



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur in de beleidsinformatica

Masterthesis

Broeikasgassen en ESG: een BPM aanpak

Cobe Pieters

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Mieke JANS

COPROMOTOR :

dr. Gert JANSSENSWILLEN



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be
Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2023
2024



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur in de beleidsinformatica

Masterthesis

Broeikasgassen en ESG: een BPM aanpak

Cobe Pieters

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Mieke JANS

COPROMOTOR :

dr. Gert JANSSENSWILLEN

Broeikasgassen en ESG: een BPM aanpak

Cobe Pieters

Master handelsingenieur in de beleidsinformatica

Promotor: Prof. dr. Mieke Jans

Co-promotor: Dr. Gert Janssenswillen

Universiteit Hasselt, Agoralaan gebouw D 3590 Diepenbeek België

In de huidige bedrijfswereld wordt de integratie van milieuverantwoordelijkheid met bedrijfsresultaten steeds belangrijker. Een van de grootste uitdagingen hierbij is het gebrek aan transparantie en kwaliteit van broeikasgasdata (BKG) in Environmental, Social, and Governance (ESG) rapporten. Dit probleem belemmert een nauwkeurige beoordeling van de milieu-impact van bedrijven en vermindert het vertrouwen van stakeholders. In deze studie wordt een procesgerichte benadering voorgesteld om de kwaliteit en transparantie van BKG-data in ESG-rapporten te verbeteren. We ontwikkelen een methode die gebruik maakt van Business Process Model and Notation (BPMN) en proces mining technieken om BKG-data op een gedetailleerd en gestandaardiseerd niveau te integreren en te visualiseren. Deze aanpak maakt gebruik van een BPMN-extensie om nauwkeurige en verifieerbare data te verkrijgen en te rapporteren. De bevindingen laten zien dat de integratie van BPMN en proces mining gedetailleerde inzichten kan bieden in de emissiehotspots binnen bedrijfsprocessen. Dit kan bedrijven in staat stellen om gerichte emissiereductie KPI's vast te leggen en de algehele datakwaliteit en transparantie van hun ESG-rapportering te verbeteren. Deze studie is een fundamentele stap richting een verbeterde standaard voor ESG-rapportering die kan leiden tot betere vergelijkbaarheid en verhoogd vertrouwen onder belanghebbenden.

Keywords: *Business Process Management (BPM), Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), Business Process Model and Notation (BPMN), Process mining, Broeikasgasemissies (BKG-emissies), Environmental, Social, and Governance (ESG) rapportering, Data-integratie*

1 Inleiding

In de hedendaagse bedrijfswereld is het steeds belangrijker geworden om milieuverantwoordelijkheid te integreren in de bedrijfsvoering. Met de toenemende focus op duurzaamheid binnen de bedrijfsvoering heeft de rapportering van broeikasgasemissies (BKG) als essentieel onderdeel van het bepalen van de milieupact van organisaties steeds meer aandacht gekregen [1, 2]. Broeikasgassen vormen een fundamenteel onderdeel van de 'Environment' categorie binnen Environmental, Social, and Governance (ESG) criteria [3].

ESG staat voor Environmental, Social, and Governance en verwijst naar een reeks criteria die worden gebruikt om de duurzaamheid en ethische impact van een bedrijf te beoordelen. De 'Environmental' component richt zich op hoe een bedrijf met het milieu omgaat, inclusief factoren zoals energieverbruik, afvalbeheer en uitstoot van broeikasgassen. De 'Social' component evalueert hoe een bedrijf zijn relaties beheert met werknemers, leveranciers, klanten en de gemeenschappen waarin het opereert. De 'Governance' component beoordeelt zaken als bedrijfsleiderschap, beloning van bestuurders, audits, interne controles en aandeelhoudersrechten. ESG-rapportering biedt stakeholders, zoals investeerders en regelgevers, inzicht in de niet-financiële prestaties van een bedrijf en helpt bij het maken van geïnformeerde beslissingen over duurzaamheid en ethiek [4].

Echter, het proces van het vastleggen en rapporteren van BKG-gegevens, van initiële meting tot het finale ESG-rapport, wordt gehinderd door onzekerheden over de herkomst en juistheid van deze data [5]. Dit resulteert in uitdagingen voor controleorganen die de accuraatheid van de gerapporteerde uitstoot moeten beoordelen [1].

De strengere Europese regelgeving omtrent de Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) [6], legt bedrijven niet alleen compliance-verplichtingen op, maar ook als doel een diepgaandere integratie van milieubewustzijn in bedrijfsprocessen [7]. Desondanks kampen huidige methoden voor het rapporteren van BKG-data met significante tekortkomingen in zowel kwaliteit als transparantie, wat vaak leidt tot onvolledige, inaccurate of misleidende rapportering [?, 1]. Dit resulteert in een verzwakt vertrouwen van stakeholders en bemoeilijkt effectieve verantwoording en strategische planning [8].

Het primaire probleem dat dit onderzoek adresseert, is het gebrek aan standaardisatie in de manier waarop bedrijven BKG-data verwerken, meten en weergeven [1, 9]. Door de verschillende benaderingen van bedrijven is vergelijkbaarheid tussen organisaties moeilijk, zo niet onmogelijk [7, 10]. Dit onderzoek stelt daarom een algemene methode voor, een blauwdruk, voor bedrijven om BKG-data op een eenduidige manier te integreren en te rapporteren.

Het aanpakken van deze tekortkomingen vereist een procesgerichte benadering. Bedrijfsprocessen vormen de kern van operationele activiteiten en zijn cruciaal voor het vastleggen van nauwkeurige emissiegegevens. Door bedrijfsprocessen nauwkeurig te modelleren en te analyseren, kunnen we inzicht krijgen in de specifieke bronnen van emissies en hoe deze effectief gerapporteerd kunnen worden [11]. Het gebruik van Business Process Model and Notation (BPMN) en proces mining technieken biedt hierbij een structurele aanpak. BPMN helpt bij het visualiseren van bedrijfsprocessen, terwijl proces mining gedetailleerde

data-analyse mogelijk maakt door patronen en afwijkingen in de procesuitvoering te identificeren.

Onze aanpak richt zich op het verbeteren van de transparantie en de kwaliteit van ESG-rapportering, wat essentieel is om te voldoen aan zowel interne als externe verplichtingen. Door de integratie van BPMN en proces mining biedt dit onderzoek gedetailleerde inzichten op activiteitsniveau binnen bedrijfsprocessen. Hierdoor kunnen specifieke bronnen van emissies worden geïdentificeerd, wat niet alleen helpt bij het vaststellen van gerichte emissiereductie KPI's, maar ook bij het verbeteren van de algehele datakwaliteit en transparantie. De visualisatie van broeikasgassen per activiteit maakt het mogelijk om gerichte acties te ondernemen en processen continu te verbeteren.

Deze procesgerichte benadering zorgt voor een gestandaardiseerde en gedetailleerde rapportering die door alle bedrijven kan worden toegepast. Dit leidt tot betere vergelijkbaarheid en verhoogt het vertrouwen onder belanghebbenden. Hoewel verder onderzoek nodig is om te bevestigen of deze methode daadwerkelijk aan alle doelstellingen bijdraagt, vormt dit onderzoek een belangrijke stap richting een verbeterde standaard voor ESG-rapportering.

In de komende secties beschrijven we eerst de achtergrond van ons onderzoek, inclusief de huidige stand van zaken in ESG-rapportering en de uitdagingen die bedrijven tegenkomen. Vervolgens presenteren we een motiverend voorbeeld dat de relevantie en potentie van onze methodologische benadering illustreert. Daarna gaan we in op de methodologie die we hebben gebruikt om een procesgerichte benadering te ontwikkelen en te implementeren voor de verbetering van de kwaliteit en transparantie van ESG-rapportering. In de sectie 'Ontwikkeling methode' bespreken we in detail hoe de voorgestelde aanpak is ontworpen en toegepast, met nadruk op de stappen en technieken die zijn gebruikt om de rapportering te verbeteren. Tenslotte volgt de 'Discussie en Conclusie', waarin we reflecteren op de bevindingen, de methodologische beperkingen bespreken en aanbevelingen doen voor toekomstig onderzoek.

2 Achtergrond

In dit onderdeel geven we enerzijds achtergrond in ESG-rapportering en anderzijds gaan we ook inzoomen op enkele elementen van het BPM-domein die relevant zijn voor het bouwen van onze oplossing. In de wetenschappelijke literatuur worden diverse termen gebruikt die vaak overlappen of onderling verbonden zijn met betrekking tot duurzaamheidsrapportering. Deze termen omvatten 'sustainability reporting' [1], 'social and environmental reporting' [12], 'environmental, social, and governance (ESG) reporting' [5], 'corporate social responsibility (CSR)' [?] en 'non-financial reporting' [7]. Ondanks de variëteit aan terminologieën, zal in dit artikel de term "ESG-rapportering" gehanteerd worden. Deze keuze reflecteert de integratie van milieu-, sociale en governance-aspecten, die cruciaal zijn voor een omvattende benadering van duurzaamheidsverslaglegging binnen organisaties. Deze terminologie stelt ons in staat om de kerngebieden consistent en duidelijk te communiceren binnen het kader van onze analyse. In de volgende secties worden verschillende wetgevingen, regulerende instanties, standaarden en adviserende organen uitgelicht die nodig zijn voor het structureren van ESG-rapportering. Zowel de sterktes als de huidige tekortkomingen worden in kaart gebracht.

2.1 Wetgevingen en regulerende instanties

2.1.1 Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)

De CSRD is een EU-richtlijn die als doel heeft de rapporteringsvereisten voor ESG-informatie door bedrijven te verbeteren en uit te breiden. Deze nieuwe richtlijn bouwt voort op de eerdere Non-financial Reporting Directive (NERD) en introduceert strengere rapporteringsstandaarden die van toepassing zijn op alle grote bedrijven en beursgenoteerde bedrijven binnen de EU [6]. Een groot bedrijf wordt gedefinieerd als een onderneming die voldoet aan minstens twee van de volgende drie criteria: meer dan 250 werknemers, een omzet van meer dan 40 miljoen euro, of een balanstotaal van meer dan 20 miljoen euro [13]. De CSRD vereist gedetailleerde rapportering over milieu-, sociale en bestuurskwesties (ESG) en legt een nadruk op transparantie en uniformiteit door standaardisering van de rapporteringsvormen. Dit moet niet alleen zorgen voor betere informatieverstrekking aan investeerders en belanghebbenden, maar ook de ESG-prestaties van bedrijven verbeteren. De CSRD bevat tevens een verplichting voor een externe audit van de verstrekte ESG-informatie, om de betrouwbaarheid van de gerapporteerde gegevens te waarborgen [14].

Uit de literatuur blijkt dat er diverse beperkingen zijn in de CSRD en de hiermee verbonden European Sustainability Reporting Standards (ESRS). Baumüller en Sopp [12] benadrukken dat CSRD vooral de nadruk legt op dubbele materialiteit maar bekritiseren dat de vereisten voor rapportering mogelijk te belastend zijn voor ondernemingen zonder duidelijke richtlijnen over hoe deze materialiteit concreet toegepast moet worden. Allgeier en Feldmann [15] richten zich op de indirecte effecten van CSRD op niet-beursgenoteerde kleine middelgrote ondernemingen (KMO's), die mogelijk verplicht worden door zakelijke partners om toch te rapporteren. Dit leidt tot een verhoogde administratieve last zonder dat hier adequate ondersteuning voor

is. De analyse van Baumüller en Grbenic [7] identificeert overmatige administratieve lasten als een kernprobleem en suggereert dat de hoge eisen in de nieuwe CSRD voor sommige bedrijven mogelijk niet proportioneel zijn.

Samengevoegd belichten deze artikelen een coherent beeld van de tekortkomingen van CSRD en ESRS, vooral gericht op de praktische en administratieve lasten die zij opleggen. Luque-Vílchez et al. [10] vullen deze discussie aan door te wijzen op de noodzaak van duidelijkere richtlijnen en de implementatie van standaarden die rekening houden met de diversiteit van bedrijfsomvang en -types binnen Europa. Deze bevindingen pleiten voor een herziening van CSRD en ESRS om te zorgen voor grotere duidelijkheid, haalbaarheid en minder belasting voor bedrijven, vooral kleinere en niet-genoteerde bedrijven, terwijl ze nog steeds streven naar verbeterde transparantie en ESG-rapportering binnen de EU.

2.1.2 European Financial Reporting Advisory Group (EFRAG)

EFRAG is een adviserend orgaan dat een cruciale rol speelt in het standaardisatieproces van financiële en ESG-rapportering binnen de Europese Unie. Oorspronkelijk opgericht om de Europese Commissie te adviseren over de implementatie van International Financial Reporting Standards (IFRS), heeft EFRAG zijn rol uitgebreid naar het gebied van ESG-rapportering. EFRAG werkt samen met de Europese Commissie aan de ontwikkeling van EU Sustainability Reporting Standards (ESRS). Bedrijven in de EU moeten deze standaarden vanaf het verslagjaar 2024 toepassen, met de eerste rapporten die in 2025 worden verwacht [13,16]. Deze verplichting geldt voornamelijk voor grote ondernemingen [13]. De tekortkomingen van EFRAG zullen hieronder samen met die van de ESRS behandeld worden, aangezien beide systemen nauw verweven zijn en vaak gezamenlijk worden besproken in de literatuur.

2.1.3 European Sustainability Reporting Standards (ESRS)

ESRS is ontwikkeld onder de supervisie van de European Financial Reporting Advisory Group (EFRAG) en is bedoeld om grote ondernemingen en beursgenoteerde bedrijven binnen de Europese Unie te verplichten een uitgebreide ESG-rapportering te verstrekken. Deze standaarden vereisen dat bedrijven zowel kwalitatieve als kwantitatieve informatie aanleveren, die vooruitkijkend en terugblikkend is. Dit omvat informatie over hun waardeketen en de korte, middellange en lange termijn. De ESRS is uniek in die zin dat het gebaseerd is op het principe van dubbele materialiteit. Dit betekent dat bedrijven moeten rapporteren over hoe duurzaamheidskwesties hen beïnvloeden en over wat de impact is van hun activiteiten op mensen en het milieu. Deze rapportering wordt vanaf verslagjaar 2024 een verplicht onderdeel van het managementverslag. De eerste rapporten worden in 2025 verwacht [16].

In de analyse van de tekortkomingen binnen EFRAG en het ESRS systeem, belichten zowel Luque-Vílchez et al. [10] als Giner en Luque-Vílchez [16] cruciale gebieden die verbetering nodig hebben. Luque-Vílchez et al. wijzen op een gebrek aan duidelijke richtlijnen en contextualisatie binnen deze frameworks, wat leidt tot een verminderde uniformiteit en standaardisatie van rapportering. Dit wordt verder ondersteund

door de bevindingen van Giner en Luque-Vílchez, die de complexiteit en uitdagingen van de EFRAG en ESRS benadrukken in het navigeren binnen de snel evoluerende en vaak inconsistente EU-regelgevende context. Samen tonen deze studies aan dat, ondanks de vooruitgang die geboekt is in het formuleren van ESG-standaarden, er nog steeds aanzienlijke hiaten en uitdagingen zijn die de effectiviteit van deze rapporteringsystemen ondermijnen. Deze bevindingen benadrukken de noodzaak voor verdere ontwikkeling, verfijning en duidelijke implementatie richtlijnen om te verzekeren dat de ESG-rapportering zijn doelen van transparantie en verantwoordelijkheid kan bereiken.

2.1.4 Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD)

De TCFD is een initiatief opgericht door de Financial Stability Board met als doel bedrijven wereldwijd te begeleiden in het rapporteren over hun klimaatgerelateerde financiële risico's en kansen. De aanbevelingen van de TCFD richten zich op vier belangrijke gebieden: governance, strategie, risicomanagement en meetmethoden. Deze richtlijnen zijn ontworpen om investeerders en andere belanghebbenden te voorzien van duidelijke en vergelijkbare informatie, die nodig is voor het maken van geïnformeerde financiële beslissingen gerelateerd aan klimaatverandering [17].

Hoewel de TCFD-richtlijnen op dit moment vrijwillig zijn, worden ze steeds vaker verplicht gesteld door overheden en regelgevende instanties in verschillende jurisdicties. Bijvoorbeeld, in het Verenigd Koninkrijk zijn bedrijven vanaf 2021 verplicht om TCFD-aanbevelingen te volgen. Ook de Europese Unie en Canada overwegen of hebben al stappen ondernomen om deze richtlijnen in hun regelgeving op te nemen. De TCFD-richtlijnen zijn vooral gericht op grote bedrijven, financiële instellingen en beursgenoteerde ondernemingen, maar ook kleinere bedrijven worden aangemoedigd om deze standaarden te adopteren om transparantie en consistentie in klimaatgerelateerde rapportering te bevorderen [18].

In het artikel van Myklebust [19] worden enkele tekortkomingen van het Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) benadrukt. De auteur stelt dat de TCFD nuttige categorieën van klimaatrisico's zoals fysieke en transitierisico's introduceert. Echter, de implementatie ervan schiet in de praktijk te kort door onvoldoende gedetailleerde begeleiding en de veronderstelling van vrijwillige naleving, die niet altijd effectief is in het waarborgen van grondige en uniforme openbaarmaking van risico's. De nadruk op financiële materialiteit binnen TCFD-aanbevelingen beperkt hun bruikbaarheid, omdat ze de bredere milieu- en sociale gevolgen die bedrijven kunnen hebben, niet volledig adresseren. Deze beperkingen kunnen de beoogde invloed van de TCFD op het verbeteren van de markttransparantie en het stimuleren van verantwoord klimaatgerelateerd financieel beheer ondermijnen.

2.2 Standaarden en adviesorganisaties

2.2.1 Greenhouse Gas Protocol (GHG-Protocol)

Het GHG-Protocol biedt een uitgebreide, wereldwijd gebruikte standaard voor het meten en rapporteren van broeikasgasemissies door organisaties. Het protocol introduceert drie categorieën emissies: Scope 1 voor directe emissies van eigen of gecontroleerde bronnen, Scope 2 voor indirecte emissies van de aankoop van elektriciteit en Scope 3 voor alle overige indirecte emissies die plaatsvinden in de waardeketen van een organisatie [20,21].

Scope 3-emissies omvatten alle andere indirecte emissies die niet vallen onder Scope 2 en die plaatsvinden in de waardeketen van een organisatie, zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts. Dit kan bijvoorbeeld de emissies zijn die voortkomen uit de productie van ingekochte goederen en diensten, transport en distributie, afvalverwerking, zakenreizen en het gebruik van verkochte producten. Deze emissies kunnen een significant deel van de totale broeikasgasemissies van een organisatie vertegenwoordigen en zijn vaak complexer om te meten en te beheren dan Scope 1 en Scope 2-emissies.

Het GHG-Protocol is ontwikkeld door het World Resources Institute (WRI), een in de Verenigde Staten gevestigde milieu-NGO en de World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), een in Genève gevestigde coalitie van internationale bedrijven. Het initiatief werd in 1998 gelanceerd met als missie het ontwikkelen van internationaal geaccepteerde normen voor de berekening en rapportering van broeikasgasemissies door bedrijven en het bevorderen van hun brede acceptatie [20]. Het protocol wordt wereldwijd door verschillende industrieën gehanteerd, waaronder de staal-, auto-, olie- en gasindustrie. Voorbeelden van bedrijven die het protocol hanteren zijn Tata Steel en Ford Motor Company [20].

Het GHG-Protocol is een vrijwillig framework, maar wordt vaak vereist door verschillende nationale en internationale rapporteringsprogramma's en initiatieven zoals het Global Reporting Initiative (GRI). Het protocol is ook compatibel met veel vrijwillige programma's zoals de WWF Climate Savers en de US EPA Climate Leaders [20]. Het GHG-Protocol is niet wettelijk verplicht, maar bedrijven die eraan voldoen, kunnen profiteren van verhoogde transparantie, geloofwaardigheid en kunnen beter voorbereid zijn op toekomstige regelgeving.

Door de brede acceptatie en toepassing biedt het GHG-Protocol een robuuste basis voor bedrijven om hun broeikasgasemissies nauwkeurig te meten, te beheren en te rapporteren, wat relevant is voor zowel vrijwillige als verplichte rapporteringsprogramma's [20,21].

In de studie van Patchell [2] worden meerdere tekortkomingen van het GHG Protocol Scope 3 belicht, vooral gericht op de complexiteit en hoge transactiekosten die bedrijven ervaren bij het auditeren van emissies in hun volledige waardeketen. De ambitie van Scope 3 om multinationals te gebruiken als hefboomen voor rapportering en reductie van emissies in de waardeketen wordt vaak niet gerealiseerd. Belangrijke factoren die deze implementatie belemmeren zijn onder andere de hoge kosten van transacties, de noodzaak voor nauwe coördinatie tussen bedrijven en de uiteenlopende macht die bedrijven hebben binnen de waardeketen om veranderingen af te dwingen. Daarnaast wordt de verantwoordelijkheidstoewijzing als problematisch

ervaren, aangezien veel bedrijven niet direct verantwoordelijkheid kunnen nemen voor emissies die buiten hun directe controle liggen.

Samengevoegd met de inzichten van Kasperzak et al. [3] die de tekortkomingen van het GHG Protocol in het algemeen benadrukken, waaronder inconsistenties in rapportering door de verschillende consolidatiebenaderingen en een gebrek aan empirisch bewijs over de toepassing van deze benaderingen, wordt een complex beeld geschetst. Beide studies onderstrepen de noodzaak voor verbeterde richtlijnen en een meer gestandaardiseerde aanpak in het GHG Protocol om de transparantie en effectiviteit van klimaatrapportering te verhogen. Dit is cruciaal om ervoor te zorgen dat deze rapporten bijdragen aan daadwerkelijke ESG-doelstellingen en niet enkel dienen als vinkjes op een compliance lijst.

2.2.2 Global Reporting Initiative (GRI)

Het GRI is een internationale onafhankelijke organisatie die bedrijven, overheden en andere organisaties helpt om de impact van hun bedrijfsactiviteiten op kritieke duurzaamheidskwesties zoals klimaatverandering, mensenrechten en corruptie te begrijpen en te communiceren. GRI heeft een raamwerk ontwikkeld dat als standaard dient voor deze rapportering, gericht op het verbeteren van de verantwoordelijkheid en transparantie. Het GRI-raamwerk stelt organisaties in staat om selectief te rapporteren over de duurzaamheidskwesties die het meest relevant zijn voor hun bedrijfsactiviteiten en stakeholders [22].

Het GRI-raamwerk is vrijwillig, maar wordt wereldwijd erkend en gebruikt door diverse industrieën en bedrijven, van multinationals tot kleine en middelgrote ondernemingen. Het is vooral populair in Europa en Noord-Amerika, maar wordt ook breed toegepast in Azië en Latijns-Amerika. Bedrijven die het GRI-raamwerk hanteren, doen dit om transparanter te zijn over hun duurzaamheidsprestaties en om aan de verwachtingen van investeerders, klanten en andere stakeholders te voldoen. Door te voldoen aan de GRI-standaarden kunnen bedrijven hun reputatie verbeteren, het vertrouwen van belanghebbenden vergroten en beter voorbereid zijn op toekomstige regelgeving. GRI is gebaseerd in Amsterdam, Nederland en werkt wereldwijd samen met diverse partners en stakeholders om de standaardisatie van duurzaamheid rapportering te bevorderen [22].

De literatuur biedt diverse perspectieven op de tekortkomingen van de GRI-standaarden, die gezamenlijk de noodzaak voor substantiële verbeteringen in ESG-rapporten onderstrepen. Pizzi et al. [22] bekritiseren de rigide structuur van de GRI-richtlijnen, die niet flexibel genoeg zijn om te voldoen aan de snel veranderende verwachtingen van ESG-rapporten. Dit leidt vaak tot een checkbox-benadering waarbij bedrijven voldoen aan minimale vereisten zonder echte verbeteringen in hun ESG-prestaties. Luque-Vílchez et al. [10] vullen dit aan door te wijzen op de betrouwbaarheids- en kwaliteitsproblemen binnen de GRI-standaarden en een gebrek aan vergelijkbaarheid van rapporten, wat cruciaal is voor stakeholders om geïnformeerde beslissingen te maken. Moneva et al. [23] breiden deze kritiek verder uit naar de milieu-rapportering binnen GRI, waarbij de neiging tot oppervlakkige informatie die vooral het bedrijfsimago verbetert, wordt benadrukt. Terwijl belangrijke milieukwesties zoals Scope 3, voor alle overige indirecte emissies die plaatsvinden in de

waardeketen van een organisatie, vaak onderbelicht blijven. Deze studies benadrukken samen dat GRI niet voldoet als holistische benadering in ESG-rapportering om de transparantie en nauwkeurigheid van milieu-informatie te verbeteren en daadwerkelijk bij te dragen aan duurzame bedrijfsvoering.

2.2.3 Sustainability Accounting Standards Board (SASB)

SASB is een non-profit organisatie gevestigd in de Verenigde Staten die zich richt op het ontwikkelen van branche-specifieke standaarden om bedrijven te helpen financieel materiële ESG-informatie aan investeerders en andere belanghebbenden te rapporteren. De SASB-standaarden zijn ontworpen om relevante en kwantificeerbare data te leveren die belangrijk zijn voor het beoordelen van bedrijfsprestaties en risicobeheer in relatie tot duurzaamheid. Deze standaarden worden vooral gebruikt door bedrijven in de Verenigde Staten, maar winnen ook internationaal aan populariteit, vooral in Noord-Amerika en Europa. Hoewel SASB-standaarden vrijwillig zijn, worden ze vaak geïntegreerd in de rapportering van bedrijven die actief zijn op meerdere continenten en streven naar verhoogde transparantie en vergelijkbaarheid van hun duurzaamheidsgegevens [22].

Een kritiek punt dat naar voren komt in het onderzoek van Pizzi et al. [22] is dat de SASB-normen voornamelijk zijn gericht op de financiële impact van duurzaamheidskwesties, wat kan resulteren in een onvolledige weergave van brede sociale milieu-impact. Hoewel dit perspectief investeerders helpt bij het beoordelen van duurzaamheidsrisico's en -kansen vanuit een financieel oogpunt, kan het leiden tot een onderwaardering van niet-financiële factoren die van cruciaal belang zijn voor een volledig begrip van ESG-prestaties.

2.2.4 Carbon Disclosure Project (CDP)

Het CDP is een internationale non-profit organisatie die wereldwijd bedrijven en overheden stimuleert om hun milieu-impact te meten en openbaar te maken. Dit initiatief moedigt organisaties aan om zowel hun eigen broeikasgasemissies als die in hun bredere toeleveringsketen te meten en te rapporteren. Daarnaast verstrekken ze informatie over risico's, strategieën en acties met betrekking tot klimaatverandering. Het CDP werkt namens een grote groep institutionele investeerders met aanzienlijke activa en faciliteert de dialoog tussen investeerders en bedrijven over de impact van klimaatverandering op hun financiële gezondheid en bedrijfsvoering [24].

Sinds de oprichting heeft het CDP aanzienlijke resultaten geboekt. In 2023 rapporteerden meer dan 23.000 bedrijven wereldwijd hun milieu-impact via het CDP, wat meer dan twee derde van de wereldwijde marktkapitalisatie vertegenwoordigt. Deze rapporten bevatten gegevens over emissies, watergebruik, ontbossing en geven investeerders en andere belanghebbenden inzicht in hoe bedrijven hun milieuprestaties beheren [25].

CDP Europa heeft zijn hoofdkwartier in Berlijn, het bestrijkt 27 EU-lidstaten en EFTA-landen zoals Noorwegen, Zwitserland, IJsland en Liechtenstein. CDP wereldwijd wordt beheert vanuit Londen. Organisaties uit meer dan 90 landen rapporteren jaarlijks via CDP [25].

Het CDP biedt een platform voor bedrijven om hun milieu-impact te rapporteren en transparant te zijn over hun duurzaamheidsinitiatieven. Deze rapporten zijn essentieel voor ESG-rapportering, omdat ze investeerders en andere belanghebbenden voorzien van betrouwbare en vergelijkbare data. Deelname aan het CDP helpt bedrijven te voldoen aan striktere rapporteringeisen en toont aan dat ze serieus bezig zijn met het beheersen van hun milieu-impact, wat cruciaal is voor hun reputatie en financiële gezondheid op lange termijn [24].

Luque-Vílchez et al. [10] belichten verschillende tekortkomingen van het Carbon Disclosure Project (CDP) die de effectiviteit van dit initiatief in het kader van klimaatgovernance en koolstofrapportering ondermijnen. Hun onderzoek wijst uit dat CDP zich voornamelijk concentreert op Scope 1 en Scope 2 emissies, terwijl de behandeling van Scope 3 vaak vrij te bepalen is, wat resulteert in een onvolledige weergave van de totale koolstofimpact van een bedrijf.

Knox-Hayes en Levy [26] wijzen op de spanning tussen de bedrijfsgerichte aanpak en de transparantie-eisen van maatschappelijke organisaties. Deze spanning vermindert de effectiviteit van CDP als middel om grote emissiereducties af te dwingen. Bovendien leidt een gebrek aan gedetailleerde en consistente rapportering tot moeilijkheden bij het vergelijken van gegevens tussen bedrijven, waardoor het systeem meer een 'check-the-box'-oefening wordt dan een middel voor echte transparantie en verantwoording.

Blanco et al. [24] bekritiseren de vrijwillige aard van de rapportering binnen CDP, die bedrijven toestaat selectief te rapporteren zonder daadwerkelijke operationele veranderingen. Deze bevindingen ondersteunen de noodzaak voor een gestructureerde, verplichte benadering van klimaatrapportering om substantiële vooruitgang te boeken in de wereldwijde vermindering van broeikasgasemissies.

2.3 Samenvatting

De literatuur over de tekortkomingen van bestaande ESG-rapportering regels benadrukt de noodzaak voor substantiële verbeteringen om de transparantie, diepte en volledigheid van ESG-rapporten te verhogen. Onderzoeken door Pizzi et al. [22], Luque-Vílchez et al. [10] en Moneva et al. [23] hebben een consistent patroon van kritiek op de huidige standaarden blootgelegd. Prominente problemen zijn een rigide structuur, een neiging tot oppervlakkige rapportering en het gebrek aan adequate behandeling van brede sociale- en milieu-impacts.

Deze problemen worden verder gecompliceerd door een gebrek aan uniformiteit en standaardisatie binnen ESG-rapportering. ESG-rapportering omvat het verzamelen, meten en openbaar maken van gegevens over milieuprestaties, sociale verantwoordelijkheid en bestuurspraktijken van een bedrijf. Het ontbreken van gestandaardiseerde methoden en criteria voor deze rapportering zorgt ervoor dat bedrijven vaak verschillende benaderingen en metrics gebruiken, wat leidt tot significante uitdagingen in de vergelijkbaarheid en geloofwaardigheid van de ESG-rapporten. Dit gebrek aan consistentie maakt het moeilijk voor stakeholders om de prestaties van verschillende bedrijven op een eerlijke en nauwkeurige manier te evalueren en te vergelijken [10, 27]. Diverse studies suggereren dat de huidige frameworks vaak een 'checkbox' benade-

ring stimuleren die niet voldoet aan de behoeften van stakeholders die geïnformeerde beslissingen moeten kunnen maken [22, 26]. De noodzaak van gestandaardiseerde rapporteringsvereisten en de harmonisatie van rapportering zijn daarom cruciaal voor het verbeteren van de transparantie en betrouwbaarheid van ESG-rapportering [28].

Het onderzoek in deze masterproef zal zich richten op het identificeren van deze hiaten door een procesgerichte benadering te hanteren, waarbij de focus ligt op het verbeteren van de kwaliteit en transparantie van broeikasgasdata (BKG-data). Het onderzoek streeft naar praktische verbeteringen die niet alleen aan de rapporteringsvereisten voldoen, maar die ook daadwerkelijk bijdragen aan duurzame bedrijfsvoering en accurate informatieverstrekking aan alle belanghebbenden. Door de verschillende perspectieven van Pizzi et al., Luque-Vílchez et al. en Moneva et al. samen te voegen met de noodzaak voor een meer geïntegreerde en gestandaardiseerde aanpak wordt de urgentie van de onderzoeksdoelstellingen in het bredere kader van ESG-rapporteringsontwikkeling onderstreept.

2.4 Business Process Management (BPM)

Business Process Management (BPM) is een integraal paradigma dat gericht is op het continu verbeteren en optimaliseren van bedrijfsprocessen door middel van een systematische benadering. Volgens Weske et al. [29], omvat BPM het geheel van methoden, technieken en tools die nodig zijn om bedrijfsprocessen te ontwerpen, te implementeren, te monitoren en te analyseren. Het primaire doel van BPM is het verbeteren van de efficiëntie en effectiviteit van organisatorische operaties, wat cruciaal is voor het verhogen van de algehele bedrijfsprestaties. In de context van deze definitie wordt BPM niet enkel gezien als een technologische implementatie, maar veel meer als een managementstrategie die de kloof tussen bedrijfsstrategieën en -uitvoering overbrugt. Dit wordt verder ondersteund door de implementatie van gestandaardiseerde procesmodelleringsstalen zoals BPMN, die helpen bij het gestructureerd en visueel representeren van processen.

2.4.1 Business Process Model and Notation (BPMN)

Business Process Model and Notation (BPMN) werd ontwikkeld door de Object Management Group (OMG) en wordt als de standaard gehanteerd om bedrijfsprocessen te modelleren en implementeren. Het biedt een grafische weergave van bedrijfsprocessen, wat een intuïtief en begrijpelijk overzicht geeft dat toegankelijk is voor zowel zakelijke gebruikers als technische ontwikkelaars. BPMN ondersteunt niet alleen het ontwerp en de documentatie van processen, maar ook hun implementatie en monitoring [30].

Het gebruik van BPMN is aanzienlijk toegenomen sinds de introductie van BPMN 2.0, die niet alleen uitgebreide mogelijkheden voor procesautomatisering en -integratie biedt, maar ook significante verbeteringen in de precisie van procesmodelleren en de ondersteuning van procesuitvoering via motoren. Deze ontwikkelingen zijn cruciaal voor organisaties die streven naar technische integratie en operationele efficiëntie, zoals benadrukt door zowel Aagesen [31] als Dumas et al. [32]. Beide bronnen wijzen op de essentiële rol van BPMN 2.0 in het verhogen van de nauwkeurigheid en het faciliteren van de uitvoering van bedrijfs-

processen. Dit maakt het een onmisbaar instrument voor moderne organisaties die hun bedrijfsvoering willen optimaliseren.

Voortbouwend op deze gevestigde methodiek hebben Jan Recker et al. [33] een BPMN-extensie ontwikkeld die specifiek gericht is op het in kaart brengen en analyseren van de koolstofvoetafdruk van bedrijfsprocessen. Deze aanpak stelt organisaties in staat om niet alleen hun bedrijfsprocessen systematisch te herontwerpen met oog op milieubescherming en duurzaamheid, maar ook om de uitstoot van broeikasgassen (BKG) die gepaard gaat met verschillende bedrijfsactiviteiten duidelijk te documenteren en te analyseren. Door de integratie van milieuduurzaamheid in het BPM-kader via deze BPMN-extensie biedt het een cruciale tool voor bedrijven die zich willen inzetten voor milieubescherming en streven naar het verminderen van hun ecologische voetafdruk.

Hoewel de BPMN-extensie van Recker et al. waardevol is voor het direct meten en visualiseren van emissies, ontbreekt er nog een operationeel aspect van data-integratie en -beheer. Dit onderzoek zal verder bouwen op hun werk door deze ontbrekende elementen toe te voegen. Een belangrijk onderdeel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een BPMN-extensie die BKG-data correct weergeeft in het BPMN-model. Hierdoor kunnen organisaties een duidelijk en gestructureerd overzicht krijgen van hun emissies per procesactiviteit. Bovendien zal deze studie een methode ontwikkelen om de integratie en het beheer van deze BKG-data binnen ERP-systemen te vergemakkelijken. Hierdoor kunnen organisaties niet alleen historische gegevens analyseren, maar ook direct reageren op actuele emissiegegevens. Dit zorgt voor een dynamischer en responsiever milieubeheer, waardoor bedrijven hun uitstoot beter kunnen monitoren, analyseren en rapporteren.

2.4.2 Enterprise Resource Planning (ERP)

"Enterprise Resource Planning-systemen (ERP-systemen) zijn informatiesystemen die processen binnen een organisatie integreren met behulp van een gemeenschappelijke database en gedeelde rapporteringstools" [34]. Ze ondersteunen verschillende delen van de organisatie door kennis te delen en de voordelen van tijdige informatie-uitwisseling te benutten. ERP-systemen vormen een essentiële ruggengraat voor de operationele infrastructuur van vele moderne organisaties. Deze systemen integreren diverse functionele domeinen zoals financiën, human resources, productie en supply chain management binnen één samenhangend systeem. Door de integratie van deze diverse bedrijfsfuncties faciliteren ERP-systemen een gestroomlijnde dataflow en een uniforme rapporteringsstructuur wat cruciaal is voor efficiënte bedrijfsvoering en effectieve besluitvorming [35].

ERP-systemen leunen nauw aan bij Business Process Management (BPM) door de manier waarop ze processen automatiseren, data verzamelen en verwerken. In essentie dragen ERP-systemen bij aan BPM door een framework te bieden dat organisaties in staat stelt hun processen op een geïntegreerde en technologie-gestuurde manier te beheren. Dit maakt ERP-systemen niet alleen tot een tool voor informatiebeheer en resourceplanning, maar ook tot een platform voor procesverbetering en optimalisatie. Aanvullend benadruk-

ken Chen et al. [36] het belang van een naadloze integratie tussen ERP en BPM systemen. Hun onderzoek presenteert een raamwerk, SSI4BPM, dat streeft naar een verbeterde implementatie van ERP-projecten om de functionele kloof tussen deze systemen te overbruggen. Dit draagt bij aan de verhoging van de operationele efficiëntie en flexibiliteit van organisaties.

2.4.3 Process mining

Process mining is een andere component binnen het domein van BPM. Process mining is een geavanceerde analysetechniek die zich richt op het extraheren van procesinformatie uit event logs. Deze methode biedt de unieke mogelijkheid om operationele processen binnen organisaties te visualiseren en te analyseren. Dit door de brug te slaan tussen traditionele procesmodelleringstechnieken zoals, simulatie en data-analysemethoden zoals data mining [37]. Volgens van der Aalst [37] omvat process mining drie hoofdactiviteiten: (1) discovery, waarin een procesmodel wordt gecreëerd op basis van beschikbare event logs, zonder voorafgaande modelinformatie; (2) conformance, waarbij gecontroleerd wordt in hoeverre de werkelijke procesuitvoeringen overeenkomen met een bestaand model; en (3) enhancement, gericht op het optimaliseren en verfijnen van het procesmodel op basis van de inzichten verkregen uit de event logs. Een event log is een chronologische registratie van gebeurtenissen of activiteiten die plaatsvinden binnen een systeem, proces of applicatie. Het bevat informatie zoals timestamps, de aard van de gebeurtenissen en eventuele bijbehorende gegevens, het wordt ook vaak gebruikt voor monitoring, analyse en auditdoeleinden [38].

In het onderzoek van Graves et al. [11] wordt de nadruk gelegd op de significante rol die process mining kan spelen bij het bevorderen van duurzaamheid binnen organisaties. De auteurs presenteren een uitgebreide analyse van de manier waarop process mining niet alleen bestaande bedrijfsprocessen in kaart brengt, maar ook essentiële inzichten biedt voor duurzaamheidsinitiatieven. Dit wordt bereikt door een systematische beoordeling van duurzaamheidspraktijken binnen organisaties. Door twee opeenvolgende literatuurstudies te combineren toont het onderzoek duidelijk aan dat er nog veel ruimte is voor verder onderzoek naar de inzet van process mining ter ondersteuning van duurzaamheidsdoelen, vooral binnen het raamwerk van de circulaire economie.

Graves et al. stellen PM4S voor, een raamwerk voor de toepassing van process mining gericht op duurzaamheid. PM4S staat voor 'Process Mining for Sustainability' en benadrukt het potentieel van process mining om processen transparanter te maken, waarbij niet alleen efficiëntieverbeteringen worden geïdentificeerd, maar ook kansen voor duurzaamheidsverbeteringen worden belicht. De onderzoekers argumenteren dat, hoewel de potentie van process mining in de context van duurzaamheid wordt erkend, de techniek nog niet volledig is benut, met name wat betreft de integratie van duurzaamheidsindicatoren en -doelen binnen het process mining proces. PM4S probeert deze kloof te overbruggen door een gestructureerde benadering te bieden voor het beoordelen en analyseren van de duurzaamheid van bedrijfsprocessen, waardoor datagestuurde beslissingsondersteuning en gerichte verbeteringen mogelijk worden. Daarnaast, terwijl bestaande methoden waardevolle inzichten bieden in directe emissies en efficiëntie, onderstreept PM4S het belang van

een holistische benadering, inclusief de operationele aspecten van data-integratie en -beheer, die nodig zijn voor het bereiken van uitgebreide duurzaamheidsdoelstellingen.

Deze inzichten vormen de basis voor onze methode die we in dit onderzoek ontwikkelen. We gebruiken process mining technieken om broeikasgasemissies binnen bedrijfsprocessen te visualiseren en analyseren. Door het combineren van BPMN en process mining, kunnen we een gedetailleerd overzicht creëren van emissiehotspots binnen de organisatie. Dit helpt bedrijven niet alleen hun milieu-impact nauwkeurig te rapporteren maar ook gerichte acties te ondernemen om emissies te verminderen.

Process mining speelt een cruciale rol in deze methode, omdat het de brug slaat tussen de abstracte modellering van bedrijfsprocessen en de daadwerkelijke data-analyse van broeikasgasemissies. Door de process mining technieken kunnen bedrijven niet alleen de efficiëntie van hun processen analyseren, maar ook de milieu-impact van elke stap binnen deze processen kwantificeren. Deze geïntegreerde aanpak zorgt ervoor dat organisaties zowel hun operationele prestaties als hun duurzaamheidsdoelstellingen kunnen optimaliseren. Hierdoor wordt process mining een onmisbaar instrument binnen de bredere methode van het visualiseren en analyseren van broeikasgasemissies, zoals geïllustreerd in Figuur 1 en verder uitgewerkt in de komende secties.

3 Motiverend Voorbeeld

Een middelgroot chemiebedrijf ondervindt consistentieproblemen bij het rapporteren van broeikasgasemissies over zijn verschillende vestigingen. Dit is een cruciaal onderdeel van hun ESG-rapportering. Het bedrijf moet voldoen aan de strenge eisen van de CSRD, die gedetailleerde en gestandaardiseerde rapportering vereist. Echter, door de variatie in meet- en rapporteringsmethoden ontstaat een gebrek aan uniforme en gedetailleerde emissiegegevens, wat het vermogen van het bedrijf om zijn milieu-impact duidelijk te rapporteren belemmert. Dit resulteert in verminderd vertrouwen bij stakeholders zoals investeerders, klanten en regelgevende instanties.

Het chemiebedrijf besloot een methode te implementeren gebaseerd op BPMN en process mining technieken. Door hun bedrijfsprocessen nauwkeurig te modelleren en specifieke activiteiten waar broeikasgassen worden uitgestoten te identificeren, konden zij de benodigde data efficiënt in hun ERP-systemen integreren om zowel statische als dynamische emissiegegevens nauwkeurig vast te leggen. Deze aanpak kan worden opgesplitst in vier stappen, zoals weergegeven in Figuur 1:

1. **Conceptueel Modelleren:** Het bedrijf begint met het modelleren van de bedrijfsprocessen met behulp van BPMN, inclusief de specifieke activiteiten waar broeikasgassen worden uitgestoten. Dit wordt gedaan aan de hand van een ontwikkelde BKG-extensie om BKG-data op een correcte manier toe te voegen aan het BPMN-model. Deze aanpak biedt een holistisch overzicht van alle elementen en hun interacties binnen de organisatie.
2. **Datamodellering:** Vervolgens wordt de BKG-data geïntegreerd in het ERP-systeem van de orga-

nisatie. Deze stap omvat de configuratie van het ERP-systeem om zowel statische als dynamische emissiegegevens op te slaan en te beheren.

3. **Dataregistratie:** In deze fase worden alle relevante gegevens geregistreerd in event logs. Dit omvat geregistreerde gebeurtenissen zoals berichten, activiteiten, transacties en uitstoot. Deze gedetailleerde registratie is cruciaal voor het uitvoeren van process mining.
4. **Analyse Procesmodel:** De laatste stap is het analyseren van de output van het discovery algoritme dat focust op BKG-data. Dit algoritme produceert een verrijkt BPMN-model met extra kleurtoevoegingen om de BKG-uitstoot per activiteit in kaart te brengen. Door gebruik te maken van deze visuele weergave, kan het bedrijf gedetailleerde inzichten verkrijgen in de emissies per activiteit. Dit stelt hen in staat om relevante KPI's op te stellen en deze te monitoren voor continue verbetering.

Laten we een specifiek voorbeeld van hun proces bekijken:

- **Inkoopproces:**

- **Activiteit:** Bestelling plaatsen bij een leverancier.
- **Data:** Bestelwaarde (€10,000), Leverancier op 500 km afstand.
- **Emissies:** Transportemissies berekend op 50 kg CO₂.

- **Productieproces:**

- **Activiteit:** Productie van chemische producten.
- **Data:** Energieverbruik (5,000 kWh), Emissiefactor (0.2 kg CO₂/kWh).
- **Emissies:** 1,000 kg CO₂.

- **Distributieproces:**

- **Activiteit:** Levering van eindproducten.
- **Data:** Levering over 200 km, Bestelwaarde (€15,000).
- **Emissies:** Transportemissies berekend op 20 kg CO₂.

Door deze activiteiten en hun bijbehorende emissies te modelleren met BPMN (Stap 1 in Figuur 1) en te integreren in het ERP-systeem (Stap 2 in Figuur 1), kan het chemiebedrijf een gedetailleerde event log opstellen (Stap 3 in Figuur 1). Deze event log wordt vervolgens geanalyseerd met een aangepast discovery algoritme dat focust op BKG-data (tussen Stap 3 en Stap 4 in Figuur 1). De output van dit process mining algoritme is een verrijkt BPMN-model met extra kleurtoevoegingen om de BKG-uitstoot per activiteit in kaart te brengen. In de laatste stap (Stap 4 in Figuur 1) wordt deze output geanalyseerd om gedetailleerde inzichten te verkrijgen en relevante KPI's op te stellen en te monitoren voor continue verbetering. De output

van het discovery algoritme is weergegeven in Figuur 3. In Figuur 3 kunnen we zien welke specifieke activiteiten de meeste emissies genereren. Bijvoorbeeld, de productie van chemische producten (activiteit B in Figuur 3) blijkt de grootste bijdrage te leveren aan de totale BKG-uitstoot. Dit is meteen zichtbaar door de rode kleur van activiteit B, wat wijst op de hoogste uitstoot.

Door deze aanpak te implementeren, verhoogde het chemiebedrijf de transparantie en versterkte het vertrouwen van externe stakeholders aanzienlijk. Bovendien vereenvoudigde de geïntegreerde methode de naleving van de strenge eisen van de CSRD en andere relevante milieuvoorschriften. De process mining output stelde het bedrijf in staat om relevante KPI's op te stellen en actief bij te stellen, zoals:

- **KPI 1:** Reductie van CO₂-uitstoot per geproduceerde eenheid met 10% binnen een jaar.
- **KPI 2:** Vermindering van transportemissies met 15% door optimalisatie van leverroutes en consolidatie van leveringen.

Deze systematische benadering illustreert hoe technologische integratie en methodologische innovatie binnen ESG-rapportering operationele en compliance-uitdagingen aanpakken. Tegelijkertijd bevorderen ze een duurzame en transparante bedrijfsvoering. Hierdoor kan het chemiebedrijf zijn emissiegegevens effectief beheren en zich meten met industrienormen en concurrenten.

4 Methodologie

Design Science Research Methodology (DSRM) biedt een gestructureerd kader voor het ontwikkelen en evalueren van technologische oplossingen die de nauwkeurigheid, verifieerbaarheid en helderheid van ESG-rapportering kunnen verbeteren [39]. Dit proces stelt ons in staat om gericht oplossingen te ontwerpen die niet alleen voldoen aan technische vereisten maar ook aligneren met de strategische doelstellingen van ESG-rapportering. Om het probleem aan te pakken wordt in de studie een methode ontwikkeld die bedrijven kan ondersteunen bij het kwalitatiever en transparanter rapporteren van hun BKG-emissiegegevens. Deze benadering biedt een richtinggevend kader dat bedrijven helpt bij het verbeteren van hun rapporteringsprocessen omtrent ESG-rapportering.

Om de uitdagingen op het gebied van datakwaliteit en transparantie van broeikasgasemissies in ESG-rapportering in kaart te brengen, richt dit onderzoek zich op het ontwikkelen van een methode die bedrijven in staat stelt hun broeikasgasemissies per processtap te visualiseren en te analyseren met behulp van BPMN en proces mining technieken. Dit onderzoek zal door de lens van bedrijfsprocessen kijken naar innovatieve oplossingen. Deze ‘procesbril’ is relevant om de knelpunten in de huidige rapporteringspraktijken van broeikasgasgegevens te identificeren en aan te pakken. Door te focussen op de bedrijfsprocessen kunnen we beter begrijpen hoe en waar de emissies optreden, wat ons in staat stelt een methodiek te ontwikkelen die de kwaliteit en transparantie van deze gegevens binnen ESG-rapportering aanzienlijk verbetert. We zien veel potentieel in deze benadering omdat bedrijfsprocessen een holistisch en gedetailleerd inzicht bieden in de operationele activiteiten van een organisatie. Door deze processen grondig te analyseren, kunnen we niet alleen de emissiebronnen nauwkeurig identificeren, maar ook gerichte verbeterstrategieën ontwikkelen die verder reiken dan oppervlakkige oplossingen. Het optimaliseren van deze processen kan leiden tot substantiële en duurzame verminderingen van broeikasgasemissies, wat zowel de milieu-impact van bedrijven als hun compliance met ESG-standaarden verbetert.

4.1 Probleemidentificatie en motivatie

Om de problematiek rond datakwaliteit en de transparantie van broeikasgasemissiegegevens binnen ESG-rapportering in kaart te brengen hebben we negen semi-gestructureerde interviews (zie Bijlage 8.1, "Semi-gestructureerd interview vragenlijst") uitgevoerd met verschillende experts, waaronder directeuren, partners, senior consultants en academici. Deze experts hebben uiteenlopende achtergronden in process mining, ERP-integratie, strategisch BPM, data-architectuur, softwareontwikkeling, procesoptimalisatie, medische procesmodellering, ESG-strategie, compliance, kwantitatieve analyse en procesarchitectuur. We hebben de interviews afgenomen volgens de richtlijnen voor kwalitatief onderzoek zoals beschreven door Barret en Twycross [40], die een systematische benadering bieden voor het plannen, uitvoeren en analyseren van interviews om betrouwbare en valide inzichten te verkrijgen. Deze interviews waren gericht op het verkrijgen van inzichten in de behoeften en perspectieven van stakeholders, met speciale aandacht voor de implicaties van recente Europese regelgevingen zoals de CSRD. De gesprekken onthulden uitdagingen binnen het domein van broeikasgasemissies en verduidelijkten de noodzaak voor verbeterde rapporteringsmethoden. Tijdens deze interviews, die ook voor de volgende stap werden gebruikt, werden specifieke knelpunten besproken zoals inconsistente dataverzameling, beperkte zichtbaarheid van emissiebronnen en moeilijkheden bij het rapporteren van milieu-impact.

In Tabel 1 wordt voor elke geïnterviewde expert de functie, het aantal jaren ervaring, het expertisegebied, de organisatie, de duur van het interview en hoe vaak deze persoon geïnterviewd is, weergegeven. Om het onderzoek iteratief te benaderen zijn specifieke deelnemers twee keer geïnterviewd, namelijk: INT01, INT08 en INT09. Op deze manier werd de ontwikkelde methode getoetst aan de functionele en niet-functionele vereisten die in de initiële interviews naar voren kwamen. INT10 en INT11, experts op het gebied van data-integratie en BPM-methoden, alsook op de hoogte van CSDR-wetgeving, werden na de ontwikkeling van de methode benaderd voor een objectieve evaluatie. Deze twee respondenten waren niet betrokken bij het oorspronkelijke identificatieproces van het probleem, waardoor hun perspectieven onbevooroordeeld waren en zorgden voor een nieuw perspectief op de bruikbaarheid en effectiviteit van de voorgestelde methodiek.

Tabel 1: Overzicht interviews

ID	Functie	Aantal jaren ervaring	Expertisegebied	Organisatie	Duur	#Interviews
INT01	Directeur	27 jaar	Process Mining en ERP-integratie	Big 4 bedrijf	60 min	2
INT02	Partner	13 jaar	Strategisch BPM en data architectuur	Big 4 bedrijf	30 min	1
INT03	Senior consultant	2 jaar	Software-ontwikkeling en procesoptimalisatie	Big 4 bedrijf	30 min	1
INT04	Prof. Dr.	14 jaar	Medische procesmodellering en BPMN	Academische instelling	45 min	1
INT05	Partner	14 jaar	ESG-strategie en compliance	Big 4 bedrijf	30 min	1
INT06	Service owner	24 jaar	BPMN en ESG-implementatie-strategieën	Post dienstverlening	45 min	1
INT07	Business analyst	8 jaar	Business analyse en procesoptimalisatie	Post dienstverlening	60 min	1
INT08	Onderzoeker	8 jaar	Kwantitatieve analyse en procesarchitectuur	Academische instelling	60 min	2
INT09	Partner	19 jaar	Technologie en ESG-strategie	Big 4 bedrijf	45 min	2
INT10	Directeur	46 jaar	Geavanceerde bedrijfsverandering, BPMN en E-learning ontwikkeling	Consultancy	60 min	1
INT11	CTO/Co-founder	6 jaar	CSRD-rapportering	Consultancy	60 min	1

4.2 Vereisten definiëren

Om een methode te ontwikkelen die niet alleen effectief maar ook relevant is voor de bedrijfswereld, is het nodig om zowel functionele als niet-functionele vereisten nauwkeurig vast te leggen [39]. Deze vereisten vormen de basis waarop de methode wordt gebouwd, waarbij ze helpen om te garanderen dat het eindresultaat aansluit bij de behoeften en verwachtingen van de stakeholders [41]. Tijdens de semi-gestructureerde interviews met experts en stakeholders zijn deze vereisten uitvoerig besproken. De experts en stakeholders werden gevraagd naar hun ervaringen met bestaande methodes, de tekortkomingen die zij ervaren en de kenmerken die volgens hen onontbeerlijk zijn voor een succesvolle en bruikbare nieuwe methode.

Specifiek werd er aandacht besteed aan wat er ontbreekt in de huidige benaderingen en waar de focus gelegd moest worden om de methodologie niet alleen operationeel efficiënt, maar ook strategisch relevant te

maken. Het resultaat van deze interviews was dat de doelstellingen en vereisten voor het artefact duidelijk werden gedefinieerd. Deze vereisten zijn gedetailleerd opgelijst in sectie 5.1 'Vereisten' van deze thesis. Deze input werd vertaald naar technische en functionele specificaties die de basis vormden voor het ontwerp van de oplossing.

4.3 Ontwerp en Ontwikkeling

In de derde stap werd een methode ontwikkeld door uitgebreid literatuuronderzoek en op basis van de verzamelde vereisten. In deze fase werd onderzocht hoe bestaande methoden en technologieën kunnen worden aangepast en verbeterd om BKG-emissiegegevens effectief te integreren en diepgaande analyses van bedrijfsprocessen mogelijk te maken. Literatuur over process mining, BPMN-modellering en BKG-emissierapportering werd bestudeerd om best practices en innovatieve benaderingen te identificeren. Dit leidde tot de ontwikkeling van een aangepaste methode die specifiek gericht is op de integratie en analyse van BKG-emissiegegevens. Deze methode omvatte technische componenten zoals data-integratie, real-time monitoring en visuele representatie van emissiegegevens binnen bedrijfsprocessen. Het resultaat van deze stap was een aangepaste methode voor BKG-emissiegegevens die bedrijven helpt om hun ESG-rapportering te verbeteren.

4.4 Iteratie

Eerst is er een eerste versie van de methode ontwikkeld om nadien in de iteratiefase feedback te verkrijgen van de stakeholders om te controleren of de ontwikkelde methode volgens de stakeholders aan de vooropgestelde vereisten voldeed. Dit is afgetoetst om nadien aanpassingen te maken aan de methode om zo tot een verbeterde versie te komen. In reactie op de feedback verkregen uit semi-gestructureerde interviews met domeinexperten en stakeholders, meer specifiek de interviews met ID-nummer INT01, INT08 en INT09, zijn er aanpassingen gemaakt om de methode te verfijnen. De oplossing werd gedemonstreerd en gedetailleerde feedback werd verzameld over de gebruiksvriendelijkheid, data-integriteit en naleving van normen. Door deze iteratieve feedback kon de oplossing continu worden verbeterd, wat resulteerde in een robuuste en gebruiksvriendelijke methode die aan de gestelde vereisten voldeed.

4.5 Validatie

Na de aanpassingen aan de eerste versie van de methode, werd de nieuwe methode voorgelegd aan twee experts die nog niet aan het onderzoek hebben bijgedragen. Als validatie van het artefact werd de methode om broeikasgasemissies per processtap te visualiseren en analyseren met behulp van BPMN en proces mining technieken, onderworpen aan een validatieproces. De methode is getoetst bij een nieuwe groep experts met ID-nummer: INT10 en INT11. Tijdens dit proces zijn gegevens verzameld over de geïntegreerde ESG-data visualisatie, aanpasbare weergave van uitstootgegevens, real-time monitoring en rapportering, toegankelijkheid voor niet-specialisten en transparantie. Deze aspecten zijn geïdentificeerd als cruciale vereisten tijdens

de semi-gestructureerde interviews met stakeholders, zoals gedetailleerd beschreven in sectie 5.1 'Vereisten'.

De feedback uit deze validatiefase is belangrijk om te verzekeren dat het artefact niet alleen voldoet aan de theoretische verwachtingen, maar ook een toegevoegde waarde levert binnen operationele contexten. Dit houdt in dat het artefact daadwerkelijk bijdraagt aan de kwaliteit en transparantie van BKG-data in ESG-rapporten en dat het integreert met bestaande systemen en processen zonder dat er ingrijpende aanpassingen nodig zijn.

Bijzondere aandacht is besteed aan de bruikbaarheid van het artefact in verschillende bedrijfstakken en de mate van aanpassingsvermogen in uiteenlopende organisatorische structuren. Experts hebben specifiek gekeken naar de compatibiliteit van het artefact met diverse ERP-systemen en de flexibiliteit ervan met betrekking tot toekomstige uitbreidingen en milieuvoorschriften. Dit sluit aan bij de DSRM-methode die het belang van herhaalde tests en aanpassingen benadrukt om tot een robuuste en breder toepasbare oplossing te komen. De resultaten van deze validatieronde resulteren in aanbevolen aanpassingen die besproken worden in sectie 5.5, 'Validatie'.

4.6 Communicatie

In de zesde en laatste stap werden de resultaten gedocumenteerd en gecommuniceerd. Dit omvatte een uitgebreide documentatie van de methodologie, het artefactontwerp, bevindingen uit de iteratie- en validatiefasen, aanbevelingen voor de praktijk en toekomstig onderzoek. De documentatie werd opgesteld in een gestructureerd formaat dat gemakkelijk te begrijpen en te gebruiken is voor verschillende doelgroepen, waaronder technici, managers en onderzoekers. Hierdoor kon het onderzoek volledig gedocumenteerd en gecommuniceerd worden, wat de implementatie en verder onderzoek ondersteunt en bijdraagt aan de bredere adoptie en voortdurende verbetering van de methode. Tabel 2 biedt een systematisch overzicht van de diverse stappen die worden doorlopen om de resultaten te bereiken.

Tabel 2: Overzicht van de onderzoeksactiviteiten

Stap	Onderzoeks-activiteiten	Activiteit Omschrijving	Output
1	Probleem-identificatie en motivatie	Interviews afgenomen met stakeholders om problemen met betrekking tot kwaliteit, traceerbaarheid en transparantie van BKG-data in bedrijfsprocessen te identificeren.	Bewustzijn van het belang van verbetering in kwaliteit en transparantie van BKG-data verhoogd.
2	Vereisten definiëren	Interviews afgenomen om de specificaties te bepalen waaraan het artefact moet voldoen, gericht op diepgaande procesanalyse en optimalisatie.	Duidelijk gedefinieerde doelstellingen en vereisten voor het artefact.
3	Ontwerp en ontwikkeling	Methode ontwikkeld door onderzoek in literatuur en vereisten om BKG-emissiegegevens te integreren en diepgaande analyses van bedrijfsprocessen te faciliteren.	Een aangepaste methode voor BKG-emissiegegevens ontwikkeld.
4	Iteratie	Feedbackronde uitgevoerd met stakeholders om de vereisten van de methode af te toetsen en continu te verfijnen.	De oplossing verfijnd door iteratieve feedback, beoordeeld op gebruiksvriendelijkheid en naleving van normen.
5	Validatie	Validatie uitgevoerd door interviews met twee externe experts die nog niet eerder zijn bevraagd, gericht op praktische inzetbaarheid en integratie.	Bevestiging van bruikbaarheid en interoperabiliteit van het artefact.
6	Communicatie	Resultaten gedocumenteerd en gecommuniceerd, inclusief methodologie, artefactontwerp en bevindingen uit iteratie- en validatiefasen.	Volledige documentatie en communicatie van het onderzoek klaar voor implementatie en verder onderzoek.

5 Ontwikkeling methode

5.1 Vereisten

Uit de semi-gestructureerde interviews met ID-nummers gaande van INT01 tot en met INT09 kwamen specifieke functionele en niet-functionele vereisten naar voor. Hoewel de gesprekken vaak de mogelijkheden voor het ontwikkelen van een concrete tool benadrukten, ligt de focus van dit onderzoek op het ontwikkelen van een methodologie voor bedrijven om hun broeikasgasemissies per processtap te visualiseren en te analyseren met behulp van BPMN en proces mining technieken. Deze aanpak biedt gedetailleerde inzichten in emissiehotspots binnen interne processen, wat kan leiden tot gerichte emissiereducties, verbeterde kwaliteit en transparantie in externe ESG-rapporten. De focus ligt specifiek op broeikasgassen, zodat bedrijven hun milieuprestaties nauwkeurig kunnen monitoren en rapporteren. De vereisten zijn zorgvuldig overwogen en verwerkt in de ontwikkeling van de methode om de relevantie en toepasbaarheid ervan in de zakelijke context te waarborgen. Hieronder worden de bevindingen die relevant zijn voor het succes van de methode binnen de bedrijfsomgeving gepresenteerd.

5.1.1 Functionele vereisten

- A. **Geïntegreerde ESG-data visualisatie:** De methode moet gebruikers in staat stellen om ESG-gerelateerde data, met name uitstootgegevens per activiteit, visueel te integreren in BPMN-modellen om de milieu-impact van elke processtap te beoordelen.
- B. **Aanpasbare weergave van uitstootgegevens:** Gebruikers moeten in staat zijn om de weergave van uitstootgegevens aan te passen aan hun behoeften voor zowel algemene als gedetailleerde milieu-effectanalyses.
- C. **Real-time monitoring en rapportering:** De methode moet de mogelijkheid bieden voor real-time monitoring en rapportering van ESG-prestaties, inclusief de actuele uitstootniveaus, ter ondersteuning van proactief beheer en verbetering van milieu-impact.
- D. **Toegankelijkheid voor niet-specialisten:** De methode moet gemakkelijk toegankelijk zijn voor alle gebruikers, ongeacht hun technische vaardigheden, om ESG-data binnen BPMN-modellen te analyseren.
- E. **Transparantie:** De weergave van uitstootgegevens moet een hoge mate van duidelijkheid en inzichtelijkheid bieden.

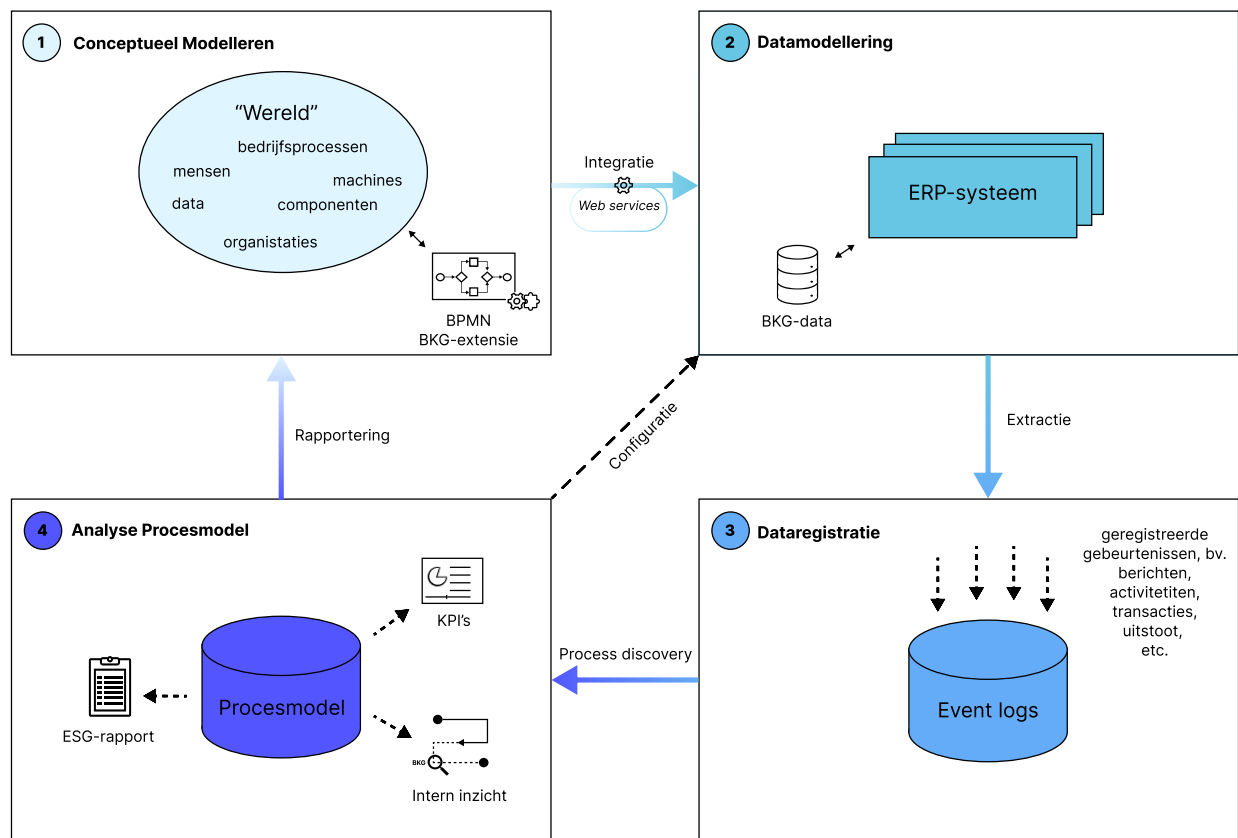
5.1.2 Niet-functionele vereisten

- A. **Intuïtieve gebruikersinterface:** Een duidelijke en gemakkelijk navigeerbare methode die gebruikers snel inzicht geeft in de uitstoot per processtap.
- B. **Flexibiliteit en compatibiliteit:** De methode moet naadloos integreren met bestaande ESG-rapportering en ERP-systemen binnen de organisatie en flexibel aanpasbaar zijn aan veranderende milieuwetgeving en -normen.
- C. **Gebruiksvriendelijke analysetools:** Analytische hulpmiddelen binnen de methode moeten gebruikers helpen bij het identificeren van processen met een hoge uitstoot en het prioriteren van verbeteringsgebieden, inclusief mogelijkheden voor scenario-analyse en impactprognose.
- D. **Beveiliging bedrijfskennis:** De methode moet de bescherming van bedrijfskennis waarborgen, essentieel voor het behoud van de integriteit en het concurrentievoordeel van de organisatie.

5.2 Methode voor het visualiseren en analyseren van broeikasgasemissies binnen bedrijfsprocessen

De voorgestelde methode heeft als doel het ontwikkelen van een methodologie voor bedrijven om hun broeikasgasemissies per processtap te visualiseren en te analyseren met behulp van BPMN en proces mining technieken. Deze aanpak biedt gedetailleerde inzichten in emissiehotspots binnen interne processen, wat kan leiden tot gerichte emissiereducties, verbeterde kwaliteit en transparantie in externe ESG-rapporten. Door gebruik te maken van BPMN en process mining technieken kunnen bedrijven deze data effectief visualiseren en analyseren. BPMN biedt een gestandaardiseerde manier om bedrijfsprocessen te modelleren en maakt het mogelijk om de complexiteit van de werkelijke wereld in een gestructureerd formaat te vertalen [30]. Process mining helpt vervolgens bij het ontdekken van de totale uitstoot aan BKG in het bedrijfsproces, waardoor bedrijven in staat worden gesteld om nauwkeurige en gedetailleerde inzichten te verkrijgen in de emissiehotspots binnen hun processen. Dit gecombineerde gebruik van BPMN en process mining is cruciaal voor het nauwkeurig rapporteren en beheren van broeikasgasemissies. De methode is gestructureerd in vier stappen zoals weergegeven in Figuur 1.

Figuur 1: Stapsgewijze methode voor het visualiseren en analyseren van broeikasgasemissies in bedrijfsprocessen, geïnspireerd door [42,43]



Stap 1: Conceptueel Modelleren: hier worden de bedrijfsprocessen, inclusief mensen, machines, data en componenten, conceptueel gemodelleerd. Dit wordt gedaan met behulp van BPMN en een specifieke BKG-extensie (zie Figuur 2) om broeikasgasemissies in kaart te brengen. Deze fase legt de basis voor een helder overzicht van alle elementen en hun interacties binnen de organisatie.

Stap 2: Datamodellering: hier richt men zich op het modelleren en structureren van de broeikasgasdata (BKG-data) binnen het ERP-systeem van de organisatie. Hierbij wordt de data geïntegreerd zodat deze consistent kan worden gelogd in het proces. Deze integratie is essentieel om de juiste koppelingen tussen emissies en specifieke bedrijfsactiviteiten te maken.

Stap 3: Dataregistratie: hier worden alle relevante gegevens geregistreerd in event logs. Dit omvat geregistreerde gebeurtenissen zoals berichten, activiteiten, transacties en uitstoot. Door een gedetailleerde registratie van deze gebeurtenissen kunnen bedrijven een uitgebreide en nauwkeurige dataset opbouwen die gebruikt wordt voor verdere analyse.

Stap 4: Analyse Procesmodel: hier wordt het processmodel geanalyseerd met behulp van een discovery algoritme dat is aangepast om te focussen op BKG-data. Dit stelt bedrijven in staat om verrijkte BPMN-modellen te genereren die niet alleen de processen visualiseren maar ook gedetailleerde uitstoot per activiteit in kaart brengen (zie Figuur 3). Deze analyse maakt het mogelijk om KPI's op te stellen en biedt zowel intern inzicht als verbeterde ESG-rapportering.

De vier verschillende stappen zullen in de volgende secties verder uitgediept worden. Deze methode, ondersteund door de visuele weergave in Figuur 1, biedt een blauwdruk voor bedrijven om BKG-data op een uniforme wijze te integreren in het bedrijfsproces. De methode is ontwikkeld vanuit een procesperspectief. De integratie van BKG-data in bedrijfsprocessen kan leiden tot betere inzichten in de BKG-emissies op zowel macro- als microniveau, relevant voor het naleven van regelgeving en het verbeteren van de duurzaamheidsprestaties van een organisatie.

5.2.1 Conceptueel modelleren

Organisaties met ERP-systemen voegen vaak direct nieuwe componenten toe aan hun bestaande systemen om specifieke datasets te visualiseren. Daarom is het belangrijk dat ze regelmatig een uitgebreide evaluatie uitvoeren om een bredere, holistische kijk op hun processen te behouden [36]. Juist dit perspectief is nodig voor een correcte rapportering van BKG-emissies, wat resulteert in een hoogwaardiger ESG-rapport [44]. Een grondige analyse van de beschikbare data is nodig om duidelijk te maken welke activiteiten binnen het bedrijfsproces de meeste uitstoot veroorzaken.

Om deze doelen te bereiken, introduceren we een BPMN-extensie die is ontworpen om BKG-data te integreren en op te slaan, wat nodig is voor het koppelen van deze gegevens aan ERP-systemen [45]. Deze BPMN-extensie maakt gebruik van zowel statische als dynamische data om een volledig en actueel overzicht van de emissies te bieden.

Statische data verwijst naar gegevens die periodiek worden verzameld en niet vaak veranderen, zoals historische emissiegegevens of gegevens van externe bronnen zoals Ecoinvent [46]. Dynamische data daarentegen wordt in real-time verzameld en continu bijgewerkt. Dit type data biedt een actueel overzicht van de emissies en kan organisaties helpen snel te reageren op veranderingen in hun processen. Het verzamelen en verwerken van dynamische data vereist echter significante investeringen in infrastructuur en technologie om real-time monitoring en analyse mogelijk te maken [47].

Zoals geïllustreerd in Figuur 1, stap 1, vormt conceptueel modelleren de eerste cruciale stap in dit proces. Hier wordt een model van de werkelijke wereld gecreëerd. Dit model omvat mensen, hun interacties binnen bedrijfsprocessen, de rol die machines en andere fysieke componenten spelen. Elk van deze elementen, van individuele medewerkers tot de organisatorische structuren waarbinnen zij functioneren, dragen bij aan de dynamiek van de data binnen een bedrijf. In deze context verwijst conceptueel modelleren naar het creëren van een gestructureerd overzicht van hoe data door bedrijfsprocessen beweegt.

Deze werking helpt om de complexiteit van de echte wereld in een gestructureerd formaat te vertalen. Een proces wordt niet alleen als een abstract concept gezien, maar ook in verband gebracht met concrete elementen zoals machines die opereren binnen een fabriek of softwaretools die door medewerkers worden gebruikt. BPMN wordt breed toegepast omwille van zijn helderheid en eenvoud, maar het modelleren van deze complexe en interactieve wereld vereist een gedetailleerd begrip van alle onderliggende componenten en hun interacties [30].

Wanneer bedrijven hun processen en activiteiten modelleren met BPMN, lopen ze vaak tegen de beperkingen van de huidige elementen binnen deze notatie aan. Recker et al. [33] introduceren een BPMN-extensie die gericht is op het modelleren en analyseren van de koolstofvoetafdruk van bedrijfsprocessen. Deze extensie concentreert zich voornamelijk op de visualisatie en kwantificering van directe emissies, die specifiek verbonden zijn aan bepaalde bedrijfsactiviteiten. In tegenstelling hiermee, richt onze BPMN-extensie zich op het integreren van onderliggende metadata van broeikasgassen, een essentieel element voor de koppeling van deze gegevens aan ERP-systemen [45]. Terwijl de extensie van Recker et al. waardevol

is voor het direct meten en visualiseren van emissies, richt onze uitbreiding zich meer op het operationele aspect van data-integratie en -beheer. Dit stelt organisaties in staat niet alleen hun uitstoot te monitoren en te rapporteren, maar ook de verzamelde data efficiënt te gebruiken voor compliance en strategische besluitvorming. Door metadata toe te voegen aan elk datasegment, verbetert de extensie de traceerbaarheid en controleerbaarheid van BKG-data. De integratie van deze data in het ERP-systeem zal vergemakkelijkt worden omdat de data op een gestructureerde manier aanwezig is in het BPMN-model. Een illustratief voorbeeld van de extensie is te zien in een uittreksel van XML-code in Figuur 2.

5.2.2 Datamodellering

Zoals geïllustreerd in Figuur 1, stap 2, richten we ons nu op de integratie van BKG-data in ERP-systemen. Deze stap bouwt voort op de conceptuele modellering uit stap 1. In stap 2 verschuift de focus naar de datamodellering en de daadwerkelijke integratie van deze gegevens in het ERP-systeem.

Een effectieve datamodellering van BKG-data binnen ERP-systemen stelt bedrijven in staat om extra informatie te loggen tijdens de bedrijfsactiviteiten, wat essentieel is voor diepgaandere analyses achteraf. Bij elke geregistreerde gebeurtenis, zoals transacties, activiteiten of emissies, wordt aanvullende metadata over broeikasgasemissies vastgelegd. Deze aanpak zorgt ervoor dat alle relevante data op een gestandaardiseerde en consistente manier wordt geïntegreerd in het ERP-systeem, wat cruciaal is voor nauwkeurige ESG-rapportering [44].

De integratie van BKG-data binnen ERP-systemen wordt ondersteund door het gebruik van web services, die verschillende IT-systemen met elkaar verbinden en zorgen voor de effectieve overdracht en het beheer van data [45]. Web services maken het mogelijk om BKG-data in real-time uit te wisselen tussen verschillende systemen. Bijvoorbeeld, sensorgegevens die broeikasgasemissies meten, kunnen automatisch naar het ERP-systeem worden gestuurd, waardoor de gegevens direct beschikbaar zijn voor verdere verwerking en analyse. BPMN-modellen, die de verschillende stappen in de emissiemeting en -rapportering beschrijven, worden door de web services omgezet naar SoaML-modellen en vervolgens naar uitvoerbare web services. SoaML (Service-oriented architecture Modeling Language) is een standaard taal voor het specificeren van services binnen een servicegeoriënteerde architectuur, die helpt bij het definiëren van service-interacties en -interfaces. Deze web services integreren deze processen naadloos in het ERP-systeem, waardoor de gegevens van emissiemetingen direct gekoppeld worden aan bedrijfsprocessen zoals productieplanning en logistiek.

Door BKG-data direct te integreren in het ERP-systeem, kunnen bedrijven real-time gegevens verzamelen en analyseren, wat helpt om emissiehotspots binnen hun processen te identificeren en te beheren. Dit proces vereist een gedetailleerde datamodellering waarin zowel statische als dynamische data wordt opgenomen. Statische data, zoals historische emissiegegevens of gegevens van externe bronnen zoals Ecoinvent [46], biedt een consistent referentiepunt voor langetermijnanalyses en rapportering. Dynamische data daarentegen wordt in real-time verzameld en continu bijgewerkt, wat een actueel overzicht van de emissies

mogelijk maakt en bedrijven helpt snel te reageren op veranderingen in hun processen [47].

Deze gestandaardiseerde aanpak van datamodellering en data-integratie bevordert de uniformiteit in het beheer van BKG-data. Het zorgt ervoor dat data uit verschillende bronnen of bedrijfsonderdelen vergelijkbaar en combineerbaar zijn, wat relevant is voor het opstellen van overkoepelende rapporten en het uitvoeren van bredere analyses binnen het bedrijf [48]. Hierdoor kunnen bedrijven niet alleen hun uitstoot monitoren en rapporteren, maar ook proactief inspelen op veranderingen in hun emissieprofielen, wat leidt tot beter geïnformeerde beslissingen en een effectievere beheersing van hun milieu-impact.

5.2.3 Dataregistratie

Na een correcte integratie van BKG-data in een ERP-systeem is het mogelijk om een event log te extraheren die uitgebreide meta-data over BKG-uitstoot per activiteit bevat. Deze stap is zichtbaar in stap 3 van Figuur 1. De data uit de systemen kan worden getransformeerd naar XES-bestanden, een standaardformaat voor het opslaan van event logs dat veel wordt gebruikt in process mining. Het is cruciaal dat elke variant van het bedrijfsproces, inclusief de frequentie van specifieke activiteiten en de bijbehorende emissies, nauwkeurig wordt geregistreerd om een representatieve weergave van de totale uitstoot te verzekeren. Deze stap is zichtbaar in stap 3 van Figuur 1.

In deze fase wordt elke bedrijfsactiviteit vastgelegd met bijbehorende timestamps, actoren en andere relevante attributen, zoals de hoeveelheid broeikasgasemissies. Dit resulteert in een gedetailleerde event log die niet alleen de volgorde en frequentie van activiteiten bevat, maar ook de emissiegegevens die aan deze activiteiten zijn gekoppeld. Een belangrijk concept in process mining is dat bedrijfsprocessen uit verschillende varianten kunnen bestaan. Dit betekent dat dezelfde reeks activiteiten in een bedrijfsproces in verschillende volgordes kan plaatsvinden. Bijvoorbeeld, activiteit A kan soms na activiteit B komen en soms ervoor. Dit creëert verschillende varianten van hetzelfde proces. Het vastleggen van deze varianten in de event logs is nodig voor een compleet inzicht in hoe bedrijfsprocessen werkelijk verlopen en welke varianten mogelijk leiden tot hogere emissies [49].

Een belangrijk aspect van deze dataregistratie is de transformatie van ruwe data naar het XES-formaat. Dit omvat het mappen van ERP-gegevens naar gestandaardiseerde event log attributen zoals 'concept:naam' voor activiteitennamen, 'org:toewijzing' voor actoren en 'tijd:timestamps' voor timestamps. Specifieke BKG-gerelateerde attributen, zoals 'bkg:emissies', worden toegevoegd om de uitstootgegevens per activiteit vast te leggen. Deze uitgebreide meta-data stelt bedrijven in staat om gedetailleerde analyses uit te voeren met behulp van process mining technieken [50].

Het is belangrijk dat deze event logs volledig en accuraat zijn, zodat ze een betrouwbare basis vormen voor process mining. Process mining algoritmes, zoals de multi-perspectief miner en de inductive miner, kunnen deze verrijkte event logs gebruiken om BPMN-modellen te genereren die niet alleen de structurele aspecten van bedrijfsprocessen visualiseren, maar ook de milieugevolgen van deze processen. Hoewel deze algoritmes momenteel BPMN-modellen kunnen produceren die verschillende aspecten van bedrijfsprocessen

visualiseren [51,52], zijn ze nog niet in staat om modellen te leveren die specifiek BKG-data integreren. Dit onderzoek stelt geen aanpassing van deze discovery-algoritmen voor, maar geeft een voorstel hoe de output eruit zou kunnen zien wanneer de focus ligt op BKG-data.

Door deze aanpak kunnen bedrijven niet alleen hun operationele efficiëntie analyseren, maar ook intern inzicht krijgen in de milieueffecten van hun bedrijfsactiviteiten. Dit is cruciaal voor het realiseren van duurzaamheidsdoelen en het voldoen aan regelgeving op het gebied van milieuverantwoording. De resulterende BPMN-modellen bieden een visuele weergave van processen waarin zowel operationele als milieuprestaties worden geïntegreerd, wat bedrijven helpt bij het maken van beter geïnformeerde beslissingen en het optimaliseren van hun processen met het oog op zowel efficiëntie als duurzaamheid.

5.2.4 Analyse procesmodel

In stap 4, zoals weergegeven in Figuur 1, ligt de focus op de analyse van het procesmodel dat gegenereerd is door het aangepaste discovery-algoritme, waarbij de nadruk ligt op BKG-data. Dit resulteert in een verrijkt BPMN-model met kleurenschakeringen die de uitstoot per activiteit aangeven. Door deze integratie van BKG-data in BPMN-modellen kunnen bedrijven diepgaand inzicht krijgen in hun interne processen. Deze inzichten maken het mogelijk om specifieke KPI's op te stellen die relevant zijn voor verschillende industrieën, gebaseerd op het Pareto-principe. Dit betekent dat bedrijven kunnen identificeren welke 20% van de processen verantwoordelijk zijn voor 80% van de uitstoot, waardoor gerichte verbeteringen mogelijk worden [53].

Als verbetering wordt er in deze studie voorgesteld om deze algoritmes aan te passen zodat ze niet alleen een uitgebreid overzicht van alle bedrijfsactiviteiten bieden, maar ook een kleurenschema en gedetailleerde informatie over de totale BKG-uitstoot per activiteit aangeven. Dit stelt organisaties in staat om op micro-niveau de emissie-intensieve activiteiten snel te identificeren en te analyseren. Verrijkte BPMN-modellen zouden het mogelijk maken om gerichte duurzaamheidsmaatregelen te implementeren en de milieu-impact nauwkeurig te rapporteren, in overeenstemming met de vereisten van zowel interne als externe belanghebbenden. Dit vindt plaats in stap 4 van Figuur 1. De output van de door ons voorgestelde process mining is geïllustreerd in Figuur 3. Een gedetailleerde bespreking van deze output zal plaatsvinden in sectie 5.3.2, 'Process Mining Output'.

De toevoeging van process mining binnen deze methodiek versterkt de mogelijkheden aanzienlijk. Door de toevoeging van BKG-data in event logs kunnen bedrijven gedetailleerde analyses uitvoeren die niet alleen de exacte punten van hoge emissies identificeren, wat cruciaal is voor het effectief reduceren van de milieu-impact, maar ook de bedrijfsprocessen visualiseren en optimaliseren met een focus op ESG-doelstellingen.

Deze methode stelt bedrijven in staat om transparanter te zijn in het rapporteren omtrent hun BKG-uitstoot, aangezien ze de mogelijkheid hebben om tot op activiteitsniveau in te zoomen. Om de vergelijkbaarheid tussen verschillende industrieën mogelijk te maken en te verzekeren dat de rapportering voldoet aan de regelgeving, is een uniforme aanpak noodzakelijk [27]. Dit benadrukt de noodzaak van verder onderzoek

en de ontwikkeling van industriespecifieke standaarden. Het publiceren van deze standaarden zal bedrijven helpen bij het opstellen van relevante Key Performance Indicators (KPI's) die nodig zijn voor het bereiken van hun ESG-doelstellingen en om te voldoen aan regelgevende vereisten.

Door deze aanpak kunnen bedrijven niet alleen hun operationele efficiëntie analyseren, maar ook intern inzicht krijgen in de milieueffecten van hun bedrijfsactiviteiten. Dit is cruciaal voor het realiseren van duurzaamheidsdoelen en het voldoen aan regelgeving op het gebied van milieuverantwoording. De resulterende BPMN-modellen bieden een visuele weergave van processen waarin zowel operationele als milieuprestaties worden geïntegreerd, wat bedrijven helpt bij het maken van beter geïnformeerde beslissingen en het optimaliseren van hun processen met het oog op zowel efficiëntie als duurzaamheid.

5.3 Ontwerp en technische specificaties

5.3.1 BPMN-extensie

De implementatie van een BKG-extensie zorgt ervoor dat de gegevens nauwkeurig worden bewaard en beschikbaar zijn voor gebruik bij integratie met ERP-systemen. Een accurate data-etikettering maakt latere analyse en het verkrijgen van inzichten via process mining mogelijk.

Binnen deze BPMN-extensie is de nadruk gelegd op het gebruik van het CO₂-equivalent, een standaardmaat die wordt gebruikt om de impact van de verschillende broeikasgassen in termen van de hoeveelheid CO₂ die dezelfde opwarmingsimpact zou hebben over een specifieke periode te kwantificeren. Dit is te zien in Figuur 2 lijn 9. De extensie die hier is weergegeven representeert de manier hoe de data onderliggend aan een BPMN geïntegreerd wordt in de XML code. Het concept van CO₂-equivalent is toegevoegd aan de BPMN-extensie om een gestandaardiseerde methode te bieden voor het inschatten van de totale impact van emissies op het klimaat, ongeacht het specifieke type gas. Dit maakt het gemakkelijker voor organisaties om hun algehele bijdrage aan klimaatverandering te beoordelen en te vergelijken en biedt een helder uitgangspunt voor het nemen van gerichte maatregelen ter vermindering van hun ecologische voetafdruk. Door het gebruik van het CO₂-equivalent kunnen complexe emissieprofielen worden vereenvoudigd tot een begrijpelijke maatstaf wat nodig is voor effectief emissiebeheer en -rapportering binnen de BPMN-modelleeromgeving [54].

Figuur 2: Voorbeeld van een BPMN-extensie met BKG-emissie gegevens uit een BPMN-proces.

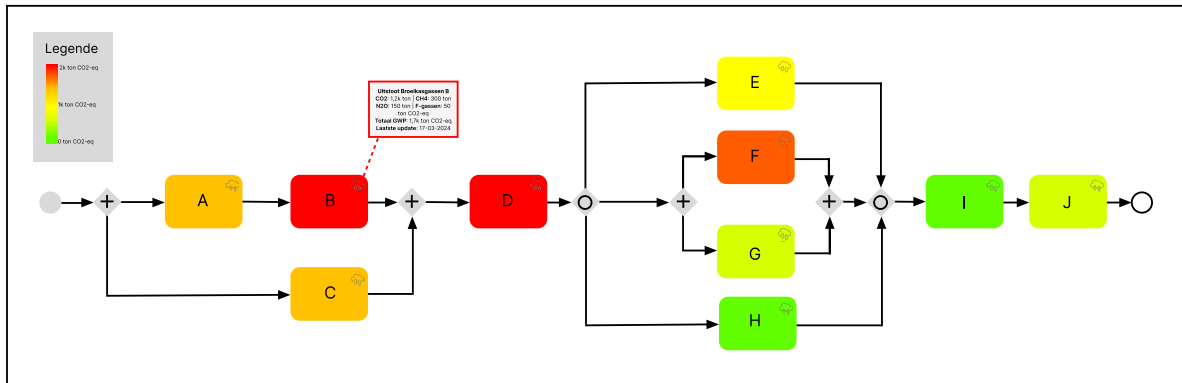
```
1      </task>
2      <task id="activityB" name="Activity B">
3          <extensionElements>
4              <zeebe:properties>
5                  <zeebe:property name="BKG Uitstoot CO2" value="1,2k ton" />
6                  <zeebe:property name="BKG Uitstoot CH4" value="300 ton" />
7                  <zeebe:property name="BKG Uitstoot N2O" value="150 ton" />
8                  <zeebe:property name="BKG Uitstoot F-gassen" value="50 ton CO2-eq" />
9                  <zeebe:property name="BKG Totaal GWP" value="1,7k ton CO2-eq" />
10                 <zeebe:property name="BKG Laatste update" value="17-03-2024" />
11             </zeebe:properties>
12         </extensionElements>
13         <incoming>Flow_0bfwucy</incoming>
14         <outgoing>Flow_0kfpl79</outgoing>
15     </task>
```

5.3.2 Process Mining Output

Figuur 3 presenteert een vereenvoudigd BPMN-model, gegenereerd door de toepassing van process mining en een discovery algoritme op event logs, afkomstig uit een ERP-systeem. Via een kleurcodering wordt de intensiteit van BKG-emissies binnen verschillende bedrijfsprocessen gevisualiseerd.

De interface van het model stelt gebruikers in staat om interactief met de proceselementen om te gaan. Door met de cursor over specifieke activiteiten te bewegen worden meteen de emissievolumes van diverse gassen onthuld. Dit verbetert de nauwkeurigheid bij het monitoren en managen van emissies en ondersteunt het ontwikkelen van gerichte Key Performance Indicators (KPI's) voor duurzaamheidsinitiatieven. De visualisatie helpt de verantwoordelijken voor milieu-impact binnen de organisatie om snel gebieden met hoge BKG-uitstoot te herkennen. Wanneer de activiteit meer donker kleurt, duidt dit op hogere emissies. Deze directe en intuïtieve herkenning faciliteert prompte en doelgerichte interventies, waardoor men diepgaander kan ingrijpen in processen die verbeterd moeten worden voor een effectievere emissiereductie.

Figuur 3: Visuele weergave proces mining output



5.4 Feedbackronde stakeholders

Na de feedbackronde bij drie stakeholders, die eerder zijn geïnterviewd om de probleemstelling op te stellen, zijn er enkele aanpassingen doorgevoerd en is de focus van de methode enigszins verschoven. Deze verschuiving is reeds meegenomen in de sectie 5, 'Ontwikkeling methode'. Tijdens de feedbackronde werden de vooropgestelde vereisten van de methode afgetoetst bij de stakeholders.

Er werd aanbevolen dat er meer aandacht besteed moest worden aan de integratie in het ERP-systeem omdat bedrijven vaak starten vanaf een reeds bestaand systeem en het te duur vinden om hun volledige bedrijfsproces te modelleren. Daarnaast werd de vraag gesteld of het mogelijk was om rekening te houden met industriestandaarden waaraan bedrijven moeten voldoen om hun uitstoot meetbaar te maken ten opzichte van een target.

Er werd tevens benadrukt dat transparantie als een functionele vereiste opgenomen dient te worden in de methode. Deze input heeft geleid tot verdere verfijning en verbetering van de aanpak, zoals beschreven in de sectie 5.1, 'Vereisten'.

5.5 Validatie

De experts, gespecialiseerd in respectievelijk CSRD-rapportering en dubbele materialiteitsbeoordelingen, alsook in procesoptimalisatie en datamanagement, leverden waardevolle inzichten die cruciaal waren voor de verdere ontwikkeling en verfijning van de methode.

Het belang van een geïntegreerde aanpak voor het identificeren en rapporteren van zowel directe als indirecte milieu-impacts werd benadrukt. Dit onderstreept de noodzaak van gedetailleerde procesmodellering en het gebruik van gespecialiseerde softwaretools binnen bedrijfsprocessen. Dit sluit aan bij de methodologische aanpak van het onderzoek, waarin de nadruk ligt op het nauwkeurig verzamelen en analyseren van milieu-impactgegevens.

Daarnaast werd ook het belang van het toegankelijk maken van de methodiek voor niet-specialisten en het belang van naadloze integratie met bestaande ERP-systemen aangegeven. De feedback toonde aan dat het gebruik van BPMN en proces mining technieken relevant is om de kwaliteit van ESG-data te verbeteren, wat aansluit bij de doelstellingen van het onderzoek om de rapportering van broeikasgasemissies te optimaliseren.

Deze validatieronde bevestigde dat de ontwikkelde methode niet alleen theoretisch solide is, maar ook praktisch relevant en toepasbaar binnen moderne bedrijfsomgevingen, essentieel voor het voldoen aan zowel interne managementbehoeften als externe regelgevende vereisten. Dit ondersteunt de potentie van de methodologie om effectief bij te dragen aan verbeterde kwaliteit en transparantie van BKG-data in ESG-rapportering.

6 Discussie

Deze studie pakt fundamentele tekortkomingen in de huidige ESG-rapportering aan door een vernieuwende BPMN-extensie te introduceren die bedrijven in staat stelt om BKG-data effectief te integreren in hun bedrijfsprocessen. Onze methode stelt het gebruik van process mining technieken voor om een gedetailleerde inzage te bieden in de BKG-uitstoot op activiteitsniveau. Hierdoor kunnen organisaties identificeren waar in hun processen de hoogste uitstoot plaatsvindt, wat essentieel is voor gerichte en effectieve interventies.

Deze aanpak adresseert direct de noodzaak voor accuratere milieu-informatie en biedt een oplossing voor de oppervlakkigheid in huidige rapportering, zoals benadrukt in de GRI-normen door Moneva et al. [23]. Door in te zoomen op specifieke activiteiten binnen het bedrijfsproces, overwint onze methode de complexiteit en het gebrek aan grondige emissie-analyse die de effectiviteit van bestaande standaarden zoals het GHG Protocol en de CDP beperken.

Verder biedt onze methode, om broeikasgassen in bedrijfsprocessen te visualiseren en analyseren, een robuuste structuur voor het documenteren van zowel directe als indirecte milieu-impact, wat aansluit bij de gestandaardiseerde rapporteringsnormen die worden onderstreept door recente literatuur. Deze benadering verbetert niet alleen de consistentie en vergelijkbaarheid tussen rapporten, maar verhoogt ook de betrouwbaarheid van ESG-rapportering. Specifiek legt onze aanpak zich toe op de uitdagingen in vergelijkbaarheid die door Luque-Vílchez et al. [10] worden benadrukt. Zij wijzen op de gebreken in de huidige ESG-rapporteringsstandaarden, waar een gebrek aan uniformiteit en standaardisatie leidt tot moeilijkheden bij het maken van geïnformeerde beslissingen door stakeholders. Door gedetailleerd inzicht te bieden in emissies op activiteitsniveau en dit consequent over verschillende rapporten te standaardiseren, verbeteren we de transparantie en stellen we belanghebbenden in staat accurate en vergelijkbare milieu-informatie te verkrijgen.

Toekomstig onderzoek zou zich moeten richten op het verder verfijnen van deze BPMN-extensie en de bijbehorende process mining output om nog nauwkeuriger te kunnen zoomen op de specifieke punten van hoge BKG-uitstoot. Daarnaast moet er onderzoek worden gedaan naar het aanpassen van discovery algoritmes zoals de multi-perspective miner en de inductive miner, om output te genereren die specifiek focust op BKG-data. Dit is essentieel voor het ontwikkelen van meer gerichte en effectieve strategieën voor emissiereductie en voor een diepgaander begrip van de impact van bedrijfsactiviteiten op het milieu.

Daarnaast is er een duidelijke behoefte aan onderzoek naar het vereenvoudigen van de technologische implementaties en het verlagen van de instapdrempels voor kleinere bedrijven. Het ontwikkelen van geavanceerde dataverificatietechnieken die geïntegreerd kunnen worden binnen de BPMN-modellen, zou de datakwaliteit aanzienlijk kunnen verhogen.

Samenvattend biedt deze studie een praktische en innovatieve methodologie die aansluit bij Europese wetgeving en vormt een solide basis voor verbeterde ESG-rapportering. Door deze methodische vooruitgang kunnen toekomstige studies helpen om de kloof tussen theorie en praktijk te overbruggen, wat cruciaal is voor het bevorderen van een duurzamere globale bedrijfsvoering.

7 Conclusie

Deze studie heeft een methodologie ontwikkeld die bedrijven helpt bij het visualiseren en analyseren van hun broeikasgasemissies (BKG) binnen bedrijfsprocessen. Door de integratie van Business Process Model and Notation (BPMN) met een specifieke BKG-extensie en de toepassing van process mining technieken, biedt de methode gedetailleerde inzichten in emissiehotspots binnen interne processen. Dit kan leiden tot gerichte emissiereducties, verbeterde kwaliteit en verhoogde transparantie in externe ESG-rapporten.

Het onderzoek is gestructureerd in vier stappen. In de eerste stap worden bedrijfsprocessen conceptueel gemodelleerd, inclusief mensen, machines, data en componenten. Dit legt de basis voor een helder overzicht van alle elementen en hun interacties binnen de organisatie. De tweede stap richt zich op het modelleren en structureren van de BKG-data binnen het ERP-systeem van de organisatie. Deze integratie is essentieel voor het correct loggen van data in het proces en het maken van de juiste koppelingen tussen emissies en specifieke bedrijfsactiviteiten.

In de derde stap worden alle relevante gegevens geregistreerd in event logs, wat zorgt voor een gedetailleerde registratie van gebeurtenissen zoals berichten, activiteiten, transacties en uitstoot. Deze uitgebreide dataset is cruciaal voor verdere analyse. De vierde en laatste stap bestaat uit het analyseren van het procesmodel met behulp van een discovery algoritme dat is aangepast om te focussen op BKG-data. Dit stelt bedrijven in staat verrijkte BPMN-modellen te genereren die niet alleen de processen visualiseren maar ook gedetailleerde uitstoot per activiteit in kaart brengen.

Deze aanpak heeft aangetoond dat het gebruik van BPMN en process mining technieken bedrijven kan helpen om niet alleen hun emissiehotspots te identificeren, maar ook gerichte KPI's op te stellen en te monitoren. Dit biedt zowel intern inzicht als verbeterde ESG-rapportering, wat essentieel is voor het vertrouwen van stakeholders. De methodologie draagt bij aan een verbeterde standaard voor ESG-rapportering, wat kan leiden tot betere vergelijkbaarheid en verhoogd vertrouwen onder belanghebbenden.

De resultaten benadrukken echter ook de noodzaak voor voortdurende aanpassingen om aan te sluiten bij evoluerende standaarden en bedrijfsbehoeften. Toekomstige onderzoeksinspanningen moeten zich richten op het uitvoerig testen van deze methodologie in diverse bedrijfscontexten en sectoren om de veelzijdigheid en robuustheid ervan verder te beoordelen. Daarnaast is er een duidelijke behoefte aan onderzoek naar het verfijnen van de toegepaste process mining technieken.

Deze studie biedt een basis voor de ontwikkeling van verbeterde methoden voor ESG-rapportering, hoewel verdere verificatie en validatie noodzakelijk zijn om de praktische toepasbaarheid en effectiviteit van de voorgestelde oplossingen te garanderen. De resultaten van dit onderzoek dragen bij aan het lopende gesprek over duurzame bedrijfsvoering en bieden een richting voor toekomstige inspanningen om de kloof tussen theorie en praktijk te overbruggen.

Referenties

- [1] I. Zenkina, “Ensuring the transparency of ESG reporting based on the development of its standardization,” *E3S Web of Conferences*, vol. 371, 2023. [Online]. Available: <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202337105077>
- [2] J. Patchell, “Can the implications of the GHG Protocol’s scope 3 standard be realized?” *Journal of Cleaner Production*, vol. 185, pp. 941–958, Jun. 2018. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618306528>
- [3] R. Kasperzak, M. Kureljusic, L. Reisch, and S. Thies, “Accounting for Carbon Emissions—Current State of Sustainability Reporting Practice under the GHG Protocol,” *Sustainability*, vol. 15, no. 2, Jan. 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/2/994>
- [4] A. Amel-Zadeh and G. Serafeim, “Why and How Investors Use ESG Information: Evidence from a Global Survey,” *Social Science Research Network*, no. Journal Article, publisher: Social Science Electronic Publishing. [Online]. Available: <https://go.exlibris.link/5p2Z0hzK>
- [5] F. Berg, J. F. Kölbel, and R. Rigobon, “Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings,” *Review of Finance*, vol. 26, no. 6, pp. 1315–1344, Nov. 2022. [Online]. Available: <https://academic.oup.com/rof/article/26/6/1315/6590670>
- [6] E. Unie, “Richtlijn (EU) 2022/2464 van het Europees Parlement en de Raad.” [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2464>
- [7] J. Baumüller and S. O. Grbenic, “Moving from Non-Financial to Sustainability Reporting: Analyzing the EU Commission’s Proposal for a Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD),” *Facta Universitatis, Series: Economics and Organization*, no. 1, Dec. 2021. [Online]. Available: <http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUEconOrg/article/view/8149>
- [8] E. Ingebretsen, “ESG as a key pillar of investment strategy,” *Journal of securities operations & custody*, vol. 16, no. 1, pp. 57–69, 2023, publisher: Henry Stewart Publications. [Online]. Available: <https://go.exlibris.link/XdM6Z4rg>
- [9] R. S. Kaplan and K. Ramanna, “How to Fix ESG Reporting,” *SSRN Electronic Journal*, 2021. [Online]. Available: <https://www.ssrn.com/abstract=3900146>
- [10] M. Luque-Vílchez, M. Cordazzo, G. Rimmel, and C. A. Tilt, “Key aspects of sustainability reporting quality and the future of GRI,” *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, vol. 14, no. 4, pp. 637–659, Jan. 2023, publisher: Emerald Publishing Limited. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-03-2023-0127>

- [11] N. Graves, I. Koren, and W. M. Van Der Aalst, “ReThink Your Processes! A Review of Process Mining for Sustainability,” in *2023 International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S)*. Rennes, France: IEEE, Jun. 2023, pp. 164–175. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10292162/>
- [12] J. Baumüller and K. Sopp, “Double materiality and the shift from non-financial to European sustainability reporting: review, outlook and implications,” *Journal of Applied Accounting Research*, vol. 23, no. 1, pp. 8–28, Feb. 2022. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JAAR-04-2021-0114/full/html>
- [13] KPMG, “Get ready for ESRS,” 2022. [Online]. Available: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2022/07/talkbook-get-ready-for-esrs.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fassets.kpmg.com%2Fcontent%2Fdam%2Fkpmg%2Fxx%2Fpdf%2F2022%2F07%2Ftalkbook>
- [14] B. Waas, “Some Thoughts on the New EU-Directive on Corporate Sustainability Reporting,” *Zbornik Pravnog fakulteta u Zagrebu*, vol. 73, no. 2-3, pp. 457–473, Oct. 2023. [Online]. Available: <https://hrcak.srce.hr/308882>
- [15] S. Allgeier and R. Feldmann, “CSRD Sustainability Reporting For Non-listed SMEs: European Regulators Remain Challenged,” *European Company and Financial Law Review*, vol. 20, no. 3, pp. 438–446, Oct. 2023. [Online]. Available: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/ecfr-2023-0019/html>
- [16] B. Giner and M. Luque-Vílchez, “A commentary on the “new” institutional actors in sustainability reporting standard-setting: a European perspective,” *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, vol. 13, no. 6, pp. 1284–1309, Oct. 2022. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SAMPJ-06-2021-0222/full/html>
- [17] J. Chua, “The task force on climate-related financial disclosures: History and impact,” *Journal of Environmental Economics*, vol. 35, pp. 45–58, 2022. [Online]. Available: https://www.example.com/tcf_history_impact
- [18] F. S. Board, “The task force on climate-related financial disclosures,” 2021. [Online]. Available: <https://www.fsb.org/work-of-the-fsb/market-and-institutional-resilience/tcf/>
- [19] T. Myklebust, “Climate-related Financial Risks: Considering an Emerging Framework for Assessment and Disclosure in a Regulatory Perspective,” *European Business Law Review*, vol. 33, no. Issue 3, pp. 443–462, Apr. 2022. [Online]. Available: <https://kluwerlawonline.com/journalarticle/European+Business+Law+Review/33.3/EULR2022020>
- [20] J. Ranganathan, “GHG Protocol Initiative Team,” 1998. [Online]. Available: www.wbcsd.org

- [21] M. Barrow, B. Buckley, T. Caldicott, T. Cumberlege, J. Hsu, S. Kaufman, K. Ramm, D. Rich, W. Temple-Smith, C. Cummis, L. Draucker, S. Khan, J. Ranganathan, and M. Sotos, “GHG Protocol and Carbon Trust Team.”
- [22] S. Pizzi, S. Principale, and E. De Nuccio, “Material sustainability information and reporting standards. Exploring the differences between GRI and SASB,” *Meditari Accountancy Research*, vol. 31, no. 6, pp. 1654–1674, Nov. 2023. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/MEDAR-11-2021-1486/full/html>
- [23] J. M. Moneva, P. Archel, and C. Correa, “GRI and the camouflaging of corporate unsustainability,” *Accounting Forum*, vol. 30, no. 2, pp. 121–137, Jun. 2006. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1016/j.accfor.2006.02.001>
- [24] C. Blanco, F. Caro, and C. J. Corbett, “An inside perspective on carbon disclosure,” *Business Horizons*, vol. 60, no. 5, pp. 635–646, Sep. 2017. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007681317300654>
- [25] CDP, “The a list 2023,” 2023. [Online]. Available: <https://www.cdp.net/en/companies/companies-scores>
- [26] J. Knox-Hayes and D. L. Levy, “The politics of carbon disclosure as climate governance,” *Strategic Organization*, vol. 9, no. 1, pp. 91–99, Feb. 2011. [Online]. Available: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1476127010395066>
- [27] C. Pesci, P. Vola, and L. Gelmini, “Flattening or addressing complexity? The future role of GRI in light of the sustainability accounting (r)evolution,” *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, vol. 14, no. 4, pp. 792–814, Jul. 2023. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SAMPJ-05-2022-0287/full/html>
- [28] L. Klaaßen and C. Stoll, “Harmonizing corporate carbon footprints,” *Nature Communications*, vol. 12, no. 1, Oct. 2021. [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-26349-x>
- [29] M. Weske, W. Van Der Aalst, and H. Verbeek, “Advances in business process management,” *Data & Knowledge Engineering*, vol. 50, no. 1, pp. 1–8, Jul. 2004. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169023X04000023>
- [30] M. Chinosi and A. Trombetta, “BPMN: An introduction to the standard,” *Computer Standards & Interfaces*, vol. 34, no. 1, pp. 124–134, Jan. 2012. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0920548911000766>
- [31] G. Aagesen and J. Krogstie, “BPMN 2.0 for modeling business processes,” in *Handbook on business process management 1: Introduction, methods, and information systems*, J. vom Brocke and

- M. Rosemann, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015, pp. 219–250. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3_10
- [32] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, and H. A. Reijers, *Fundamentals of business process management*, 2nd ed. Berlin: Springer, 2018, no. Book, Whole, publication Title: IndraStra Global. [Online]. Available: <https://link-springer-com.bib-proxy.uhasselt.be/book/10.1007/978-3-662-56509-4>
- [33] J. Recker, M. Rosemann, A. Hjalmarsson, and M. Lind, “Modeling and Analyzing the Carbon Footprint of Business Processes,” in *Green Business Process Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, vol. 9783642274886, pp. 93–109. [Online]. Available: <https://go.exlibris.link/NP04t0LS>
- [34] G. Dredde and J. C. Bergdolt, “Enterprise resource planning,” *Air Force journal of logistics*, vol. 31, no. 2, 2007, place: Gunter AFS Publisher: U.S. Air Force, Logistics Management Agency. [Online]. Available: <https://go.exlibris.link/yVMbYnqz>
- [35] C. Spathis and S. Constantinides, “The usefulness of ERP systems for effective management,” *Industrial Management & Data Systems*, vol. 103, no. 9, pp. 677–685, Dec. 2003. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02635570310506098/full/html>
- [36] F. Chen, Q. Wang, Q. Wei, C. Ren, B. Shao, and J. Li, “Integrate ERP system into business process management system,” in *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*. Dongguan, China: IEEE, Jul. 2013, pp. 436–439. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6611454/>
- [37] W. M. van der Aalst, *Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes*. Berlin: Springer, 2011, no. Book, Whole. [Online]. Available: <https://go.exlibris.link/pVRLsmq0>
- [38] H. M. Marin-Castro and E. Tello-Leal, “Event Log Preprocessing for Process Mining: A Review,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 22, Nov. 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/22/10556>
- [39] P. Johannesson and E. Perjons, *An Introduction to Design Science*. Cham: Springer International Publishing, 2014. [Online]. Available: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-10632-8>
- [40] D. Barrett and A. Twycross, “Data collection in qualitative research,” *Evidence Based Nursing*, vol. 21, no. 3, pp. 63–64, Jul. 2018. [Online]. Available: <https://ebn.bmj.com/lookup/doi/10.1136/eb-2018-102939>

- [41] M. Glinz, “On Non-Functional Requirements,” in *15th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE 2007)*. Delhi: IEEE, Oct. 2007, pp. 21–26. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4384163/>
- [42] W. Van Der Aalst, H. Reijers, A. Weijters, B. Van Dongen, A. Alves De Medeiros, M. Song, and H. Verbeek, “Business process mining: An industrial application,” *Information Systems*, vol. 32, no. 5, pp. 713–732, Jul. 2007. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306437906000305>
- [43] F. Ramires and P. Sampaio, “Process mining and lean six sigma: a novel approach to analyze the supply chain quality of a hospital,” *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 13, no. 3, pp. 594–621, May 2022. [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLSS-12-2020-0226/full/html>
- [44] P. Peças, L. John, I. Ribeiro, A. J. Baptista, S. M. Pinto, R. Dias, J. Henriques, M. Estrela, A. Pilastri, and F. Cunha, “Holistic Framework to Data-Driven Sustainability Assessment,” *Sustainability*, vol. 15, no. 4, Feb. 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/4/3562>
- [45] I. Zafar, F. Azam, M. W. Anwar, B. Maqbool, W. H. Butt, and A. Nazir, “A Novel Framework to Automatically Generate Executable Web Services From BPMN Models,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 93 653–93 677, 2019. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8758422/>
- [46] G. Wernet, C. Bauer, B. Steubing, J. Reinhard, E. Moreno-Ruiz, and B. Weidema, “The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, no. 9, pp. 1218–1230, Sep. 2016. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>
- [47] J. B. Saxe and J. L. Bentley, “Transforming static data structures to dynamic structures,” in *20th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (sfcs 1979)*. San Juan, Puerto Rico: IEEE, Oct. 1979, pp. 148–168. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4568011/>
- [48] X. Wang, L.-P. Huang, Y. Zhang, X.-H. Xu, and J.-Q. Chen, “A Solution of Data Inconsistencies in Data Integration — Designed for Pervasive Computing Environment,” *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 25, no. 3, pp. 499–508, May 2010. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s11390-010-9340-2>
- [49] L. Van Den Ingh, R. Eshuis, and S. Gelper, “Assessing performance of mined business process variants,” *Enterprise Information Systems*, vol. 15, no. 5, pp. 676–693, May 2021. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17517575.2020.1746405>
- [50] F. FIT, “pm4py - process mining for python,” 2024. [Online]. Available: <https://pm4py.fit.fraunhofer.de/documentation>

- [51] M. N. TiFtiK, T. G. Erdogan, and A. K. Tarhan, “A framework for multi-perspective process mining into a BPMN process model,” *Mathematical Biosciences and Engineering*, vol. 19, no. 11, pp. 11 800–11 820, 2022. [Online]. Available: <http://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/mbe.2022550>
- [52] M. Siek, “Investigating inductive miner and fuzzy miner in automated business model generation,” Istanbul, Turkey, 2023. [Online]. Available: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0128639>
- [53] T. J. Monroe, U. S. Navy, and M. G. Beruvides, “Ockham’s (Occam) Razor And Pareto Principle (80/20 Rule): The Practice Of Seeking Simplicity In Risk Decisions Under Uncertainty,” 2018. [Online]. Available: <https://go.exlibris.link/K1rV2wwG>
- [54] C. Grasset, S. Sobek, K. Scharnweber, S. Moras, H. Villwock, S. Andersson, C. Hiller, A. C. Nydahl, F. Chaguaceda, W. Colom, L. J. Tranvik, and Sveriges lantbruksuniversitet, “The CO₂-equivalent balance of freshwater ecosystems is non-linearly related to productivity,” *Global change biology*, vol. 26, no. 10, pp. 5705–5715, 2020. [Online]. Available: <https://go.exlibris.link/dS6WR2y7>

8 Bijlagen

8.1 Semi-structureerd interview vragenlijst

1. Introductievragen

- (a) Kunt u uw huidige rol en verantwoordelijkheden binnen uw organisatie beschrijven?
- (b) Hoe lang bent u al actief in uw huidige functie en in uw vakgebied?

2. Vragen over ESG-rapportering en datakwaliteit

- (a) Wat zijn volgens u de grootste uitdagingen op het gebied van datakwaliteit en transparantie in ESG-rapportering binnen uw organisatie?
- (b) Hoe gaat uw organisatie momenteel om met de verzameling en rapportering van broeikasgasemissies?
- (c) Hoe zorgen jullie ervoor dat de gegevens die jullie verzamelen voor ESG-rapportering accuraat en betrouwbaar zijn?

3. Vragen over procesmodellen en analyse

- (a) Hoe belangrijk is het voor uw organisatie om inzicht te hebben in de details van bedrijfsprocessen?
- (b) Heeft u ervaring met het gebruik van procesmodellen zoals BPMN? Zo ja, kunt u voorbeelden geven?
- (c) Hoe helpt procesmodellering bij het verbeteren van uw inzicht in bedrijfsprocessen en hun impact op ESG-prestaties?

4. Vragen over uitdagingen en mogelijkheden

- (a) Wat zijn volgens u de grootste obstakels bij het integreren van milieugegevens in procesmodellen?
- (b) Welke verbeteringen zou u willen zien in de manier waarop ESG-gegevens worden verzameld en geanalyseerd?
- (c) Hoe zou beter inzicht in milieugegevens uw organisatie kunnen helpen bij besluitvorming en optimalisatie van processen?

5. Vragen over vereisten en prioriteiten

- (a) Welke kenmerken of functionaliteiten zou u relevant vinden in een hulpmiddel voor het visualiseren en analyseren van bedrijfsprocessen?

- (b) Hoe belangrijk is het voor uw organisatie dat een hulpmiddel flexibel is aan te passen aan specifieke behoeften?
- (c) Hoe belangrijk vindt u het om continu inzicht te hebben in de ESG-prestaties van uw organisatie?
- (d) Welke kenmerken zouden een hulpmiddel gebruiksvriendelijk maken voor verschillende soorten gebruikers in uw organisatie?

6. Vragen over implementatie en praktijkervaring

- (a) Kunt u een situatie beschrijven waarin beter inzicht in bedrijfsprocessen heeft geleid tot verbeterde besluitvorming of optimalisatie in uw organisatie?
- (b) Wat zijn de grootste uitdagingen die u ziet bij de implementatie van nieuwe technologieën of methoden binnen uw organisatie?
- (c) Hoe gaat uw organisatie om met de integratie van nieuwe systemen of technologieën in bestaande bedrijfsprocessen?

7. Vragen over gebruikerservaring en functionaliteiten

- (a) Welke kenmerken of functionaliteiten zou u graag zien in een hulpmiddel dat is ontworpen om milieugegevens binnen bedrijfsprocessen te visualiseren en te analyseren?
- (b) Hoe zou een dergelijke tool uw dagelijkse werkzaamheden beïnvloeden?
- (c) Wat zijn volgens u de belangrijkste factoren die bijdragen aan het succes van een nieuw hulpmiddel binnen uw organisatie?

8. Reflectieve vragen

- (a) Wat zijn volgens u de belangrijkste factoren die bijdragen aan het succes van ESG-rapportering in uw organisatie?
- (b) Welke adviezen zou u geven aan andere organisaties die hun ESG-rapportering willen verbeteren?
- (c) Zijn er nog andere aspecten of kwesties met betrekking tot ESG-rapportering en milieugegevens die u belangrijk vindt om te bespreken?