

Parametrisierung für die BAföG-OCEL-Simulation

Business Process Management (WS 25/26)
Group 10

Alina Thoden
Haya Edris
Mansour Dukhan
David Derr
Büsra Bugrahan
Jan Gödicke

30. Dezember 2025

1 Prozesskontext

1.1 Szenario und Datengrundlage

Gegenstand der Simulation sind Eingänge von BAföG-Anträgen für Hamburg zum Wintersemester 2024/2025. Die Spitzenlast wird durch den Semesterstart geprägt, wobei etwa 63 % der Anträge um den Winterstart eingehen (Studentenwerk SH, 2024). Als Datengrundlage für Hamburg werden 15.564 geförderte Studierende im Jahr 2024 zugrunde gelegt (Destatis, 2024).

1.2 Prozessfokus

Der Fokus liegt auf der Bearbeitung von Erstanträgen, die ausschließlich digital über BAföG-Digital eingereicht werden. Das Szenario betrachtet damit nur Anträge über BAföG-Digital und schließt Papier- oder Mischkanäle sowie Folgeanträge, Schüler- und Auslands-BAföG aus. Eine Trennung zwischen Inlands- und Auslands-BAföG ist möglich, da die Personalkapazität auf diese aufgeteilt wird (Bundesregierung, 2012).

Startpunkt ist „Application started“, also der Zeitpunkt des Dateneingangs im System. Vorarbeiten des Studierenden bleiben unberücksichtigt, da sie die Amtsduration nicht beeinflussen.

1.3 Volumenannahmen

Wir simulieren ein High-Load-Szenario, bei dem das gesamte Antragsvolumen (9.800 bei Start des Wintersemesters) als Erstanträge behandelt wird, um die Belastbarkeit des Systems unter maximaler Komplexität zu prüfen.

1.4 Modellierungsansatz

Das aktuelle BPMN Abbildung 2 ist stärker datengetrieben als die initiale Version Abbildung 1. Die aktuelle Version konzentriert sich auf Aktivitäten die Änderungen in den Datenbanken verursachen würden, wie beispielweise CRUD Operationen.

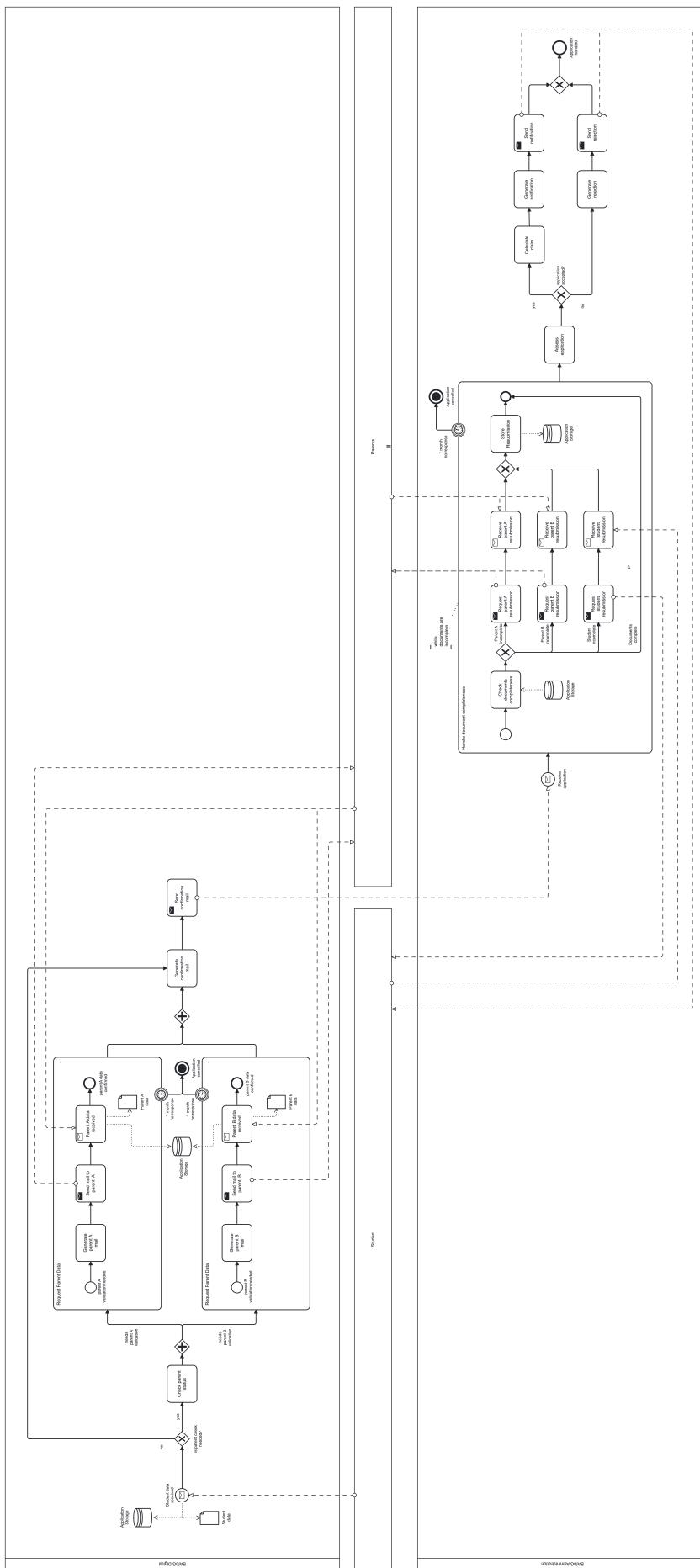


Abbildung 1: Erste Version: BPMN des BAföG-Prozesses

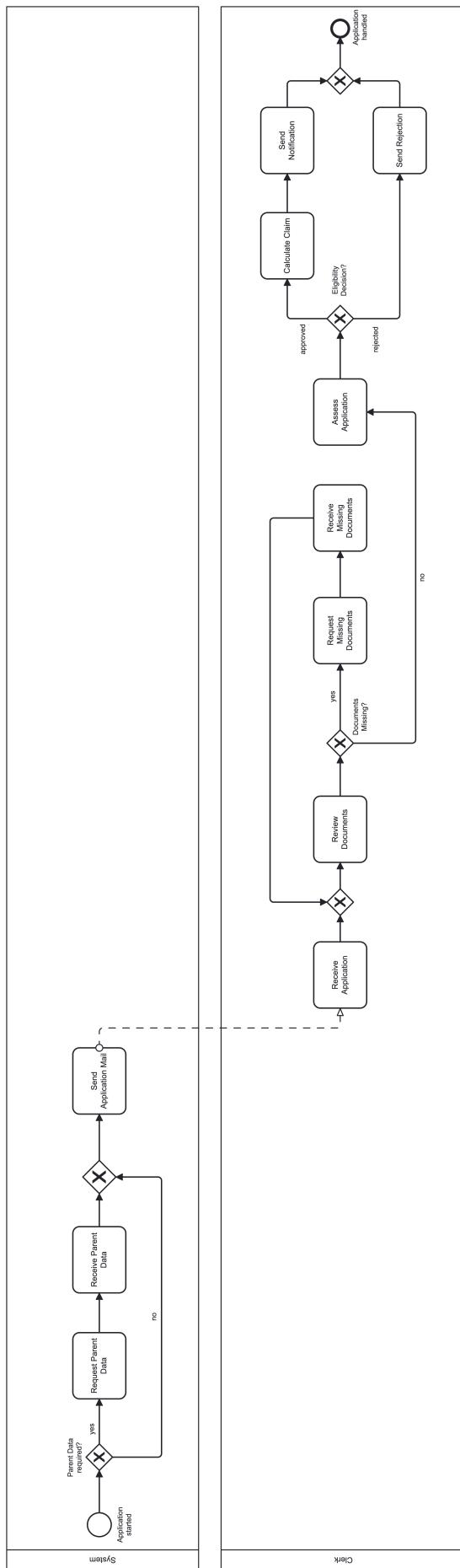


Abbildung 2: Aktuelles BPMN des BAföG-Prozesses

1.5 Szenario-Setup & Output

- **Zeitraum:** Die Simulation startet am **15.09.2024** und läuft über einen Zeitraum von **80 Tagen**, um das gesamte Wintersemester inklusive Nachlaufzeit abzubilden.
- **Reproduzierbarkeit:** Um konsistente Ergebnisse zu gewährleisten, wird ein fester **Random Seed (42)** verwendet.
- **Output:** Die Simulation generiert relationale **CSV-Tabellen** (Events, Applications, Documents, Object-Links), die in ihrer Struktur einem Object-Centric Event Log (OCEL) entsprechen. Dies ermöglicht eine direkte Analyse in Process-Mining-Tools, die objektzentrierte Daten unterstützen.

2 Interarrival

Die Lastspitzen orientieren sich am Wintersemester-Start. Nach (Studentenwerk SH, 2024) gehen etwa 63 % der Anträge rund um den Winterstart ein. Auf Hamburg übertragen entspricht das etwa 9.800 von 15.564 geförderten Studierenden (Destatis, 2024). Wir nehmen folgende Interarrival-Zeiten an:

Zeitfenster	Wochentage	Verteilung	Parameter	Annahme
08:00–16:00	Mo–Fr	Exponential	Mittel 1,5 min	Peak: Hauptgeschäftszeit (High Load Szenario)
16:00–21:00	Mo–Fr	Exponential	Mittel 2,7 min	Peak: Nach Vorlesungen (High Load Szenario)
21:00–24:00	Mo–Fr	Exponential	Mittel 8,1 min	Spätabgabe, moderate Dichte
Ganztags	Sa–So	Exponential	Mittel 10,8 min	Wochenende, reduzierte Rate

Tabelle 1: Interarrival-Zeiten für die Simulation

3 Gateways

3.1 Parent Data Required?

Gemäß Statistik Bayern 2022 (Statistik Bayern, 2022) sind etwa 18% der Geförderten elternunabhängig (13.637 von 74.771). Daraus leiten wir ab, dass in 80% der Fälle Elternunterlagen benötigt werden, während 20% elternunabhängig gefördert werden. Dies steuert das Attribut `Application.is_parent_independent` (FALSE = Elternunterlagen nötig).

3.2 Documents Missing?

Nach Fachliteratur sind nur 1–2% der Papier-Erstanträge vollständig (Bundesregierung, 2010), während bei Weiterförderungen etwa 35% komplett eingereicht werden (Studentenwerk SH, 2024). Da der Fokus ausschließlich auf Erstanträgen liegt, ist das Risiko unvollständiger Unterlagen höher (ca. 98% bei Papier). Durch die Nutzung des digitalen Assistenten BAföG Digital wird eine Verbesserung angenommen, weshalb wir das Risiko “Documents Missing” auf 40% und “Complete” auf 60% setzen. Dieses Gateway wird durch das Attribut `Document.status` (“Missing” vs. “Received”) gesteuert.

3.3 Eligibility Decision?

Nach (Bundesregierung, 2012) liegt der Anteil nicht bewilligter Anträge bei 16%. Die Pfadwahrscheinlichkeiten betragen somit 84% für bewilligt und 16% für abgelehnt. Dieses Gateway wird durch das Attribut `Application.status` ("Approved" vs. "Rejected") gesteuert.

4 Aktivitätsdauern

Zur Ableitung der Aktivitätsdauern wurden die Standardzeiten aus Tabelle 22 („Durchschnittliche Standardzeiten der Antragsbearbeitung im Studierendenwerk Hamburg für die Inlandsförderung“) (Bundesregierung, 2012) herangezogen. Für das Szenario Erstantrag ergibt sich daraus eine Gesamtsumme von 83 Minuten. Die Anteile der Einzelaktivitäten wurden proportional zu den in Tabelle 22 angegebenen Standardzeiten bestimmt und auf die nachfolgend aufgeführten Aktivitätsgruppen verteilt:

- **Receive Application:** entspricht Anlegen der Papierakte ≈ 13 min
- **Review:** entspricht Vollständigkeitsprüfung ≈ 13 min.
- **Request Missing Data** entspricht fehlende Daten oder Informationen einholen ≈ 12 min.
- **Assess:** entspricht Hälfte der Zeit von Berechnungen/Bewertungen durchführen ≈ 15 min.
- **Calculate:** entspricht Hälfte der Zeit von Berechnungen/Bewertungen durchführen inkl. Ergebnisse prüfen und korrigieren ≈ 20 min.
- **Notification/Rejection:** entspricht Aufbereiten, Versenden ≈ 10 min.

Die Aktivitätsdauern der Sachbearbeitung wurden zur Parametrisierung in stochastische Verteilungen überführt. Manuelle Tätigkeiten werden durch Normalverteilungen modelliert (mit plausiblen Standardabweichungen σ sowie angegebenen Minimal- und Maximalwerten), systemseitige Aktivitäten durch Uniformverteilungen und Wartezeiten durch Exponentialverteilungen.

Aktivität	Ressource	Verteilung	Parameter	Begründung
Application started	System	-	0 min	Start-Event (Dateneingang)
Request Parent Data	System	Uniform	0,5–2 min	Automatische Mail an Eltern
Receive Parent Data	External Actor	Normal	$\mu = 10080, \sigma = 3600$	Wartezeit (Annahme: Normalverteilung)
Send Application Mail	System	Uniform	1–3 min	Automatisches Generieren + Versand
Receive Application	Clerk	Normal	$\mu = 13, \sigma = 4$	Anlegen der Papierakte
Review Documents	Clerk	Normal	$\mu = 5, \sigma = 2$	Zeit pro Dokument (Annahme sim_config)
Request Missing Documents	Clerk	Normal	$\mu = 12, \sigma = 3$	Fehlende Daten einholen
Receive Missing Documents	External Actor	Normal	$\mu = 10080, \sigma = 2880$	Wartezeit (Annahme: Normalverteilung)
Print Documents	Clerk	Uniform	2–5 min	Medienbruch: Batch printing (Annahme: Deviation)
Assess Application	Clerk	Normal	$\mu = 15, \sigma = 4$	Bewertung
Calculate Claim	Clerk	Normal	$\mu = 20, \sigma = 5$	Berechnung
Send Notification	Clerk	Normal	$\mu = 10, \sigma = 3$	Bescheid Versand
Send Rejection	Clerk	Normal	$\mu = 10, \sigma = 3$	Ablehnung Versand

Aktivität	Ressource	Verteilung	Parameter	Begründung
Archive Documents	Clerk	Uniform	2–5 min	Archivierung (Annahme: Deviation)
Application handled	System	-	0 min	End-Event (Technischer Abschluss)

Tabelle 2: Verteilung der Aktivitätsdauern

4.1 Dokumenttypen und Komplexitätsfaktoren

Für eine detaillierte Simulation werden die Bearbeitungszeiten basierend auf dem Dokumenttyp skaliert. Die Faktoren beruhen auf Annahmen.

Berechnung der Dauer für „Review Documents“:

Die Dauer dieser Aktivität berechnet sich dynamisch anhand der Summe der Komplexitätsfaktoren aller zu prüfenden Dokumente (Batch-Verarbeitung):

$$\text{Dauer} = \text{Basisdauer} (\approx 5 \text{ min}) \times \sum (\text{Komplexitätsfaktoren})$$

(Siehe Logik in `sim_ocel.ipynb`).

Dokument	Bedingung	Komplexitätsfaktor
Formblatt 1 (Antrag)	immer	1.0
Immatrikulationsbescheinigung	immer	0.5
Formblatt 3 (Einkommen Eltern)	falls <code>Application.is_parent_independent = FALSE</code>	1.5
Einkommensnachweise (Eltern)	falls Formblatt 3 vorhanden (i.d.R. 2 Stück)	1.3
Mietbescheinigung (Wohnnachweis)	falls <code>Application.housing_type ≠ 'Eltern'</code>	0.8

Tabelle 3: Dokumenttypen und Komplexitätsfaktoren

5 Object-Centric Data & Logic

Das Simulationsmodell basiert auf einem objekt-zentrierten Ansatz (Object-Centric Process Mining), der über den klassischen Event-Log-Standard hinausgeht.

5.1 Objekt-Typen

- **Application:** Das zentrale Case-Objekt, das den gesamten Antragsprozess bündelt. Attribute: `application_id`, `student_id`, `is_parent_independent`, `housing_type`, `status`, `deviation_type`.
- **Document:** Sekundäre Objekte mit eigenem Lebenszyklus, die mit dem Antrag verknüpft sind. Attribute: `document_id`, `doc_type`, `status` (Missing/Received), `submission_time`.
- **Event:** Verknüpft Aktivitäten mit einem oder mehreren Objekten. Attribute: `activity`, `timestamp`, `org_resource`, `linked_objects`.

5.2 Dokumenten-Generierung und Lebenszyklus

Zum Zeitpunkt des „Application started“ werden technisch bereits alle potenziellen Dokumente (z. B. Formblatt 1, Immatrikulationsbescheinigung) instanziert.

- **Initialer Status:** Alle Dokumente starten im Status **Missing**.
- **Status-Wechsel:** Der Status ändert sich erst auf **Received**, wenn die entsprechende Aktivität (z. B. „Receive Application“ oder „Receive Parent Data“) tatsächlich ausgeführt wird.

Dies ermöglicht die getrennte Nachverfolgung jedes einzelnen Belegs (Unvollständigkeit) parallel zum Hauptantrag.

5.3 Object-to-Event Mapping

Um den Lebenszyklus des Antrags und der einzelnen Dokumente getrennt voneinander, aber synchronisiert abzubilden, wird folgendes Mapping-Schema angewendet:

- **Leading Object:** Das Objekt **Application** wird mit **allen** Aktivitäten verknüpft, um den durchgängigen Prozessfluss zu gewährleisten.
- **Secondary Object:** Das Objekt **Document** wird **exklusiv** mit Aktivitäten verknüpft, die eine physische Bearbeitung oder Zustandsänderung eines Dokuments darstellen (z. B. *Request*, *Receive*, *Review*).

Dies ermöglicht im Process Mining die Analyse von 1:n-Beziehungen (ein Antrag hat *n* Dokumente, die sich unterschiedlich verhalten).

Aktivität	Verknüpfte Objekte	Begründung
Application started	Application	Initialisierung des Cases
Request Parent Data	Application, Document	Erzeugung/Anforderung der Eltern-Objekte
Receive Parent Data	Application, Document	Eingang der Eltern-Unterlagen
Send Application Mail	Application	System-Notifikation an das BAföG-Amt Hamburg über Antragseingang
Receive Application	Application, Document	Eingang der Basis-Dokumente
Review Documents	Application, Document	Inhaltliche Prüfung pro Einzel-Dokument
Request Missing Documents	Application, Document	Nachforderung fehlender Dokumente
Receive Missing Documents	Application, Document	Eingang der nachgereichten Dokumente
Assess Application	Application	Prüfung des Gesamtantrags
Calculate Claim	Application	Berechnung des BAföG-Satzes
Send Notification	Application	Positiver Bescheid (Bewilligung)
Send Rejection	Application	Negativer Bescheid (Ablehnung)
Archive Documents	Application, Document	Archivierung aller Unterlagen
Print Documents	Application, Document	Drucken aller Unterlagen
Application handled	Application	Technischer Abschluss des Cases

Tabelle 4: Object-to-Event Mapping

5.4 Synchronisations-Logik und Dokumentenkategorien

Um die Modellkomplexität zu reduzieren, werden Elternunterlagen nicht in individuelle Rollen (Mutter/Vater) aufgeteilt, sondern als ein aggregiertes Nachweisobjekt behandelt. Die OCPM-Logik greift hier durch die Synchronisation unterschiedlicher Dokumentenkategorien:

1. **Differenzierte Wartezeiten:** Das Dokument der Kategorie „Parent“ (z. B. Einkommensnachweis) erhält in der Simulation eine signifikant längere Wartezeit (Exponentialverteilung, $\mu \approx 7$ Tage) als Dokumente der Kategorie „Student“ ($\mu \approx 2$ Tage).
2. **Synchronisation am Gateway:** Der Prozessschritt „Assess Application“ fungiert als Synchronisationspunkt. Er darf erst starten, wenn **alle** verknüpften Dokumente (sowohl Student als auch Eltern) den Status „Received“ erreicht haben.

Dies demonstriert den Core-Benefit von Object-Centric Process Mining: Die Analyse zeigt, dass der Gesamtprozess oft durch ein einzelnes, komplexes Objekt (hier: Elternnachweis) blockiert wird, während andere Objekte (z. B. Immatrikulationsbescheinigung) bereits vorliegen (Wartezeiten-Paradoxon).

6 Ressourcen

6.1 System

- 24/7 verfügbar, Kapazität hoch (9999)
- Verfügbarkeit: 00:00–23:59, alle Tage.

6.2 Clerk (Sachbearbeitung)

- Anzahl: Inlandsförderung mit 10 Sachbearbeitern (Bundesregierung, 2012) (SimPy Resource Capacity).
- Verfügbarkeit: Mo–Fr 07:30–16:00.
- **Queuing:** Aufgaben, die außerhalb der Dienstzeiten eintreffen (z. B. durch Online-Antragstellung am Abend), werden in einer Warteschlange (Backlog) gesammelt und erst mit Beginn der nächsten Schicht (07:30 Uhr) bearbeitet. Dies erklärt Wartezeiten trotz rechnerisch ausreichender Kapazität.

7 Geplante Deviations

Um einen Conformance Check zu demonstrieren, werden gezielt Abweichungen in den Simulationsdaten erzeugt, die vom Standardprozess (Happy Path) abweichen.

7.1 Switched Activities

Szenario: Bei 1 % der Fälle wird der Schritt „Assess Application“ mit „Calculate Claim“ in der Reihenfolge vertauscht (Simulation Parameter `activity_switch`).

Bedeutung: Dies simuliert eine Abweichung der Prozessreihenfolge. Im Conformance Check muss dies als **Sequence Violation** erkannt werden.

7.2 Direkte Ablehnung (Shortened Path)

Szenario: Bei **3 %** der Fälle bricht der Prozess nach „Review Documents“ sofort mit einer Ablehnung ab (Simulation Parameter `direct_rejection`).

Bedeutung: Simuliert sofortige Ablehnung (z. B. bei offensichtlicher Unzuständigkeit). Erkennbar als **Skipped Activities**.

7.3 Blind Approval (Compliance Violation)

Szenario: Bei **2 %** wird der Antrag ohne Prüfung („Assess“) direkt genehmigt (Simulation Parameter `blind_approval`).

Bedeutung: Ein schwerwiegender Compliance-Verstoß (Genehmigung ohne Prüfung).

7.4 document_invalid (Rework)

Szenario: Bei **20 %** der Fälle wird ein Dokument im Review als ungültig oder fehlerhaft abgelehnt (Simulation Parameter `document_invalid`).

Bedeutung: Dies führt zu einer weiteren Review-Runde und erhöht die Durchlaufzeit massiv.

7.5 Ablehnung wegen Fristablauf (Timeout)

Szenario: Bei **4 %** springt der Prozess nach einer Wartezeit von >30 Tagen direkt zur Ablehnung.

Bedeutung: Automatische Ablehnung bei Inaktivität.

7.6 Unmapped Activities (Model Moves)

Szenario: Die Aktivitäten „Print Documents“ und „Archive Documents“ werden von Sachbearbeitern (Clerks) ausgeführt, sind aber **nicht im Soll-Prozess (BPMN) enthalten**.

Bedeutung: Diese Schritte tauchen als **Log Moves** (im Log, aber nicht im Modell) im Conformance Checking auf und müssen gefiltert oder als Abweichung akzeptiert werden (Annahme: Medienbrüche in der Realität).

8 Simulationsempfehlungen

- KPIs: Cycle Time je Antrag, Auslastung Sachbearbeiter, Wartezeiten pro Queue, Bewilligungsquote.
- Experimente: Sensitivität auf Dokumentvollständigkeit (Gateway), Variation Receive-Document-Mittelwert, Personalkapazität (z.B. 10–16 FTE), saisonale Peaks vs. Normalsemester.

Literatur

- Bundesrechnungshof (2024): *Bericht zum BAföG – Volltext*. Textziffern (Tz.) 2.2.1, 3.2, 9.1, 9.2 u. a. URL: https://www.bundesrechnungshof.de/SharedDocs/Downloads/DE/Berichte/2024/bafoeg-volltext.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Bundesregierung; Nationale Normenkontrollrat (2010): *Einfacher zum Studierenden-BAföG – Abschlussbericht*. URL: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/2065474/396444/d606b826f7415afb0c091c30e968e383/2010-03-17-abschlussbericht-einfacher-zum-bafoeg-data.pdf?download=1>
- Bundesregierung (2012): *Projektbericht zur BAföG-Verwaltung – Bewilligungsquoten Inland*. Tabellen 22 und 23. URL: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/455514/00c68b52fe5801d0f59643345aa942a2/2012-06-22-projektbericht-7-data.pdf?download=1>
- Studentenwerk Schleswig-Holstein (2024): *Warum dauert die BAföG-Bearbeitung länger? – FAQ*. URL: <https://studentenwerk.sh/de/bafoeg-warum-die-antragstellung-laenger-dauert>
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2024): *BAföG-Geförderte nach Ländern*. GENESIS-Tabelle 21411-0020. URL: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/21411/table/21411-0020>
- Bayerisches Landesamt für Statistik (2022): *BAföG-Geförderte – Anteil elternunabhängiger Förderung*. Statistische Berichte, Kennziffer K9100C. URL: https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/veroeffentlichungen/statistische_berichte/k9100c_202200.pdf