

Frank Romeike
Manfred Stallinger

Stochastische Szenariosimulation in der Unternehmenspraxis

Risikomodellierung, Fallstudien,
Umsetzung in R

 Springer Gabler

Stochastische Szenariosimulation in der Unternehmenspraxis

Frank Romeike · Manfred Stallinger

Stochastische Szenariosimulation in der Unternehmenspraxis

Risikomodellierung, Fallstudien,
Umsetzung in R

Frank Romeike
RiskNET GmbH
Brannenburg, Deutschland

Manfred Stallinger
ZTI Dr. Stallinger ZT-GmbH
Goldwörth, Österreich

ISBN 978-3-658-34062-9 ISBN 978-3-658-34063-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-34063-6>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Verlage. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Ann-Kristin Wiegmann

Springer Gabler ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser!

Der Vater der modernen Science-Fiction-Literatur, H. G. Wells, hat in seinen politischen Schriften bereits vor rund hundert Jahren prophezeit:

„Wenn wir mündige Bürger in einer modernen technologischen Gesellschaft möchten, dann müssen wir ihnen drei Dinge beibringen: Lesen, Schreiben und statistisches Denken, das heißt den vernünftigen Umgang mit Risiken und Unsicherheiten.“

Hat sich in der Zwischenzeit etwas zum Positiven verändert? Ja, die Menschen können Lesen und Schreiben. Doch von einem rationalen Umgang mit Unsicherheiten und Risiken sind wir weiterhin meilenweit entfernt. Stattdessen bewegen wir uns immer stärker hin zu einer Risikowahrnehmungsgesellschaft, in der Risiken nicht basierend auf Fakten und einer fundierten Analyse bewertet werden, sondern eher basierend auf gefühlten Wahrheiten. Eine fundierte Datenkompetenz, auch als „Data Literacy“ bezeichnet, sollte das stabile Fundament für eine evidenz- und faktenbasierte Bewertung von Unsicherheit sowie Risiken und Chancen bilden. Leider ist eine korrekte Interpretation von Daten, ihre Visualisierung und Beurteilung, Exploration und Kontextualisierung bei vielen Menschen nicht besonders ausgeprägt. Diese grundlegende Kompetenz ist in unserer heutigen (digitalen) Welt, sowohl in der Wissenschaft als auch in der Arbeitswelt und der Gesellschaft erforderlich, um Aussagen in ihrem jeweiligen Kontext zu interpretieren und kritisch zu hinterfragen.

Der deutsche Soziologe Ulrich Beck hat den Begriff der Risikogesellschaft geprägt [1]. Dahinter steckt die These, dass in der fortgeschrittenen Moderne die gesellschaftliche Produktion von Reichtum systematisch mit der gesellschaftlichen Produktion von Risiken einhergeht. Entsprechend werden die Verteilungsprobleme und -konflikte der Mangelgesellschaft überlagert durch die Probleme und Konflikte, die aus der Produktion, Definition und Verteilung wissenschaftlich-technisch produzierter Risiken entstehen. Nach Beck kommt es zu einem „Wechsel von der Logik der Reichtumsverteilung [...] zur Logik der Risikoverteilung“ [1].

Berücksichtigt man allerdings, dass die Bewertung der Risiken immer häufiger auf einer (gesellschaftlich oder politisch) gewünschten Wahrnehmung potenzieller Risiken

basiert und Fakten nicht selten manipuliert oder ausgeblendet werden (vgl. hierzu allgemein [2, 5, 6] sowie im Kontext Klimawissenschaften [7]) und fundierte Methoden nicht oder fehlerhaft angewendet werden, sollten wir statt von einer Risikogesellschaft eher von einer Risikowahrnehmungsgesellschaft sprechen.

Fokus auf apokalyptische Risiko- und Untergangsszenarien und statistische Analphabeten

Und die Bewertung potenzieller Risiken wird so eher durch Ängste und gefühlte Wahrheiten und weniger durch Fakten dominiert. Die Reaktionen auf die weltweiten Aktivitäten von „Fridays for Future“ (FFF) und „Extinction Rebellion“ (XR) sind zwei Beispiele für den Mangel vieler Akteure in NGOs, Regierungen und Unternehmen Risiken und potenzielle Szenarien methodisch fundiert und interdisziplinär zu bewerten. Stattdessen dominieren vor allem Risikoblindheit und methodische Inkompetenz. Es fehlt an der Fähigkeit, die bei einer unsicheren Zukunft vielfältigen Chancen und Gefahren (Risiken) – im Sinne unterschiedlicher potenzieller Zukunftsszenarien – adäquat einzuschätzen und diese in den eigenen Entscheidungen und Handlungen zu berücksichtigen. Stattdessen konzentrieren sich Interessengruppen – gefangen in den eigenen Echoräumen – auf ein gewünschtes Szenario (nicht selten ein apokalyptisches „Worst-Case-Szenario“), welches in die eigene Wahrnehmungs- und Filterblase hineinpasst. Menschen konstruieren ihre eigene Realität und stufen Risiken nach ihrer subjektiven Wahrnehmung ein.

Und nicht selten wird ausgeblendet, dass Zahlen zu einem pseudowissenschaftlichen Glaubenskrieg führen. Statistische Analphabeten wählen Zahlen und Information so aus, dass es in das „eigene Weltbild“ hineinpasst. In der Kognitionsforschung nennt man solche Sackgassen „confirmation bias“ bzw. Bestätigungsverzerrung. Informationen und Daten werden so ausgewählt, ermittelt und interpretiert, dass diese die eigenen Erwartungen erfüllen (bestätigen). Aus diesem gefährlichen Gemisch aus Fiktion und Fakten sowie Methodenunkenntnissen resultiert oft ein dogmatischer Streit (sowohl in den Wissenschaften als auch in der Politik sowie der Gesellschaft insgesamt).

Ein Portfolio an praktischen Beispielen zu diesem „Risikoparadoxon“ der Risikowahrnehmung liefert Renn [3]. So führt Renn aus, dass in den letzten 25 Jahren ungefähr so viele Menschen an der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (CJK), einer beim Menschen sehr selten auftretenden, tödlich verlaufenden und durch atypische Eiweiße gekennzeichnete übertragbare spongiforme Enzephalopathie (TSE), gestorben sind, wie am unachtsamen Trinken von parfümiertem Lampenöl [3]. In Deutschland starben seit dem Jahr 1990 fünf Menschen an einer Vergiftung durch Lampenöl, meist Kinder, die die bunten und duftenden Flüssigkeiten für Saft hielten – kein einziger Mensch an CJK.

Weitere Beispiele liefert Renn zur Einschätzung von menschlichen Gesundheitsrisiken. Er zeigt auf, dass seit dem 18. Jahrhundert unsere Lebenserwartung kontinuierlich ansteigt. Die Chancen, deutlich älter als achtzig Jahre alt zu werden, wachsen von Jahr zu Jahr. Dennoch geben regelmäßig in Studien die befragten Menschen an, ein risikoreiches Leben zu führen und „ängstigen sich zu Tode“. Hierbei wird von den Befragten

nicht selten ausgeblendet, dass die primären Ursachen für einen vorzeitigen Tod (Rauchen, falsche Ernährung, mangelnde Bewegung, Alkohol) von den Menschen selbst gesteuert und beeinflusst werden können.

Ähnlich paradox verhält es sich mit der Bewertung von Unfallrisiken. Die Wahrscheinlichkeit, an den Folgen eines Arbeits- oder Verkehrsunfalles zu sterben, ist so gering wie nie zuvor. Das Sicherheitsniveau in der Luftfahrt ist bei vielen Airlines höher als 99,99998 %. Das Restrisiko ist kleiner als 0,00002 %. Statistisch ist das gleichbedeutend mit einem Unfall pro 100 Mio. Flügen. Die Gefahr, im Haushalt bzw. in der Freizeit zu verunglücken, ist deutlich höher. Doch unsere Risikowahrnehmung ist verzerrt. Die Autobahnfahrt auf dem Weg zum Flughafen ist deutlich risikobehafteter als der anschließende Langstreckenflug quer über den Atlantik.

Die Wahrscheinlichkeit bei einem islamistischen Terroranschlag in Deutschland zu sterben ist kleiner als 0,0000000544546 %. Statistiken zeigen auf, dass es in Europa seit dem Jahr 2000 insgesamt 443 Tote durch islamistische Terroranschläge gab. Das entspricht im Schnitt rund 27 Toten pro Jahr. Die Wahrscheinlichkeit in Europa vom Blitz erschlagen zu werden ist deutlich höher, als Opfer von Terror zu werden.

Ein weiteres Beispiel konnten wir in den letzten Monaten immer wieder in den Innenstädten beobachten: Radfahrer rasten mit FFP2-Masken vor Mund und Nase durch die Stadt, um sich vor einer Infektion zu schützen – allerdings ohne Helm und in der Abenddämmerung ohne jegliche Beleuchtung. Bei der subjektiven Risikoabwägung wurde schlicht vergessen, dass basierend auf wissenschaftlichen und evidenzbasierten Studien Fahrradhelme die meisten lebensbedrohlichen Kopfverletzungen verhindern oder abmildern.

Seriöser Umgang mit Unsicherheit bedingt statistisches Denken

„Ich weiß, dass ich nichts weiß“, so wird der griechische Philosoph Sokrates von dem römischen Politiker und Schriftsteller Marcus Tullius Cicero zitiert. Er wollte damit wohl ausdrücken, dass ihm Weisheit oder ein wirkliches, über jeden Zweifel erhabenes Wissen fehle. Die wahre menschliche Weisheit ist es, sich des Nichtwissens im Wissenmüssen bewusst zu sein.

Doch warum ist Nichtwissen so schwer zu erfassen? Weil es Nichtwissen nicht gibt. Es ist unsinnig auf Wissen als Gegensatz von Nichtwissen zu verweisen. Während wir in der heutigen Zeit Wissensdefizite haben (etwa über die Unendlichkeit oder Endlichkeit des Universums oder die positiven und negativen Wirkungen von Viren und Bakterien in der Umwelt, in Tieren oder in unserem Körper oder die komplexen physikalischen und chemischen Veränderungen der Atmosphäre im Zusammenhang mit dem Klimawandel), werden wir auf der anderen Seite überfrachtet mit einem Tsunami an unnützem Wissen. Die Informationsmenge nimmt jeden Tag mit geschätzten 2,5 Quintillionen Bytes zu, aber damit eben gerade nicht die Menge an nützlicher Information. So fällt es vielen Menschen immer schwerer, sinnvolle Signale im allgemeinen Rauschen herauszufiltern und wahrzunehmen.

Wichtig ist hierbei, dass man sich der Wissensdefizite bewusst ist und die unterschiedlichen Szenarien aus unterschiedlichen Perspektiven abwägt, um schließlich zu

einer Entscheidung zu gelangen. Erforderlich ist hierfür eine Kultur der Abwägung. Dies bedingt immer einen interdisziplinären Ansatz, Methodenkompetenz und einen konstruktiven Diskurs. Die Alternative wäre die Fokussierung auf ein (gewünschtes) Szenario und die Erfindung alternativer Fakten. Was heute leider in der Politik (und leider auch immer häufiger in der Wissenschaft, siehe hierzu im Kontext Klimawissenschaften [7]) eher die Regel als die Ausnahme ist.

Probabilistik und Schwarmintelligenz macht unser Wissen facettenreicher und vielfältiger

Ein unseriöser Umgang mit Unsicherheit kann regelmäßig bei der Bewertung von Risiken in der Praxis der Unternehmen beobachtet werden. So werden Risiken von „Experten“ anhand von Eintrittswahrscheinlichkeiten und einem Schadensausmaß bewertet, als würden Sie die Zukunft aus einer Kristallkugel ablesen. Oder es werden einzelne potenzielle Szenarien (bspw. das Worst-Case-Szenario) aus einer ganzen Bandbreite möglicher Ausprägungen herausgefiltert, da dies für die eigene Agenda (Fördergelder, politische Macht, egozentrische Motive etc.) gerade als passend erscheint. Es liegt eine „Anmaßung von Wissen“ vor, welches nicht vorhanden ist.

Stochastische Aussagen würden hingegen eine Bandbreite potenzieller Szenarien liefern. Wir kennen schlicht und einfach die potenziellen Überraschungen in der Zukunft nicht. Daher sollten Risiken in einem interdisziplinären Diskurs über eine Bandbreite potenzieller Szenarien bewertet werden. Eine fundierte Risikoanalyse vermeidet Scheingenauigkeiten und Einzelszenarien und bietet dafür realistische Bandbreiten der zukünftigen Entwicklung. Im einfachsten Fall werden lediglich ein Worst-case und ein Best-case-Szenario bewertet. Und möglicherweise haben wir auch noch eine Vorstellung, wie ein Realistic-case-Szenario aussehen könnte. Und die letztendliche „Wahrheit“ wird irgendwo dazwischen liegen. Die Welt der Stochastik und Probabilistik macht unser Wissen facettenreicher und vielfältiger, aber nicht ungenauer [4].

Denn perfekte Informationen hat man in der Realität nie und daher können Risikoanalysen mit schlechten Daten umgehen und helfen, die tatsächlich verfügbaren Informationen optimal auszuwerten.

Der britische Naturforscher und Schriftsteller Sir Francis Galton¹ (geboren im Jahr 1822 und verstorben im Jahr 1911) führte im Jahr 1906 sein berühmtes Ochsen-Experiment durch, ursprünglich um die Dummheit der Masse zu beweisen. Im Jahr 1906 besuchte Galton die jährliche westenglische Nutztierschau in Plymouth, bei der die Besucher schätzen konnten, wie viel das Fleisch eines Ochsen nach dem Schlachten und Zerlegen auf die Waage bringt. Insgesamt 787 Personen, sowohl Laien als auch einige Experten, nahmen teil und gaben einen Tipp ab.

¹Galton war auf vielen Gebieten tätig und entwickelte zusammen mit Karl Pearson den Korrelationskoeffizienten. Außerdem führte er die Methode der Regression ein und entwickelte das Galtonbrett, ein Modell zur Demonstration von Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

Der Median aller Schätzungen (1207 Pfund) kam dem tatsächlichen Gewicht des Ochsen (1198 Pfund) erstaunlich nahe. Die Abweichung betrug demnach lediglich 0,8 %. Damit bewies Galton nicht die „Dummheit der Masse“, sondern die „Intelligenz der Masse“.

Heute wird dieses Phänomen als Kollektive Intelligenz oder auch Schwarmintelligenz bezeichnet. Die „Weisheit der Vielen“ kann auch mit dem „Gesetz der großen Zahlen“ erklärt werden. Basierend hierauf nähert sich der Mittelwert einer großen Zahl von Schätzungen automatisch dem wahren Wert an, auch wenn einzelne Schätzer weit danebenliegen.

Diese Erkenntnis sollte auch stärker auf der Methodenseite im Risikomanagement berücksichtigt werden. In der Praxis existieren in der Zwischenzeit eine ganze Reihe an Beispielen, wie bessere Schätzer mithilfe einer Schwarmintelligenz ermittelt werden. Insbesondere das Internet und Big Data ermöglicht es uns, dezentral verstreutes Wissen zu koordinieren und deren kollektive Intelligenz auszunutzen. Beispielsweise basiert das experimentelle Computerspiel „Foldit“ auf dieser Erkenntnis, um Wissenschaftler bei der Optimierung von Proteinen zu unterstützen. D. h. tausende Nicht-Biologen oder -Virologen fanden die komplizierte Struktur eines Virusproteins (aus dem Affenvirus M-PMV) heraus, an der sich zuvor renommierte Wissenschaftler die Zähne ausgebissen hatten.

Die Erkenntnisse der Schwarmintelligenz und der „Weisheit der Vielen“ verwenden wir bei RiskNET regelmäßig bei der Durchführung von Risk Assessments, etwa für große Infrastruktur-Projekte. Die Alternative oder das Abhaken irgendwelcher Checklisten – wie es leider in der Praxis vielfach verbreitet ist – wäre wiederum eine Anmaßung von Wissen oder würde vor allem eine Pseudoexaktheit vorgaukeln.

Expertenwissen wird mit der Leistungsfähigkeit statistischer Werkzeuge kombiniert

Die stochastische Szenariosimulation kombiniert in einer intelligenten Form Expertenwissen (auch in Form von Intuition und Bauchgefühl, etwa basierend auf einer strukturierten und deterministischen Szenarioanalyse) mit der Leistungsfähigkeit statistischer Werkzeuge. Denn statistisches Denken führt im Ergebnis zu mehr Kompetenz im Umgang mit Unsicherheit. Statistik zu verstehen ist eine notwendige Fähigkeit (nicht nur für Risikomanager), um die Welt, in der wir leben, einordnen und bewerten zu können und um Entscheidungen unter Unsicherheit zu treffen.

Mit unserem Buch haben wir uns zum Ziel gesetzt, die Kompetenz der Risikomanager im Bereich Statistik sowie der Anwendung „quantitativer Methoden“ im Risikomanagement auszubauen. Man könnte das Zitat von H. G. Wells umformulieren:

„Wenn wir qualifizierte Risikomanager und Unternehmensentscheider in einer modernen technologischen Gesellschaft möchten, dann müssen wir ihnen einige Dinge beibringen: Datenkompetenz, Kommunikationsfähigkeiten, psychologische und interkulturelle Kompetenz, Empathie und vor allem statistisches Denken, das heißt einen vernünftigen Umgang mit Risiken und Unsicherheiten.“

Risikokompetenz ausbauen

Die Risikokompetenz beinhaltet die Fähigkeit, informiert, kritisch und reflektiert mit bekannten und auch bisher unbekanntem Risiken der modernen Welt umzugehen und

diese zu antizipieren. Dies beinhaltet u.a. statistisches und heuristisches Denken sowie systemisches und psychologisches Wissen.

Ein Leben ohne Risiko gab es noch nie und wird es auch nie geben. Und das ist auch gut so. Doch wer Chancen – als die Kehrseite der Gefahr – ergreift und Risiken gut antizipieren und steuern kann, ist für die Zukunft besser gewappnet. Um Risiken fundierter und besser beurteilen zu können, sollte man sein eigenes Können realistisch einschätzen, langfristig denken und vor allem Informationen und Zahlen kritisch hinterfragen. Wir hoffen sehr, dass wir mit unserem Buch zur Weiterentwicklung der Risikokompetenz ein wenig beitragen konnten.

Je mehr wir in Risikomündigkeit investieren, desto größer ist die Chance, dass wir aus der Falle der Risikowahrnehmungsgesellschaft ausbrechen können.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Umsetzung eines wirksamen Risikomanagements im Unternehmen oder auch im tagtäglichen Leben.

Und denken Sie daran: Das Gefährliche an einem Risiko ist nicht das Risiko selbst, sondern wie man mit ihm umgeht. Und hierfür liefert Ihnen unser Buch kleine und wichtige Impulse.

im Mai 2021

Frank Romeike
Manfred Stallinger
Brannenburg/Oberbayern sowie Goldwörth/Österreich

Literatur

1. Beck, U. (1986). *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Suhrkamp.
2. Jun, Y., Meng, R., & Johar, G. V. (2017). *Perceived social presence reduces fact-checking: Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(23), 5976–5981.
3. Renn, O. (2014). *Das Risikoparadox – Warum wir uns vor dem Falschen fürchten*. Fischer Taschenbuch.
4. Renn, O. (2019). *Gefühlte Wahrheiten – Orientierung in Zeiten postfaktischer Verunsicherung*. Budrich.
5. Romeike, F. (2020a). *Covid-19: Seriöser Umgang mit Unsicherheit?*, 24. März 2020. <https://www.risknet.de/themen/risknews/covid-19-serioeser-umgang-mit-unsicherheit/>.
6. Romeike, F. (2020b): *Pandemie der kollektiven Hysterie*. 17. März 2020. <https://www.risknet.de/themen/risknews/pandemie-der-kollektiven-hysterie/>.
7. Vahrenholt, F., & Lüning, S. (2020). *Unerwünschte Wahrheiten – Was Sie über den Klimawandel wissen sollten*. Langen Müller.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Aufbau des Buches	2
1.2	Programmversionen von R	2
1.3	Hinweise zur Nutzung des R-Codes	3
1.3.1	Nutzungsvereinbarung	3
1.3.2	Lizenz zur Nutzung der Programmbeispiele	3
1.3.3	Beschränkungen der Nutzung	3
1.3.4	Änderungen an der Anwendung	3
1.3.5	Fragen zur Nutzung des R-Codes	4
1.3.6	Haftungsausschluss	4
1.3.7	Download der Programmbeispiele	4
1.4	Literaturempfehlungen zur Einführung in R	5
2	Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls	7
2.1	Der Zufall in der Stochastik	10
2.1.1	Traue keiner Statistik, die du nicht selbst gefälscht hast!	10
2.1.2	Geronimo Cardano, einer der letzten Universalgelehrten der Renaissance	11
2.1.3	Blaise Pascal: Geburtsstunde der klassischen Wahrscheinlichkeitsrechnung	12
2.1.4	Jakob Bernoulli, entwickelt das „Gesetz der großen Zahl“	14
2.1.5	Pierre-Simon Laplace, (Mit-) Entwickler der Wahrscheinlichkeitsrechnung	15
2.1.6	Johann Carl Friedrich Gauß, ein Wunderkind revolutioniert die Mathematik	15
2.1.7	Zufälle und ihre Zufälligkeit	17
	Literatur	22

3	Grundbegriffe	25
3.1	Grundbegriffe des Chancen- und Risikomanagements	26
3.1.1	Risiko	26
3.1.2	Chance	28
3.1.3	Risikomanagement	28
3.1.4	Chancenmanagement	30
3.1.5	Schwankungsrisiken	31
3.1.6	Ereignisrisiken	33
3.1.7	Eintrittswahrscheinlichkeit	36
3.1.8	Häufigkeit	37
3.1.9	Auswirkung	39
3.1.10	Schadenspotential	39
3.1.11	Zufallsexperiment	39
3.1.12	Stochastische Szenarioanalyse	40
3.2	Grundbegriffe der deskriptiven Statistik	42
3.2.1	Statistische Verfahren	43
3.2.2	Statistische Analyse	43
3.2.3	Statistische Daten	44
3.2.3.1	Nominale Daten	45
3.2.3.2	Ordinale Daten	45
3.2.3.3	Metrische Daten	46
3.2.3.4	Maße und Kennzahlen	46
3.2.3.4.1	Lagemaße in der deskriptiven Statistik	46
3.2.3.4.2	Schiefe einer Verteilung (Skewness)	47
3.2.3.4.3	Streuung von Ergebniswerten	47
3.2.3.4.4	Regression	49
3.2.3.4.5	Korrelation	50
3.2.3.5	Das Gesetz der großen Zahlen	52
3.2.3.6	Axiome der Wahrscheinlichkeitsrechnung	53
3.2.3.7	Satz der totalen Wahrscheinlichkeit	54
3.3	Grundbegriffe der Inferenzstatistik	55
3.3.1	Alltagsvermutungen	57
3.3.2	Wissenschaftliche Hypothese	57
3.3.3	Wissenschaftliche quantitative/statistische Hypothese	58
3.3.4	Statistische Tests/Anpassungstests	59
3.3.5	Signifikanzniveau	59
3.3.6	Schätzverfahren/Schätztheorie	60
3.3.7	Formalisierung/Normalisierung	61
3.3.8	Stichprobenfunktion	61

3.3.9	Zentraler Grenzwertsatz	62
3.3.10	Distribution Fitting	62
	Literatur	64
4	Risiken und Chancen als Wahrscheinlichkeitsverteilungen darstellen	65
4.1	Quantitative Verfahren	66
4.1.1	Aus qualitativ wird quantitativ	70
4.1.2	Schätzung von Volatilitäten	75
4.1.2.1	Punkt-Schätzung	76
4.1.2.2	Mehrpunkt-Schätzung	77
4.1.2.3	Schätzung von Szenarien	81
4.1.2.4	Schätzung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen	82
4.1.2.4.1	Wahrscheinlichkeitsfunktion diskreter Verteilungen	82
4.1.2.4.2	Dichtefunktion stetiger Verteilungen	83
4.1.2.4.3	Verteilungsfunktion	84
4.1.2.4.4	Typische Verteilungsformen	86
4.1.2.4.5	Schätzfehler bei Risiken, die durch Substitution mit einer Dreiecksverteilung erfolgen	90
4.2	Kalibrierung von Verteilungsfunktionen	93
4.2.1	Predictive Analytics und Zeitreihenanalyse	94
4.2.1.1	Saison-Trend-Zerlegung	96
4.2.1.2	Exponentielles Glätten	97
4.2.2	Expertenschätzung	99
4.2.2.1	Erwartungen an den Experten einer quantitativen Risikoeinschätzung	100
4.2.2.2	Identifikation relevanter Risiken	101
4.2.2.3	Kenntnis der Wirkungszusammenhänge	101
4.2.2.4	Subjektivität eines Schätzers	102
4.2.2.5	Schätzung von Verteilungen	102
4.3	In der Praxis verbreitete Verteilungsfunktionen	104
4.3.1	Diskrete Verteilungsfunktionen	104
4.3.1.1	Binomialverteilung	104
4.3.1.1.1	Eigenschaft der Binomialverteilung	105
4.3.1.1.2	Anwendung	106
4.3.1.2	Bernoulli-Verteilung (Null-Eins-Verteilung)	106
4.3.1.2.1	Eigenschaft der Bernoulli-Verteilung	107
4.3.1.2.2	Anwendung	108

4.3.1.3	Geometrische Verteilung	108
4.3.1.3.1	Eigenschaft der geometrischen Verteilung.	109
4.3.1.3.2	Anwendung	110
4.3.1.4	Poisson-Verteilung	110
4.3.1.4.1	Eigenschaft der Poisson Verteilung	111
4.3.1.4.2	Anwendung	111
4.3.1.5	Diskrete Gleichverteilung	112
4.3.1.5.1	Eigenschaft der diskreten Gleichverteilung.	112
4.3.1.5.2	Anwendung	113
4.3.2	Stetige Verteilungsfunktionen.	113
4.3.2.1	Stetige Gleichverteilung	114
4.3.2.1.1	Eigenschaft der stetigen Gleichverteilung.	115
4.3.2.1.2	Anwendung	115
4.3.2.2	Dreiecksverteilung	116
4.3.2.2.1	Eigenschaft der Dreiecksverteilung.	117
4.3.2.2.2	Anwendung	118
4.3.2.3	PERT-Verteilung	118
4.3.2.3.1	Eigenschaft der PERT-Verteilung	121
4.3.2.3.2	Anwendung	122
4.3.2.4	Normalverteilung (Gauß-Verteilung)	122
4.3.2.4.1	Eigenschaft der Normalverteilung	126
4.3.2.4.2	Anwendung	126
4.3.2.5	Logarithmische Normalverteilung (Log-Normalverteilung)	127
4.3.2.5.1	Eigenschaft der Lognormalverteilung	129
4.3.2.5.2	Anwendung	129
4.3.2.6	Exponentialverteilung	129
4.3.2.6.1	Eigenschaft der Exponentialverteilung	131
4.3.2.6.2	Anwendung	131
4.3.2.7	Weibull-Verteilung	131
4.3.2.7.1	Eigenschaften der Weibull-Verteilung	133
4.3.2.7.2	Anwendung	133
4.3.2.8	Gamma-Verteilung	136
4.3.2.8.1	Eigenschaften der Gamma-Verteilung.	137
4.3.2.8.2	Anwendung	137
4.3.2.9	Pareto-Verteilung.	138
4.3.2.9.1	Eigenschaften der Pareto-Verteilung	140
4.3.2.9.2	Anwendung	141

4.3.3	Compound-Verteilung	142
4.3.3.1	Compound-Verteilung ohne Downside-Begrenzung	142
4.3.3.2	Compound-Verteilung mit Downside-Begrenzung	150
4.3.3.3	Versicherung von Schadensfällen	153
4.3.4	Schätzfehler in der Praxis	158
4.3.4.1	Beschreibung der Risiken durch deren Eigenschaft	159
4.3.4.2	Bestimmung der Verteilung für Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. Häufigkeit und Auswirkung	161
4.3.4.3	Bestimmung der Schätzzuverlässigkeit (Shape-Parameter)	162
4.3.4.4	Schätzfehler durch Substitution der originären Verteilung	163
4.3.4.4.1	Normalverteilung	164
4.3.4.4.2	Log-Normalverteilung	167
4.3.4.4.3	Weibull-Verteilung	172
4.3.4.4.4	Dreiecksverteilung	176
4.3.4.5	Multivariate Verteilungen	179
	Literatur	180
5	Risiken in der Unternehmensplanung	183
5.1	Die Unternehmensplanung	184
5.1.1	Ist eine Pandemie ein unplanbares Ereignis?	184
5.1.2	Planungshorizont	186
5.1.2.1	Einjahres-Simulation	187
5.1.2.2	Mehrjahres-Simulation	188
5.1.3	Die Planung, ein Korridor zum Ziel	189
5.1.3.1	Integrierter, risikoadjustierter Planungsprozess	190
5.1.3.2	Risikoadjustierter Betriebsprozess	191
5.1.4	Risikoadjustierter Geschäftsplan	191
5.1.5	Die risikoadjustierte Plan-GuV	193
5.1.5.1	Absolute und relative Risiken eines Planungswerts	196
5.1.5.2	Mehrfachrisiken eines Planungswerts	199
5.1.5.3	Mehrfache absolute und relative Risiken eines Planungswerts	201
5.2	Risiken vor und nach der Maßnahmenumsetzung	204
5.2.1	Risikosteuerung	205

5.2.1.1	Methoden der Risikosteuerung	206
5.2.1.2	Risiken begrenzen oder übertragen	207
	Literatur	209
6	Stochastische Prozesse	211
6.1	Definition	212
6.2	Markow-Prozess	212
6.3	Wiener-Prozess/Brownsche Bewegung	215
6.4	Random Walk	218
6.5	Multi Periode Risk Analysis (MPRA)	222
6.5.1	Der Finanz- oder Projektplan	222
6.5.2	Ein Projekt – ein stochastischer Prozess	223
6.5.3	Konzept der Multi Periode Risk Analysis	225
6.5.3.1	Perioden und „Zeitscheiben“	225
6.5.3.2	Abhängigkeiten von Vorperioden	226
6.5.3.3	Stochastischer Prozess und Random Walk	227
6.5.3.4	Kumulative oder beeinflussende Vererbung	228
6.5.3.5	Lern- und Erfahrungswerte	229
6.5.3.6	Regression zur Mitte	232
	Literatur	233
7	Risikomaße	235
7.1	Einführung in die Welt der KPIs	236
7.1.1	Interpretation von Kennzahlen	237
7.1.2	Absolut ermittelte Kennzahlen	238
7.1.3	Relativ berechnete Verhältniskennzahlen	238
7.1.4	Risikokennzahlen als Frühwarnindikatoren	239
7.2	Risikomaße aus der Statistik	241
7.2.1	Lageabhängige bzw. lageunabhängige Risikomaße	242
7.2.2	Allgemeine Risikomaße aus der Verteilung	243
7.2.2.1	Besondere Werte der Verteilung	243
7.2.2.2	Momente einer Verteilung	245
7.2.3	Spezielle Risikomaße	247
7.2.3.1	Value at Risk (VaR)	247
7.2.3.2	Conditional Value at Risk (CVaR) und Expected Shortfall (ES)	247
7.2.3.3	Deviation Value at Risk ($VaR\Delta$)	248
7.2.3.4	Deviation Conditional Value at Risk (CVaR Δ)	249
7.2.3.5	Length of Tail Ratio (LoT)	249
7.2.4	Performance- bzw. Rendite-Risikokennzahlen	250
7.2.4.1	Risikoadjustierte Rentabilität / Rendite	253
7.2.4.1.1	Risk adjusted Capital (RaC)	254

	7.2.4.1.2	Return on Risk adjusted Capital (RoRaC)	255
	7.2.4.1.3	Risk adjusted Return on Capital (RaRoC)	255
	7.2.4.1.4	Risk adjusted Return on Risk adjusted Capital (RaRoRaC)	256
	7.2.4.1.5	Risk adjusted Return on Capital Employed (RaRoCE)	256
	7.2.5	Risikoindikatoren	257
	7.2.5.1	Risk oriented Budget Reliability (RoBR)	257
	7.2.5.2	Risk oriented Probability of Loss (RoPoL)	258
	7.2.5.3	Risk oriented Probability of Bankruptcy (RoPoB)	259
	Literatur		260
8	Abhängigkeiten modellieren		263
	8.1	Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge abbilden	264
	8.1.1	Ursachen-Wirkungs-Diagramme	264
	8.1.1.1	Ishikawa-Diagramm	265
	8.1.1.2	Bow-Tie-Diagramm	266
	8.1.2	Fehlerbaumanalyse nach DIN 25424	269
	8.2	Korrelationen	277
	8.2.1	Korrelation von Risiken	279
	8.2.1.1	Korrelationsmatrix für neutrale Korrelation	279
	8.2.1.2	Korrelationsmatrix für streng positive Korrelation	280
	8.2.1.3	Korrelationsmatrix für streng negative Korrelation	281
	8.2.1.4	Programmcode für die einzelnen Korrelationsszenarien	282
	8.2.2	Aggregieren von Risiken als Vektoraddition	284
	8.2.3	Korrelation im Risikomanagement	289
	8.3	Copulas	291
	8.3.1	Konzept der Copula	291
	8.3.1.1	Transformation gleichverteilter Zufallszahlen in eine kumulative Dichtefunktion	292
	8.3.1.2	Erstellen der Copula-Funktion	292
	8.3.2	Ermitteln der multivariaten Verteilung mit ihren beliebigen Randverteilungen	295
	Literatur		297

9	Sensitivitätsanalyse in der Praxis	301
9.1	Zweck	302
9.2	Kritische Betrachtung der Sensitivitätsanalyse	302
9.3	Verfahren der Sensitivitätsanalyse	304
9.3.1	Beispielannahme	304
9.3.2	Der gerichtete Zusammenhang – Regression	304
9.3.3	Die Kraft der Kopplung – Korrelation	309
9.3.4	Visualisierung der Sensitivität	309
	Literatur	312
10	Simulation und Optimierung von Maßnahmen	313
10.1	Inhärentes Risiko, Ziel- und Restrisiko	314
10.2	Maßnahmenwirkung	315
10.2.1	Nettonutzen der Maßnahme	316
10.3	Maßnahmeneffizienz	317
10.4	Optimierung von Maßnahmen	317
11	Fallstudien	319
11.1	Einführung in die Fallstudien	320
11.2	Bandbreitenplanung in der Praxis	321
11.2.1	Einjahres-Simulation	323
11.2.2	Mehrjahres-Simulation	333
11.2.3	Auswertung und Aufbereitung von Kennzahlen	335
11.2.4	Simulation mehrphasiger Projekte	347
11.2.4.1	Projektplanung	347
11.2.4.2	Multi Period Risk Analysis (MPRA)	348
11.2.4.3	Einfluss der Regression zur Mitte	358
11.2.4.4	Einfluss des Reifegrads der Projektorganisation	359
11.2.4.5	Einfluss möglicher Projektstopps – Dead-Ends	362
11.3	Simulation eines Betriebsunterbrechungsszenarios	363
11.3.1	Einführung	363
11.3.2	Parametrisierung der Risiken	365
11.3.3	Ergebnis der Simulation	367
11.3.4	Simulation von Maßnahmen	370
11.4	Simulation von Rohstoffpreisvolatilitäten	375
11.4.1	Rohstoff-Cashflow-Exposure	375
11.4.2	Rohstoffpreisrisiken der RiskNET Inntal AG	377
11.4.3	Zeitreihenanalyse der Dieselpreisentwicklung	378
11.4.4	EBT@Risk	381
11.4.5	Schwankung der Bedarfsmengen	382
11.4.6	Berücksichtigung von Währungsrisiken	383

11.5	Stochastische Investitionssimulation in der Praxis	389
11.5.1	„Best Guess“-Annahmen in der klassischen Investitionsrechnung	389
11.5.2	Berücksichtigung von Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen	392
11.5.3	Stochastische Investitionssimulation	393
11.5.4	Unsichere Parameter und potenzielle Maßnahmensimulation	397
11.5.5	Maßnahmensimulation zur Optimierung von Investitionsentscheidungen	399
11.6	Simulation von Informationssicherheitsrisiken	406
11.6.1	Stochastische Simulation	408
11.6.1.1	Business Impact Analyse	408
11.6.1.2	Verknüpfung von aggregierten Zuverlässigkeitswerten	411
11.6.1.3	Aggregation von IT-Risiken	414
11.6.2	Simulation Cyberangriff (Mærsk-Szenario)	417
11.6.2.1	Hintergrund zum Not-Petya-Angriff	417
11.6.2.2	Parameter für Szenario-Simulation	418
11.6.2.3	Ergebnis der Simulation	420
11.6.2.4	Simulation von Maßnahmen	421
	Literatur	427
12	Einführung in R	429
12.1	Download und Installation von R	430
12.2	Die wichtigsten R-Befehle im Überblick	430
	Literatur	437
	Stichwortverzeichnis	445

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Unterschiedliche Grade von Unsicherheit	19
Abb. 3.1	Risiken als mögliche Planabweichung.	26
Abb. 3.2	Kostenverlauf – Restrisiko und Risikoakzeptanz.	29
Abb. 3.3	Der Regelkreis des Risikomanagements	30
Abb. 3.4	Gleichverteiltes Schwankungsrisiko	32
Abb. 3.5	Ungleichverteiltes Schwankungsrisiko	32
Abb. 3.6	Gleichverteiltes Ereignisrisiko	33
Abb. 3.7	Ungleichverteiltes Ereignisrisiko	34
Abb. 3.8	Bernoulli-verteilte Häufigkeit.	37
Abb. 3.9	Poissonverteilte Häufigkeit.	38
Abb. 3.10	Monte Carlo Integration am Beispiel der Zahl- π	41
Abb. 3.11	Mittelwert, Median und Modus in einer PERT-Verteilung.	47
Abb. 3.12	Rechtsschiefe PERT-Verteilung (linkssteil, rechtsschief, positive Schiefe bzw. Skewness)	48
Abb. 3.13	Linksschiefe PERT-Verteilung (rechtssteil, linksschief, negative Schiefe bzw. Skewness)	48
Abb. 3.14	Veränderung des Zusammenhangs durch Änderung der Steigung	50
Abb. 3.15	Lineare Korrelation	51
Abb. 3.16	Nichtlineare Korrelation.	52
Abb. 3.17	Illustration von Ereignissen & Wahrscheinlichkeiten	53
Abb. 3.18	Wahrscheinlichkeitsbaum.	54
Abb. 3.19	Interferenzstatistik im 16. Jahrhundert.	56
Abb. 4.1	Risikomatrix	69
Abb. 4.2	Risikoprofil bzw. Risikospur in der Matrix	70
Abb. 4.3	In Excel ermitteltes Risikoprofil des Risikos „Hochwasser“ R_1 bis R_7	73
Abb. 4.4	Transformation eines Risikos aus der Risikomatrix in eine Risiko-Dichteverteilung	74
Abb. 4.5	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion eines Risikos	75

Abb. 4.6	Punktschätzung eines in der Zukunft liegenden Wertes	76
Abb. 4.7	3-Punkt Schätzung	77
Abb. 4.8	5-Punkt Schätzung	79
Abb. 4.9	Besonderheit einer Mehrpunktschätzung	80
Abb. 4.10	Schätzung von Szenarien	81
Abb. 4.11	Verteilungs- vs. Dichtefunktion diskreter Verteilungen	83
Abb. 4.12	Verteilungs- vs. Dichtefunktion stetiger Verteilungen	84
Abb. 4.13	Gleichverteilte Bandbreite	86
Abb. 4.14	Dreiecksverteilte Bandbreite	87
Abb. 4.15	Symmetrisch verteilte Bandbreite	88
Abb. 4.16	Rechtsschief verteilte Bandbreite	89
Abb. 4.17	Linksschiefe verteilte Bandbreite	90
Abb. 4.18	Überdeckung Modus-Modus	91
Abb. 4.19	Überdeckung Median-Modus	91
Abb. 4.20	Analytics-Reifegradstufen [basierend auf Gartner]	95
Abb. 4.21	Zeitreihe des Passagieraufkommens von 1949 bis 1960	96
Abb. 4.22	Zerlegung der Zeitreihe des Passagieraufkommens	98
Abb. 4.23	Forecast auf Basis einer exponentiell geglätteter Zeitreihe	99
Abb. 4.24	Überprüfung der Prognose	100
Abb. 4.25	Wahrscheinlichkeitsfunktion der Binomialverteilung mit $n = 10$ und $p = 0,5$	105
Abb. 4.26	Beispiel einer Bernoulli-Verteilung mit $n = 1$ und $p = 0,2$	107
Abb. 4.27	Beispiel einer geometrischen Verteilung mit $p = 1/6$	109
Abb. 4.28	Beispiel einer Poisson-Verteilung $\lambda = 0,5$	111
Abb. 4.29	Diskrete Gleichverteilung	113
Abb. 4.30	stetig Gleichverteilung	114
Abb. 4.31	Dreiecksverteilung	116
Abb. 4.32	Rechtsschief verteilte PERT-Verteilung	119
Abb. 4.33	Linksschief verteilte PERT-Verteilung	119
Abb. 4.34	Beschreibung der Schätzzuverlässigkeit durch den Shape-Parameter	123
Abb. 4.35	Normalverteilung (Gauß-Verteilung) mit $\mu = 0$ und $\sigma = 1$	125
Abb. 4.36	Lognormalverteilung mit $\mu = 1$ und $\sigma = 1$	127
Abb. 4.37	Beziehung einer Normalverteilung und Log-Normalverteilung	128
Abb. 4.38	Exponentialverteilung mit $\lambda = 1$	130
Abb. 4.39	Bedeutung des Formparameters der Weibull-Verteilung	132
Abb. 4.40	Besondere Formparameter der Weibull-Verteilung	133
Abb. 4.41	Ausfallrate von Anlagen und Systemen	135
Abb. 4.42	Variation des Shape-Parameters der Gamma-Verteilung	137
Abb. 4.43	Wahrscheinlichkeitsdichte der Pareto-Verteilung	139
Abb. 4.44	Kumulative Verteilungsfunktion der Pareto-Verteilung ($k = 1, 2, 5, 10, 50, 100.000$)	140

Abb. 4.45	Häufigkeits- und Auswirkungsverteilung des Ereignisses	145
Abb. 4.46	Ereignis mit einer PERT-verteilten Auswirkung	145
Abb. 4.47	Eingangsverteilungen in die Compound-Funktion.	147
Abb. 4.48	Poisson-Ereignis mit einer PERT-verteilten Auswirkung	148
Abb. 4.49	Begrenzung eines Rohstoff-Risikos durch Hedging	151
Abb. 4.50	Schadensverlauf eines Bernoulli-verteilten Ereignisrisikos mit Selbstbehalt.	153
Abb. 4.51	Schadensverlauf eines Poisson-verteilten Ereignisrisikos mit Eigenbeteiligung	156
Abb. 4.52	Entscheidungsbaum zu Bestimmung der Verteilung für Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. Häufigkeit	160
Abb. 4.53	Entscheidungsbaum zur Bestimmung der Auswirkungsverteilung . . .	162
Abb. 4.54	Substitution der Normalverteilung durch eine Dreiecksverteilung . . .	163
Abb. 4.55	Schätzfehler bei der Standard-Normalverteilung ($\mu = 0, \sigma = 1$)	165
Abb. 4.56	Schätzfehler bei der Standard-Normalverteilung ($\mu = 0, \sigma = 1,5$)	166
Abb. 4.57	Schätzproblematik bei der Log-Normalverteilung.	168
Abb. 4.58	Schätzfehler Log-Normalverteilung ($\mu = 1, \sigma = 0,5$)	170
Abb. 4.59	Schätzfehler Log-Normalverteilung ($\mu = 1, \sigma = 1$)	172
Abb. 4.60	Parameter der der Weibull-Verteilung	174
Abb. 4.61	Schätzfehler Weibull-Verteilung.	175
Abb. 4.62	Schätzfehler Dreiecksverteilung ($a = 1, b = 8, c = 3$).	177
Abb. 4.63	Schätzfehler Dreiecksverteilung ($a = 1, b = 12, c = 3$).	177
Abb. 5.1	Reifegrade im Risikomanagement-Prozess	187
Abb. 5.2	Integrierer Planungsprozess von Controlling und Risikomanagement	190
Abb. 5.3	Phänomen der Prognoseunsicherheit	192
Abb. 5.4	Struktur der Gewinn- und Verlustrechnung nach § 265 und § 275 HGB (Das Handelsgesetzbuch (HGB) behandelt das Handelsrecht in Deutschland.) (Deutschland) und § 231 UGB (Das Unternehmensgesetzbuch (UGB) behandelt in Österreich das Unternehmensrecht.) (Österreich)	194
Abb. 5.5	Bow-Tie-Diagramm COVID-19-Pandemie mit beispielhaften Ursachen und Wirkungen	194
Abb. 5.6	Pandemierelevante Umsatzrisiken	195
Abb. 5.7	Absolute und relative Risiken eines Planwerts.	196
Abb. 5.8	Simulation absoluter und relativer Risiken	197
Abb. 5.9	Mehrfachrisiken eines Planwertes	199
Abb. 5.10	Mehrfachrisiken eines Planungswerts	199
Abb. 5.11	Mehrfachrisiken aus absoluten und relativen Risiken	202
Abb. 5.12	Varianten für die Mischung absoluter und relativer Risiken an einem Planwert	205

Abb. 5.13	Die Stufen der Risikosteuerung	206
Abb. 5.14	Maßnahmenwirkung durch Begrenzung	208
Abb. 6.1	Markow-Kette erster Ordnung für eine einfache Wettervorhersage. . .	214
Abb. 6.2	Wiener Prozess über 100 Zeitperioden in 20 Schritten	217
Abb. 6.3	Drunkard's Walk, der 1-dimensionale „Random Walk“ eines Betrunkenen	218
Abb. 6.4	Drunkard's Walk, der 2-dimensionale Weg eines Betrunkenen	220
Abb. 6.5	Der Random Walk zum Ziel.	223
Abb. 6.6	Lebenszyklus eines Projektes.	224
Abb. 6.7	Eine Periode bzw. Zeitscheibe	226
Abb. 6.8	Aufeinanderfolgende, abhängige Perioden	227
Abb. 6.9	MPRA-modifizierter Random Walk in zwei aufeinanderfolgenden Perioden	228
Abb. 6.10	Beispiel einer geringen Kopplung	229
Abb. 6.11	Reifegrad-abhängige logarithmische Lernkurve	230
Abb. 6.12	Reifegradmodell für Projektmanagement.	231
Abb. 6.13	Prinzip der Regression zur Mitte	233
Abb. 7.1	Lageabhängige bzw. lageunabhängige Risikomaße.	242
Abb. 7.2	Minimum, Maximum, Modus und Median einer Verteilung	244
Abb. 7.3	besondere Quantile einer Verteilung.	244
Abb. 7.4	Spezielle Risikomaße	248
Abb. 7.5	Length of Tail Ratio (LoT)	250
Abb. 7.6	Wertpapierlinien für Risiko 1–3.	251
Abb. 7.7	Wertpapierlinien unter Risiko.	252
Abb. 7.8	Risc Adjusted Capital (RaC)	255
Abb. 7.9	Risk oriented Budget Reliability (RoBR)	258
Abb. 7.10	Risk oriented Probability of Loss (RoPoL)	259
Abb. 7.11	Risk oriented Probability of Bankruptcy (RoPoB).	260
Abb. 8.1	Einfache Infrastruktur für eine elektronische Banktransaktion	265
Abb. 8.2	Ursache-Wirkungs-Diagramm	266
Abb. 8.3	Bow-Tie-Diagramm	267
Abb. 8.4	Bow-Tie-Diagramm zu „Kein Kaffee aus der Kaffeemaschine“	270
Abb. 8.5	Fehlerbaum am Beispiel einer IT-Infrastruktur	273
Abb. 8.6	UND-Verknüpfung im Fehlerbaum	274
Abb. 8.7	ODER-Verknüpfung im Fehlerbaum	274
Abb. 8.8	Neutrale Korrelation von V1, V2, V3 in V4.	280
Abb. 8.9	Streng positive Korrelation von V1, V2, V3 in V4.	281
Abb. 8.10	Streng negative Korrelation von V1, V2, V3 in V4	282
Abb. 8.11	Ableitung der Korrelation aus dem Satz von Pythagoras.	286
Abb. 8.12	VaR-Vektoren als Funktion des Korrelationskoeffizienten	287
Abb. 8.13	TriRisk Watch.	287
Abb. 8.14	Auswirkung der Abhängigkeiten am aggregierten Gesamtrisiko.	290

Abb. 8.15	Transformation gleichverteilter in normal- bzw. PERT-verteilte Stichproben	293
Abb. 8.16	Korrelation zweier normalverteilter Zufallsvariablen	293
Abb. 8.17	Gleichverteilte und in Beziehung stehender Funktionen F	296
Abb. 8.18	Erzeugte Randverteilungen	297
Abb. 9.1	Ziel- und Einflussgrößen	305
Abb. 9.2	Regression der unabhängigen Einflussgrößen zur aggregierten Zielgröße	307
Abb. 9.3	Abhängig bzw. unabhängig aggregierte Zielgröße.	310
Abb. 9.4	Regression der abhängigen Einflussgrößen zur aggregierten Zielgröße	311
Abb. 9.5	Einfaches Tornado-Diagramm	312
Abb. 10.1	Inhärentes Risiko, Ziel- und Restrisiko	314
Abb. 10.2	Kosten-Nutzenverlauf einer Maßnahme.	315
Abb. 10.3	Kosten-Nutzenprofil einer Maßnahme.	318
Abb. 11.1	Pan-GuV der BDC im Planungshorizont	322
Abb. 11.2	Verallgemeinerte Berechnungslogik.	324
Abb. 11.3	Simulationsergebnis für das EBT (Earnings before Tax) der BDC	325
Abb. 11.4	Mehrjahressimulation 2021 bis 2024.	334
Abb. 11.5	4-Jahresplanung 2021 bis 2024	335
Abb. 11.6	In Excel exportierte Kennzahlen	336
Abb. 11.7	Random Walks durch alle 5 Projektphasen	349
Abb. 11.8	Querschnittsverteilung der Projekterrichtungskosten (Projektphase 4)	350
Abb. 11.9	Querschnittsverteilung vor der Projektablöse (Projektphase 4)	350
Abb. 11.10	Einfluss der Regression zur Mitte.	360
Abb. 11.11	Reifegrade der Projektorganisation	361
Abb. 11.12	Projektverlauf mit dem Einfluss von Projektstopps	362
Abb. 11.13	Querschnittsverteilungen mit Betrachtung der Projekt-Stopps	363
Abb. 11.14	Abbildung der Häufigkeit (Brand) mit einer Poisson-Verteilung ($\lambda = 0,05$).	365
Abb. 11.15	Abbildung des Betriebsunterbrechungsszenarios basierend auf einer PERT-Verteilung (Brand)	366
Abb. 11.16	Abbildung des Sachschadenszenarios basierend auf einer PERT-Verteilung (Brand)	366
Abb. 11.17	Abbildung des Betriebsunterbrechungsszenarios basierend auf einer PERT-Verteilung (Stromunterbrechung)	367
Abb. 11.18	Betriebsunterbrechung Szenario 1: Brand	368
Abb. 11.19	Betriebsunterbrechung Szenario 2: Stromunterbrechung.	369
Abb. 11.20	Szenarien der Betriebsunterbrechungs-Versicherung.	371
Abb. 11.21	Dieselpreis: Zeitreihe und Prognose.	379
Abb. 11.22	Verteilung möglicher Ausgaben für Diesel	380

Abb. 11.23	EBT@Risk der RiskNET Inntal AG für 2021	381
Abb. 11.24	EBT@Risk der RiskNET Inntal AG für 2021 mit volatilen Dieselverbrauch	382
Abb. 11.25	Szenario der Russlandtouren ohne Währungsrisiken	383
Abb. 11.26	Szenario der Russlandtouren mit Währungsrisiken	384
Abb. 11.27	Vorgehen bei der klassischen Investitionsrechnung	390
Abb. 11.28	Unsicherheiten mit Verteilungsfunktionen abbilden	393
Abb. 11.29	Kenngrößen der stochastischen Investitionssimulation	394
Abb. 11.30	Eingangsverteilungen für die Investitionsrechnung	395
Abb. 11.31	Ergebnis der stochastischen Investitionssimulation	396
Abb. 11.32	Prozess einer simulationsbasierten Investitionsrechnung	397
Abb. 11.33	Simulation der Maßnahmenszenarien	398
Abb. 11.34	Aggregation von Informationssicherheitsrisiken	407
Abb. 11.35	Zugrunde gelegter Schadensverlauf einer BIA	411
Abb. 11.36	Risikobeurteilung	413
Abb. 11.37	Aggregation IT-relevanter Risiken im Unternehmen	415
Abb. 11.38	IT-Risiken als Ursachen in einem Bow-Tie-Diagramm	416
Abb. 11.39	Poisson-Verteilungen für die Modellierung der Häufigkeiten	420
Abb. 11.40	PERT-Verteilung für die Modellierung der Wirkungseffekte auf das EBIT.	420
Abb. 11.41	EBIT-Effekt ohne Cyberversicherung	421
Abb. 11.42	EBIT-Effekte mit Versicherungsmodelle 1–3.	422
Abb. 12.1	Screenshot der Entwicklungsumgebung RStudio	431

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1	Zugangsdaten für R-Beispielcode	4
Tab. 2.1	Bekanntes, unbekanntes Wissen und Unwissen	17
Tab. 3.1	Erwarteter Fehleranteil bei Six Sigma unter Berücksichtigung einer Mittelwertverschiebung um $1,5 \sigma$	43
Tab. 4.1	Metrik der Auswirkungen eines Hochwasserrisikos	72
Tab. 4.2	Metrik der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwasserrisikos	73
Tab. 4.3	Eigenschaft der Binomialverteilung	106
Tab. 4.4	Eigenschaft der Bernoulli-Verteilung	107
Tab. 4.5	Eigenschaft der geometrischen Verteilung	109
Tab. 4.6	Eigenschaft der Poisson Verteilung	112
Tab. 4.7	Eigenschaft der geometrischen Verteilung	113
Tab. 4.8	Eigenschaft der stetigen Gleichverteilung	116
Tab. 4.9	Eigenschaft der Dreiecksverteilung	118
Tab. 4.10	Eigenschaft der PERT-Verteilung	121
Tab. 4.11	Einstufungsleitfaden für den Shape-Parameter	125
Tab. 4.12	Eigenschaft der Normalverteilung	126
Tab. 4.13	Eigenschaft der Lognormalverteilung	129
Tab. 4.14	Eigenschaft der Exponentialverteilung	131
Tab. 4.15	Eigenschaft der Weibull-Verteilung	133
Tab. 4.16	Eigenschaft der Gamma-Verteilung	137
Tab. 4.17	Eigenschaft der Pareto-Verteilung	141
Tab. 9.1	Vorteile und Grenzen der Sensitivitätsanalyse	303
Tab. 9.2	Steigung der Regressionsgeraden mit $\rho = 0$	307
Tab. 9.3	Steigung der Regressionsgeraden mit $\rho = 0,5$	311
Tab. 11.1	Von den Fachexperten identifizierten Risiken der BDC	326
Tab. 11.2	Von den Fachexperten bewertete Risiken der BDC	327
Tab. 11.3	Projektkosten, Projekterträge, Unsicherheiten und Risikoakzeptanz	348
Tab. 11.4	Parameter für Betriebsunterbrechungsszenario (Ramp-Up-Prozess sowie Sachschaden nach Brand)	364

Tab. 11.5	Parameter für Betriebsunterbrechungsszenario (Ramp-Up-Prozess nach Stromunterbrechung)	365
Tab. 11.6	Parameter der Betriebsunterbrechungsversicherung	370
Tab. 11.7	Definition der Rohstoffpreis-Exposures	376
Tab. 11.8	Geplante Verbrauchsmengen Diesel in Litern	377
Tab. 11.9	Plan-GuV der RiskNET Inntal AG	378
Tab. 11.10	Dieselpreisprognose für den Zeitraum Januar bis Dezember 2021	380
Tab. 11.11	Parameter für Investitionsvorhaben der RiskNET Inntal AG	391
Tab. 11.12	Unterschiedliche Szenarioergebnisse liefern keine Grundlage für fundierte Investitionsentscheidung	392
Tab. 11.13	Parameter der stochastischen Investitionssimulation (PERT-Verteilung)	394
Tab. 11.14	Wirkung der geplanten Maßnahmen auf die Investition	400
Tab. 11.15	Zuordnung der Zuverlässigkeitswerten zu Kennzahlen	412
Tab. 11.16	Parameter für „NotPetya“-Szenario	419
Tab. 11.17	Verteilungs-Parameter für „NotPetya“-Szenario (Poisson-Verteilung und PERT-Verteilung)	419
Tab. 11.18	Parameter der Cyberversicherungen	421
Tab. 11.19	Effizienz der Cyberversicherungen	423
Tab. 12.1	Zuweisungsoperatoren	432
Tab. 12.2	Arithmetische Operatoren	432
Tab. 12.3	Vergleichsoperatoren	432
Tab. 12.4	Logik Operatoren	433
Tab. 12.5	Steuerbefehle und Schleifen	433
Tab. 12.6	Darstellung von Grafiken	434
Tab. 12.7	Parameter für Farben und Beschriftungen der Grafik	435



Zusammenfassung

Dieses Buch liefert Ihnen keine weitere „Einführung in die Grundlagen der Statistik“. Sie müssen sich nicht durch komplexe Formeln, theoretische Modelle und meterlange Beweise quälen. Unser Buch hat einen anderen Zugang gewählt, um Sie in das spannende Thema der Stochastik und Simulation einzuführen. Unser Ziel war es, eine gute Mischung zwischen einer Einführung in die Grundlagen der Statistik und einer konkreten Anwendung in Form von Fallbeispielen in der kostenfreien Statistik-Programmumgebung „R“ zu finden. Insbesondere die aus der Praxis übernommenen Fallbeispielen am Ende des Buches liefern Ihnen Anregungen, wie konkrete Fragestellungen aus der Praxis mit Hilfe von „R“ umgesetzt werden können. Im ersten Kapitel liefern wir Ihnen eine grobe Übersicht über die Gliederung des Buches. Die weiteren neun Kapitel liefern Ihnen in einer klaren Struktur eine Einführung oder ggf. auch eine Wiederholung von bereits Gelerntem als Basis für die Anwendung konkreter Fallbeispiele. Für in Statistik und Stochastik bereits erfahrene Leser und Profis würden wir mit den ersten neun Kapiteln voraussichtlich „Eulen nach Athen“ tragen. Sie können diese durchaus auch überspringen und sich direkt auf die Fallbeispiele konzentrieren oder nur einzelne Kapitel isoliert vertiefen.

1.1 Aufbau des Buches

Das Buch gliedert sich in insgesamt 12 Kapitel. Nach dieser kurzen Einführung bietet das **Kap. 2** eine „Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls“.

Das anschließende **Kap. 3** liefert relevante **Definitionen einiger Grundbegriffe**, die für das Verständnis der nachfolgenden Kapitel wesentlich sind. Hierbei werden auch die Grundbegriffe der deskriptiven Statistik sowie der Inferenzstatistik überblicksartig erläutert.

Kap. 4 setzt sich mit der **Beschreibung von Risiken und Chancen in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen** auseinander. Hierbei stellen wir die wesentlichen diskreten und stetigen Verteilungsfunktionen vor.

Das anschließende **Kap. 5** beschäftigt sich mit der **Abbildung von Risiken im Rahmen der Unternehmensplanung**. Hierbei skizzieren wir den Weg einer risiko-adjustierten Plan-Gewinn- und Verlustrechnung.

Mit **stochastischen Prozessen** setzt sich das anschließende **Kap. 6** auseinander und beschreibt die für die Praxis wesentlichen Zufallsprozesse.

Kap. 7 zeigt auf, wie die wesentlichen **Risiko- und Performancemaße** mithilfe statistischer Werkzeuge berechnet werden können.

Auf die **Modellierung von Abhängigkeiten** geht das anschließende **Kap. 8** ein. Hierbei beschreiben wir drei mögliche Weg, wie diese Abhängigkeiten berücksichtigt werden können (Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, Korrelationen sowie Copulas).

Im **Kap. 9** beschreiben wir den Einsatz der **Sensitivitätsanalyse** im Risikomanagement.

Das **Kap. 10** setzt sich mit der **Optimierung von Maßnahmen** auseinander.

Kap. 11 enthält diverse **Fallstudien**, die wir Ihnen im R-Code als interaktive Lernobjekte zur Verfügung stellen. So können statistische Verfahren basierend auf konkreten Fallstudien „ausprobiert“ werden.

Das Buch schließt im **Kap. 12** mit einer kurzen Einführung in R ab.

1.2 Programmversionen von R

Die Beispiele im Buch wurden mit R 4.0.3 für Windows (64 bit) erstellt. Wir empfehlen allen Lesern, immer die aktuelle Version von **R** zu verwenden. Dann können Sie sicher sein, dass auch bei den Erweiterungspaketen (Packages) immer die aktuellste Version verfügbar ist.

Die aktuelle Version von **R** kann hier heruntergeladen werden: <https://cloud.r-project.org/>
Weitere Informationen zu **R** sowie eine kurze Einführung ist in **Kap. 12** zu finden.

1.3 Hinweise zur Nutzung des R-Codes

1.3.1 Nutzungsvereinbarung

Bitte lesen Sie diese Nutzungsvereinbarung über nachfolgende **R**-Beispielprogramme sorgfältig durch, bevor Sie den Programmcode oder Teile der Programme verwenden. Mit dem Herunterladen der **R**-Beispielprogramme erklären Sie sich mit den Bedingungen dieser Vereinbarung einverstanden. Wenn Sie mit den Bedingungen dieser Vereinbarung nicht einverstanden sind, laden Sie diese Beispiele nicht herunter oder nutzen Sie diese nicht.

1.3.2 Lizenz zur Nutzung der Programmbeispiele

Die Autoren des Buches „Stochastische Szenariosimulation in der Unternehmenspraxis“ gewähren Ihnen ein widerrufliches, nicht exklusives, nicht übertragbares und eingeschränktes Recht zum Herunterladen, Installieren und Verwenden der Programmbeispiele, ausschließlich für Ihre persönlichen, nicht-kommerziellen Zwecke in strikter Übereinstimmung mit den Bedingungen dieser Vereinbarung. Alle Programmbeispiele dienen ausschließlich der Möglichkeit, Inhalte des Buches „Stochastische Szenariosimulation in der Unternehmenspraxis“ nachzuvollziehen und für Übungszwecke selbst anzupassen.

1.3.3 Beschränkungen der Nutzung

Sie verpflichten sich, die Beispielprogramme nicht zu verkaufen, zu vermieten, zu verleasen, abzutreten, zu vertreiben, zu übertragen, zu hosten, auszulagern, offenzulegen oder anderweitig kommerziell zu nutzen oder die Programme als Ganzes oder in Teilen Dritten zur Verfügung zu stellen.

1.3.4 Änderungen an der Anwendung

Die Autoren des Buches „Stochastische Szenariosimulation in der Unternehmenspraxis“ behalten sich das Recht vor, die Beispielprogramme oder Teile davon, mit oder ohne Vorankündigung und ohne Haftung Ihnen gegenüber zu ändern, auszusetzen oder vorübergehend oder dauerhaft einzustellen. Anregungen für Erweiterungen oder weiterführende Programmbeispiele sind herzlich willkommen und werden der Leserschaft des Buches unter Nennung des Urhebers gerne kostenfrei zum Download bereitgestellt.