendocrinology, 33*(5), 643-653. doi:10.1016/j.psyneuen.2008.02.004

Schwartz, L. M., Woloshin, S., Black, W. C. & Welch, H. G. (1997). The role of numeracy in understanding the benefit of screening mammography. *Annals of Internal Medicine, 127*(11), 966-972. doi:10.7326/0003-4819-127-11-199712010-00003

Sloman, S. A. (1996). The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological Bulletin, 119*(1), 3-22. doi:10.1037/0033-2909.119.1.3

Slovic, P., Finucane, M. L., Peters, E. & MacGregor, D. G. (2004). Risk as analysis and risk as feelings: Some thoughts about affect, reason, risk, and rationality. *Risk Analysis, 24*(2), 311-322. doi:10.1111/j.0272-4332.2004.00433.x

Slovic, P., Monahan, J. & MacGregor, D. G. (2000). Violence risk assessment and risk communication: The effects of using actual cases, providing instruction, and employing probability versus frequency formats. *Law and Human Behavior, 24*(3), 271-296. doi:10.1023/A:1005595519944

Sokolowski, H. M., Fias, W., Mousa, A. & Ansari, D. (2017). Common and distinct brain regions in both parietal and frontal cortex support symbolic and nonsymbolic number processing in humans: A functional neuroimaging meta-analysis. *NeuroImage, 146*, 376-394. doi:10.1016/j.neuroimage.2016.10.028

Spinella, M. (2007). Normative data and a short form of the Barratt impulsiveness scale. *International Journal of Neuroscience, 117*(3), 359-368. doi:10.1080/00207450600588881

Stanovich, K. E. & West, R. F. (2000). Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate? *Behavioral and Brain Sciences, 23*(5), 645-665. doi:10.1017/S0140525X00003435

Tom, S. M., Fox, C. R., Trepel, C. & Poldrack, R. A. (2007). The neural basis of loss aversion in decision-making under risk. *Science, 315*(5811), 515-518. doi:10.1126/science.1134239

Van Bavel, J. J., Jenny Xiao, Y. & Cunningham, W. A. (2012). Evaluation is a dynamic process: Moving beyond dual system models. *Social and Personality Psychology Compass, 6*(6), 438-454. doi:10.1111/j.1751-9004.2012.00438.x

Verdejo-García, A., Lawrence, A. J. & Clark, L. (2008). Impulsivity as a vulnerability marker for substance-use disorders: Review of findings from high-risk research, problem gamblers and genetic association studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 32*(4), 777-810. doi:10.1016/j.neubiorev.2007.11.003

Von Neumann, J. & Morgenstern, O. (1947). *Theory of games and economic behavior* (2. Aufl.). Princeton, NJ, US: Princeton University Press.

Weatherly, J. N. & Ferraro, F. R. (2011). Executive functioning and delay discounting of four different outcomes in university students. *Personality and Individual Differences, 51*(2), 183-187. doi:10.1016/j.paid.2011.03.042

Weller, J. A., Levin, I. P., Shiv, B. & Bechara, A. (2007). Neural correlates of adaptive decision making for risky gains and losses. *Psychological Science, 18*(11), 958-964. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.02009.x

Winman, A., Juslin, P., Lindskog, M., Nilsson, H. & Kerimi, N. (2014). The role of ANS acuity and numeracy for the calibration and the coherence of subjective probability judgments. *Frontiers in Psychology, 5*, 1-15. doi:10.3389/fpsyg.2014.00851

Xu, F. & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74*(1), B1-B11. doi:10.1016/S0010-0277(99)00066-9

Zamarian, L., Sinz, H., Bonatti, E., Gamboz, N. & Delazer, M. (2008). Normal aging affects decisions under ambiguity, but not decisions under risk. *Neuropsychology, 22*(5), 645-657. doi:10.1037/0894-4105.22.5.645

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Prozess-Modell der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko. Modifiziert und ins Deutsche übersetzt nach Schiebener und Brand (2015a) 18

Abbildung 2. Schematische Darstellung der innerhalb der Schriften des vorliegenden Kumulus behandelten Forschungsthemen und -fragen. Vermutete Beziehungen und Interaktionen zwischen Variablen, die in den jeweiligen Schriften adressiert werden, sind durch verschiedenfarbige Pfeile repräsentiert 28

Abbildung 3. Modellannahmen des Prozesses der Entscheidungsfindung unter objektivem Risiko in Anlehnung an die Modelle von Schiebener und Brand (2015a), Broniatowski und Reyna (2017) sowie Van Bavel, Xiao und Cunningham (2012) 50

Erklärung über die eigenständige Verfassung der vorgelegten Dissertation

Hiermit versichere ich, dass die vorgelegte Dissertation, gemäß §9 der Promotionsordnung der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Duisburg-Essen vom 06. August 2015, eine selbstständig durchgeführte und eigenständig verfasste Forschungsleistung darstellt und ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Schriften entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit lag weder in gleicher noch in ähnlicher Form einem anderen Prüfungsausschuss vor.

Ort, Datum

Silke M. Müller, M.Sc.