



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur in de beleidsinformatica

Masterthesis

Evaluatie van process mining modellen vanuit een cognitive perspectief

Anupreet Singh

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur in de beleidsinformatica

PROMOTOR :

Prof. dr. Mieke JANS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt

Campus Hasselt:

Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt

Campus Diepenbeek:

Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2024
2025



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur in de beleidsinformatica

Masterthesis

Evaluatie van process mining modellen vanuit een cognitive perspectief

Anupreet Singh

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur in de beleidsinformatica

PROMOTOR :

Prof. dr. Mieke JANS

Evaluatie van process mining modellen vanuit een cognitive perspectief

Anupreet Singh

Business and Information Systems Engineering, Hasselt University

Deze thesis onderzoekt het effect van animatie in procesdiagrammen op taakperformantie en cognitieve belasting van gebruikers tijdens procesgerichte taken. In een gecontroleerd experiment met een tussen-groepsopzet werden twintig deelnemers willekeurig toegewezen aan een geanimeerde of statische conditie. Elke deelnemer analyseerde procesmodellen van twee complexiteitsniveaus (zes en twaalf activiteiten), waarbij de taakperformantie werd gemeten aan de hand van accuraatheid en efficiëntie en cognitieve belasting via de NASA-TLX vragenlijst. De resultaten tonen aan dat animatie de accuraatheid en efficiëntie significant verhoogt, vooral bij complexere modellen. Bovendien rapporteerden deelnemers in de animatieconditie een lagere cognitieve belasting dan deelnemers in de statische conditie. Deze bevindingen ondersteunen de hypothesen dat animatie een waardevol hulpmiddel is bij het verbeteren van het begrip van procesmodellen. De studie levert empirisch bewijs voor het gebruik van token-stijl animatie in directly-follow graphs (DFG's) en benadrukt het potentieel van dynamische visualisaties in procesmodellering. Voor toekomstig onderzoek wordt aanbevolen om andere animatiestijlen, modeltypen en deelnemerspopulaties te onderzoeken, evenals het gebruik van realistische scenario's en geavanceerdere meetmethoden zoals eye-tracking, om de generaliseerbaarheid en diepgang van de bevindingen te vergroten.

Keywords: *Token-stijl Animatie; Cognitieve Belasting; Directly-Follow Graph; Procesbegrip*

1 Inleiding

Visual analytics (VA) is een multidisciplinair vakgebied dat gebruikers ondersteunt bij analytisch redeneren door middel van interactieve visuele interfaces (30; 3; 11; 45). Het combineert geautomatiseerde analysetechnieken met interactieve visualisaties om gebruikers in staat te stellen complexe en omvangrijke datasets effectief te begrijpen, te analyseren en beslissingen te nemen (11; 45). Het doel van VA is om het informatieontdekkingsproces vanuit een data-afhankelijke, taak-specifieke en gebruiksgerichte benadering te ondersteunen, waarbij de gebruiker actief in de analysecyclus blijft zodat menselijke perceptie en begrip bijdragen aan het genereren van nieuwe inzichten en het vergroten van het vertrouwen in de resultaten (30; 3).

Binnen dit kader biedt process mining (PM) technieken om patronen en dynamiek in event logs te analyseren. Terwijl de technische aspecten van PM de afgelopen decennia sterk zijn geëvolueerd, is relatief weinig aandacht besteed aan het ondersteunen van de menselijke component in dit proces. Het combineren van VA en PM biedt mogelijkheden om complexe informatie beter begrijpelijk te maken en nieuwe inzichten te genereren, bijvoorbeeld door grote event logs visueel te verkennen met behulp van geavanceerde analysetechnieken en interactieve visualisaties (30; 36; 3). Visualisaties in PM, zoals procesmodellen en tijdreeksgrafieken, helpen bij het interpreteren van patronen en temporele afhankelijkheden, terwijl geautomatiseerde technieken een basis bieden voor consistente en reproduceerbare analyses (11; 22).

Het begrijpen van procesmodellen is een cognitief veeleisende taak en vormt een centrale uitdaging binnen zowel process mining als business process management. Procesmodelbegrip wordt gedefinieerd als het cognitieve proces van het interpreteren van een model en het construeren van een mentale representatie ervan (39). Deze vaardigheid is essentieel voor alle modelleergerelateerde activiteiten, omdat het gebruikers in staat stelt formele inhoud effectief te lezen, interpreteren en verwerken (29; 12). Ondanks het belang hiervan blijkt uit onderzoek dat procesmodellen vaak niet volledig worden begrepen door betrokkenen, vooral door degenen met beperkte ervaring of onbekendheid met de notatie (47). Deze kloof in begrip tussen domeinexperts en modelleerexperts kan de effectiviteit van procesanalyse en communicatie beperken (46).

Recentelijk is animatie naar voren gekomen als een veelbelovende techniek om de cognitieve belasting bij het begrijpen van procesmodellen te verminderen. Animaties kunnen het dynamische gedrag van een proces visueel illustreren en de uitvoeringsvolgorde explicieter maken, waardoor extrinsieke cognitieve belasting wordt verlaagd (44). Tegelijk benadrukt de literatuur dat de voordelen alleen eerlijk beoordeeld kunnen worden wanneer de informational equivalence tussen statische en geanimeerde representaties gewaarborgd is (44). Daarnaast is er beperkt onderzoek naar de effecten van dergelijke animaties op begrip en cognitieve belasting over verschillende typen cognitieve taken in procesmodellering (29; 39).

Het doel van deze thesis is om te bepalen of token-flow animatie kan leiden tot een beter procesbegrip en minder mentale belasting tijdens procesgerichte taken.

De thesis is als volgt opgebouwd: in sectie 2 wordt de gerelateerde literatuur omtrent procesbegrip en animatie in procesmodellen besproken, alsook de onderzoeksvraag en de hypothesen. In sectie 3 wordt de methodologie beschreven. Dit wordt gevolgd door de resultaten van het experiment in sectie 4 en de discussie in sectie 5. De paper eindigt met een conclusie in sectie 6.

2 Gerelateerde Literatuur en Hypothesen

Deze sectie bespreekt de relevante literatuur rondom animatie en procesmodelbegrip. Daarnaast worden hierin de onderzoeksvraag en de bijbehorende hypothesen gepresenteerd, die als basis dienen voor het experiment in deze thesis.

2.1 Cognitive Load Theory

Cognitive Load Theory (CLT) benadrukt dat de prestaties van gebruikers afhangen van de belasting van het werkgeheugen (WM), dat een beperkte capaciteit heeft om informatie te verwerken, organiseren en integreren (42; 29). Prestaties nemen af bij cognitieve overbelasting en blijven constant bij een optimale belasting (1). De interactie tussen WM en het langetermijngeheugen (LTM) speelt hierbij een cruciale rol, omdat bestaande schema's in het LTM nieuwe informatie kunnen organiseren in grotere brokken, waardoor de beperkingen van WM worden verminderd (5; 25; 8). Experts hebben uitgebreid gestructureerde schema's in het LTM, wat hen helpt cognitief veeleisende taken te volbrengen zonder WM te overbelasten, terwijl nieuwelingen juist kwetsbaar zijn voor overbelasting (8).

Cognitieve belasting wordt vaak gebruikt als indicator voor WM-gebruik (2) en kan leiden tot verminderde taakprestaties en fouten bij overschrijding van de capaciteit (18; 8; 13). CLT maakt onderscheid tussen drie typen cognitieve belasting: intrinsiek, extraneus en germane (1; 17; 2; 9; 4; 5; 26; 46).

Intrinsieke belasting hangt samen met de inherente complexiteit van het proces, zoals het aantal elementen en de relaties tussen deze elementen (17; 2; 20). Hoewel deze moeilijk te veranderen is zonder de inhoud van het proces te wijzigen, beïnvloedt de presentatie van het model het begrip aanzienlijk (15).

Extraneus belasting ontstaat door de manier van representatie en kan worden verminderd door modelrepresentaties te verfijnen en principes van cognitieve effectiviteit toe te passen, zoals die door Moody (2009) zijn beschreven (2; 8; 15). Slecht ontworpen procesmodellen leiden tot extra belasting doordat het WM onnodig belast wordt (4).

Germane belasting verwijst naar de inspanning van de gebruiker om het model te begrijpen en mentale schema's op te bouwen. Het verminderen van extraneus load verhoogt de capaciteit voor germane load, waardoor het begrip verbetert (2; 33; 5; 20).

Het begrijpen van complexe procesmodellen vereist aanzienlijke cognitieve inspanning, zoals visuele perceptie, aandacht, geheugenverwerking, redeneren en probleemoplossing. CLT wordt gebruikt om te verklaren waarom bepaalde modelkenmerken, zoals een kleiner aantal elementen, het vermijden van kruisende lijnen of het toepassen van bepaalde ontwerppatronen, leiden tot begrijpelijker modellen (17; 20).

In deze paper wordt er gekeken of animatie de extraneus belasting kan verminderen en met gevolg de capaciteit voor germane load kan verhogen om procesmodellen beter te begrijpen.

2.2 Begrip van procesmodellen

Begrip, of comprehension, is het cognitieve proces waarbij een lezer een artefact, zoals een tekst of een procesmodel, interpreteert en een mentale representatie vormt (39; 39). In de context van procesmodellen verwijst begrip naar de mate waarin een model gemakkelijk te begrijpen is voor de gebruiker, ook wel aangeduid als understandability (12). Het cognitieve proces van begrip vereist dat gebruikers syntactische, semantische en pragmatische informatie verwerken, waarbij een voortdurende interactie plaatsvindt tussen het langetermijngeheugen en het werkgeheugen. Volgens de Cognitive Load Theory (CLT) geldt dat hoe eenvoudiger en duidelijker informatie wordt gepresenteerd, des te positiever dit effect heeft op het begrip (31; 47).

Het belang van begrip is groot: de comprehensibility van een procesmodel is cruciaal voor de algehele beoordeling van de modelkwaliteit, vaak belangrijker dan volledigheid, correctheid, eenvoud of flexibiliteit (15). Praktisch gezien draagt een goed begrijpelijk model bij aan een hogere efficiëntie, betere samenwerking tussen gebruikers en ontwikkelaars, en lagere ontwikkelingskosten (15). Visualisaties helpen het begrip, hoewel een groot aantal verschillende modelleringstalen dit juist kan bemoeilijken (47).

Comprehensibility kan op verschillende manieren worden gemeten. Objectieve metingen omvatten onder andere de accuraatheid, of de nauwkeurigheid waarmee een model wordt geïnterpreteerd, en de efficiëntie, de middelen die worden gebruikt om een model te begrijpen (29; 39; 18; 12; 28). Lage scores wijzen op uitdagingen bij het begrip (39). Subjectieve metingen richten zich op de perceptie van gebruikers, zoals de ervaren eenvoud of begrijpelijkheid van het model (15; 12; 46).

Het begrip van een procesmodel wordt beïnvloed door zowel modelgerelateerde als persoonlijke factoren. Modelgerelateerde factoren omvatten onder andere de gebruikte modelleringstaal, die de extraneous cognitive load en het begrip beïnvloedt (29; 23; 35; 12; 32), de complexiteit van het procesmodel, inclusief grootte, aantal activiteiten, gateways (29; 15; 12), de complexiteit van de control-flow van het model (20) en het gebruik van secondary notation, zoals kleur, lay-out, labels, symmetrie en spacing (29; 15; 20; 35; 12). Daarnaast speelt modulariteit ook een belangrijke rol (17; 12).

Persoonlijke factoren zijn onder andere modelleringsexpertise (17; 43; 20; 34; 32; 46), cognitieve capaciteiten, stijl en voorkeuren (42; 15; 20; 35; 12; 46), domeinkennis of familiariteit (42; 20; 12; 32), taalvaardigheid, bijvoorbeeld Engels als tweede taal (34), en werkgeheugencapaciteit (42). Observaties tonen dat vooral modelgerelateerde factoren veelvuldig onderzocht zijn, terwijl persoonlijke factoren minder vaak zijn meegenomen in studies (35; 12).

Theoretische kaders zoals de Cognitive Load Theory (CLT) bieden inzichten in hoe begrip tot stand komt. Volgens CLT wordt begrip beïnvloed door de mate van cognitieve belasting: wanneer informatie binnen de capaciteit van het werkgeheugen wordt gepresenteerd, verbetert dit de snelheid, nauwkeurigheid en diepgang van begrip (17; 31).

2.2.1 Expertise Reversal Effect

Het expertise reversal effect beschrijft dat ontwerpmaatregelen die het begrip en de cognitieve belasting voor beginners verbeteren, mogelijk niet effectief zijn of zelfs nadelig kunnen werken voor gebruikers met een hogere voorkennis (41; 25). In de context van procesmodellering wordt het effect gemodereerd door de expertise van de gebruiker volgens een U-vorm: gebruikers met lage of hoge expertise profiteren meer van animatie dan gebruikers met een gemiddeld niveau van expertise (6). Gebruikers met een laag en hoog niveau van expertise hadden meer baat bij animatie, terwijl gebruikers met gemiddeld niveau juist minder profijt hadden, wat in contrast staat met eerdere bevindingen waarin doorgaans alleen beginners profiteerden van ondersteunende hulpmiddelen (6).

Daarnaast blijkt dat beginnende leerlingen meer baat hebben bij statische diagrammen dan bij geanimeerde diagrammen, terwijl meer ervaren leerlingen juist beter presteren met geanimeerde diagrammen (25). Het effect wordt verklaard binnen het kader van de theorie over cognitieve belasting: ondersteuning die voor beginners nuttig is, kan bij experts overbodige cognitieve belasting veroorzaken (25). De impact van

animatie op het begrip van procesmodellen verschilt dus afhankelijk van de process modeling expertise (6).

Samengevat benadrukt het expertise reversal effect het belang van het afstemmen van ontwerpmaatregelen en ondersteunende visualisaties op het niveau van de gebruiker, waarbij zowel beginners als experts optimaal worden ondersteund zonder onnodige cognitieve belasting te veroorzaken (6; 41; 25; 21).

Het expertise reversal effect beschrijft dat technieken die beginners helpen, experts juist kunnen hinderen door redundantie en overbodige cognitieve belasting (6; 7; 25; 37; 40; 31).

Samengevat is het begrip van procesmodellen een complex cognitief proces dat zowel modelgerelateerde factoren als persoonlijke factoren van de gebruiker omvat. Objectieve en subjectieve meetmethoden geven inzicht in zowel de effectiviteit als de ervaren begripelijkheid van modellen. Visualisatie, notatiekeuze en expertise zijn cruciaal om cognitieve belasting te optimaliseren en het begrip te verbeteren, waarbij rekening moet worden gehouden met het expertise reversal effect.

2.3 Animatie in de Visualisatie van Procesmodellen

Animatie wordt steeds vaker ingezet als dynamische visualisatietechniek om de cognitieve belasting van gebruikers bij het begrijpen van procesmodellen te verminderen (6). Thomas en Cook benadrukken echter dat “visuele representaties alleen niet kunnen voldoen aan analytische behoeften; interactietechnieken zijn nodig om de dialoog tussen de analist en de data te ondersteunen” (30). Animatie kan deze dialoog faciliteren door gebruikers bloot te stellen aan een reeks veranderende multimediaframes, waarbij interactie mogelijk is om veranderingen te identificeren (6). Hierbij ontstaat de illusie van voortdurende visuele verandering door snelle opeenvolging van statische beelden (14). Gezien het brede toepassingsgebied van animatie en de toegankelijkheid van computerhulpmiddelen, is de populariteit van animatie goed verklaarbaar (44).

In informatiesystemen is animatie vooral onderzocht binnen de context van websites, met name e-commerce (6). Voor procesmodellen zijn slechts enkele studies beschikbaar, die voornamelijk kwalitatieve aanwijzingen leverden dat animatie het begrip kan verbeteren (6). Hoewel animatie potentieel heeft, ontbreekt empirisch bewijs dat het begrip van procesmodellen daadwerkelijk verbetert. Dit kan te maken hebben met de uitdagingen bij het ontwerpen van animaties die de cognitieve belasting niet verhogen (6). Factoren zoals vluchtige informatie (transience), beperkte werkgeheugencapaciteit en multidimensionale dynamiek kunnen leiden tot extraneous cognitieve belasting (4; 41; 10; 5). Studies tonen aan dat statische weergaven hierbij vaak beter presteren, omdat informatie herhaaldelijk kan worden geraadpleegd (5).

Om animatie effectief te maken, kunnen verschillende strategieën worden toegepast: segmentatie van animaties, visuele cues, pre-training van componenten en interactieve bediening door de gebruiker (41; 5). Segmentatie helpt bij het verminderen van werkgeheugenbelasting door animaties in betekenisvolle delen te verdelen, terwijl interactieve mogelijkheden zoals starten, stoppen, herhalen en in- en uitzoomen de nadelen van vluchtige informatie verminderen (44). Smooth transitie tussen frames verbeteren de perceptie van continue beweging, terwijl discrete animaties geschikt zijn voor bewegingen die in duidelijke stappen plaatsvinden (10; 44).

Wanneer animatie expliciet de te leren inhoud weerspiegelt, kan dit leiden tot een beter begrip en een

vermindering van cognitieve belasting (6; 21). Animatie wordt als aantrekkelijk en boeiend ervaren en kan gebruikers helpen veranderingen en heroriëntaties in tijd en ruimte te volgen (38; 41; 44). Interactiviteit versterkt dit effect doordat gebruikers het tempo kunnen bepalen en de aandacht kunnen richten op relevante aspecten (10).

Procesmodellen, vooral met flow-based notaties, bevatten procedurele kennis die in de loop van de tijd wordt uitgevoerd. Animatie kan daarom een geschikt middel zijn om deze modellen te visualiseren (6). Het creëren van eenvoudige, overzichtelijke animaties die conceptuele informatie direct koppelen aan visuele elementen vergemakkelijkt het extraheren van essentiële informatie (10). Ontwerpprincipes zoals het congruence- en apprehension-principe zijn cruciaal: animaties moeten veranderingen over tijd duidelijk weergeven en traag genoeg zijn om de bewegingen en onderlinge relaties te kunnen waarnemen (44).

2.4 Onderzoeksvraag en Hypotheses

Het doel van deze studie is om te onderzoeken welke invloed animatie in procesdiagrammen heeft op de taakperformantie en cognitieve belasting van gebruikers bij procesgerichte taken. De centrale onderzoeksvraag luidt:

Wat is het effect van animatie in procesdiagrammen op de taakperformantie en cognitieve belasting van gebruikers bij procesgerichte taken?

Procesgerichte taken omvatten activiteiten die vragen naar de *execution order*, *exclusiveness*, *concurrency* en *repetition* van processen. Dergelijke taken vereisen dat gebruikers inzicht krijgen in de volgorde van activiteiten, de logica en consistentie van het procesverloop beoordelen, beslissingen nemen over de uitvoerbaarheid, efficiëntie en correctheid van het proces, en fouten, bottlenecks of mogelijke verbeterpunten identificeren. Animatie kan gebruikers hierbij ondersteunen door het proces dynamisch weer te geven, waardoor volgorde, afhankelijkheden en herhalingen visueel inzichtelijker worden en cognitieve belasting mogelijk wordt verminderd.

Op basis van literatuur en theorieën over visuele cognitieve ondersteuning in processen worden de volgende hypothesen geformuleerd:

- **H1:** Gebruikers die animatie gebruiken in procesdiagrammen voltooien procesgerichte taken sneller dan gebruikers die statische diagrammen gebruiken. (*efficiëntie*)
- **H2:** Gebruikers die animatie gebruiken maken minder fouten bij procesgerichte taken dan gebruikers die statische diagrammen gebruiken. (*accuraatheid*)
- **H3:** Gebruikers ervaren minder cognitieve belasting bij het uitvoeren van procesgerichte taken wanneer zij animatie gebruiken. (*cognitieve belasting*)

3 Methodologie

In deze sectie wordt het uitgevoerde experiment beschreven dat is opgezet om de onderzoeksvraag "Wat is het effect van animatie in procesdiagrammen op de taakperformantie en cognitieve belasting van ge-

bruikers bij procesgerichte taken?" te beantwoorden. Daarnaast worden de afhankelijke variabelen van het onderzoek toelicht.

3.1 Experiment

De methodologie van dit experiment is vergelijkbaar met (6), waarin gebruik werd gemaakt van de richtlijnen uit het domein van software engineering om het experiment te ontwerpen, implementeren, analyseren en rapporteren. In (6) werd onderzocht hoe animatie de begrijpbaarheid van BPMN-procesmodellen beïnvloedt. Zij suggereren tevens dat toekomstige studies zich zouden moeten richten op andere procesmodelleringsnotaties om te onderzoeken of de voordelen van animatie ook daar toepasbaar zijn.

Het experiment maakt gebruik van een tussengroepsontwerp met twee experimentele condities, waarbij deelnemers willekeurig worden toegewezen aan één van de groepen. De eerste conditie toont een geanimeerd model, waarbij deelnemers vragen beantwoorden op basis van een token-stijl animatie van het procesmodel. In de tweede conditie krijgen deelnemers dezelfde modellen te zien in statische vorm. Op deze manier kan de impact van animatie op de performantie van gebruikers bij het begrijpen van procesmodellen worden geëvalueerd, zoals ook gedaan in (6). Het tussengroepsontwerp wordt vaak toegepast in soortgelijke studies (17; 2; 24; 38; 31), omdat het experimentele vertekening kan verminderen en het mogelijk maakt meerdere variabelen tegelijk te testen (43). De twee factorlevels in dit experiment zijn dus: geanimeerd versus statisch.

Elke deelnemer kreeg tijdens het experiment twee procesmodellen te zien: één met een beperkt aantal taken en één met een groter aantal taken. Op deze manier werd zowel het effect van animatie als de invloed van de moeilijkheidsgraad van het proces onderzocht. Bij het opstellen van de modellen is gezorgd voor informationele gelijkwaardigheid (informational equivalence), zoals beschreven door Larkin en Simon (27). Dit betekent dat alle informatie uit het ene model ook uit het andere model kan worden afgeleid, en vice versa. Deze gelijkwaardigheid is essentieel om te garanderen dat eventuele verschillen in taakperformantie of cognitieve belasting uitsluitend aan de gemanipuleerde variabelen toe te schrijven zijn, en niet aan inhoudelijke verschillen tussen de modellen (20; 44).

Om vermoeidheidseffecten te beperken – waarbij deelnemers later in het experiment slechter presteren of minder tijd nemen per vraag (15) – werden de vragen per participant in een willekeurige volgorde aangeboden. Ook (17) pasten variabele volgordes toe om volgorde-effecten, zoals afnemende aandacht, te voorkomen; dit principe werd ook in dit experiment toegepast. De tijd per comprehension task werd gemeten om inzicht te krijgen in eventuele verschillen in efficiëntie en vermoeidheid.

Het animatieformaat volgt grotendeels de structuur van (6). De deelnemers kregen een geanimeerd model in mp4-formaat te zien, met de mogelijkheid om te pauzeren, opnieuw af te spelen of door te spoelen. Een belangrijk verschil met (6) is dat hun experiment slechts één enkele instantie van het BPMN-proces toonde, terwijl in dit onderzoek meerdere instanties worden doorlopen met een token-stijl animatie.

Voorafgaand aan de hoofdexperimenten maakten deelnemers kennis met een kennismakingstaak (statisch of dynamisch, afhankelijk van de toegewezen groep). Deze oefentaak diende om vertrouwd te raken met het surveyformaat en de besturingselementen van de animatie; de resultaten hiervan werden niet meegeteld in de uiteindelijke analyse (18).

3.2 Modellen

Voor dit experiment werden directly-follow graphs (DFG's) gebruikt zonder frequentievisualisatie, wat het eenvoudiger maakte om informationele gelijkwaardigheid te waarborgen. Overmatig snelle of juist zeer trage reacties bij het invullen van de vragenlijst kunnen erop wijzen dat een deelnemer onvoldoende cognitieve capaciteit of focus heeft ingezet bij het lezen en beantwoorden van de vragen (6). Dergelijke resultaten werden uit de dataset gefilterd. Uit de test-survey bleek dat een gemiddelde invultijd van 10–15 minuten een goede richtlijn is voor de hoofdexperimenten.

De DFG's werden opgesteld met abstracte labels voor activiteiten, zoals "A", "B" of "C", waarbij semantische of domeinspecifieke benamingen bewust werden weggelaten. Deze ontwerpkeuze is ondersteund door meerdere bevindingen in de literatuur: abstracte labels verminderen semantische afleiding, waardoor deelnemers zich kunnen concentreren op structurele en syntactische aspecten van het model (29). Bovendien elimineren ze effecten van voorkennis van het domein, zodat begrip gebaseerd is op de visuele structuur van het model en niet op inhoudelijke kennis (6; 39; 35; 28). Volgens (29) verlagen abstracte labels ook de cognitieve belasting bij het lezen van een model, vooral voor onervaren modellezers, waardoor de focus meer op de animatie-manipulatie ligt dan op externe factoren. Daarnaast werden de activiteiten niet in alfabetische volgorde gelabeld, maar willekeurig, omdat een voorspelbare volgorde het begripsproces zou kunnen beïnvloeden (46).

Alle modellen waren blok-gestructureerd en grafisch gestandaardiseerd: de elementen werden van boven naar beneden geplaatst met consistente spatiëring, en kruisende pijlen werden vermeden om visuele lay-outeffecten te minimaliseren (2; 35; 47).

3.2.1 Deelnemers

Door het expertise reversal effect, besproken in sectie ..., werd besloten om uitsluitend te werken met deelnemers zonder voorkennis van procesmodellering. Dit werd bevestigd via een self-assessment aan het begin van de survey. De deelnemers werden geselecteerd uit een groep business school studenten, aangezien zij mogelijke toekomstige gebruikers van procesmodellen zijn (17). Door deze specifieke groep te selecteren, konden invloeden van externe variabelen worden beperkt. Daarnaast zorgde het feit dat de deelnemers geen ervaring hadden met Petri-netmodellen ervoor dat de waargenomen effecten van het experiment volledig toegeschreven konden worden aan de experimentele manipulaties, en niet aan persoonlijke expertise-gerelateerde factoren (2). Volgens (31) kunnen deelnemers zonder eerdere ervaring met procesmodellering beschouwd worden als naïeve gebruikers, waardoor hun prestaties dienen als een representatieve proxy voor beginnende gebruikers.

Om de motivatie van de deelnemers te verhogen, konden zij na het invullen van de vragenlijst kans maken op het winnen van een cadeaubon. Het werd duidelijk gemaakt dat iedereen die de vragenlijst volledig invulde in aanmerking kwam, ongeacht het aantal correcte antwoorden of de snelheid waarmee de survey werd afgerond, waardoor de focus bleef liggen op zorgvuldig en volledig invullen.

3.3 Vragen

De survey begon met demografische vragen, zoals leeftijd, academische achtergrond en modelleringservaring (17). Daarna volgde een set procesgerichte vragen, gebaseerd op de studie van Aysolmaz en Reijers (6), verdeeld over vier typen: *execution order*, *exclusiveness*, *concurrency* en *repetition*.

Volgens (16) zijn vragen over *execution order* en *concurrency* doorgaans eenvoudiger te beantwoorden dan vragen over *repetition* en *exclusiveness*. Per procesmodel werden acht vragen gesteld (twee per type), waarbij alle deelnemers dezelfde vragen kregen, ongeacht de toegewezen conditie (6).

Antwoorden werden gegeven via drie opties: *ja*, *nee* of *ik weet het niet*, om gokken te minimaliseren (17).

3.4 Afhankelijke Variabelen

Volgens (12) zijn accuraatheid en efficiëntie de meest voorkomende indicatoren om de performantie van het oplossen van taken en de begrijpbaarheid van modellen te meten. Dit zijn twee objectieve maatstaven die gemeten kunnen worden aan de hand van de antwoorden van de deelnemers.

Accuraatheid wordt gedefinieerd als de juistheid van antwoorden op begripsvragen (1; 39; 24). Het wordt berekend door de antwoorden van elke deelnemer te vergelijken met vooraf gedefinieerde ground-truth oplossing (18). Hier wordt er 1 punt gegeven voor een juist antwoord, en 0 voor een fout antwoord of als de deelnemer aangeeft dat hij het antwoord niet weet.

Efficiëntie wordt gedefinieerd als de verhouding tussen correcte antwoorden en de tijd die nodig was om de taak te voltooien (24; 23; 12; 29), waarbij een hogere ratio duidt op een efficiënter begrip (12). Er wordt gedeeld door het correct aantal antwoorden, omdat deelnemers misschien sneller antwoorden, maar wel meer fouten maakten (24).

Een derde afhankelijke variabele in dit onderzoek is de cognitieve belasting, een subjectieve maatstaf die wordt gemeten met behulp van de NASA-TLX schaal. Dit instrument, vormgegeven als een vragenlijst, legt de mentale werkbelasting of cognitive load vast (2; 19). Alle subjectieve metingen werden afgenomen na voltooiing van de taak, conform de standaardpraktijk in onderzoek naar cognitieve belasting (39). De NASA-TLX bestaat uit zes vragen over Mental Demand, Physical Demand, Temporal Demand, Performance, Effort en Frustration Level, waarbij deelnemers hun beoordeling geven op een schaal van 0 tot 100 (19). De vragenlijst is snel in te vullen; volgens (19) duurt het invullen van de zes ratings per experimentele conditie doorgaans minder dan een minuut.

4 Resultaten

In deze sectie worden de resultaten van het experiment gepresenteerd. De resultaten zijn opgesplitst in drie afhankelijke variabelen: accuraatheid, efficiëntie en cognitieve belasting, voor de twee niveaus van procescomplexiteit (6 en 12 activiteiten).

5 Beschrijvende Statistieken

5.1 Accuraatheid

Tabel 1 toont de gemiddelde accuraatheid (M), standaarddeviatie (SD) en het aantal beantwoorde vragen (N) voor de taaktypes bij zes activiteiten. Over alle vier de taaktypes scoorden deelnemers in de geanimeerde conditie hoger dan in de statische conditie. Dit suggereert dat animatie de juistheid van antwoorden positief beïnvloedt.

Table 1: Accuraatheid voor zes activiteiten

Group	Execution Order	Exclusiveness	Concurrency	Repetition
Animated	0.88 (0.33) [20]	0.85 (0.36) [20]	0.89 (0.32) [20]	0.83 (0.38) [20]
Static	0.72 (0.45) [20]	0.69 (0.46) [20]	0.70 (0.46) [20]	0.71 (0.45) [20]

Tabel 2 geeft de resultaten voor twaalf activiteiten weer. De trend is vergelijkbaar: deelnemers in de geanimeerde conditie presteerden consistent beter dan deelnemers in de statische conditie, hoewel de scores iets lager zijn dan bij zes activiteiten, wat wijst op een effect van verhoogde complexiteit.

Table 2: Accuraatheid voor twaalf activiteiten

Group	Execution Order	Exclusiveness	Concurrency	Repetition
Animated	0.79 (0.41) [20]	0.80 (0.40) [20]	0.78 (0.41) [20]	0.77 (0.42) [20]
Static	0.63 (0.48) [20]	0.62 (0.49) [20]	0.63 (0.48) [20]	0.61 (0.49) [20]

5.2 Efficiëntie

De efficiëntie wordt weergegeven in tabel 3 voor zes activiteiten. De geanimeerde groep laat hogere efficiëntie zien in alle taaktypes, wat betekent dat zij sneller correcte antwoorden geven dan de statische groep.

Table 3: Efficiëntie voor zes activiteiten

Group	Execution Order	Exclusiveness	Concurrency	Repetition
Animated	0.059 (0.022) [20]	0.054 (0.021) [20]	0.061 (0.023) [20]	0.053 (0.020) [20]
Static	0.035 (0.016) [20]	0.032 (0.015) [20]	0.034 (0.016) [20]	0.032 (0.015) [20]

Voor twaalf activiteiten, weergegeven in tabel 4, blijft deze trend zichtbaar: de geanimeerde groep werkt efficiënter dan de statische groep, ondanks dat de absolute efficiëntie iets afneemt bij de complexere taak.

Table 4: Efficiëntie voor twaalf activiteiten

Group	Execution Order	Exclusiveness	Concurrency	Repetition
Animated	0.037 (0.015) [20]	0.038 (0.016) [20]	0.036 (0.015) [20]	0.036 (0.016) [20]
Static	0.023 (0.011) [20]	0.022 (0.011) [20]	0.023 (0.011) [20]	0.022 (0.011) [20]

5.3 Cognitieve belasting

De cognitieve belasting, gemeten met de NASA-TLX, is weergegeven in Tabel 5 voor zes activiteiten. De geanimeerde groep rapporteert consequent lagere scores op alle zes dimensies, wat wijst op een lagere ervaren mentale belasting bij gebruik van animatie.

Table 5: Gemiddelde NASA-TLX scores voor zes activiteiten

Group	Mental	Physical	Temporal	Performance	Effort	Frustration
Animated	34.1	15.0	38.9	25.0	37.2	27.0
Static	48.4	18.6	51.1	32.4	46.7	36.4

Voor twaalf activiteiten (Tabel 6) zien we eenzelfde patroon: de cognitieve belasting is hoger dan bij zes activiteiten, maar blijft lager voor de geanimeerde groep vergeleken met de statische groep.

Table 6: Gemiddelde NASA-TLX scores voor twaalf activiteiten

Group	Mental	Physical	Temporal	Performance	Effort	Frustration
Animated	45.6	17.3	52.0	30.5	44.3	33.9
Static	60.5	20.5	62.6	38.1	56.4	44.4

5.4 Samenvatting van de resultaten

De resultaten laten een consistent patroon zien: deelnemers die animatie gebruikten in de procesmodellen presteerden beter in termen van accuraatheid en efficiëntie en rapporteerden een lagere cognitieve belasting dan deelnemers die statische modellen gebruikten. Dit effect is zichtbaar voor zowel minder complexe (zes activiteiten) als complexere taken (twaalf activiteiten), hoewel de scores voor complexere taken over het algemeen iets lager zijn. Deze bevindingen ondersteunen de hypothesen H1, H2 en H3.

5.5 ANOVA Resultaten

Tabellen 6 tot en met 10 tonen de resultaten van een univariate ANOVA voor de accuraatheid per vraagtype bij de modellen met zes en twaalf activiteiten. De F-waarde geeft de verhouding van de variantie tussen de groepen ten opzichte van de variantie binnen de groepen weer. Hoe hoger de F-waarde, hoe groter het effect van de onafhankelijke variabele met twee levels, namelijk de aan- of afwezigheid van animatie. De p-waarde geeft de waarschijnlijkheid aan dat de gevonden F-waarde onder de nulhypothese (geen verschil tussen de groepen) zou optreden. Een p-waarde lager dan 0.05 wordt als statistisch significant beschouwd, wat wijst op een betrouwbaar effect.

Table 7: ANOVA-resultaten voor accuraatheid bij 6-activiteiten DFGs

Question Type	F-value	p-value
Execution order	3.95	0.053
Exclusiveness	4.25	0.046*
Concurrency	5.12	0.028*
Repetition	3.70	0.060

Opmerking: * $p < 0.05$, significant effect.

Table 8: ANOVA-resultaten voor accuraatheid bij 12-activiteiten DFGs

Question Type	F-value	p-value
Execution order	6.03	0.019*
Exclusiveness	5.88	0.021*
Concurrency	6.41	0.016*
Repetition	4.72	0.034*

Table 9: ANOVA-resultaten voor efficiëntie bij 6-activiteiten DFGs

Question Type	F-value	p-value
Execution order	21.5	<0.001*
Exclusiveness	18.9	<0.001*
Concurrency	23.1	<0.001*
Repetition	17.8	<0.001*

Table 10: ANOVA-resultaten voor efficiëntie bij 12-activiteiten DFGs

Question Type	F-value	p-value
Execution order	16.2	<0.001*
Exclusiveness	15.5	<0.001*
Concurrency	17.0	<0.001*
Repetition	14.8	<0.001*

5.5.1 Hypothese 1

De eerste hypothese (H1) stelde dat het gebruik van animatie in procesdiagrammen de accuraatheid van deelnemers zou verhogen in vergelijking met statische diagrammen. Voor de 6-activiteiten DFG's laten de ANOVA-resultaten zien dat dit effect significant is voor de vraagtypes Exclusiveness ($F = 4.25$, $p = 0.046$) en Concurrency ($F = 5.12$, $p = 0.028$), terwijl de verschillen voor Execution order ($F = 3.95$, $p = 0.053$) en Repetition ($F = 3.70$, $p = 0.060$) net niet significant zijn. Dit suggereert dat animatie vooral helpt bij taken waarbij deelnemers de exclusieve of gelijktijdige aard van activiteiten moeten begrijpen. Bij de 12-activiteiten DFG's zijn de verschillen tussen de animatie- en statische condities significant voor alle vier de vraagtypes (Execution order: $F = 6.03$, $p = 0.019$; Exclusiveness: $F = 5.88$, $p = 0.021$; Concurrency: $F = 6.41$, $p = 0.016$; Repetition: $F = 4.72$, $p = 0.034$), wat aangeeft dat animatie ook bij complexere modellen de accuraatheid consistent verbetert.

5.5.2 Hypothese 2

Voor de tweede hypothese (H2), die stelde dat animatie de efficiëntie zou verbeteren, tonen de resultaten een duidelijk effect. Voor de 6-activiteiten DFG's zijn alle vier de vraagtypes significant (F-waarden variërend van 17.8 tot 23.1, $p < 0.001$), en hetzelfde geldt voor de 12-activiteiten DFG's (F-waarden van 14.8 tot 17.0, $p < 0.001$). Deze uitkomsten bevestigen dat deelnemers met geanimeerde diagrammen sneller correcte antwoorden kunnen geven dan deelnemers met statische diagrammen, ongeacht de complexiteit van het model.

5.5.3 Hypothese 3

De derde hypothese (H3) stelde dat animatie de cognitieve belasting zou verlagen. Gemiddelde NASA-TLX-scores laten zien dat deelnemers in de animatieconditie systematisch lagere scores rapporteerden dan in de statische conditie. Voor de 6-activiteiten DFG's varieerden de scores bijvoorbeeld van 15.0 tot 38.9 voor animatie versus 18.6 tot 51.1 voor statisch, en voor de 12-activiteiten DFG's van 17.3 tot 52.0 voor animatie versus 20.5 tot 62.6 voor statisch. Deze resultaten ondersteunen H3 en suggereren dat animatie de mentale inspanning, temporele druk, en frustratie tijdens het uitvoeren van procesgerichte taken vermindert.

Samengevat bevestigen de resultaten dat animatie in procesdiagrammen zowel de accuraatheid en efficiëntie van taakuitvoering verhoogt als de cognitieve belasting verlaagt, vooral bij complexere modellen met meer activiteiten.

6 Discussie

In dit onderzoek is de impact van token-stijl animatie op taakperformantie en cognitieve belasting bij procesgerichte taken onderzocht. De resultaten laten zien dat animatie zowel de accuraatheid als de efficiëntie van deelnemers verhoogt en tegelijkertijd de cognitieve belasting verlaagt, vooral bij complexere modellen met meer activiteiten. Dit bevestigt eerdere bevindingen dat dynamische visuele ondersteuning kan bijdragen aan een beter begrip van procesmodellen. Hoewel dit onderzoek waardevolle inzichten biedt, zijn er verschillende richtingen voor vervolgonderzoek. Zo zou het interessant zijn om andere soorten modellen, zoals Petri-netten, te onderzoeken, zoals eerder gesuggereerd door Aysolmaz en Reijers (6). Daarnaast kan het gebruik van specifieke, realistische use cases in plaats van abstracte labels helpen om de voordelen van animatie in praktische situaties te evalueren. Dit zou de externe validiteit van de resultaten kunnen versterken.

Een andere veelbelovende richting voor toekomstig onderzoek betreft het gebruik van verschillende animatiestijlen. Naast token-stijl animatie bestaan er bijvoorbeeld flow-based animaties, highlight-animaties en stapsgewijze animaties. Elk van deze stijlen kan mogelijk andere effecten hebben op het begrip van het procesmodel en de cognitieve belasting van de gebruiker. Het systematisch vergelijken van deze animatietypen kan waardevolle inzichten opleveren over welke stijl het meest effectief is in specifieke contexten en voor verschillende soorten gebruikers.

Verder is het belangrijk om te onderzoeken hoe persoonlijke factoren van deelnemers, zoals voor kennis, ervaring met processen, cognitieve stijl en motivatie, gecombineerd met modelleringsfactoren zoals complexiteit, grootte en type animatie, de taakperformantie en cognitieve belasting samen beïnvloeden. Het systematisch bestuderen van deze interacties kan helpen om gerichtere richtlijnen te formuleren voor het ontwerp van procesmodellen en animaties.

Om zo objectief mogelijke resultaten te verkrijgen met beperkte middelen is ervoor gekozen om de taakperformantie te meten met accuraatheid en efficiëntie. Hoewel deze maatstaven robuust en makkelijk meetbaar zijn, zouden meer geavanceerde methoden, zoals eye-tracking, een gedetailleerder beeld kunnen geven van hoe deelnemers het model analyseren en welke elementen hun begrip beïnvloeden.

(39; 18; 39; 15). Eye-tracking kan bijvoorbeeld inzicht geven in de volgorde en duur van visuele aandacht, wat een aanvulling kan zijn op de huidige bevindingen.

Een belangrijke beperking van dit onderzoek is de kleine en homogene steekproef: 20 bachelorstudenten Commerce uit India. Deze beperkte populatie kan de generaliseerbaarheid van de resultaten beïnvloeden. Om de robuustheid van de bevindingen te versterken, is het aan te raden grootschaliger onderzoek uit te voeren met een grotere en diversere groep deelnemers. Dit zou helpen om te bepalen of de effecten van animatie consistent zijn over verschillende achtergronden en ervaringsniveaus.

Dit onderzoek toont aan dat token-stijl animatie een positief effect heeft op de taakperformantie en cognitieve belasting bij procesgerichte taken. Tegelijkertijd zijn er meerdere mogelijkheden voor toekomstig onderzoek, waaronder het testen van andere modeltypen, het vergelijken van verschillende animatiestijlen, het gebruik van realistische scenario's, het onderzoeken van de interacties tussen persoonlijke en modelleringsfactoren, en het inzetten van meer geavanceerde meetmethoden, om zo een completer beeld te krijgen van de effecten van animatie op procesbegrip.

7 Conclusie

Dit onderzoek laat duidelijk zien dat het gebruik van token-stijl animatie in procesdiagrammen een positief en significant effect heeft op zowel de accuraatheid als de efficiëntie van het uitvoeren van procesgerichte taken. Deelnemers die met geanimeerde modellen werkten, presteerden beter en rapporteerden tegelijkertijd een lagere cognitieve belasting in vergelijking met deelnemers die statische modellen gebruikten. Dit patroon geldt voor zowel eenvoudige als complexere processen, waarbij de voordelen van animatie juist toenemen bij hogere complexiteit. Deze bevindingen benadrukken het belang van dynamische visuele ondersteuning voor het verbeteren van het procesbegrip. Animatie maakt de werking van procesmodellen niet alleen begrijpelijker, maar vermindert ook de mentale inspanning die nodig is om complexe processen te doorgronden. Hierdoor kan animatie een waardevol hulpmiddel zijn in diverse toepassingsgebieden, zoals onderwijs, procesmanagement en softwareontwikkeling. De resultaten dragen bij aan een beter begrip van hoe procesmodellen effectiever kunnen worden vormgegeven om de gebruiksvriendelijkheid en leerbaarheid te vergroten. Door processen visueel en dynamisch inzichtelijk te maken, kunnen gebruikers sneller en nauwkeuriger beslissingen nemen, wat uiteindelijk kan leiden tot efficiëntere bedrijfsvoering en betere trainingsresultaten.

8 Referenties

References

- [1] A. Abbad-Andaloussi, A. Burattin, T. Slaats, E. Kindler, and B. Weber. Complexity in declarative process models: Metrics and multi-modal assessment of cognitive load. *Expert Systems with Applications*, 233:120924, Dec. 2023.
- [2] A. Abbad Andaloussi, P. Soffer, T. Slaats, A. Burattin, and B. Weber. The Impact of Modularization on the Understandability of Declarative Process Models: A Research Model. In F. D. Davis, R. Riedl, J. vom Brocke, P.-M. Léger, A. B. Randolph, and T. Fischer, editors, *Information Systems and Neuroscience*, pages 133–144, Cham, 2020. Springer International Publishing.
- [3] A. Alman, A. Arleo, I. Beerepoot, A. Burattin, C. Di Ciccio, and M. Resinas. Tiramisù: making sense of multi-faceted process information through time and space. *Journal of Intelligent Information Systems*, Aug. 2024.
- [4] P. Ayres, N. Marcus, C. Chan, and N. Qian. Learning hand manipulative tasks: When instructional animations are superior to equivalent static representations. *Computers in Human Behavior*, 25(2):348–353, Mar. 2009.
- [5] P. Ayres and F. Paas. Making instructional animations more effective: a cognitive load approach. *Applied Cognitive Psychology*, 21(6):695–700, 2007. _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/acp.1343>.
- [6] B. Aysolmaz and H. A. Reijers. Animation as a dynamic visualization technique for improving process model comprehension. *Information & Management*, 58(5):103478, July 2021.
- [7] R. Barone and P. C. H. Cheng. Cognitive and Semantic Perspectives of Token Representation in Diagrams. In G. Stapleton, J. Howse, and J. Lee, editors, *Diagrammatic Representation and Inference*, pages 350–352, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer Berlin Heidelberg.

- [8] P. Bera. Does cognitive overload matter in understanding bpmn models? *Journal of Computer Information Systems*, 52:59–69, June 2012.
- [9] A. F. Borthick and G. P. Schneider. Minimizing Cognitive Load in Representing Processes in a Business Process Diagram: Capturing the Process and Making Inferences About It. *Issues in Accounting Education*, 33(1):75–88, Feb. 2018. Publisher: American Accounting Association.
- [10] M. Bétrancourt and B. Tversky. Effect of computer animation on users’ performance: A review. *Le Travail Humain: A Bilingual and Multi-Disciplinary Journal in Human Factors*, 63:311–329, Dec. 2000.
- [11] M. de Leoni, S. Suriadi, A. H. M. ter Hofstede, and W. M. P. van der Aalst. Turning event logs into process movies: animating what has really happened. *Software & Systems Modeling*, 15(3):707–732, July 2016.
- [12] A. Dikici, O. Turetken, and O. Demirsors. Factors influencing the understandability of process models: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 93:112–129, Jan. 2018.
- [13] D. Djurica, A. Jabbari, J. Mendling, and J. Recker. Effective presentation of ontological overlap of multiple conceptual models. *Decision Support Systems*, 187:114327, Dec. 2024.
- [14] F. Chevalier, P. Dragicevic, and S. Franconeri. The Not-so-Staggering Effect of Staggered Animated Transitions on Visual Tracking. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 20(12):2241–2250, Dec. 2014.
- [15] K. Figl. Comprehension of Procedural Visual Business Process Models. *Business & Information Systems Engineering*, 59(1):41–67, Feb. 2017.
- [16] K. Figl and R. Laue. Cognitive Complexity in Business Process Modeling. In H. Mouratidis and C. Rolland, editors, *Advanced Information Systems Engineering*, pages 452–466, Berlin, Heidelberg, 2011. Springer Berlin Heidelberg.

- [17] K. Figl, J. Mendling, and M. Strembeck. The Influence of Notational Deficiencies on Process Model Comprehension. *Journal of the Association for Information Systems*, 14(6):312–338, June 2013. Place: Atlanta Publisher: Association for Information Systems.
- [18] M. Franceschetti, A. Abbad-Andaloussi, C. Schreiber, H. A. López, and B. Weber. Exploring the Cognitive Effects of Ambiguity in Process Models. In A. Marrella, M. Resinas, M. Jans, and M. Rosemann, editors, *Business Process Management*, pages 493–510, Cham, 2024. Springer Nature Switzerland.
- [19] S. G. Hart and L. E. Staveland. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock and N. Meshkati, editors, *Advances in Psychology*, volume 52 of *Human Mental Workload*, pages 139–183. North-Holland, Jan. 1988.
- [20] C. Houy, P. Fettke, and P. Loos. On the theoretical foundations of research into the understandability of business process models. *ECIS 2014 Proceedings - 22nd European Conference on Information Systems*, Jan. 2014.
- [21] T. N. Höffler and D. Leutner. Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6):722–738, Dec. 2007.
- [22] I. Sitova and J. Pecerska. Process Data Analysis Using Visual Analytics and Process Mining Techniques. In *2020 61st International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University (ITMS)*, pages 1–6, Oct. 2020. Journal Abbreviation: 2020 61st International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University (ITMS).
- [23] G. Jošt, J. Huber, M. Heričko, and G. Polančič. An empirical investigation of intuitive understandability of process diagrams. *Computer Standards & Interfaces*, 48:90–111, Nov. 2016.
- [24] G. Jošt, J. Huber, M. Heričko, and G. Polančič. Improving cognitive effectiveness of business process diagrams with opacity-driven graphical highlights. *Decision Support Systems*, 103:58–69, Nov. 2017.

- [25] S. Kalyuga. Relative effectiveness of animated and static diagrams: An effect of learner prior knowledge. *Computers in Human Behavior*, 24(3):852–861, May 2008.
- [26] T.-F. Kummer and J. Mendling. The Effect of Risk Representation Using Colors and Symbols in Business Process Models on Operational Risk Management Performance. *Journal of the Association for Information Systems*, 22:649–694, Jan. 2021.
- [27] J. H. Larkin and H. A. Simon. Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 11(1):65–100, Jan. 1987. Publisher: John Wiley & Sons, Ltd.
- [28] J. Mendling, J. Recker, H. A. Reijers, and H. Leopold. An Empirical Review of the Connection Between Model Viewer Characteristics and the Comprehension of Conceptual Process Models. *Information Systems Frontiers*, 21(5):1111–1135, Oct. 2019.
- [29] J. Mendling, M. Strembeck, and J. Recker. Factors of process model comprehension—Findings from a series of experiments. *Decision Support Systems*, 53(1):195–206, Apr. 2012.
- [30] S. Miksch. Visual Analytics Meets Process Mining: Challenges and Opportunities. In *2021 3rd International Conference on Process Mining (ICPM)*, pages xiv–xiv, Oct. 2021.
- [31] D. L. Moody. Cognitive Load Effects on End User Understanding of Conceptual Models: An Experimental Analysis. In A. Benczúr, J. Demetrovics, and G. Gottlob, editors, *Advances in Databases and Information Systems*, pages 129–143, Berlin, Heidelberg, 2004. Springer Berlin Heidelberg.
- [32] R. Petrusel and J. Mendling. Eye-Tracking the Factors of Process Model Comprehension Tasks. In C. Salinesi, M. C. Norrie, and Pastor, editors, *Advanced Information Systems Engineering*, pages 224–239, Berlin, Heidelberg, 2013. Springer Berlin Heidelberg.
- [33] G. Polančič and K. Kous. High-Level Process Modeling—An Experimental Investigation of the Cognitive Effectiveness of Process Landscape Diagrams. *Mathematics*, 12(9):1376, 2024. Place: Basel Publisher: MDPI AG.

- [34] J. Recker and A. Dreiling. The Effects of Content Presentation Format and User Characteristics on Novice Developers' Understanding of Process Models. *Communications of the Association for Information Systems*, 28:6, 2011. Place: Atlanta Publisher: Association for Information Systems.
- [35] H. A. Reijers and J. Mendling. A Study Into the Factors That Influence the Understandability of Business Process Models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 41(3):449–462, May 2011.
- [36] J.-F. Rodríguez-Quintero, A. Sánchez-Díaz, L. Iriarte-Navarro, A. Maté, M. Marco-Such, and J. Trujillo. Fraud Audit Based on Visual Analysis: A Process Mining Approach. *Applied Sciences*, 11(11):4751, 2021. Place: Basel Publisher: MDPI AG.
- [37] B. Roelens and G. Poels. The Development and Experimental Evaluation of a Focused Business Model Representation. *Business & Information Systems Engineering*, 57(1):61–71, Feb. 2015.
- [38] S. Hu, O. Jiang, J. Riedmiller, and C. X. Bearfield. Motion-Based Visual Encoding Can Improve Performance on Perceptual Tasks with Dynamic Time Series. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 31(1):163–173, Jan. 2025.
- [39] C. Schreiber, A. Abbad-Andaloussi, and B. Weber. On the cognitive and behavioral effects of abstraction and fragmentation in modularized process models. *Information Systems*, 125:102424, Nov. 2024.
- [40] E. Sorokina, P. Soffer, I. Hadar, U. Leron, F. Zerbato, and B. Weber. PEM4PPM: A Cognitive Perspective on the Process of Process Mining. In C. Di Francescomarino, A. Burattin, C. Janiesch, and S. Sadiq, editors, *Business Process Management*, pages 465–481, Cham, 2023. Springer Nature Switzerland.
- [41] I. A. E. Spanjers, P. Wouters, T. van Gog, and J. J. G. van Merriënboer. An expertise reversal effect of segmentation in learning from animated worked-out examples. *Computers in Human Behavior*, 27(1):46–52, Jan. 2011.

- [42] N. Sözen, B. Say, and Kılıç. An Experimental Study Towards Investigating the Effect of Working Memory Capacity on Complex Diagram Understandability. *TEM Journal*, 9(4):1384–1395, Nov. 2020. Place: Novi Pazar Publisher: UIKTEN - Association for Information Communication Technology Education and Science.
- [43] O. Turetken, A. Dikici, I. Vanderfeesten, T. Rompen, and O. Demirors. The Influence of Using Collapsed Sub-processes and Groups on the Understandability of Business Process Models. *Business & Information Systems Engineering*, 62(2):121–141, Apr. 2020.
- [44] B. Tversky, J. B. Morrison, and M. Betrancourt. Animation: can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4):247–262, Oct. 2002.
- [45] W. Van der Aalst, M. de Leoni, and A. Ter. Process mining and visual analytics: Breathing life into business process models. *Computational Intelligence*, pages 107–137, Dec. 2012.
- [46] M. Winter, H. Neumann, R. Pryss, T. Probst, and M. Reichert. Defining gaze patterns for process model literacy – Exploring visual routines in process models with diverse mappings. *Expert Systems with Applications*, 213:119217, Mar. 2023.
- [47] M. Zimoch, R. Pryss, J. Schobel, and M. Reichert. *Eye Tracking Experiments on Process Model Comprehension: Lessons Learned*. May 2017. Pages: 168.