



Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg
Fakultät Elektrotechnik und Informatik

Studiengang: Bachelor Informatik

Einfluss von Unsicherheits-Visualisierungen auf Entscheidungsfindungen an Finanzmärkten

Keck, Paul

Abgabe der Arbeit: 14.05.2024

Betreut durch:

Prof. Helbig, Hochschule Coburg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Die Bedeutung von Unsicherheit in Finanzmärkten	4
1.2	Ziele der Arbeit	4
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Theorien zur Entscheidungsfindung unter Unsicherheit	4
2.1.1	Erwartungsnutzentheorie	5
2.1.2	Dual-Process-Theorie	5
2.2	Hintergrundwissen zur Visualisierung von Unsicherheit	6
2.2.1	Quantile Dotplots	6
2.2.2	Frequency Framing	6
2.2.3	Quantile Dotplots	7
2.2.4	Attribute Substitution	7
2.2.5	Hypothetical Outcome Plots	7
3	Einfluss von Visualisierungstechniken auf die Risikowahrnehmung	8
3.1	Fallstudie Lotterie	8
3.2	Fallstudie Fantasy Football	8
4	Verbesserung der Kommunikation durch Visualisierungstechniken	8
4.1	Kommunikation zwischen Finanzanalysten und Laieninvestoren	8
4.2	Einsatz von Visualisierungen zur Kommunikation von Unsicherheiten	8
5	Übertragung von Erkenntnissen aus anderen Domänen	8
5.1	Beispiele erfolgreicher Visualisierungstechniken aus anderen Bereichen	8
5.2	Anwendbarkeit auf den Finanzsektor	9
6	Fazit und Ausblick	9
6.1	Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse	9
6.2	Proposal für künftige Forschung	9
	Literaturverzeichnis	10
	Ehrenwörtliche Erklärung	12

1 Einleitung

Ein fundamentales Konzept in den Wirtschaftswissenschaften ist die von Frank H. Knight eingeführte Unterscheidung zwischen Risiko und Unsicherheit. Knight definierte Risiko als quantifizierbare Unsicherheit, also Situationen, in denen den möglichen Ergebnissen Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden können. Ein klassisches Beispiel hierfür sind Versicherungen oder Glücksspiele, bei denen aufgrund historischer Daten oder mathematischer Modelle die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Ausgänge bekannt sind.

Unsicherheit hingegen, die Knight als "echte Unsicherheit" bezeichnet, bezieht sich auf Situationen, in denen diese Zuordnung nicht möglich ist. Dies tritt auf, wenn keine verlässlichen historischen Daten zur Verfügung stehen, um die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Ergebnisse zu prognostizieren. Ein Beispiel hierfür wäre die Einführung eines innovativen Produkts auf den Markt, bei dem es keine vorherigen Daten gibt, die den Erfolg oder Misserfolg vorhersagen könnten. [Kni21]

Wenn man Unsicherheit aus der Perspektive der Datenvisualisierung betrachtet, stößt man auf viele ähnliche, jedoch auch zahlreiche unterschiedliche Definitionen. Haber und McNabb [HM90] beschreiben einen generischen Prozess zur Visualisierung von Daten, der die verschiedenen Stufen von der Datenbeschaffung bis zur finalen Visualisierung abdeckt. Dieser Prozess, der auch von Pang et al. [PWL97] aufgegriffen wird, besteht aus mehreren Schritten, in denen Unsicherheit in unterschiedlichem Maße eingeführt und berücksichtigt werden muss, und diese unterschiedlichen Definitionen verdeutlicht:

1. **Datenbeschaffung:** In dieser Phase ist Unsicherheit inherent, sei es durch Messfehler/-ungenauigkeiten, die Beschaffung der Daten durch statistische Modelle oder unvollständige Daten.
2. **Datenvorverarbeitung:** Die beschafften Daten müssen in einem nachgehenden Schritt aufbereitet werden, in welchem durch Interpolation von fehlenden Daten, ungenaue Transformationen oder Annahmen weitere Unsicherheit einfließen kann.
3. **Datenverarbeitung und -analyse:** Diese Daten werden zur Visualisierung auf ein/mehrere geometrische Objekte gemappt. Dies stellt durch die verwendeten Algorithmen und Modelle eine neue Quelle von Unsicherheit dar.
4. **Visualisierung:** Schließlich werden die Daten visualisiert. Hier können Unsicherheiten durch die Wahl der Visualisierungstechniken und Darstellungsparameter wie Farbskalen und Fehlerbalken an sich beeinflusst werden.

1.1 Die Bedeutung von Unsicherheit in Finanzmärkten

Knight schrieb in seinem Werk ausserdem, dass in einem fairen Markt nur ein Unternehmer wirtschaftlich erfolgreich sein kann, wenn dieser Unsicherheiten auf sich nimmt, da andernfalls jeder Marktteilnehmer die gleichen, korrekten Informationen hätte und somit kein Vorteil erarbeitet werden kann. Wird diese aufzunehmende Unsicherheit aber im Entscheidungsprozess falsch oder unzureichend dargestellt, kann dies fatale Folgen nach sich ziehen.

Man stelle sich beispielsweise die Prognose eines Aktienkurses anhand eines Monte-Carlo-Modells vor. Sollte ein Investor auf Basis dieser Prognose eine Entscheidung treffen, ist er einerseits mit der direkten quantitativen Unsicherheit der Vorhersage konfrontiert, also mit der Wahrscheinlichkeit, dass genau der gewählte Zweig der Simulation zutrifft, und der Varianz. Andererseits gibt es die indirekte qualitative Unsicherheit: Hat der Ersteller korrekt historische Daten verwendet? [PKH21] Auf welcher Basis von Zufall wurde die Prognose erstellt – Volatilität oder fundierte ökonomische Kennzahlen des Unternehmens? Es gilt, diese Unsicherheiten so gut wie möglich darzustellen, um den Investor bei seiner Entscheidungsfindung zu unterstützen und keine Trugschlüsse zuzulassen.

1.2 Ziele der Arbeit

Deshalb wird in dieser Arbeit untersucht, wie sich die Visualisierung von Unsicherheiten und Risiken auf Entscheidungsträger auswirkt, wie Techniken angewandt werden können um die Kommunikation von Information zwischen Laien und professionellen verbessert werden kann und wie bereits entwickelte Techniken aus anderen Domänen auf die Finanzwelt übertragen werden können.

Im folgendem Kapitel werden Grundlagen zur Entscheidungsfindungen von Menschen sowie Techniken der Visualisierung von Unsicherheiten beleuchtet, daraufhin

2 Theoretische Grundlagen

Es wird die Basis geschaffen um Visualisierungstechniken sowie ihre Bedeutung in der Entscheidungsfindung besser verstehen zu können.

2.1 Theorien zur Entscheidungsfindung unter Unsicherheit

Im Folgendem werden Theorien zur Entscheidungsfindung unter Unsicherheit näher beleuchtet, welche laut Padille et al. notwendigerweise berücksichtigt werden müssen, um Visualisierungs-

techniken auf Basis ihrer Rolle in Entscheidungsfindungen in anbeacht von Unsicherheit bewerten zu können. Diese werden in Sektion 3 wieder aufgegriffen, um die Auswirkung unterschiedlicher Visualisierungsmethoden auf die Entscheidungsfindung zu erklären. [SBC⁺23]

2.1.1 Erwartungsnutzentheorie

Die Erwartungsnutzentheorie (Expected-Utility-Theorie (EUT)) ist ein grundlegendes Modell in der Entscheidungstheorie, das beschreibt, wie rationale Akteure Entscheidungen unter Unsicherheit treffen sollten. Entwickelt von John von Neumann und Oskar Morgenstern, basiert die EUT auf der Annahme, dass Individuen bei der Wahl zwischen unsicheren Alternativen jene Option bevorzugen, die den höchsten erwarteten Nutzen bietet. Der erwartete Nutzen eines Ergebnisses wird dabei als das Produkt aus der Wahrscheinlichkeit des Ergebnisses und dem subjektiven Wert (Nutzen) dieses Ergebnisses berechnet.

Die formale Darstellung der Erwartungsnutzentheorie lautet:

$$EU = \sum_{i=1}^n p_i \cdot u(x_i) \quad (2.1)$$

Dabei ist EU der erwartete Nutzen, p_i die Wahrscheinlichkeit des Ergebnisses x_i und $u(x_i)$ der Nutzen des Ergebnisses x_i .

Die EUT geht davon aus, dass Individuen konsistente Präferenzen haben und stets die Alternative mit dem höchsten erwarteten Nutzen wählen. [NM44] Diese Theorie hat weitreichende Anwendungen in der Finanzwelt, beispielsweise bei der Analyse von Investitionsentscheidungen und Risiken.

2.1.2 Dual-Process-Theorie

Die Dual-Process-Theorie beschreibt, wie Menschen zwei verschiedene Arten von Denkprozessen nutzen, um Entscheidungen zu treffen: intuitives (Type 1) und analytisches (Type 2) Denken. Fundierungen für diese Theorie wurden von Psychologen wie Daniel Kahneman und Keith Stanovich zum Beispi in [TK74] über Jahre hinweg entwickelt und hebt hervor, dass Menschen je nach Situation und Komplexität der Aufgabe zwischen diesen beiden Denkmodi wechseln.

- **Type 1 Prozesse:** Diese sind schnell, automatisch und erfordern wenig kognitive Anstrengung. Sie basieren auf Intuition und Heuristiken, die oft aus Erfahrungen und erlernten Mustern resultieren. Type 1 Prozesse sind nützlich in routinierten und vertrauten Situationen, können jedoch zu systematischen Fehlern und Verzerrungen führen.

- **Type 2 Prozesse:** Diese sind langsam, bewusst und erfordern erhebliche kognitive Anstrengung. Sie basieren auf logischem Denken und systematischer Analyse. Type 2 Prozesse kommen zum Einsatz, wenn komplexe und neue Situationen eine gründliche Bewertung erfordern.

Die Dual-Process-Theorie erklärt, warum Menschen in vielen Situationen intuitive Entscheidungen treffen, die schnell und effizient sind, aber manchmal zu suboptimalen Ergebnissen führen. Sie betont auch die Notwendigkeit, analytisches Denken zu fördern, insbesondere bei komplexen und wichtigen Entscheidungen, bei denen Fehler schwerwiegende Konsequenzen haben können.

2.2 Hintergrundwissen zur Visualisierung von Unsicherheit

Um die Bedeutung der Visualisierung von Unsicherheiten auf die Entscheidungsfindung besser zu verstehen, werden hier Konzepte und Techniken erläutert, welche bekanntermaßen eine positive Auswirkung auf die rationale Entscheidungsfindung haben, was in Sektion 3 weiter beleuchtet wird.

2.2.1 Quantile Dotplots

Quantile Dotplots sind eine Visualisierungstechnik, die darauf abzielt, Unsicherheit durch diskrete Punkte darzustellen, die bestimmte Quantile einer Verteilung repräsentieren. Diese Methode hilft den Nutzern, Wahrscheinlichkeiten und Verteilungen auf intuitive Weise zu verstehen, indem sie visuelle Hinweise liefert, die leicht gezählt und interpretiert werden können. Kay et al. haben gezeigt, dass Quantile Dotplots die Genauigkeit von Entscheidungsfindungen verbessern können, indem sie die Verteilung von Unsicherheiten klar und verständlich darstellen. [KKHM16].

Diese Technik schneidet nicht nur in normalen Bewertungsmaßen von Visualisierungsmethoden, nämlich wie akkurat und schnell sie Informationen übermitteln können, gut ab, sondern verbessert nach Fernandes et al. auch die Fähigkeit rationale Entscheidungen zu treffen [FWM⁺18]

2.2.2 Frequency Framing

Padilla et al. ordnet die Visualisierungstechnik Quantile Dotplot zu der Theorie Frequency Framing zu, welche sich auf die Darstellung von Wahrscheinlichkeiten und Unsicherheiten in Form von Frequenzen anstelle von Prozentwerten oder abstrakten Wahrscheinlichkeiten bezieht. Untersuchungen zeigen, dass Menschen Frequenzen oft besser verstehen und verarbeiten können. Padilla et al. brachte das Beispiel, dass die Angabe „1 von 10“ klarer sei als „10%“ Wahrscheinlichkeit. Sie betonen, dass Frequency Framing besonders nützlich sein kann, um Unsicherheiten in alltäglichen Entscheidungsprozessen zu kommunizieren, da es die Wahrscheinlichkeit, dass

Missverständnisse entstehen, reduziert und somit zu besseren Entscheidungsfindungen führen kann [PKH21].

2.2.3 Quantile Dotplots

Quantile Dotplots sind eine Visualisierungstechnik, die darauf abzielt, Unsicherheit durch diskrete Punkte darzustellen, die bestimmte Quantile einer Verteilung repräsentieren. Diese Methode hilft den Nutzern, Wahrscheinlichkeiten und Verteilungen auf intuitive Weise zu verstehen, indem sie visuelle Hinweise liefert, die leicht gezählt und interpretiert werden können. Padilla et al. haben gezeigt, dass Quantile Dotplots die Genauigkeit von Entscheidungsfindungen verbessern können, indem sie die Verteilung von Unsicherheiten klar und verständlich darstellen. Diese Technik ist besonders nützlich in Szenarien, in denen eine schnelle und präzise Interpretation von Wahrscheinlichkeiten erforderlich ist, wie beispielsweise bei der Vorhersage von Finanzmärkten oder Wetterbedingungen [PKH21].

2.2.4 Attribute Substitution

Attribute Substitution ist ein psychologisches Phänomen, bei dem Menschen eine komplexe Frage durch eine einfachere ersetzen und dann die einfachere Frage beantworten. Dies geschieht oft unbewusst und kann zu systematischen Fehlern führen. Bei der Entscheidungsfindung unter Unsicherheit kann es beispielsweise vorkommen, dass Menschen die komplexe Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Unsicherheit durch ein intuitiveres Gefühl oder eine Heuristik ersetzen. Padilla et al. zeigen, dass dieses Verhalten insbesondere in stressigen oder zeitkritischen Situationen auftritt, und dass geeignete Visualisierungstechniken dazu beitragen können, diese Verzerrungen zu minimieren, indem sie die zugrunde liegenden Informationen klar und verständlich darstellen [PKH21].

2.2.5 Hypothetical Outcome Plots

Hypothetical Outcome Plots (HOPs) sind eine innovative Visualisierungstechnik, die Unsicherheiten durch die Darstellung mehrerer möglicher zukünftiger Szenarien in einem dynamischen Plot veranschaulicht. Diese Methode hilft Nutzern, ein besseres Verständnis für die Bandbreite möglicher Ergebnisse und deren Wahrscheinlichkeiten zu entwickeln. Padilla et al. zeigen, dass HOPs die Fähigkeit von Nutzern verbessern können, Unsicherheiten zu verarbeiten und fundierte Entscheidungen zu treffen, da sie die Variabilität der Ergebnisse auf anschauliche Weise darstellen [PKH21]. Dies ist besonders relevant in Bereichen wie Finanzprognosen und Risikomanagement, wo das Verständnis der gesamten Bandbreite möglicher zukünftiger Zustände entscheidend ist.

[JS21]

3 Einfluss von Visualisierungstechniken auf die Risikowahrnehmung

3.1 Fallstudie Lotterie

[Lar20] [PWL97] [KBD⁺23] [BOL12] [HM90]

3.2 Fallstudie Fantasy Football

4 Verbesserung der Kommunikation durch Visualisierungstechniken

4.1 Kommunikation zwischen Finanzanalysten und Laieninvestoren

[JS21]

4.2 Einsatz von Visualisierungen zur Kommunikation von Unsicherheiten

5 Übertragung von Erkenntnissen aus anderen Domänen

5.1 Beispiele erfolgreicher Visualisierungstechniken aus anderen Bereichen

[BBML10]

5.2 Anwendbarkeit auf den Finanzsektor

6 Fazit und Ausblick

6.1 Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse

6.2 Proposal für künftige Forschung

Literaturverzeichnis

- [BBML10] BOLLER, Ryan A. ; BRAUN, Scott A. ; MILES, Jadrian ; LAIDLAW, David H.: Application of Uncertainty Visualization Methods to Meteorological Trajectories. In: *Earth Science Informatics* 3 (2010), June, Nr. 1, 119–126. <http://dx.doi.org/10.1007/s12145-010-0052-5>. – DOI 10.1007/s12145-010-0052-5. – ISSN 1865–0481

- [BOL12] BRODLIE, Ken ; OSORIO, Rodolfo S. A. ; LOPES, Adriano: A Review of Uncertainty in Data Visualization. (2012). <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16557526>

- [FWM⁺18] FERNANDES, Michael ; WALLS, Logan ; MUNSON, Sean ; HULLMAN, Jessica ; KAY, Matthew: Uncertainty Displays Using Quantile Dotplots or CDFs Improve Transit Decision-Making. (2018), 1–12. <http://dx.doi.org/10.1145/3173574.3173718>. – DOI 10.1145/3173574.3173718. ISBN 9781450356206

- [HM90] HABER, R. B. ; McNABB, D. A.: Visualization Idioms: A Conceptual Model for Scientific Visualization Systems. (1990), S. 74–93

- [JS21] JOSLYN, Susan ; SAVELLI, Sonia: Visualizing Uncertainty for Non-Expert End Users: The Challenge of the Deterministic Construal Error. In: *Frontiers in Computer Science* 2 (2021). <http://dx.doi.org/10.3389/fcomp.2020.590232>. – DOI 10.3389/fcomp.2020.590232. – ISSN 2624–9898

- [KBD⁺23] KERR, John ; BLES, Anne-Marthe van d. ; DRYHURST, Sarah ; SCHNEIDER, Claudia R. ; CHOPURIAN, Vivien ; FREEMAN, Alexandra L. J. ; LINDEN, Sander van d.: The effects of communicating uncertainty around statistics, on public trust. In: *R. Soc. Open Sci.* 10 (2023), 230604. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.230604>. – DOI 10.1098/rsos.230604

- [KKHM16] KAY, Matthew ; KOLA, Tara ; HULLMAN, Jessica R. ; MUNSON, Sean A.: When (ish) is My Bus? User-centered Visualizations of Uncertainty in Everyday, Mobile Predictive Systems. (2016), 5092–5103. <http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858558>. – DOI 10.1145/2858036.2858558. ISBN 9781450333627

- [Kni21] KNIGHT, Frank H.: *Risk, Uncertainty, and Profit*. Boston and New York : Houghton Mifflin Company, 1921 <https://www.econlib.org/library/Knight/knRUP.html>

- [Lar20] LARCHER, Gerhard: *Volatilitaeten*. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-29158-7_5. Version: 2020

- [NM44] NEUMANN, John von ; MORGENSTERN, Oskar: *Theory of Games and Economic Behavior*. 1. Princeton, NJ : Princeton University Press, 1944. – ISBN 978–0–691–00362–3
- [PKH21] PADILLA, Lace ; KAY, Matthew ; HULLMAN, Jessica: Uncertainty Visualization. (2021), 02, S. 1–18. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118445112.stat08296>. – DOI 10.1002/9781118445112.stat08296. ISBN 9781118445112
- [PWL97] PANG, Alex T. ; WITTENBRINK, Craig M. ; LODHA, Suresh K.: Approaches to Uncertainty Visualization. In: *The Visual Computer* 13 (1997), November, Nr. 8, 370–390. <http://dx.doi.org/10.1007/s003710050111>. – DOI 10.1007/s003710050111. – ISSN 1432–2315
- [SBC⁺23] SZAFIR, Danielle A. (Hrsg.) ; BORGO, Rita (Hrsg.) ; CHEN, Min (Hrsg.) ; EDWARDS, Darren J. (Hrsg.) ; FISHER, Brian (Hrsg.) ; PADILLA, Lace (Hrsg.): *Visualization Psychology*. 1. Cham, Switzerland : Springer Cham, 2023. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-34738-2>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-34738-2>. – ISBN 978–3–031–34737–5. – Published: 06 November 2023, Softcover due: 08 December 2023, Number of Pages: XIX, 392, Number of Illustrations: 1 b/w illustrations
- [TK74] TVERSKY, Amos ; KAHNEMAN, Daniel: Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. In: *Science* 185 (1974), Nr. 4157, 1124–1131. <http://dx.doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>. – DOI 10.1126/science.185.4157.1124

Persönliche Angaben / Personal details

Keck, Paul

Familienname, Vorname / Surnames, given names

06.05.2002

Geburtsdatum / Date of birth

Bachelor Informatik

Studiengang / Course of study

00767721

Matrikelnummer / Student registration number

Eigenständigkeitserklärung***Declaration***

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt. Die Arbeit wurde weder in Gänze noch in Teilen von einer Künstlichen Intelligenz (KI) erstellt, es sei denn, die zur Erstellung genutzte KI wurde von der zuständigen Prüfungskommission oder der bzw. dem zuständigen Prüfenden ausdrücklich zugelassen. Wörtliche oder sinngemäße Zitate habe ich als solche gekennzeichnet.

Es ist mir bekannt, dass im Rahmen der Beurteilung meiner Arbeit Plagiatserkennungssoftware zum Einsatz kommen kann.

Es ist mir bewusst, dass Verstöße gegen Prüfungsvorschriften zur Bewertung meiner Arbeit mit „nicht ausreichend“ und in schweren Fällen auch zum Verlust sämtlicher Wiederholungsversuche führen können.

I hereby certify that I have written this thesis independently and have not submitted it elsewhere for examination purposes. I have not used any sources or aids other than those indicated. The work has not been created in whole or in part by an artificial intelligence (AI), unless the AI used to create the work has been expressly approved by the responsible examination board or examiner. I have marked verbatim quotations or quotations in the spirit of the text as such.

I am aware that plagiarism detection software may be used in the assessment of my work.

I am aware that violations of examination regulations can lead to my work being graded as "unsatisfactory" and, in serious cases, to the loss of all repeat attempts.

Unterschrift Studierende/Studierender / Signature student

<ORT>, den 14.05.2024

Ort, Datum / Place, date