

Modellvalidierung - Eine Blaupause

André Miemiec*

17. Dezember 2021

Zusammenfassung

English: In this article we present a blue print for a model validation framework. The aim is the design of a risk class independent approach, such that the model validation framework can be equally rolled out over all model dependent functions of a bank. The focus is on structural considerations.

German: In diesem Artikel stellen wir eine Blaupause für ein Modellvalidierungsframework vor. Ziel ist die Entwicklung eines risikoklassenunabhängigen Ansatzes, so dass das Modellvalidierungsframework gleichermaßen auf alle modellabhängigen Bankfunktionen ausgeweitet werden kann. Der Schwerpunkt liegt auf strukturellen Überlegungen.

Keywords: Model Validation, Process Design, Workflow, Status

*Kontaktadresse: FRAME Consulting GmbH, Gabriel-Max-Str. 12, 10245 Berlin. E-mail: andre.miemiec@frame-consult.de

1 Vorwort

Dieser Artikel beabsichtigt, eine selbstkonsistente Darstellung aller wesentlichen Aspekte eines Modellvalidierungsframeworks zu geben. Dazu gehört insbesondere die Strukturanalyse des Aufbaus eines Modellvalidierungsframeworks und eine Ableitung einer dazu passenden Dokumentenstruktur. Das Hauptziel dieses Beitrags besteht darin, eine Blaupause für die Umsetzung eines Modellvalidierungsframeworks zu liefern. Ein Nebenziel besteht darin zu demonstrieren, daß die Anforderungen an eine Modellvalidierung bei geeigneter Vorstrukturierung mit einem überschaubaren Aufwand erfüllt werden können. Dies gilt um so mehr, je einfacher das Geschäft einer Bank ist.

2 Modellvalidierungsframework

In Banken finden Modelle unterschiedlichster Natur eine Anwendung. Herausgehobene Beispiele sind Scoringverfahren im Kreditrisiko, Value-at-Risk-Modelle in der Marktpreisrisikomessung oder Modelle zur Bestimmung von Barwerten. Dementsprechend sind die Validierungsobjekte z.B. Methoden, Produkte oder Bewertungsfunktionen. Allerdings ist das konkrete Vorgehen zur Analyse eines Validierungsobjekts von Fall zu Fall verschieden. Diese Polymorphie der Validierungsobjekte muß sich in einem geeigneten Aufbau des Modellvalidierungsframeworks widerspiegeln.

Das grundsätzliche Modellvalidierungsframework entspricht Abbildung 1. Das allgemeine Diagramm spiegelt den Kreislauf von Validierung, Ableitung von Findings und der Korrektur der Findings wieder. Das Diagramm ist in dieser Form noch sehr abstrakt, und muß durch ein konkretes Framework ausdefiniert werden. Das Framework besteht aus einem separaten Modellvalidierungsprozess und einem separaten Korrekturprozess, die sinnvoll miteinander verzahnt werden müssen.

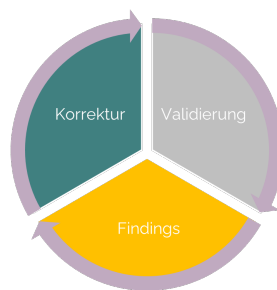


Abbildung 1: Modellvalidierungsframework bestehend aus einem Modellvalidierungs- und einem Korrekturprozeß. Die ersten beiden Segmente (Validierung und Findings) gehören zum Modellvalidierungsprozeß. Das dritte Segment (Korrektur) zum Korrekturprozeß.

In dem Rest dieses Abschnitts soll die Struktur eines Modellvalidierungsframeworks deshalb so konzipiert werden, daß sich daraus eine mit der eingangs angesprochenen Polymorphie der Validierungsobjekte kompatible Realisierung des Modellvalidierungsframeworks auf Dokumentenebene ableiten läßt.

Modellvalidierungs- und Korrekturprozeß: Die Frage, wie eine Dokumentenstruktur eines Modellvalidierungsframeworks auszulegen ist, orientiert sich einerseits an den prozessualen Erfordernissen und andererseits an einer Trennung in statische und dynamische Dokumente. Die Trennung in statische und dynamische Dokumente unterstützt die Abbildbarkeit der oben beschriebenen Polymorphie der Validierungsobjekte. Durch eine geeignete Reflexion dieser Polymorphie auf der Dokumentenebene wird einerseits eine strukturelle Vereinheitlichung der Dokumentation bewirkt, die sich ihrerseits in einer Reduktion des mit der Modellvalidierung verbundenen Pflegeaufwands auswirkt.

In Abbildung 2 ist eine Konkretisierung des Modellvalidierungsframeworks aus Abbildung 1 dargestellt. Die Verbindung zu dem Diagramm aus Abbildung 1 ist farbig dargestellt.

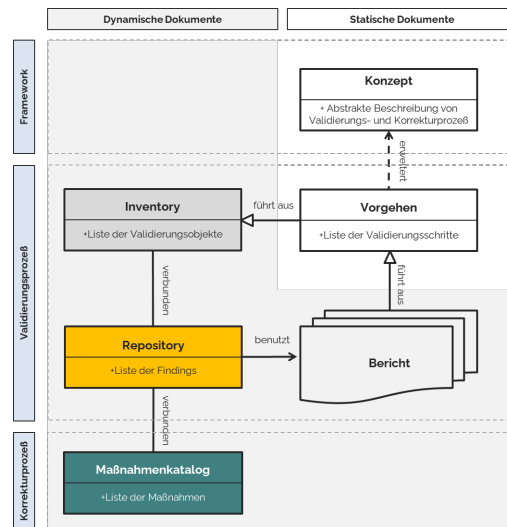


Abbildung 2: Detaillierung von Abbildung 1 in eine Dokumentenstruktur zur Abbildung des Modellvalidierungs- und Korrekturprozesses.

Eine Voraussetzung für den Durchlauf eines Modellvalidierungsprozesses ist die Existenz eines Inventars aller relevanten Validierungsobjekte (Inventory). Das Inventar wird hier als vollständig vorausgesetzt¹. Jedes Validierungsobjekt besitzt einen Status, der sich aus den Status aller zu dem Validierungsobjekt

¹Die regelmäßige Vervollständigung eines Inventars ist ein Compliance-Regelprozess, der hier nicht betrachtet wird.

gehörenden Findings², die in dem Repository verzeichnet sind, ableitet. Die Befüllung des Repositories erfolgt mit den möglichen Findings aus den Modellvalidierungsberichten. Existieren (noch) keine Findings, so nimmt der Status des Validierungsobjekts einen Defaultwert an.

Der Aufriß aus Abbildung 2 legt eine Trennung der Modellvalidierungsdokumente in Konzept, Vorgehen und Bericht (inklusive Maßnahmenempfehlung) nahe. Dabei wird das Vorgehen als ein eigenes Dokument aufgefaßt, das das Konzept modellspezifisch erweitert.

In der Praxis beobachtet man häufig, daß beim Aufbau der Dokumentenstruktur die Trennung zwischen Konzept und Vorgehen umgangen wird. Gerade diese Trennung erlaubt es aber, das Framework über alle Validierungsobjekte einheitlich auszurollen und so sinnvolle modellspezifische Arbeitsanweisungen für die Durchführung der Modellvalidierung auf der Ebene eines modellspezifischen Vorgehensmodells aufzustellen.

Ein weiterer Punkt ist die Verbindung der Findings des Modellvalidierungsprozesses mit den Maßnahmen des Korrekturprozesses. Zu jedem Finding gehört mindestens eine Maßnahmenempfehlung (1:N). Wie aus einer Maßnahmenempfehlung des Modellvalidierungsprozesses eine Maßnahme des Korrekturprozesses wird (N:M), ist ein klassisches prozessuales Schnittstellenthema. Eine Separierung der beiden Prozesse ist schon alleine deshalb sinnvoll, weil die Entscheidung über durchzuführende Maßnahmen auf Basis der Empfehlungen aus den Modellvalidierungsberichten die Einbindung weiterer OEs (z.B. Fachowner, umsetzende Instanz) außerhalb der Modellvalidierung erfordert.

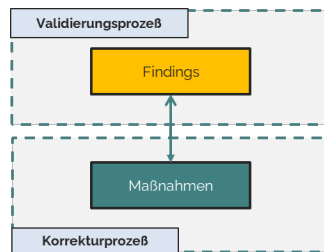


Abbildung 3: Schnittstelle zwischen dem Modellvalidierungs- und dem Korrekturprozess

Für den Korrekturprozess ist es daher prozessual sauber, die festgelegten Maßnahmen in einer separaten Dokumentation (über ein Maßnahmentracking) zu verwalten, auch wenn die Pflege dieses Dokuments sinnvollerweise weiterhin bei der OE-Modellvalidierung verbleiben sollte.

Analog zu Findings besitzen Maßnahmen einen eigenen Status. Die Verzahnung der beiden Prozesse erfolgt über die Statusflags der Findings und der Maßnahmen.

²Ein Finding besitzt selbst einen Status. Näheres regelt Abschnitt 2.1.

2.1 Konzept

Das Konzept ist ein übergeordnetes Dokument und hat primär die folgenden drei Aufgaben:

1. Beschreibung der möglichen Validierungsarten (z.B. Initialvalidierung, reguläre Validierung, Revalidierung, Ad-Hoc-Validierung) und Herstellung einer Verbindung zwischen Validierungsart und Vorgehensmodell³. Nach Abbildung 2 ist die konkrete Beschreibung des modellspezifischen Validierungsvorgehens nicht Teil des Konzepts. Es ist auch zu definieren, wann das Validierungsobjekt nach Durchlaufen einer Validierung dem ordentlichen Zyklus einer regulären Validierung oder einem der zuvor genannten außerordentlichen Zyklen zuzuführen ist.
2. Beschreibung einer Ampelsystematik: Dazu gehört insbesondere
 - (a) die Bestimmung der einzelnen Ampelstatus für die verschiedenen Teilschritte eines abstrakten Vorgehensmodells⁴ und
 - (b) die Ableitung eines Gesamtstatus der Validierung aus den möglichen Teilstatus der einzelnen Validierungsschritte des abstrakten Vorgehensmodells.
 - (c) Den Ampelstatus wird eine natürliche Ordnung zugewiesen: grün<gelb<rot.
3. Beschreibung der Schnittstelle zwischen Validierungs- und Korrekturprozess: Ein Finding entsteht aus einem Teilschritt des Vorgehensmodells, dessen Ampelstatus nicht 'grün' ist. Die Schnittstelle muß die Überführung von Findings in Maßnahmen⁵, die Festlegung des initialen Status einer dazugehörigen Maßnahme und das Verfahren zum weiteren Umgang mit Maßnahmen, das Maßnahmentracking, regeln. Der Umgang mit Maßnahmen schließt eine ggf. fällige Rückwirkung auf den Status der Findings mit ein.

All diese Festlegungen sind statisch und erfordern – von grundsätzlichen Revisionen einmal abgesehen – keine Anpassungen in der Anwendung des Modellvalidierungsframeworks.

Beispiele zu den Konzeptpunkte 2 (Status) und 3 (Schnittstelle):

2.Konzeptpunkt (Status Validierungsobjekt): *Das Ampelkonzept ist ein*

³Manchmal wird dafür der terminus technicus der Testtiefe verwendet.

⁴Das abstrakte Vorgehensmodell besteht aus dem Dreiklang „Ziel und Umfang der Analyse“, „Auswirkungsanalyse von IST/SOLL-Abweichungen“ und „Interpretation und Wertung der Ergebnisse“.

⁵Die Nichtumwandlung einer zu einem Finding gehörenden Maßnahmenempfehlung in eine Maßnahme geht mit einer Begründung und ggf. einer Anpassung des Validierungsstatus des entsprechenden Findings durch einen Override einher.

plakatives Mittel zur Vereinheitlichung der Wertung der Ergebnisse der Modellvalidierung. Auf den einzelnen Teilschritten werden im Rahmen der Ausdefinition des Vorgehensmodells jeweils einzelne Kriterien definiert. Für den Fall, daß ein Kriterium nicht erfüllt ist, ist eine Abschätzung über die Höhe der Auswirkung durchzuführen. Die Kombination der beiden binären Entscheidungen 'Kriterium erfüllt', 'Höhe der Auswirkung' führt zu einem einfachen Ampelkonzept, das in Tabelle 1 dargestellt ist.

Kriterium erfüllt/Auswirkung	gering	hoch
ja	grün	grün
nein	gelb	rot

Tabelle 1: Elementares Ampelkonzept

Der Defaultwert eines Status ist Grün.

Der automatisch bestimmte Status nach Tabelle 1 kann durch einen Override (zum Besseren oder zum Schlechteren) überschrieben werden:

$Teilstatus = if(\exists \text{Override}) \text{ then Override else } Teilstatus_{\text{automatisch}}$.

Die Verwendung eines Override erfordert zwingend eine qualifizierte Begründung. Der Override wird z.B. bei der (Nicht)überführung einer Maßnahmenempfehlung in eine Maßnahme vergeben, kann aber auch zu einer individuellen Erhöhung des Ampelstatus verwendet werden⁶.

Die Bestimmung des Gesamtstatus der Validierung erfordert eine Aggregation der Teilergebnisse. Eine sinnvolle und zugleich einfache Aggregation ist die Bestimmung des schlechtesten Teilergebnis.

$Gesamtstatus = \text{schlechtestes Teilergebnis}$.

3. Konzeptpunkt (Schnittstelle): In Abbildung 4 ist grob die Verzahnung des Modellvalidierungsprozesses mit dem Korrekturprozeß dargestellt.

⁶Ein Beispiel für eine qualifizierte Begründung im Fall von Barwerten, die z.B. zu einer Verbesserung des Ampelstatus führen kann, ist z.B. die Klassifikation des Validierungsobjekts als 'Back-to-Back-Geschäft'. Ein Beispiel für eine qualifizierte Begründung im Fall von Barwerten, die z.B. zu einer Verschlechterung des Ampelstatus führen kann, ist z.B. die Klassifikation des Validierungsobjekts als 'zukünftiger Wachstumsmarkt'.

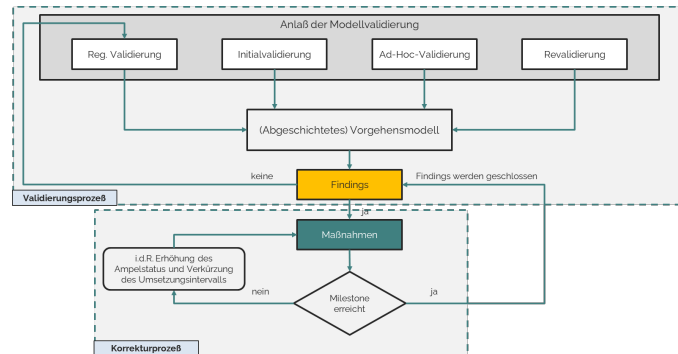


Abbildung 4: Schematische Darstellung der prozessualen Abhängigkeiten von Modellvalidierungs- und Korrekturprozess.

Eine Trennung zwischen dem Status des Findings und dem Status der Maßnahme erlaubt es, diese Steuerungskreise zu separieren. Der Maßnahmensteuerungskreis operiert auf dem Maßnahmenstatus, nicht auf dem Status des Findings.

Status Maßnahme: Grundsätzlich erbt eine Maßnahme den Status des zugehörigen Findings. Davon wird nach Durchlauf eines Korrekturprozesses bei Verfehlen des Korrekturziels abgewichen:

- Wird eine Maßnahme innerhalb des Umsetzungszeitraums nicht umgesetzt, so wird der Status der Maßnahme erhöht und das Umsetzungsintervall entsprechend verkürzt.
- Wird eine Maßnahme als Ersatz für eine Maßnahme angelegt, die ihr Ziel verfehlt hat, so wird bei der Festlegung von Status und Umsetzungsintervall dieser Ersatzmaßnahme dieselbe Systematik verwendet, die auch beim Verfehlen eines Umsetzungsmilestones einer Maßnahme ge Griffen hätte.

Eine detailliertere Beschreibung des Korrekturworkflows wird in Abschnitt 2.3 gegeben.

2.2 Modellvalidierungsprozeß

2.2.1 Vorgehen

Ein Vorgehensmodell ist grundsätzlich auf eine vollständige Validierung eines Modells ausgelegt. Es ergibt sich aus einer Kombination des Konzepts mit einem spezifischen Validierungsobjekt (ein Eintrag aus dem Inventar) und enthält zuvörderst eine fachliche Beschreibung des Validierungsobjekts im Sinne eines

Zielzustandes, gegen den ein Benchmarking vorgenommen werden kann⁷. Die initiale Ausarbeitung eines spezifischen Vorgehens erfordert einmalig relevante Modellexpertise.

Ein konkretes Vorgehen zerfällt i.d.R. selbst wieder in eine Sequenz von Teilschritten. Der Durchlauf der Teilschritte muß eine vollständige Validierung des Validierungsobjekts gewährleisten. Eine wesentliche Ergänzung des Vorgehensmodells besteht in der Definition von eindeutigen Kriterien zur Beurteilung der einzelnen Teilschritte⁸. Auf der Ebene eines Teilschritts, wird der Dreiklang des abstrakten Vorgehensmodells des Konzepts aus ('Ziel und Umfang der Analyse', 'Auswirkungsanalyse von IST/SOLL-Abweichungen', 'Interpretation und Wertung der Ergebnisse') iteriert (vgl. Fußnote 4).

Das Vorgehensmodell weist i.d.R. eine Unterteilung in einen qualitativen (fachlichen) und einen quantitativen Teil auf. Im qualitativen Teil wird die fachliche Angemessenheit eines Modells beurteilt. In dem quantitativen Teil die Korrektheit der Umsetzung. Ein roter Status des fachlichen Teils macht eine Durchführung des quantitativen Teils überflüssig.

All diese Festlegungen sind dem Grunde nach immer noch statisch, können aber – z.B. bei geänderten Marktusancen (Liborablösung!) – einer Anpassung bedürfen.

2.2.2 Bericht

Der Bericht ist ein Report über die Ergebnisse der Durchführung des Vorgehens. Er spiegelt dabei die Struktur des (ggf. abgeschichteten⁹) Vorgehens. Er formuliert Findings und Maßnahmenempfehlungen und ist seinem Wesen nach dynamisch. Die Findings werden in dem Repository verzeichnet.

Für die verschiedenen Validierungsarten (Initial, Ad-Hoc etc.pp.) kann im Rahmen des Berichtes eine Abschichtung des Vorgehensmodells durch eine Selektion relevanter Teilschritte erfolgen. Ein Beispiel für einer Abschichtung ist eine Revalidierung, die z.B. Retests in der Vergangenheit festgestellter und inzwischen durch Maßnahmen adressierter Findings für einzelne Validierungsschritte darstellen.

2.3 Korrekturprozeß

Eine wichtige Rolle für den Korrekturprozeß spielt der Korrektur-Workflow (WF). In Abbildung 5 ist beispielhaft ein prototypischer Workflow für die Abarbeitung von Maßnahmen gezeigt, dessen Zustände z.B. die folgenden Ausprägungen annehmen können: 'not started', 'active', 'reval', 'completed', 'missed'.

⁷Diese fachliche Beschreibung kann auch durch den Verweis auf ein Fachkonzept erfüllt werden. In diesem Fall ist die Qualität des Fachkonzepts in einem Teilschritt des Vorgehens zu bewerten.

⁸Für den Fall der Beurteilung von Barwerten werden solche Kriterien z.B. durch Toleranzgrenzen dargestellt.

⁹Eine Abschichtung bedeutet dabei ein nur teilweises Durchlaufen des Vorgehensmodells.

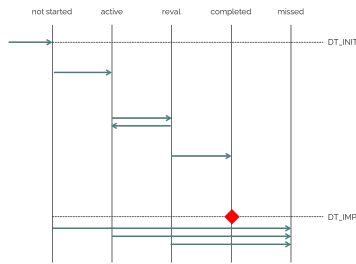


Abbildung 5: Workflow zur Abarbeitung von Findings

Der Workflow startet zu einem bestimmten Zeitpunkt (DT_INIT) und durchläuft verschiedene Zustände. Anhand des Zustandes des Workflows nach dem Zieldatum (DT_IMPL) läßt sich der Zweig aus Abbildung 4, der dem Verfehlen eines Umsetzungsmeilensteins entspricht, ausdefinieren. Ein vereinfachtes Eskalationsschema ist in Abbildung 6 dargestellt. Beispielsweise ist dort die Systematik zur Umsetzungszeitraumverkürzung nicht mit aufgenommen, da dies stark von den jeweiligen Gegebenheiten eines Hauses abhängt. Prinzipien für ein ausgefeilteres Eskalationsschema finden sich z.B. in [1].

Workflow-Status	Maßnahmen-Status
not started	Finding-Status
active	Finding-Status
reval	Finding-Status
completed	grün
missed	rot

Abbildung 6: Ein einfaches Eskalationsschema für die Umsetzungsmaßnahmen.

Das Schließen aller mit einem Finding verbundenen Maßnahmen führt zu einem Wechsel des Status des Findings in den Status „grün“. Der Korrekturprozeß wird durch ein Maßnahmentracking dokumentenseitig abgebildet. Das Maßnahmentracking verwendet ein geeignetes Bugtracking/Dokumentationstool. Dazu kann z.B. ein revisionssicheres System (z.B. JIRA) eingesetzt werden. Das Maßnahmen-Tracking ist dementsprechend ein hoch dynamisches Dokument.

Beispiel (Maßnahmentracking via Excel): Erfolgt das Tracking in Excel, kann die Tabellenstruktur aus Tabelle 2 verwendet werden.

Findings					Umsetzung				
VO	ST_{Total}	FINDING	$ST_{Partial}$	DT_INIT	DT_IMPL	DESC	ST_{Impl}	WF	RESP

Tabelle 2: Tabellenstruktur zur Verwaltung der Maßnahmen

In der Tabelle werden das Validierungsobjekt durch VO, der Workflow durch WF, das Erstellungs- bzw. Umsetzungsdatum durch DT_INIT bzw. DT_IMPL und die drei Status (Gesamtstatus der Validierung, Status eines Teilschritts der Validierung, Status der Maßnahme) durch ST_{Total} , $ST_{Partial}$ und ST_{Impl} abgekürzt. RESP bezeichnet die verantwortliche OE/den verantwortlichen Mitarbeiter, an die/den die Umsetzung adressiert worden ist. Die anderen Felder sind selbsterklärend.

Wichtig ist, daß in dem DESC-Feld des Umsetzungsblocks möglichst reproduzierbar der Kommunikationsfluß zur Maßnahmenumsetzung (inklusive Daten an denen eine Änderung des Status des Workflows stattgefunden haben) aufgezeichnet werden.

Eine monatliche Inspektion und Aktualisierung des Sheets ist i.d.R. ausreichend, um den Korrekturprozeß sauber ins Ziel zu führen.

3 Zusammenfassung

Die Umsetzung eines schlanken Modellvalidierungsframeworks erfordert den einmaligen Aufbau der in diesem Beitrag skizzierten Dokumentenstruktur und die Erstellung einer Validierungsobjekt-spezifischen Referenz, die im Wesentlichen automatisierbar sein sollte¹⁰. Beide Vorgänge lassen sich i.d.R. hochgradig standardisieren, so daß der Betrieb einer Modellvalidierung mit einem geringem Personaleinsatz auskommen kann. Dies gilt um so mehr, je einfacher das Geschäft einer Bank ist.

In der Praxis beobachtet man häufig, daß beim Aufbau der Dokumentenstruktur die Trennung zwischen Konzept und Vorgehen umgangen wird. Die Abwägung zwischen der Einfachheit der Validierungsdokumente und einem strukturell einheitlichen Vorgehen für alle Validierungsobjekte ist aus unserer Sicht zugunsten einer Trennung von Konzept und Vorgehen zu entscheiden. Durch diese Trennung lassen sich auch sinnvolle Arbeitsanweisungen für die Durchführung der Modellvalidierung aufstellen, so daß der Einsatz hochqualifizierter Mitarbeiter auf die Qualitätssicherung von Modellvalidierungsergebnissen beschränkt werden kann.

Bei der Auswahl von Referenztools für das Benchmarking von Pricingfunktionalitäten, Marktrisikomaßen bzw. Modellen des Kreditrisikos finden sich im Markt z.B. drei Open-Source-Projekte:

- Die QuantLib (<https://www.quantlib.org/>), die sich zur tiefen fachlichen Analyse von Bewertungsfunktionalitäten eignet,
- das JSONrisk-Projekt (<https://www.jsonrisk.de/>), das sich zum effizienten Benchmarking von Marktrisikomaßen (VaR, Stress) von großen Portfolios eignet, und
- die Statistiksprache Gnu R (<https://www.r-project.org/>), die sich für die Verarbeitung großer Datenmengen im Kreditbereich eignet.

Der Unterschied zwischen den Open-Source-Projekten ergibt sich im Wesentlichen aus mit dem Use Case verbundenen Performanceanforderungen. Die QuantLib bietet ein Framework zum schnellen Prototyping von Referenzbewertungen. Die Analyse des Marktpreisrisikos von Echtportfolios erfordert die nötigen organisatorischen Voraussetzungen der Software und effiziente Implementierungen der lauffeitkritischen Komponenten, um die nötigen Benchmarkrechnungen in vertretbaren Zeiten durchführen zu können [2]. Dafür ist das JSONRisk-Projekt eine gute Wahl. Das Gnu R-Projekt erlaubt das effiziente Arbeiten mit Daten.

In der Regel folgen Modellvalidierungen dem zuvor beschriebenen Vorgehen. Vereinzelt sind auch tiefergehende Analysen erforderlich. Der Vollständigkeit halber finden sich im Anhang ausgewählte praktische Beispiele derartiger Analysen.

¹⁰vgl. Unit-Tests.

Literatur

- [1] J. Augstin, F. Bosler, and A. Miemiec. EMIR-Portfolioabgleich = Modellvalidierung 2.0. *Risiko Manager*, 24/2014, 2014.
- [2] K. Steinberg. Bewertung von großen Optionsportfolien mit JSONRisk. Whitepaper FRAME Consulting GmbH, 2021.
- [3] A. Miemiec. Eine Führung durch die QuantLib. Vortrag, 2015.
- [4] A. Miemiec. A Macro Hedge for Implicit Options of Type §489. 2021. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3926361>.
- [5] A. Miemiec. Modelling NMDs - A Review. 2021. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3839381>.
- [6] A. Miemiec et.al. Benchmarking KMV. Working Paper, 2010. Available on request.
- [7] A. Miemiec et.al. Kreditgeschäft: Ratings ohne Ausfälle. *Die Bank*, 05:57–61, 2008.

4 Anhang

Tieferegehende Analysen sind z.B. erforderlich, wenn ein undokumentiertes Modell zum ersten Mal analysiert werden muß. In der folgenden Auflistung werden exemplarische Referenzen für die Validierung von herausgehobenen Modellen des Markt- und des Kreditrisikos, die diesen Spezialfokus besitzen, zusammengestellt.

- Bewertungsfunktionen:
 - Für den Fall der Validierung von Bewertungsfunktionalitäten findet sich eine Darstellung der Validierungsansätze praktisch aller gängigen Bankprodukte in [3].
- Marktpreisrisiko:
 - Eine Analyse der Hedgequalität eines Optionsportfolios findet sich z.B. in [4].
 - Eine Spezialanalyse des Replikationsmodells von NMDs findet sich in [5].
- Kreditrisiko:
 - Eine ausführliche Darstellung des Nachbaus des KMV-Modells findet sich in [6] und
 - eine Spezialanalyse zu einem Scorecard-Modell in [7].

Die FRAME Consulting GmbH unterstützt Sie gerne bei der Lösung entsprechender Aufgabestellungen.