

Rapport nr. 2025-R-25-NL

# **Ex-postevaluatie van verkeersveiligheidsregelgeving in België met causale inferentiemethoden**

Evaluatie van de impact van de EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving en de hervorming van de Wegcode van 2022 voor gemotoriseerde voortbewegingstoestellen



FEDERALE OVERHEIDSDIENST  
MOBILITEIT EN VERVOER

Rapportnummer	R-2025-25-NL
Wettelijk depot	D/2025/0779/68
Opdrachtgever	Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer
Publicatiedatum	13/04/2026
Auteur(s)	Sinem Bas, Matthieu Billuart
Review	Mario Cools (Université de Liège)
Verantwoordelijke uitgever	Karin Genoe

Inzichten of standpunten in dit rapport zijn niet noodzakelijk die van de opdrachtgever.

Overname van informatie uit dit rapport is toegestaan mits expliciete bronvermelding:  
Bas, S., & Billuart M. (2026). Ex-postevaluatie van verkeersveiligheidsregelgeving in België met causale inferentiemethoden – Evaluatie van de impact van de EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving en de hervorming van de Wegcode van 2022 voor gemotoriseerde voortbewegingstoestellen, Brussel: Vias institute  
Ce rapport est également disponible en français.

This report is also available in English.

# Inhoud

Tabellen- en figurenlijst	5
Samenvatting	6
Summary	8
1 Inleiding	10
2 Literatuuroverzicht	12
2.1 Causale inferentie en de tegenfeitelijke benadering	12
2.2 Causale methoden	13
2.3 Verkeersveiligheids- en mobiliteitsregelgeving en causale inferentie	16
2.3.1 Causale inferentie-evaluatie van de CBE-richtlijn	16
2.3.2 Causale inferentie-evaluatie van regelgeving inzake e-steps	16
2.3.3 Causale inferentie bij andere verkeersveiligheidsregelgeving	17
3 Heeft grensoverschrijdende handhaving de verkeersveiligheid verbeterd? Een difference-in-differences-analyse	20
3.1 Achtergrond	20
3.2 Data en definities	21
3.2.1 Databron	22
3.2.2 Datavoorbereiding	22
3.3 Methodologie	24
3.3.1 Aanvullend difference-in-differences (DiD)-model: aandeel ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen	24
3.3.2 Verzadigde difference-in-differences (DiD)-specificatie	26
3.3.3 Event-study-specificatie voor de toetsing van de parallelle trendsaanname	26
3.3.4 Robuustheidsanalyses en alternatieve specificaties	27
3.4 Beschrijvende patronen en pre-trendanalyse	27
3.5 Resultaten	31
3.5.1 Robuustheids- en sensitiviteitsanalyses	33
3.6 Discussie	34
3.7 Beperkingen	35
3.8 Aanbevelingen	35
4 Heeft de regelgeving van 2022 voor gemotoriseerde voortbewegingstoestellen het aantal slachtoffers met e-steps verminderd? Een analyse op basis van een <i>interrupted time series</i> -analyse	37
4.1 Achtergrond	37
4.1.1 E-steps en verkeersveiligheid	37
4.1.2 Beleidscontext	39
4.2 Data en definities	40
4.3 Methodologie	40
4.4 Resultaten	42
4.4.1 Hoofd-ITS-analyse: impact op het aantal slachtoffers	42
4.4.2 Robuustheidsanalyses	43
4.4.3 Impact op blootstelling	43
4.5 Discussie	44

4.6	Beperkingen en toekomstig onderzoek	45
4.7	Aanbevelingen	46
5	Conclusies	47
	Referenties	49
	Bijlage	59

## Tabellen- en figurenlijst

Tabel 1	Overzicht van vaak gebruikte causale inferentiemethoden	15
Tabel 2	Gemiddeld aandeel buitenlandse voertuigen vóór en na de invoering van de CBE-richtlijn.	30
Tabel 3	Effect van de CBE-richtlijn op ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen	31
Tabel 4	Evolutie van het aantal slachtoffers bij ongevallen met een e-step naar letselernst (2019–2024)	37
Tabel 5	Aangepaste ernst van ongevallen voor bestuurders en tegenpartijen van e-steps en fietsen (2019–2024)	38
Tabel 6	Selectiecriteria van het hoofd-ITS-model	42
Tabel 7	Samenvattende statistieken van de parameters van het hoofd-ITS-model	43
Tabel 8	Schattingen en significantieniveaus van ITS-placebomodellen	43
Tabel 9	Resultaten voor het verzadigde Poisson DiD-model.	59
Figuur 1	Difference-in-differences-opzet (DiD) en parallelle trendsaanname.	25
Figuur 2	Maandelijkse ongevallen met Belgische en in het buitenland geregistreerde voertuigen (2012–2018).	28
Figuur 3	Aandeel van ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen in het totaal aantal ongevallen.	29
Figuur 4	Aandeel van ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen in het totaal aantal ongevallen, per provincie (2012–2018).	29
Figuur 5	Verzadigde log-DiD event-study-schattingen.	30
Figuur 6	Evolutie van het aantal ongevallen en slachtoffers met betrekking tot e-steps.	37
Figuur 7	Type tegenpartij bij fiets- en e-stepongevallen.	38
Figuur 8	Door het SARIMAX-model geschatte aantallen e-stepslachtoffers.	42
Figuur 9	Door het SARIMAX-model geschatte aantallen ritten met gedeelde e-steps.	44
Figuur 10	Verwacht aantal e-stepslachtoffers zonder beleidswijziging.	44
Figuur 11	Placebotesten met aanvullende aandeelgebaseerde modellen.	59
Figuur 12	Resultaten van aandeelgebaseerde modellen exclusief het Verenigd Koninkrijk, Ierland en Denemarken.	60
Figuur 13	Resultaten van aandeelgebaseerde modellen voor slachtoffers.	60
Figuur 14	Placebotesten voor slachtoffers.	61
Figuur 15	Maandelijkse ongevallen met voertuigen ingeschreven in België en in het buitenland, voor alle voertuigtypes.	61
Figuur 16	Maandelijkse slachtoffers bij ongevallen met voertuigen ingeschreven in België en in het buitenland – alle voertuigtypes.	62
Figuur 17	Aandeel van in het buitenland ingeschreven voertuigen in alle slachtoffers in de tijd – alle voertuigtypes.	62
Figuur 18	Slachtoffers naar inschrijvingsstatus en provincie doorheen de tijd – alle voertuigtypes.	63
Figuur 19	DiD-resultaten voor personenwagens – aantal ongevallen.	64
Figuur 20	DiD-resultaten voor vrachtwagens – aantal ongevallen.	64
Figuur 21	DiD-resultaten voor bestelwagens – aantal ongevallen.	65
Figuur 22	DiD-resultaten voor motorfietsen – aantal ongevallen.	65
Figuur 23	DiD-resultaten voor alle voertuigen – aantal slachtoffers.	66
Figuur 24	DiD-resultaten voor personenwagens – aantal slachtoffers.	66
Figuur 25	DiD-resultaten voor vrachtwagens – aantal slachtoffers.	67
Figuur 26	DiD-resultaten voor bestelwagens – aantal slachtoffers.	67
Figuur 27	DiD-resultaten voor motorfietsen – aantal slachtoffers.	68

## Samenvatting

Dit rapport onderzoekt twee casussen om het gebruik van causale inferentiemethoden in de context van verkeersveiligheid te illustreren. Beleidsmaatregelen worden doorgaans ingevoerd met de verwachting dat ze de verkeersveiligheid verbeteren of het gedrag van weggebruikers op een gerichte manier beïnvloeden, bijvoorbeeld door rijnsnelheden te verlagen. De onderliggende redenering achter dergelijke maatregelen steunt op veronderstelde oorzaak-gevolgrelaties: door een interventie in te voeren, wordt een verandering in uitkomsten (zoals het aantal ongevallen) teweeggebracht.

Een ex-postevaluatie heeft tot doel na te gaan of waargenomen veranderingen daadwerkelijk aan de beleidsinterventie kunnen worden toegeschreven. Eenvoudige voor-/na-vergelijkingen schieten daarbij vaak tekort, ook al zijn ze gemakkelijk toe te passen. Veranderingen in uitkomsten kunnen immers ook het gevolg zijn van factoren die geen verband houden met de interventie, zoals natuurlijke schommelingen in de tijd, mobiliteitstrends, seizoenseffecten of veranderingen in blootstelling. Wanneer met deze factoren geen rekening wordt gehouden, kan een verandering in uitkomsten samenvallen met de invoering van de maatregel zonder er daadwerkelijk door veroorzaakt te zijn. Dit weerspiegelt een bekend principe dat correlatie niet noodzakelijk causaliteit impliceert.

Causale inferentiemethoden spelen op deze uitdaging in door expliciet een tegenfeitelijk scenario te schatten of te construeren (wat er zou zijn gebeurd zonder de interventie). Door dit tegenfeitelijk verloop te vergelijken met de waargenomen uitkomsten, trachten deze methoden het causale effect van de interventie te isoleren en beleidsmakers te voorzien van betrouwbaarder bewijs over de impact van beleidsmaatregelen op de verkeersveiligheid.

### EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving (CBE-richtlijn)

De eerste casus evalueert de impact van de EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving (*Cross Border Enforcement*, CBE), die in België in mei 2015 in werking trad, op verkeersveiligheid met betrekking tot in het buitenland geregistreerde voertuigen. De CBE-richtlijn maakt het mogelijk dat EU-landen voertuig- en bestuurdersgegevens uitwisselen om verkeersovertredingen (zoals snelheidsovertredingen, rijden onder invloed en gsm-gebruik) door buitenlandse bestuurders te handhaven. De analyse steunt op een gedetailleerde paneldataset van alle door de politie geregistreerde verkeersongevallen tussen mei 2012 en april 2018, aangevuld met maandelijkse weersindicatoren. Door de evolutie van ongevallen met Belgisch geregistreerde voertuigen te vergelijken met die van in het buitenland geregistreerde voertuigen, vóór en na de invoering van de CBE-richtlijn, wordt onderzocht of een verbeterde grensoverschrijdende handhaving heeft geleid tot meetbare veranderingen in de verkeersveiligheid.

Hoewel in het buitenland geregistreerde voertuigen slechts een beperkt aandeel van de ongevallen in België vertegenwoordigen, verschillen ze mogelijk op belangrijke punten van Belgisch geregistreerde voertuigen, onder meer wat betreft verplaatsingspatronen, seizoensgebonden mobiliteit en onderliggend ongevalrisico. De descriptieve analyse toont duidelijke seizoensvariatie en verschillende ongevalspatronen tussen beide groepen. Om met deze verschillen rekening te houden, maakt de studie gebruik van een *difference-in-differences*-benadering (DiD), die zich richt op het vergelijken van het aantal ongevallen met buitenlandse en Belgische voertuigen in de tijd. De hoofdspecificatie maakt gebruik van een verzadigd model met vaste effecten waarin het aantal ongevallen binnen dezelfde provincie en maand wordt vergeleken, aangevuld met modellen gebaseerd op het aandeel ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen. Daarnaast werden verschillende robuustheidsanalyses uitgevoerd, waaronder een analyse van de trends vóór de interventie, *event-study*-modellen en placebotests. Deze analyses ondersteunen de geldigheid van de DiD-aanpak, ook al verschillen de ongevallenniveaus ten opzichte van de referentiewaarde tussen beide groepen.

Na controle voor provinciale en maandelijkse vaste effecten, temperatuur, neerslag en seizoensgebonden mobiliteitspatronen tonen de resultaten aan dat de CBE-richtlijn gepaard gaat met een statistisch significante verbetering van de verkeersveiligheid. Concreet wordt de richtlijn geassocieerd met een daling van ongeveer 0,5 procentpunt in het aandeel ongevallen waarbij minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken is, ten opzichte van Belgisch geregistreerde voertuigen, op basis van een aanvullend model gebaseerd op het aandeel. De hoofdspecificatie wijst op een daling van ongeveer 5% na mei 2015, wat overeenkomt met een afname van ongeveer 9% naar 8,5% van het aantal ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen. Hoewel deze effectgrootte op het eerste gezicht beperkt lijkt, sluit de richting van het effect nauw aan bij de doelstelling van de CBE-richtlijn. Wanneer deze schatting wordt geëxtrapoleerd naar het nationale niveau op basis van het gemiddelde aantal ongevallen per provincie vóór de invoering van

de maatregel, komt dit overeen met een geschatte daling van ongeveer 130-150 ongevallen per jaar waarbij buitenlandse voertuigen betrokken zijn. Rekening houdend met statistische onzekerheid suggereert het 95%-betrouwbaarheidsinterval dat deze daling zich situeert tussen ongeveer 20 en 250 ongevallen per jaar. De impact verschilt bovendien tussen provincies, gaande van ongeveer 2 tot 6 ongevallen per jaar in minder dichtbevolkte provincies zoals Luxemburg en Namen tot meer dan 20 ongevallen per jaar in provincies met een hogere verkeersintensiteit zoals Antwerpen en Oost-Vlaanderen.

De resultaten tonen dus aan dat de CBE-richtlijn heeft geleid tot duidelijke, meetbare en statistisch significante verbeteringen van de verkeersveiligheid, ook al blijft de omvang van het effect beperkt. Door de handhavingsskloof te verkleinen die buitenlandse overtreeders voorheen toeliet om sancties te ontlopen, heeft de richtlijn de pakkans verhoogd, wat zich vertaalt in aangepast rijgedrag.

## Regulering van gemotoriseerde voortbewegingstoestellen

De tweede empirische analyse onderzoekt de hervorming van juli 2022 die het gebruik van gemotoriseerde voortbewegingstoestellen, voornamelijk e-steps, in België reguleert. Deze hervorming voerde leeftijdsbeperkingen in, verduidelijkte de regels inzake rijden en parkeren, en beperkte het gebruik van e-steps in voetgangerszones. Aan de hand van een *interrupted time series*-analyse, aangevuld met uitgebreide placebotests, toont de studie een scherpe en onmiddellijke daling van het maandelijkse aantal slachtoffers na de invoering van de maatregel. Dit wijst erop dat de hervorming de mobiliteitscontext zodanig heeft gewijzigd dat het letselrisico is afgenomen. Tegelijk blijft de onderliggende langetermijntrend in het aantal e-stepslachtoffers stijgend. Deze evolutie wordt grotendeels gedreven door de bredere groei van micromobiliteit en suggereert dat de hervorming de toename heeft afgeremd, maar niet heeft omgebogen of doen afnemen. De vastgestelde daling in het gebruik van gedeelde e-steps na de hervorming wijst erop dat een deel van de veiligheidswinst kan worden verklaard door een verminderde blootstelling, en niet uitsluitend door gedragsveranderingen bij gebruikers. Deze bevindingen illustreren dat gerichte gedragsregulering op korte termijn duidelijke veiligheidswinsten kan opleveren, maar dat duurzame verbeteringen afhankelijk blijven van infrastructuur, het gedrag van gebruikers en langetermijntoewijdingen in mobiliteit.

Over het geheel genomen toont dit rapport de meerwaarde aan van causale inferentiemethoden, ondersteund door uitgebreide pre-trendanalyse en robuustheidscontroles, voor de evaluatie van verkeersveiligheidsbeleid. De bevindingen suggereren dat verdere verbeteringen van grensoverschrijdende handhaving, in combinatie met gerichte communicatiestrategieën en gecoördineerde veiligheidsinitiatieven tussen de lidstaten, waarschijnlijk zullen leiden tot bijkomende veiligheidswinsten. Tegelijkertijd onderstrepen de resultaten van de hervorming rond e-steps dat gedragsgerichte beleidsmaatregelen snelle effecten teweeg kunnen brengen, maar enkel duurzaam zijn wanneer ze worden ondersteund door veilige infrastructuur en continue monitoring. Een sterkere integratie van gegevens over ongevallen, slachtoffers, handhaving en blootstelling over verschillende domeinen heen zou de capaciteit van België om doeltreffende verkeersveiligheidsinterventies te implementeren en te evalueren verder versterken.

# Summary

This report examines two use cases to explore the application of casual inference models in the context of road safety. Policy interventions are introduced with the expectation that they will improve road safety outcomes or influence behaviour in a targeted way, such as reducing driving speeds. The reasoning behind such policy interventions rests on assumed cause-effect relationships. By introducing these interventions, a change in outcomes (e.g. number of crashes) will be effected (or caused).

Ex-post evaluation therefore aims to assess whether observed changes can truly be attributed to the intervention itself. However, simple before/after comparisons often fail to capture the causal effect though they are easy to apply. Changes in outcomes may occur for reasons unrelated to the intervention, such as natural fluctuations over time, mobility trends, seasonal effects, or changes in exposure. When these factors are not taken into account, a change in the outcomes may simply coincide with the intervention rather than be caused by it. This is a well-known principle that correlation does not necessarily imply causation.

Causal inference methods address this challenge by explicitly estimating or constructing a counterfactual (what would have happened in the absence of the intervention). By comparing this counterfactual with the observed outcome, these methods aim to isolate the causal effect of the intervention (which is called as treatment) and provide decision-makers with more reliable evidence on the impacts of policy measures on road safety outcomes.

## EU Cross Border Enforcement (CBE Directive)

The first use case evaluates the impact of the EU Cross Border Enforcement (CBE) Directive implemented in Belgium in May 2015 on road safety outcomes involving foreign registered vehicles. The CBE Directive enables EU countries to share vehicle and driver information to enforce road safety traffic violations (like speeding, drunk-driving, phone use) committed by non-resident drivers. The analysis draws on a detailed panel dataset of all police recorded crashes from May 2012 to April 2018, supplemented with monthly weather indicators. By comparing trends for Belgian registered and foreign registered vehicles before and after the CBE Directive was introduced, the study analyses whether improved cross border enforcement led to measurable changes in road safety outcomes.

Although foreign registered vehicles account for only a small share of crashes in Belgium, they might differ from Belgian registered vehicles in important ways, including travel patterns, seasonal mobility, and underlying crash risk. The descriptive evidence shows clear seasonal variation and distinct crash patterns between two groups. To help account for these differences, the study relies on a difference-in-differences (DiD) approach that focuses on comparing foreign and Belgian crash involvement over time. The main specification employs a saturated fixed-effects model comparing number of crashes within same province and month, complemented by models based on the share of crashes involving foreign registered vehicles. We conduct a series of robustness checks, including pre-intervention trend analysis, event-study models, and placebo tests. These checks support the validity of DiD approach, even though baseline crash levels differ between two groups.

After controlling for provincial and monthly fixed effects, temperature, precipitation, and seasonal mobility cycles, the results indicate that the CBE Directive significantly improved road safety outcomes. The CBE Directive is associated with a reduction of approximately 0.5 percentage points in the share of crashes involving foreign registered vehicles, relative to Belgian registered vehicles using complementary share-based model. The main specification suggests an approximate 5% decline following May 2015, corresponding to a decline from approximate 9% to about 8.5% of crashes involving foreign registered vehicles. Although this magnitude might seem modest, the direction of the effect is in line with the objective of the CBE Directive. When the estimate is extrapolated nationwide using average crash counts per province before the implementation of the policy, this reduction corresponds to 130-150 fewer crashes per year involving foreign registered vehicles. Taking statistical uncertainty into account, the 95% confidence interval suggests that this reduction would range approximately between 20 and 250 crashes per year. This reduction varies across provinces, ranging from about 2-6 crashes per year in less densely populated provinces such as Luxembourg and Namur to more than 20 crashes per year in provinces with higher density such as Antwerp and East Flanders.

Therefore, the results show that the CBE Directive produced clear, measurable, and statistically significant road safety improvements, even if the magnitude of the effect is small. The Directive reduced the enforcement gap that previously allowed foreign registered offenders to evade sanctions, and this increase in enforcement certainty appears to have influenced driver behaviour.

## PMDs regulation

The second empirical investigation examines the July 2022 reform governing e-scooter use in Belgium, which introduced age restrictions, clarified rules for riding and parking, and restricted e-scooter circulation in pedestrian areas. Using an interrupted time-series design with extensive placebo testing, the analysis reveals a sharp and immediate decline in monthly victims following the reform, suggesting that the policy successfully altered mobility conditions in a way that reduced injury risk. However, the underlying long-term trend in e-scooter casualties, which is driven by broader adoption of micromobility, remains upward, indicating that the reform mitigated but did not reverse or reduce the overall increase. The reduction in shared e-scooter usage observed after the reform is consistent with part of the safety improvement arising from reduced exposure rather than solely behaviour change. These findings illustrate that targeted behavioural regulations can deliver rapid safety gains, but sustained improvements depend on infrastructure design, user practices, and longer-term mobility patterns.

Overall, the report demonstrates the value of causal inference methods which is supported by extensive pre-trend diagnostics and robustness checks in evaluating road safety policies. The findings suggest that continued improvements in cross border enforcement, combined with targeted communication strategies, and coordinated safety initiatives across Member States, are likely to yield further safety gains. At the same time, the results from the e-scooter reform underline that behavioural policies can produce rapid changes but must be supported by safe infrastructure and ongoing monitoring. Strengthening the integration of crash, victim, enforcement, and exposure data across domains would further enhance Belgium's capacity to implement and evaluate effective road safety interventions.

# 1 Inleiding

Het verbeteren van de verkeersveiligheid blijft een kernprioriteit voor zowel de Europese Unie als België. Hoewel de voorbije decennia aanzienlijke vooruitgang werd geboekt, is de daling van het aantal verkeersdoden de laatste jaren vertraagd en dienen zich nieuwe uitdagingen aan als gevolg van veranderende mobiliteitspatronen. De snelle opkomst van nieuwe vervoersvormen, zoals gedeelde e-steps, evenals aanhoudende handhavingsproblemen in verband met internationaal verkeer, benadrukken de nood aan onderbouwde en doelgerichte regelgeving. Beleidsmakers hebben steeds meer behoefte aan niet alleen ex-ante-inschattingen van voorgestelde maatregelen, maar ook aan robuuste ex-postevaluaties die nagaan of ingevoerde regelgeving in de praktijk de beoogde effecten realiseert. Deze benadering sluit aan bij recente internationale verkeersveiligheidsmonitoring, die erop wijst dat de vooruitgang in veel landen is vertraagd en dat blijvende, evidence-based interventies noodzakelijk blijven (WHO, 2023).

Het evalueren van de impact van regelgeving is inherent complex. Verkeersongevallen zijn zeldzame en sterk stochastische gebeurtenissen, die tot stand komen door een complexe wisselwerking van gedragsmatige, omgevingsgebonden en structurele factoren, zoals weersomstandigheden, verkeersstromen, voertuigtechnologieën, demografische evoluties en de intensiteit van handhaving. Klassieke voor-/na-vergelijkingen laten niet toe om te onderscheiden of waargenomen veranderingen daadwerkelijk door de maatregel worden veroorzaakt, dan wel het gevolg zijn van andere, gelijktijdige factoren. Zo toonden Auerbach et al. (2019) aan dat een eenvoudige voor-/na-analyse van het Vision Zero-beleid in New York City het effect overschatte, en dat een meer realistische raming slechts ongeveer twee derde bedroeg van de aanvankelijk gerapporteerde vermindering wanneer rekening werd gehouden met externe factoren via causale analyse. Zoals algemeen erkend in de verkeersveiligheidsliteratuur, vergt een geloofwaardige evaluatie het gebruik van causale inferentiemethoden die rekening houden met seizoensinvloeden, regressie naar het gemiddelde<sup>1</sup> en andere verstorende factoren die het werkelijke effect van een wijziging in de regelgeving kunnen verhullen.

Dit rapport past twee causale inferentieontwerpen toe, met name *difference-in-differences* (DiD) en *interrupted time series* (ITS), om de effecten te evalueren van twee voor België relevante verkeersveiligheidsmaatregelen. De eerste casus onderzoekt de impact van de EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving (*Cross Border Enforcement*, CBE), vastgelegd in Richtlijn (EU) 2015/413. Deze richtlijn maakt de uitwisseling van voertuigregistratiegegevens tussen lidstaten mogelijk met het oog op de opvolging van verkeersinbreuken. Geautomatiseerde handhavingssystemen en politiecontroles identificeren overtredingen via nummerplaatherkenning, waardoor de autoriteiten onmiddellijk kunnen vaststellen in welk land het voertuig is ingeschreven. Vóór de invoering van de richtlijn werden boetes voor in het buitenland geregistreerde voertuigen minder vaak succesvol betekend of geïnd, wat resulteerde in een lagere pakkans voor buitenlandse voertuigen in vergelijking met Belgisch ingeschreven voertuigen. Om te beoordelen of de richtlijn een invloed had op de verkeersveiligheid, vergelijkt dit rapport de evolutie van het aantal ongevallen waarbij minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken is met de evolutie van het aantal ongevallen met Belgisch ingeschreven voertuigen. Hiervoor wordt een *difference-in-differences* (DiD)-opzet toegepast dat aansluit bij bestaand onderzoek over handhaving. De hoofdspecificatie vergelijkt het aantal ongevallen binnen dezelfde provincie en maand met behulp van een verzadigd model met vaste effecten, aangevuld met modellen gebaseerd op het aandeel ongevallen met in het buitenland ingeschreven voertuigen. DiD wordt veelvuldig gebruikt in causale beleidsevaluaties en geldt als een robuuste quasi-experimentele methode wanneer een geschikte controlegroep beschikbaar is en de pre-interventietrends vergelijkbaar zijn (zie sectie 2.2 voor een toelichting bij quasi-experimentele methoden). Eerder onderzoek toont consistent aan dat vooral de pakkans, en niet zozeer de zwaarte van de straf, bepalend is voor de naleving van verkeersregels (Bailey & Smith, 1973; Blais & Carnis, 2015; Kudła et al., 2024; Kundro et al., 2023). Aangezien de CBE-richtlijn de kans vergroot dat een boete de bestuurder effectief bereikt, laat deze evaluatie toe om een mogelijk effect te detecteren.

De tweede casus evalueert de hervorming van de Belgische Wegcode van 2022 met betrekking tot gemotoriseerde voortbewegingstoestellen, waaronder e-steps. Deze hervorming voerde duidelijkere classificaties in, beschouwde e-stepgebruikers voortaan als fietsers, legde een minimumleeftijd vast en beperkte het rijden op het voetpad om de veiligheid van voetgangers te verbeteren (FOD Mobiliteit en Vervoer, 2022). De maatregelen werden ingevoerd als reactie op een snelle toename van het aantal e-stepgerelateerde letsels, de groeiende interacties tussen gebruikers en voetgangers, en de sterke uitbreiding van gedeelde e-

<sup>1</sup> Regressie naar het gemiddelde: statistisch fenomeen waarbij, wanneer een meting van een toevalsvariabele extreem is (d.w.z. zeer hoog of zeer laag), de volgende meting van dezelfde variabele waarschijnlijk dichterbij het gemiddelde zal liggen (Upton & Cook, 2011).

steps (Kamer van Volksvertegenwoordigers van België, 2021; Sloomans, 2024). Op basis van gedetailleerde maandelijkse gegevens over slachtoffers van e-stepongevallen wordt een ITS-model toegepast om na te gaan of de hervorming heeft geleid tot meetbare veranderingen in de letselernst of in de trends. ITS wordt in de verkeersveiligheidsliteratuur algemeen beschouwd als een robuuste quasi-experimentele methode voor de evaluatie van nationale wetwijzigingen, aangezien ze zowel onmiddellijke als langetermijneffecten kan identificeren en tegelijk corrigeert voor trends en seizoensinvloeden.

Samen illustreren deze twee analyses hoe causale inferentie de Belgische beleidscyclus kan versterken door transparant, datagedreven bewijs te leveren over de reële effecten van verkeersveiligheidsregelgeving. Het rapport combineert juridische context, empirische gegevens en rigoureuze statistische methoden om beleidsmakers te ondersteunen bij het ontwikkelen en verfijnen van een doeltreffend verkeersveiligheidsbeleid.

De rest van dit rapport is als volgt opgebouwd: Sectie 2 behandelt het theoretische kader van causale inferentie aan de hand van een literatuuroverzicht. Sectie 3 bespreekt de casus naar de impact van de CBE-richtlijn op verkeersveiligheidsuitkomsten. Sectie 4 behandelt de casus over de effecten van de hervorming met betrekking tot gemotoriseerde voortbewegingstoestellen op de verkeersveiligheid. De conclusies en aanbevelingen worden gepresenteerd in Sectie 5.

## 2 Literatuuroverzicht

Het evalueren van de reële effecten van verkeersveiligheidsregelgeving vereist methoden die het beleidseffect kunnen onderscheiden van de brede waaier aan externe factoren die ongevallen- en letselcijfers beïnvloeden. Verkeersveiligheidsuitkomsten worden bepaald door een combinatie van gedragsmatige, demografische, omgevingsgebonden, technologische en structurele factoren. Uitgebreid onderzoek toont aan dat weersomstandigheden en seizoenspatronen, mobiliteitsgedrag en demografische verschuivingen, de samenstelling en technologische evolutie van het wagenpark, evenals verschillen in handhavingsintensiteit allemaal bijdragen aan de geobserveerde ongevalspatronen in het verkeer (Blais & Dupont, 2005; Elvik, 2009, 2012; Evans, 2004; Lie & Tingvall, 2002; OECD/ITF, 2018; Qiu & Nixon, 2008; Wegman & Aarts, 2006; World Health Organization, 2019). Deze krachten veroorzaken natuurlijke schommelingen die het identificeren van causale verbanden bemoeilijken. Dit heeft geleid tot een groeiende belangstelling voor causale inferentie, waarbij wordt geprobeerd te schatten wat er zou zijn gebeurd indien de maatregel niet was ingevoerd: het tegenfeitelijke scenario dat centraal staat in elke betekenisvolle beleidsevaluatie. Een uitgebreid overzicht van deze literatuur is te vinden in sectie 2.3.

Vooraleer we ingaan op studies die causale inferentiemethoden toepassen, lichten we eerst kort toe wat causale inferentie inhoudt en schetsen we het tegenfeitelijke kader. Vervolgens beschrijven we de belangrijkste causale inferentiemethoden. In het laatste deel bespreken we hoe deze methoden worden toegepast binnen verkeersveiligheidsonderzoek.

### 2.1 Causale inferentie en de tegenfeitelijke benadering

Een ex-postanalyse wordt uitgevoerd nadat een beleidsbeslissing is genomen en geïmplementeerd. Ze stelt beleidsmakers in staat om de effecten van een maatregel te ramen, in plaats van zich louter te baseren op het absolute verschil in uitkomsten vóór en na de invoering ervan, waarbij tal van externe factoren een rol kunnen spelen. Daarnaast kan een ex-postanalyse inzicht geven in de vraag of de effecten overeenstemmen met de verwachtingen en verklaringen bieden voor eventuele afwijkingen daarvan (Angrist & Pischke, 2009; Meyer, 1995; Rossi et al., 2004; Schiff et al., 2017; Weiss, 1998).

Om de effecten van een maatregel te kunnen schatten, is een tegenfeitelijk referentiepunt nodig waarmee de uitkomsten na de interventie worden vergeleken. Dit tegenfeitelijke scenario weerspiegelt de situatie zoals die zou zijn geweest zonder de interventie. Het beleidseffect wordt dan geschat als het verschil tussen de geobserveerde uitkomsten en de tegenfeitelijke uitkomsten. Het fundamentele probleem is echter dat dit tegenfeitelijke scenario niet rechtstreeks kan worden waargenomen: het is onmogelijk om voor dezelfde plaats of groep tegelijk te observeren wat er mét en zonder interventie gebeurt. Het tegenfeitelijke scenario moet daarom worden benaderd op basis van gegevens en statistische modellen, waarbij onvermijdelijk aannames nodig zijn bij de vergelijking tussen het geschatte tegenfeit en de uitkomsten na de interventie (Angrist & Pischke, 2009; Gertler et al., 2016; Holland, 1986; Morgan & Winship, 2014; Rubin, 1974; Schiff et al., 2017).

Een veelgebruikte manier om een tegenfeitelijk scenario te construeren, bestaat erin de uitkomsten van een 'behandelde' groep — bijvoorbeeld bepaalde locaties of populaties die door de maatregel worden getroffen — te vergelijken met die van een 'controlegroep' waarop de interventie niet van toepassing is. Het uitgangspunt is dat de behandelde groep, bij afwezigheid van de interventie, een vergelijkbaar verloop zou hebben gekend als de controlegroep. De geobserveerde uitkomsten in de controlegroep dienen dan als schatting van het tegenfeitelijke resultaat voor de behandelde groep (Meyer, 1995; Schiff et al., 2017; Shadish et al., 2002). Het beleidseffect wordt vervolgens berekend als het verschil tussen de feitelijke uitkomst na de interventie in de behandelde groep en het geschatte tegenfeit op basis van de controlegroep. Deze redenering vormt de kern van quasi-experimentele onderzoeksopzetten, die gebruikmaken van natuurlijk voorkomende variatie en beleidsmatige verschillen om causale effecten te schatten op basis van geobserveerde gegevens (Meyer, 1995; Shadish et al., 2002). Ontwerpen zoals *difference-in-differences* maken expliciet gebruik van controlegroepen om de best mogelijke benadering te geven van wat er met de behandelde groep zou zijn gebeurd indien de interventie niet had plaatsgevonden.

Omdat het tegenfeitelijke scenario niet rechtstreeks observeerbaar is, vormt het schatten ervan de centrale uitdaging van causale inferentie (Morgan & Winship, 2014). Eenvoudige beschrijvende voor-/na-vergelijkingen veronderstellen impliciet dat trends uit het verleden zich ongewijzigd zouden hebben voortgezet in afwezigheid van de interventie. In de verkeersveiligheid is die aanname echter zelden houdbaar. Ongevallencijfers vertonen een langetermijndaling als gevolg van veiligere voertuigen en infrastructuur, schommelen sterk door

uitgesproken seizoenspatronen en variëren bovendien willekeurig door episodische invloeden zoals toeristische pieken, extreme weersomstandigheden of gerichte handhavingsacties (Elvik, 2002; Hauer, 1997; Lian et al., 2025; Qiu & Nixon, 2008). Deze instabiele factoren maken verkeersveiligheidsuitkomsten bijzonder gevoelig voor vertekening, waarbij externe factoren zowel de interventie als de uitkomst beïnvloeden en zo tot schijnbare of overdreven effecten kunnen leiden indien ze niet correct worden gecontroleerd (Elvik, 2002; Hauer, 1997; Shadish et al., 2002). Dergelijke factoren kunnen het effect van een maatregel nabootsen of verhullen en interageren vaak met regressie naar het gemiddelde en tijdsvariërende blootstelling (bijvoorbeeld veranderingen in verkeersintensiteit), waardoor eenvoudige voor-/na-analyses verder worden vertekend (Hauer, 1997; Qiu & Nixon, 2008). Om die reden zijn quasi-experimentele onderzoekopzetten bijzonder geschikt voor geloofwaardige beleidsevaluaties. Ze zijn expliciet gericht op het benaderen van het tegenfeitelijke scenario en op het onderscheiden van werkelijke interventie-effecten van achtergrondtrends en niet-geobserveerde heterogeniteit<sup>2</sup> (Angrist & Pischke, 2009; Lopez Bernal et al., 2016; Meyer, 1995). Deze benaderingen worden dan ook veelvuldig toegepast in transport- en verkeersveiligheidsonderzoek wanneer causale conclusies worden getrokken op basis van geobserveerde gegevens.

## 2.2 Causale methoden

Deze subsectie beschrijft de meest gebruikte causale methoden en licht de onderliggende aannames toe. Die aannames spelen een cruciale rol bij de keuze van het meest geschikte model voor elk van de casussen in dit rapport.

De sterkste aanpak om het fundamentele probleem van causale inferentie aan te pakken en onvertekende schattingen van beleidseffecten te verkrijgen, is het gebruik van goed opgezette gerandomiseerde experimenten (Rubin, 1974; Shadish et al., 2002). In dergelijke experimenten worden observatie-eenheden willekeurig toegewezen aan een behandelde groep (die de interventie ontvangt) of aan een controlegroep. Door deze randomisatie zijn de behandelde en controlegroep gemiddeld genomen vergelijkbaar, zowel wat geobserveerde als niet-geobserveerde kenmerken betreft. Eventuele verschillen in uitkomsten tussen beide groepen kunnen daardoor aan de interventie zelf worden toegeschreven. In deze context vormen de uitkomsten van de controlegroep een geloofwaardige benadering van het tegenfeitelijke scenario: wat er met de behandelde eenheden zou zijn gebeurd indien de interventie niet was ingevoerd (Holland, 1986).

In het domein van transport en verkeersveiligheid, en breder binnen het sociaal beleid, zijn echte gerandomiseerde experimenten echter vaak niet haalbaar. Ethische, juridische, logistieke of politieke beperkingen kunnen willekeurige toewijzing onmogelijk maken. Bovendien kiezen beleidsmakers er vaak bewust voor om maatregelen te richten op regio's of bevolkingsgroepen waar de nood het hoogst is, wat randomisatie uitsluit (Gertler et al., 2016; Schiff et al., 2017; Shadish et al., 2002). In dergelijke situaties zijn onderzoekers aangewezen op bijkomende aannames om het tegenfeitelijke scenario te benaderen. Deze aannames, zeker wanneer ze niet empirisch kunnen worden getoetst, maken dat de resulterende effectschattingen minder zekerheid bieden dan die uit een goed opgezet gerandomiseerd experiment (Morgan & Winship, 2014; Schiff et al., 2017). Wanneer pure randomisatie niet mogelijk is, kan het nog steeds haalbaar zijn om een quasi-experiment op te zetten door zorgvuldig te analyseren hoe de interventie wordt uitgevoerd. Correct toegepast kunnen deze benaderingen ook in een complexe, reële verkeersveiligheidscontext geloofwaardig bewijs opleveren over beleidseffecten. Hoewel niet volledig, bespreken we hier een selectie van methoden die hun relevantie hebben aangetoond binnen het domein van verkeersveiligheid en mobiliteit.

*Difference-in-differences* (DiD) is uitgegroeid tot een van de meest gebruikte methoden voor de evaluatie van transport- en verkeersveiligheidsinterventies. DiD schat causale effecten door veranderingen in uitkomsten over de tijd te vergelijken tussen een groep die aan een interventie wordt blootgesteld (de behandelde groep) en een vergelijkbare groep die niet wordt behandeld (de controlegroep) (Angrist & Pischke, 2009; Meyer, 1995). De geloofwaardigheid van deze opzet berust op de parallele trendsaanname: indien de interventie niet had plaatsgevonden, zouden beide groepen een gelijkaardig verloop hebben gekend. Wanneer deze aanname plausibel is, en wanneer de behandelde groep als enige aan een interventie of wijziging in regelgeving wordt blootgesteld terwijl de controlegroep een stabiele referentie vormt, biedt DiD een robuuste methode om het effect van de interventie te isoleren (Lechner, 2010; Wing et al., 2018). Recente bijdragen binnen de toegepaste econometrie hebben verder verduidelijkt hoe DiD- en *event-study*-opzetten transparant kunnen worden geïmplementeerd wanneer effecten dynamisch zijn, en onderstrepen het belang van expliciete pre-trendanalyse en zorgvuldige modelspecificatie (Callaway & Sant'Anna, 2021; Goodman-Bacon, 2021; Roth,

<sup>2</sup> Niet-geobserveerde heterogeniteit: variatie binnen de populatie die niet wordt vastgelegd door de gemeten variabelen en die daardoor niet kan worden meegenomen in het statistisch model.

2022; Sun & Abraham, 2021). Dit maakt DiD bijzonder geschikt voor verkeersveiligheidsonderzoek, waar beleidsimplementatie vaak varieert over populaties, locaties of voertuigtypen en in de tijd. Voorbeelden zijn strafpunten systemen die enkel gelden voor specifieke bestuurdersgroepen, gefaseerde uitrol van snelheidscontrole technologieën of gerichte handhavingscampagnes die ongelijk verdeeld zijn in ruimte of tijd. Meer gedetailleerde informatie over de DiD-opzet, inclusief een schematische illustratie, is te vinden in sectie 3.4.1 (Figuur 1).

*Interrupted time series* opzetten (ITS) zijn bijzonder geschikt voor de evaluatie van populatiebrede interventies die op een duidelijk afgebakend tijdstip van kracht worden. ITS-modellen analyseren of een interventie samenhangt met een onmiddellijke verandering in het niveau van een uitkomst, een wijziging in de trend, of beide, terwijl expliciet rekening wordt gehouden met bestaande trends, seizoensinvloeden en autocorrelatie<sup>3</sup> (Linden, 2015; Lopez Bernal et al., 2016). Een belangrijk voordeel van ITS is dat het toelaat om abrupte effecten te onderscheiden van meer geleidelijke gedragsmatige of systemische reacties, en zo een genuanceerd beeld te geven van hoe een maatregel zich in de tijd manifesteert (Wagner et al., 2002). Deze kenmerken maken ITS bijzonder waardevol in transport- en verkeersveiligheidsonderzoek, waar interventies zoals wetwijzigingen, grootschalige handhavingsoperaties, beperkingen op alcoholbeschikbaarheid of nationale regelgevingsmaatregelen vaak gelijktijdig van toepassing zijn op de volledige bevolking en zich niet lenen voor gerandomiseerde onderzoeksopzetten (Kontopantelis et al., 2015; Taljaard et al., 2014).

*Regression discontinuity*-ontwerpen (RD) spelen een belangrijke rol bij de evaluatie van transport- en verkeersveiligheidsmaatregelen die gebaseerd zijn op duidelijke drempels, zoals leeftijdsgrenzen voor rijbewijzen, sancties binnen strafpunten systemen of beleidswijzigingen gekoppeld aan een specifieke ingangsdatum. Wanneer observatie-eenheden net boven en net onder de drempel vergelijkbaar zijn, kan RD zeer geloofwaardige causale schattingen opleveren door gebruik te maken van de discontinuïteit die door die drempel wordt gecreëerd (Imbens & Lemieux, 2008; Lee & Lemieux, 2010).

*Propensity score*-methoden bieden een praktische aanpak om transport- en verkeersveiligheidsinterventies te evalueren wanneer willekeurige toewijzing niet mogelijk is. In plaats van behandelde en onbehandelde eenheden te vergelijken die mogelijk sterk van elkaar verschillen, modelleren onderzoekers eerst de kans om aan de interventie te worden blootgesteld op basis van geobserveerde kenmerken. Deze kans — de *propensity score* — wordt vervolgens gebruikt om waarnemingen te balanceren via technieken zoals matching, weging of stratificatie, zodat behandelde en controlegroepen meer op elkaar lijken wat betreft factoren die de toewijzing waarschijnlijk beïnvloedden (Austin, 2011; Rosenbaum & Rubin, 1983). Binnen verkeersveiligheidsonderzoek is dit bijzonder relevant, omdat maatregelen vaak worden gericht op risicolocaties of specifieke doelgroepen, wat sterke selectiebias kan veroorzaken. Studies die *propensity score*-methoden toepassen op verkeersveiligheidsingrepen tonen bijvoorbeeld aan dat het in evenwicht brengen van behandelde en onbehandelde locaties op basis van variabelen zoals ongevalsgeschiedenis, wegontwerp of verkeersintensiteit de geloofwaardigheid van de effectschattingen aanzienlijk kan verbeteren (Sasidharan & Donnell, 2013). Mits zorgvuldig toegepast, helpen deze methoden om te corrigeren voor versturende factoren op basis van geobserveerde kenmerken en bieden ze een betrouwbaardere basis om te ramen in welke mate een interventie de verkeersveiligheid daadwerkelijk heeft beïnvloed.

Naast deze methoden worden ook andere quasi-experimentele benaderingen veelvuldig gebruikt in verkeersveiligheidsbeoordelingen. Panelmodellen met vaste effecten worden bijvoorbeeld vaak toegepast in de evaluatie van transportbeleid om rekening te houden met niet-geobserveerde, tijdsinvariante kenmerken van regio's, zoals infrastructuurkwaliteit, handhavingcultuur of sociaaleconomische omstandigheden. Door veranderingen binnen dezelfde regio in de tijd te vergelijken, in plaats van verschillen tussen regio's, helpen vaste-effectenmodellen om het effect van beleidswijzigingen te isoleren van stabiele geografische verschillen die de analyse anders zouden vertekenen (Wooldridge, 2010). Voor concrete verkeerslocaties worden *Empirical Bayes*-technieken (EB) veel toegepast in veiligheidsanalyses van snelheidscamera's, blackspotmaatregelen en infrastructurele ingrepen. Deze methoden beperken regressie naar het gemiddelde door geobserveerde ongevals cijfers te combineren met voorafgaande informatie, wat leidt tot betrouwbaardere schattingen van het verwachte aantal ongevallen (Elvik, 2002; Hauer, 1997). Samen bieden deze benaderingen krachtige instrumenten om robuuste causale conclusies te trekken in verkeersveiligheidsonderzoek wanneer gerandomiseerde experimenten niet haalbaar zijn.

Deze overwegingen verklaren waarom eenvoudige voor-/na-vergelijkingen algemeen als ontoereikend worden beschouwd voor de evaluatie van transport- en verkeersveiligheidsinterventies in de praktijk. De

<sup>3</sup> Autocorrelatie: maat voor de correlatie tussen waarnemingen van een variabele en een vertraagde versie van diezelfde variabele. Autocorrelatie kwantificeert de mate van gelijkheid tussen observaties op verschillende tijdstippen.

methodologische literatuur beveelt nadrukkelijk het gebruik aan van quasi-experimentele ontwerpen — waaronder *difference-in-differences*, *interrupted time series*, *regression discontinuity* en *propensity score* methoden — die expliciet zijn ontwikkeld om het niet-geobserveerde tegenfeitelijke scenario te benaderen en het causale effect van een interventie te isoleren (Angrist & Pischke, 2009; Lopez Bernal et al., 2016; Meyer, 1995). Deze brede consensus vormt de basis voor moderne evaluaties van complexe verkeersveiligheidsregelgeving en biedt een coherent kader voor de analyse van interventies zoals de EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving of de Belgische hervorming van 2022 voor gemotoriseerde voortbewegingstoestellen, waar gerandomiseerde experimentele toewijzing onmogelijk is maar rigoureuze causale inferentie essentieel blijft. Een overzicht van de in deze sectie besproken causale inferentiemethoden is opgenomen in Tabel 1.

Tabel 1 Overzicht van vaak gebruikte causale inferentiemethoden

Methodie	Typische casus	Belangrijkste sterktes	Belangrijkste beperkingen
<b>Gerandomiseerde experimenten</b>	Pilootinterventies met gecontroleerde implementatie	Sterke interne validiteit; minimale afhankelijkheid van modelleringsaanname	Vaak niet haalbaar om ethische, juridische of politieke redenen
<b>Difference-in-differences (DiD)</b>	Interventies die sommige groepen treffen maar andere niet, over de tijd	Corrigeert voor tijdsinvariante niet-geobserveerde heterogeniteit; intuïtieve interpretatie	Steunt op de parallelle trendsaanname; gevoelig voor groepsspecifieke verstoringen
<b>Interrupted time series (ITS)</b>	Populatiebrede interventies met een duidelijk afgebakende startdatum	Corrigeert voor bestaande trends en seizoensinvloeden; toepasbaar zonder controlegroep	Gevoelig voor gelijktijdige interventies of externe verstoringen
<b>Regression discontinuity (RD)</b>	Beleidsmaatregelen met duidelijk afgebakende toekenningsdrempels (bv. leeftijd, strafpunten)	Sterke lokale causale identificatie rond de drempel	Beperkte externe validiteit; vereist een duidelijke drempelwaarde
<b>Propensity score-methoden</b>	Gerichte interventies met rijke set aan covariaten	Verbeterd vergelijkbaarheid op basis van geobserveerde kenmerken	Corrigeert niet voor niet-geobserveerde verstoringen
<b>Empirical Bayes (EB)</b>	Behandelingen op locatieniveau (bv. black spots, snelheidscamera's)	Corrigeert voor regressie naar het gemiddelde	Niet geschikt voor beleidsbrede of gedragsmatige effecten
<b>Panelmodellen met vaste effecten</b>	Paneldata met herhaalde waarnemingen over regio's of eenheden	Houdt rekening met tijdsinvariante niet-geobserveerde kenmerken; transparant	Corrigeert niet voor tijdsvariërende niet-geobserveerde verstoringen

Hoewel er een breed gamma aan quasi-experimentele methoden beschikbaar is voor causale evaluaties binnen de verkeersveiligheid, hangt hun geschiktheid sterk af van de wijze waarop een interventie wordt ingevoerd en van de structuur van de beschikbare gegevens. In dit rapport wordt daarom gefocust op *difference-in-differences* (DiD) en *interrupted time series* (ITS), aangezien deze methoden nauw aansluiten bij de kenmerken van de twee onderzochte beleidsinterventies. De evaluatie van de EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving (CBE) maakt gebruik van een DiD-opzet, omdat de richtlijn specifiek in het buitenland geregistreerde voertuigen treft, terwijl Belgisch geregistreerde voertuigen fungeren als een natuurlijke vergelijkingsgroep waarvan de uitkomsten over dezelfde periode kunnen worden geobserveerd. De evaluatie van de Belgische hervorming van de Wegcode van 2022 voor gemotoriseerde voortbewegingstoestellen daarentegen steunt op een ITS-benadering, aangezien deze hervorming nationaal werd ingevoerd op een duidelijk afgebakend tijdstip en geen onbehandelde controlegroep biedt.

Andere quasi-experimentele methoden die in sectie 2.2 werden besproken, zijn zorgvuldig overwogen maar bleken in deze context minder geschikt. *Regression discontinuity*-opzetten vereisen een scherp afgebakende toekenningsdrempel, wat noch bij de CBE-richtlijn noch bij de hervorming van de Wegcode het geval is. *Propensity score*-methoden zijn vooral doeltreffend wanneer gedetailleerde individuele gegevens beschikbaar zijn om de toewijzing aan een interventie te modelleren, terwijl de analyses in dit rapport steunen op geaggregeerde ongevalsgegevens, waardoor een evenwichtige vergelijking op basis van beschikbare kenmerken minder haalbaar is. *Empirical Bayes*-technieken zijn hoofdzakelijk ontwikkeld voor evaluaties op locatieniveau en zijn minder geschikt voor het analyseren van gedragsmatige of regelgevende veranderingen op nationaal of groepsniveau. Panelmodellen met vaste effecten bieden op zichzelf geen volledige causale identificatiestrategie en worden daarom in dit rapport ingezet als ondersteunende analysetools, eerder dan als

zelfstandige evaluatiemethoden. Deze overwegingen rechtvaardigen de keuze om DiD en ITS centraal te stellen als de meest geschikte methoden om de causale effecten van de in dit rapport onderzochte verkeersveiligheidsinterventies te evalueren.

## 2.3 Verkeersveiligheids- en mobiliteitsregelgeving en causale inferentie

Subsectie 2.3 vat bestaand onderzoek samen dat gebruikmaakt van de eerder beschreven modellen om te analyseren hoe mobiliteits- en verkeersveiligheidsinterventies of regelgeving van invloed zijn op de verkeersveiligheid. Eerst bespreken we causale inferentiestudies die rechtstreeks aansluiten bij onze twee casussen, namelijk de CBE-richtlijn en de regulering van e-steps. Vervolgens plaatsen we deze bevindingen in de bredere literatuur over andere mobiliteits- en verkeersveiligheidsmaatregelen.

### 2.3.1 Causale inferentie-evaluatie van de CBE-richtlijn

De Europese richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving (*Cross Border Enforcement*, CBE) creëert een gedeeld juridisch en technisch kader dat de lidstaten ondersteunt bij het identificeren en opvolgen van bestuurders van in het buitenland geregistreerde voertuigen die tijdens verplaatsingen in het buitenland verkeersovertredingen begaan. Via dit kader kunnen landen elkaars voertuigregisters raadplegen, waardoor de lidstaat waar de overtreiding werd vastgesteld de naam en het adres van de betrokken voertuigbezitter of -houder kan achterhalen. De richtlijn is van toepassing op een afgebakende reeks kerninbreuken, zoals overdreven snelheid, het niet dragen van een veiligheidsgordel, het negeren van een rood licht, rijden onder invloed, het gebruik van een mobiele telefoon tijdens het rijden en onrechtmatig rijstrookgebruik. Ze werd ingevoerd om het langdurige probleem van straffeloosheid bij buitenlandse bestuurders aan te pakken. Het bredere doel van de richtlijn is te waarborgen dat bestuurders van Belgisch en in het buitenland geregistreerde voertuigen gelijk worden behandeld en om de naleving van verkeersveiligheidsregels binnen de Europese Unie te verbeteren (Europees Parlement en Raad van de Europese Unie, 2015).

Hoewel het aantal causale evaluatiestudies in de verkeersveiligheid toeneemt, blijft onderzoek naar de CBE-richtlijn methodologisch beperkt. De bestaande studies focussen voornamelijk op administratieve prestaties, zoals de mate van grensoverschrijdende identificatie, de opvolging van kennisgevingen en betalingsgedrag, eerder dan op het schatten van effecten op verkeersveiligheid. Bijgevolg bestaat er momenteel geen geloofwaardig causaal bewijs over de vraag of de richtlijn heeft geleid tot een vermindering van ongevallen, letsels of dodelijke slachtoffers (European Parliamentary Research Service, 2025; European Transport Safety Council, 2022).

De impact van de pakkans (de kans om betrapt te worden bij het overtreden van de wet) op verkeersveiligheidsuitkomsten is daarentegen wel succesvol onderzocht binnen de verkeersveiligheidscontext met behulp van causale inferentiemethoden (zie sectie 2.3.3). Aangezien de verhoogde pakkans een kernmechanisme van de CBE-richtlijn vormt, mag worden verwacht dat quasi-experimentele methoden geschikt zijn om de effecten van deze beleidsmaatregel te analyseren.

### 2.3.2 Causale inferentie-evaluatie van regelgeving inzake e-steps

Wat betreft causale inferentiestudies naar de impact van e-stepgerelateerde regelgeving op verkeersveiligheidsuitkomsten is de literatuur voorlopig beperkt. Cloud et al. (2023) leveren een van de eerste robuuste causale schattingen van de verkeersveiligheidseffecten van e-steps, gebruikmakend van een gespreide *difference-in-differences*-opzet in 93 steden verspreid over zes Europese landen. Door gebruik te maken van quasi-experimentele variatie in de timing van de uitrol en een DiD-opzet tonen zij aan dat de introductie van gedeelde e-steps gemiddeld leidde tot een stijging van 8,2% in door de politie geregistreerde letselongevallen. Dit effect is aanzienlijk groter in de zomermaanden (gemiddeld circa 11,5%) en verwaarloosbaar in de winter. Deze studie illustreert dat causale inferentie in het domein van micromobiliteit mogelijk is wanneer natuurlijke variatie beschikbaar is. Edwards et al. (2025) bestuderen, aan de hand van een natuurlijk experiment, de invoering van verhuursystemen voor e-steps in geselecteerde districten in Engeland en het effect daarvan op fietsongevallen. Zij tonen aan dat deze e-stepsystemen het aantal fietsongevallen met 20% hebben verminderd.

Hoewel causale evidentie over de verkeersveiligheidseffecten van e-steps schaars blijft, werden quasi-experimentele onderzoeksopzetten wel toegepast om modale verschuivingen te bestuderen. Zo analyseren Kazemzadeh en Sprei (2024) hoe gedeelde e-stepprogramma's de vervoermiddelkeuze in Zweden beïnvloeden. Zij schatten het effect van e-stepgebruik op de kans dat andere vervoersmodi worden vervangen door e-stepverplaatsingen. Daartoe passen zij *propensity score matching* toe om een kunstmatige controlegroep van niet-gebruikers samen te stellen met vergelijkbare observeerbare kenmerken, met als expliciet doel onvertekende schattingen te bekomen van de impact van e-stepgebruik op modale substitutie. Ze stellen vast dat e-stepgebruik de kans vergroot om korte verplaatsingen van andere vervoerswijzen naar e-steps te verschuiven met ongeveer 46%. Luo et al. (2021) bestuderen de impact van e-steps op het busgebruik met behulp van *difference-in-differences* modellen, waarbij Indiana (US) als casestudy dient. Zij tonen aan dat de concurrerende relatie leidt tot een daling van het aantal buspassagiers en dat het gedeelde e-stepsysteem het bussysteem kan aanvullen op plaatsen waar de busdekking beperkt is. Yang et al. (2021) analyseren de impact van het delen van e-steps op het gebruik van deelfietsen in Chicago met behulp van een *difference-in-differences* benadering op basis van de *propensity score matching*-methode. Hun bevindingen tonen aan dat de introductie van gedeelde e-steps het wekelijkse gebruik van deelfietsen met 10,2% heeft vermindert.

Hoewel causale evaluaties van regelgeving inzake gemotoriseerde voortbewegingstoestellen voorlopig beperkt blijven, suggereert de literatuur die in de volgende sectie wordt besproken dat classificatieregels, snelheidsbeperkingen, leeftijdsvereisten en regels omtrent de rijomgeving een betekenisvolle invloed kunnen hebben op veiligheidsuitkomsten. Aangezien e-stepperelateerd gedrag en risico's zich snel kunnen aanpassen na een wijziging in de regelgeving, bieden *interrupted time series*-methoden een bijzonder waardevol kader om beleidsimpact te detecteren, zoals bij de hervorming van de Belgische Wegcode in 2022.

### 2.3.3 Causale inferentie bij andere verkeersveiligheidsregelgeving

In tegenstelling tot het beperkte aantal studies over de CBE-richtlijn worden quasi-experimentele evaluaties steeds vaker toegepast bij andere mobiliteits- en verkeersveiligheidsregelingen. De literatuur over snelheidscontrole levert daarbij een van de sterkste bewijzen voor de effectiviteit van verkeersveiligheidsmaatregelen. De snelheid waarmee een voertuig rijdt, is immers een cruciale determinant van letselernst: hoe hoger de snelheid, hoe groter de energie die bij een ongeval op de inzittenden wordt overgedragen en hoe ernstiger het letsel. Het is dan ook essentieel om de impact van snelheidscamera's en geautomatiseerde handhaving op verkeersveiligheidsuitkomsten te bestuderen om de doeltreffendheid van snelheidsgerelateerde maatregelen te evalueren.

Talrijke studies tonen aan dat snelheidscamera's en geautomatiseerde handhaving leiden tot aanzienlijke dalingen van het aantal dodelijke en zware ongevallen. Wilson et al. (2010) analyseren studies die het effect van snelheidscamera's op snelheidsgedrag en verkeersveiligheidsuitkomsten analyseren aan de hand van gerandomiseerde gecontroleerde trials, *interrupted time series* (ITS) en gecontroleerde voor-/na-onderzoeken. Zij tonen aan dat studies die snelheidsindicatoren analyseren, na de invoering van snelheidscamera's een daling van de gemiddelde snelheid vaststellen. Daarnaast wijzen alle onderzochte studies op een lager aantal ongevallen in gebieden met snelheidscamera's na de invoering van het programma. Willardsen (2021) maakt gebruik van een zeldzaam natuurlijk experiment in Dayton, waar rechtbanken camera's herhaaldelijk verplichtten te deactiveren en opnieuw te activeren, wat leidde tot drie exogene beleidsveranderingen. Met behulp van een voor-/na-analyse en een *difference-in-differences*-benadering toont hij aan dat operationele camera's consistent leiden tot een daling van het totale aantal ongevallen, het aantal zijdelingse ongevallen en het aantal ernstige letsels.

Li et al. (2020) onderzoeken hoe de effecten van snelheidscamera's op verkeersongevallen evolueren in de tijd aan de hand van gegevens van in totaal 771 cameralocaties en 4.787 potentiële controlelocaties over een periode van 18 jaar (1999–2016) in Engeland. Zij passen een *difference-in-differences*-benadering toe in combinatie met *propensity score matching* en stellen vast dat snelheidscamera's het aantal verkeersongevallen in de omgeving van de camera's significant verminderen. Tegelijk tonen zij aan dat de effecten variëren naargelang de beschouwde periode en op langere termijn kleiner worden. De auteurs benadrukken dat passende verkeersregelgeving en -beheer, evenals zorgvuldige criteria voor de selectie van cameralocaties, essentieel zijn om de doeltreffendheid van snelheidscamera's te behouden.

Gehrsitz (2017) schat de effecten van tijdelijke rijbewijsintrekkingen op rijgedrag in Duitsland, waar bestuurders die binnen een periode van 365 dagen meerdere snelheidsovertredingen begaan, een rijverbod van één maand opgelegd krijgen. Met behulp van een *regression discontinuity*-ontwerp, dat gebruikmaakt van

de quasi-willekeurige toewijzing van rijverboden rond de 365-dagendrempel, toont hij aan dat een rijverbod van één maand de kans op herval binnen het jaar met 20% verlaagt. Blais en Carnis (2015) analyseren het effect van het Franse geautomatiseerde snelheidscontrolesysteem (*Automated Speed Enforcement Program*, ASEP) op slachtoffers bij verschillende types weggebruikers. Op basis van een *interrupted time series*-analyse (ITS) stellen zij vast dat het ASEP gepaard ging met een daling van 19,7% van het aantal verkeersdoden en letselgevallen.

Een ander onderzoeksdomein waarin quasi-experimentele ontwerpen veelvuldig worden toegepast, betreft alcoholgerelateerde maatregelen. Yu en Kaffine (2011) gebruiken een *regression discontinuity*-ontwerp om het effect te schatten van de zogenoemde Colorado Blue Laws op alcoholgerelateerde ongevallen en vaststellingen van rijden onder invloed (ROI). Deze wetten, die onder meer de verkoop van alcohol op zondag verboden en bedoeld waren om morele normen te bevorderen, werden op 1 juli 2008 afgeschaft. Yu en Kaffine tonen aan dat er geen bewijs is dat de afschaffing van de Colorado Blue Laws een effect had op alcoholgerelateerde ongevallen of verkeersinbreuken.

Nistal-Nuño (2017) past eveneens ITS-modellen toe om het effect te evalueren van een nieuwe wet die in maart 2012 werd ingevoerd en die de BAC-limiet voor rijden onder verminderde rijvaardigheid verlaagde van 1 naar 0,8 (g/L), en de wettelijke BAC-limiet voor rijden onder invloed van alcohol van 0,5 naar 0,3 (g/L), op mortaliteit in Chili. De auteur stelt vast dat het aantal verkeersdoden daalde, al was deze daling statistisch niet significant. Wright en Lee (2021) maken gebruik van quasi-willekeurige variatie in wetgeving tussen staten om het causale effect te schatten van alcoholgerelateerde verkeerswetten op het aantal dodelijke ongevallen. Zij tonen aan dat de meest doeltreffende maatregelen om alcoholgerelateerde dodelijke ongevallen te verminderen bestaan uit nultolerantiebeleid voor alcoholgebruik bij minderjarige bestuurders, het verbieden van open alcoholische dranken in voertuigen en het beperken van het voertuiggebruik voor bestuurders met eerdere veroordelingen voor ROI, onder meer via rijbewijsintrekkingen en het verplicht gebruik van alcoholsloten. Tegelijk wijzen zij erop dat de conclusies sterk kunnen verschillen naargelang de gehanteerde empirische methode.

Otero en Rau (2017) analyseren met behulp van een *regression discontinuity*-ontwerp de effecten van het verlagen van de wettelijke BAC-limiet voor bestuurders van 0,5 naar 0,3 g/L, in combinatie met langere rijbewijsintrekkingen voor overtreders. Zij tonen aan dat er onmiddellijk na de goedkeuring van de wet een aanzienlijke daling van 32% optreedt in het aantal alcoholgerelateerde verkeersongevallen, maar dat het effect op langere termijn afzwakt tot een meer gematigde daling van ongeveer 15% na drie jaar. Chamlin (2016) onderzoekt de impact van de BAC-wetgeving in de staat New Jersey op zowel het totale aantal verkeersdoden als op uitgesplitste slachtoffercategorieën. De resultaten van de ITS-analyses tonen aan dat de verlaging van de BAC-limiet tot 0,8 g/L geen effect heeft op het totale aantal verkeersdoden of op bestuurderslachtoffers, maar wel leidt tot een blijvende daling van het aantal dodelijke slachtoffers onder passagiers.

Haghpanahan et al. (2019) maken gebruik van de verlaging van de BAC-limiet voor bestuurders in Schotland van 0,8 naar 0,5 g/L in december 2014, wat een natuurlijk experiment oplevert aangezien in Engeland en Wales geen wijziging plaatsvond en deze regio's dus als controlegroep konden dienen. Zij stellen vast dat de verlaging van de BAC-limiet in Schotland niet gepaard ging met een daling van het aantal verkeersongevallen. Liang en Huang (2008) analyseren met een *difference-in-differences*-opzet hoe nultolerantiewetten — die het voor personen jonger dan 21 jaar verboden maken om met enige meetbare hoeveelheid alcohol in het bloed te rijden — het alcoholgebruik en het rijgedrag onder invloed beïnvloeden. Zij gebruiken oudere studenten als controlegroep en tonen aan dat nultolerantiewetgeving leidt tot een afname van rijden onder invloed bij studenten.

De consistentie van de resultaten over verschillende methoden, contexten en tijdsperiodes heen levert sterk bewijs dat alcoholgerelateerde regelgeving tot de meest doeltreffende verkeersveiligheidsmaatregelen behoort, op voorwaarde dat zij gepaard gaat met voldoende handhaving.

Onderzoek naar afgeleid rijgedrag levert daarentegen gemengde resultaten op, voornamelijk als gevolg van verschillen in handhaving en naleving. Abouk en Adams (2013) bieden een van de meest sprekende voorbeelden: met behulp van DiD stellen zij vast dat sms-verboden alleen effectief waren wanneer ze als primaire overtreding werden gecategoriseerd, waardoor politieagenten bestuurders uitsluitend voor sms-gebruik konden doen stoppen. Verboden die als secundaire overtreding werden gehandhaafd — waarbij een bestuurder eerst voor een andere inbreuk moest worden tegengehouden — vertoonden daarentegen geen meetbaar effect. Rocco en Sampaio (2016) onderzoeken eveneens of verboden op sms'en en het gebruik van een handheld gsm effectief zijn in het terugdringen van het aantal verkeersdoden, op basis van gegevens op

county-niveau in de VS. Zij tonen aan dat staten die een primair verbod op gsm-gebruik invoerden, een significante daling van het aantal verkeersdoden kenden.

Strafpuntensystemen vormen een ander belangrijk onderzoeksdomein binnen handhavingsstudies. De Paola en Scoppa (2013) schatten met behulp van een *regression discontinuity*-ontwerp de effecten van de invoering van een strafpuntensysteem voor verkeersovertredingen in Italië in juli 2003 op verkeersveiligheidsuitkomsten. Zij stellen vast dat de invoering van het strafpuntensysteem leidde tot een daling van ongeveer 9% in het aantal verkeersongevallen en van ongeveer 30% in het aantal verkeersdoden. Hun analyse toont aan dat een hogere consistentie en zichtbaarheid van sancties leidt tot meetbare gedragsaanpassingen. Het is daarbij belangrijk op te merken dat strafpuntensystemen niet in elk land worden toegepast. Een systematische analyse concludeerde dat de pakkans voor overtredingen in België te laag was om een puntensysteem enig effect te laten hebben, wat opnieuw het belang van consistente sanctionering onderstreept (Silverans et al., 2018).

Zowel theoretisch als empirisch onderzoek binnen de afschrikkingstheorie biedt sterke ondersteuning voor het gebruik van causale-inferentiemethoden, zoals *difference-in-differences*, om de effecten van handhavingsmaatregelen zoals de CBE-richtlijn te evalueren. Onderzoek naar afschrikking toont consequent aan dat vooral een toename van de pakkans — en niet louter de zwaarte van de sanctie — het belangrijkste mechanisme is waarmee handhaving het gedrag beïnvloedt (Nagin, 2013). Dit inzicht komt ook terug in evaluaties van wetgeving rond afgeleid rijgedrag. Studies van Chamlin (2016) en Nistal-Nuño (2017) tonen aan dat regelgeving die wel formeel bestaat maar niet geloofwaardig wordt gehandhaafd, nauwelijks leidt tot gedragsverandering. Deze bevindingen sluiten aan bij bredere inzichten uit de gedragseconomie, waaruit blijkt dat weggebruikers niet enkel reageren op boetes of wettelijke verboden, maar vooral op de gepercipieerde pakkans.

Al deze voorbeelden illustreren dat causale-inferentiemodellen essentieel zijn voor de evaluatie van verkeersveiligheidsregelgeving, in het bijzonder wanneer deze gericht is op gedragsverandering of op grote schaal wordt ingevoerd. Door voort te bouwen op deze gevestigde methoden zorgt dit rapport voor een rigoureuze en geloofwaardige evaluatie van twee belangrijke Belgische verkeersveiligheidsinterventies.

# 3 Heeft grensoverschrijdende handhaving de verkeersveiligheid verbeterd? Een difference-in-differences-analyse

## 3.1 Achtergrond

In het buitenland geregistreerde voertuigen vormen al geruime tijd een hardnekkige uitdaging voor de handhaving van de verkeersveiligheid binnen de Europese Unie. Vóór 2015 botsten nationale autoriteiten op aanzienlijke moeilijkheden bij het identificeren van eigenaars van in het buitenland geregistreerde voertuigen wanneer verkeersovertredingen werden vastgesteld via automatische systemen, zoals snelheidscamera's of roodlichtcamera's. Lidstaten waren aangewezen op uiteenlopende bilaterale akkoorden om toegang te krijgen tot buitenlandse voertuigenregisters. In de praktijk betekende dit dat overtredingen door in het buitenland geregistreerde voertuigen vaak niet doeltreffend konden worden opgevolgd, zeker wanneer een dergelijk akkoord ontbrak. Dit leidde tot wat Europese instellingen omschreven als een vorm van relatieve straffeloosheid voor bestuurders van in het buitenland geregistreerde voertuigen. In vergelijking met bestuurders van nationaal ingeschreven voertuigen was de kans om voor dezelfde overtreding effectief een boete te ontvangen aanzienlijk kleiner.

Om deze handhavingskloof te verkleinen, nam de Europese Unie de richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving (*Cross Border Enforcement*, CBE) aan (Europees Parlement en Raad van de Europese Unie, 2015). Deze richtlijn had tot doel een geharmoniseerd systeem voor grensoverschrijdende uitwisseling van informatie tot stand te brengen. De meeste lidstaten moesten de richtlijn tegen mei 2015 omzetten in nationale wetgeving. Denemarken, Ierland en het Verenigd Koninkrijk (toen nog lid van de EU) kregen uitstel tot mei 2017. Ondanks deze uitzonderingen heeft de richtlijn de mogelijkheden voor landen zoals België aanzienlijk uitgebreid om in het buitenland geregistreerde voertuigen die bij verkeersovertredingen betrokken zijn, te identificeren en te vervolgen via het EUCARIS-uitwisselingsstelsel. Wanneer in België een overtreding wordt vastgesteld door een automatisch handhavingssysteem, kan via dit systeem registratiegegevens bij andere lidstaten worden opgevraagd en een vervolgingsbericht worden verstuurd. Een empirische evaluatie richt zich daarom terecht op ongevallen waarbij in het buitenland geregistreerde voertuigen betrokken zijn, aangezien zij rechtstreeks werden blootgesteld aan een verhoogde pakkans.

Bestaande evaluaties van de CBE-richtlijn zijn hoofdzakelijk administratief en juridisch van aard en focussen op handhavingscapaciteit, opvolgingsmechanismen en betalingsgraden van boetes, met weinig aandacht voor de effecten op verkeersveiligheid (Europese Commissie, 2023). Bestuurders van in het buitenland geregistreerde voertuigen zijn goed voor ongeveer 5% van het wegverkeer in de EU, en een in het buitenland geregistreerd voertuig heeft ongeveer drie keer meer kans om een verkeersovertreding te begaan dan een nationaal ingeschreven voertuig (European Transport Safety Council, 2022). Volgens de Europese Commissie (2023) werden in 2019 ongeveer 14,5 miljoen verkeersovertredingen vastgesteld waarbij een in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken was en de bestuurder niet ter plaatse werd geïdentificeerd. Van deze overtredingen werden ongeveer 8,2 miljoen betalingen verricht (ongeveer 8 miljoen vrijwillig en 200.000 na effectieve handhaving), terwijl circa 6,3 miljoen overtredingen zonder gevolg bleven. Dit betekent dat ongeveer 40% van de grensoverschrijdende overtredingen onbestraft bleef, hetzij doordat het onderzoek mislukte en de vermoedelijke overtreder nooit een kennisgeving ontving, hetzij doordat de handhaving faalde en de boete niet werd betaald. Dat aandeel ligt relatief hoog, zeker in vergelijking met het algemene niveau van straffeloosheid voor vergelijkbare binnenlandse overtredingen — hoofdzakelijk snelheidsovertredingen vastgesteld door camera's — dat varieert van ongeveer 5% in de best presterende landen (Nederland, Zweden, Polen) tot gemiddeld 10 à 20% (Luxemburg, Letland, Ierland, Spanje, Estland, Hongarije). Daarnaast wordt aangegeven dat, hoewel het aandeel vastgestelde overtredingen met in het buitenland geregistreerde voertuigen sterk verschilt tussen lidstaten, gemiddeld ongeveer 18% van alle snelheidsovertredingen door deze bestuurders wordt begaan.

De ex-postevaluatie van de Europese Commissie wijst op een aanzienlijke toename van het aantal onderzochte grensoverschrijdende dossiers. Hoewel de effectiviteit verschilt tussen lidstaten, heeft de CBE-richtlijn de anonimiteit van buitenlandse overtredders verminderd en de handhavingskloof verkleind. Op EU-niveau steeg het vrijwillige betalingspercentage — dat wil zeggen betaling na ontvangst van de boetekennisgeving — van ongeveer 50% in 2016 tot 70%. Dit vormt een betekenisvolle verbetering ten opzichte van de situatie vóór de invoering van de CBE-richtlijn (Europese Commissie, 2023).

Onafhankelijke organisaties, zoals de European Transport Safety Council (2022), concluderen eveneens dat de CBE-richtlijn de grensoverschrijdende handhaving heeft versterkt, al blijft er ruimte voor verbetering. Deze bevindingen lagen rechtstreeks aan de basis van de herziening van de richtlijn in 2025. Die herziening gaat verder dan de oorspronkelijke focus op gegevensuitwisseling en versterkt de procedurele samenwerking, breidt het aantal overtredingen dat onder de richtlijn valt uit en verbetert de mechanismen voor wederzijdse bijstand en handhaving tussen lidstaten. De geactualiseerde richtlijn verduidelijkt bovendien de transparantie- en procedurele rechten van niet-ingezeten bestuurders en pakt tekortkomingen in de handhaving aan die in de evaluatie van 2016 werden vastgesteld (EPRS, 2025). Hoewel de handhavingsresultaten zijn verbeterd, zijn de gevolgen van deze veranderingen voor rijgedrag en bredere verkeersveiligheidsuitkomsten tot op heden nog niet volledig empirisch onderzocht.

Ondanks de vooruitgang op het vlak van handhaving bestaat er geen peer-reviewed evaluatie die de impact van de CBE-richtlijn op verkeersveiligheidsuitkomsten heeft onderzocht, en ook Europese effectbeoordelingen erkennen expliciet deze lacune in de bewijsvoering. Dat is opvallend, gezien de verwachting dat een hogere pakkans het rijgedrag zou beïnvloeden. De afschrikkingstheorie benadrukt dat wanneer de gepercipieerde pakkans toeneemt, de naleving verbetert (Nagin, 2013). Hoewel gedragsaanpassing in verkeersveiligheidsonderzoek zelden rechtstreeks wordt waargenomen, toont een uitgebreide empirische literatuur wel consequent aan dat handhavingsmaatregelen die de pakkans verhogen, leiden tot minder overtredingen en ongevallen. Zo leidde het Italiaanse strafpuntensysteem tot minder overtredingen en droeg het bij aan een daling van het aantal verkeersdoden (De Paola & Scoppa, 2013); geautomatiseerde snelheidscontrole verminderde snelheidsovertredingen en letselongevallen aanzienlijk (Pérez et al., 2007; Willardsen, 2021); en verboden op mobiel telefoongebruik leidden tot minder afleidingsgerelateerde ongevallen in staten met een sterke handhaving (Abouk & Adams, 2013). Rebollo-Sanz et al. (2021) tonen aan dat de invoering van het Spaanse strafpuntensysteem een sterk afschrikkend effect had, met een daling van het aantal verkeersovertreders met ongeveer 14%, en nog grotere dalingen voor zwaardere overtredingen. Deze gedragsverandering vertaalde zich in aanzienlijke verkeersveiligheidswinsten, met aanhoudende dalingen van ongeveer 14 tot 16% in ongevallen, letsels en dodelijke slachtoffers. Dit wijst erop dat niet-monetaire sancties een bijzonder doeltreffend en kostenefficiënt verkeersveiligheidsinstrument kunnen zijn. Hoewel deze studies gedragsveranderingen afleiden uit ongevals- en overtredingscijfers en niet uit directe metingen van naleving, tonen zij samen duidelijk aan dat bestuurders hun gedrag aanpassen wanneer de pakkans toeneemt — precies het mechanisme dat de CBE-richtlijn beoogt te activeren. De richtlijn richt zich rechtstreeks op dit mechanisme voor in het buitenland geregistreerde voertuigen, met als gedragsverwachting dat het dichten van de handhavingskloof zal leiden tot veiliger rijgedrag en minder ongevallen binnen deze groep.

Dit rapport biedt de eerste causale evaluatie van de vraag of de CBE-richtlijn in België heeft geleid tot verbeterde verkeersveiligheidsuitkomsten. Op basis van officieel door de politie geregistreerde ongevalsgegevens over de periode 2012–2018 en een *difference-in-differences*-opzet vergelijkt de analyse in het buitenland geregistreerde voertuigen — de behandelde groep die door de CBE-richtlijn wordt beïnvloed — met Belgisch geregistreerde voertuigen, die fungeren als controlegroep en niet door de richtlijn worden getroffen. De keuze voor een DiD-kader vloeit rechtstreeks voort uit de structuur van de beleidsmaatregel. Door de pakkans voor in het buitenland geregistreerde voertuigen bij verkeersovertredingen te verhogen, wijzigde de CBE-richtlijn de stimulansen op een manier die in overeenstemming is met de afschrikkingstheorie. In het buitenland geregistreerde voertuigen vormen daarmee de populatie die rechtstreeks aan de beleidswijziging wordt blootgesteld, terwijl Belgisch geregistreerde voertuigen een natuurlijke vergelijkingsgroep bieden waarvan de handhavingscontext ongewijzigd bleef. Door veranderingen in ongevalsbetrokkenheid tussen beide groepen vóór en na de invoering van de richtlijn te vergelijken, kan een geloofwaardige tegenfeitelijke trend worden geconstrueerd en kan het effect van het beleid op verkeersveiligheidsuitkomsten worden geïsoleerd.

De rest van dit hoofdstuk beschrijft achtereenvolgens de gebruikte gegevens, definities, empirische strategie, beschrijvende patronen, pre-trendanalyses en de belangrijkste resultaten.

## 3.2 Data en definities

De analytische dataset combineert door de politie geregistreerde verkeersongevallen met weerinformatie voor de periode van mei 2012 tot en met april 2018.

### 3.2.1 Databron

De primaire databron voor deze studie is de nationale databank van verkeersongevallen met doden of gewonden. Deze databank is gebaseerd op ongevallenverslagen die door de Federale Politie (DGR/DRI/BIPOL) worden opgesteld na een verkeersongeval. Het gaat zowel om ongevallen die ter plaatse door de politie worden vastgesteld als om ongevallen die achteraf op het politiebureau worden aangegeven. De gegevens worden vervolgens overgemaakt aan Statbel (Algemene Directie Statistiek – *Statistics Belgium*), dat instaat voor de controle en validatie ervan. De gegevens over dodelijke slachtoffers worden aangevuld door de Federale Politie en Statbel op basis van overlijdensakten afkomstig van de parketten en informatie uit de MaCH-databank. Daarnaast wordt het aantal dodelijke slachtoffers ook geverifieerd aan de hand van het Rijksregister van de natuurlijke personen, waarin kenmerken van overleden personen zijn opgenomen.

Voor elk geregistreerd ongeval bevat de databank gedetailleerde informatie over:

- datum en tijdstip van het ongeval,
- geografische locatie (provincie, arrondissement),
- weg- en omgevingskenmerken,
- voertuigkenmerken (zoals voertuigtype en land van inschrijving),
- kenmerken van de bestuurder,
- ernst van het ongeval en het aantal slachtoffers.

De kernvariabele voor deze studie is een indicator die aangeeft of bij een ongeval minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken was. Deze indicator sluit rechtstreeks aan bij het handhavingsmechanisme waarop de CBE-richtlijn zich richt, namelijk het verhogen van de kans dat verkeersovertredingen door bestuurders van in het buitenland geregistreerde voertuigen effectief worden gesanctioneerd.

In een ideale evaluatie van de CBE-richtlijn zouden ook gegevens over verkeersovertredingen worden geanalyseerd, aangezien de richtlijn rechtstreeks ingrijpt op handhaving en naar verwachting het overtredingsgedrag en de perceptie van straffeloosheid beïnvloedt. Dergelijke overtredingsgegevens uitgesplitst naar land van inschrijving van het voertuig zijn echter niet vlot beschikbaar, wat hun inzet voor causale analyse in deze context beperkt. Om die reden richt deze studie zich op verkeersveiligheidsuitkomsten. Hoewel het effect op ongevallen eerder indirect is, blijft dit beleidsmatig bijzonder relevant, aangezien een betere naleving van verkeersregels zich uiteindelijk moet vertalen in veiliger rijgedrag en minder ongevallen. Toekomstig onderzoek dat gegevens over overtredingen en ongevallen combineert, kan een vollediger beeld geven van zowel de gedragsmatige als de verkeersveiligheidseffecten van grensoverschrijdende handhaving.

### 3.2.2 Datavoorbereiding

De empirische dataset bestrijkt de periode van mei 2012 tot en met april 2018. Deze periode vormt een symmetrisch venster van drie jaar vóór en drie jaar na de invoering van de EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving (CBE-richtlijn), die in België van toepassing werd in mei 2015. De gekozen tijdsperiode biedt een voldoende lange pre-interventieperiode om de dynamiek vóór de beleidsinvoering in kaart te brengen en laat toe om veranderingen na de invoering van de richtlijn op een betrouwbare manier te identificeren.

Voor de analyse werden de ongevals aantallen geaggregeerd per provincie en per maand. Deze maandelijkse aggregatie is om twee redenen aangewezen. Ten eerste maken ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen slechts een relatief klein deel uit van alle ongevallen, waardoor een fijnere temporele indeling (bijvoorbeeld per dag of per week) zou leiden tot veel nulwaarden en instabiele schattingen op provinciaal niveau. Ten tweede laat een maandelijkse aggregatie toe om seizoenspatronen in verkeer en weersomstandigheden te vatten, terwijl er voldoende variatie behouden blijft om beleidseffecten rond de invoering van de CBE-richtlijn te identificeren.

Alle ongevallen waarbij minstens één gemotoriseerd voertuig betrokken was, werden opgenomen. De analyse focust op personenwagens, vrachtwagens, bestelwagens en motorfietsen. Personenwagens vertegenwoordigen het grootste aandeel van het wegverkeer en bieden daardoor de meeste statistische kracht om gedragsreacties te detecteren. Vrachtwagens zijn numeriek bij minder ongevallen betrokken, maar brengen door hun massa en kinetische energie een hoger letselrisico met zich mee en maken een aanzienlijk deel uit van het grensoverschrijdend goederenvervoer. Bestelwagens vertonen een specifiek risicoprofiel doordat ze vaak worden ingezet voor commerciële en distributieactiviteiten, met doorgaans hogere

kilometrages, tijdsdruk en intensief rijden in stedelijk gebied, wat gepaard gaat met een verhoogd ongevalsrisico. Motorrijders zijn bijzonder kwetsbaar vanwege het ontbreken van fysieke bescherming en hun grotere blootstelling bij ongevallen.

Ongevallen met bromfietsen worden uitgesloten van de causale analyse. Op 31 maart 2014 werd in België een verplichte inschrijving ingevoerd voor alle bromfietsen, samen met een regularisatieprocedure voor voertuigen die al in omloop waren. Vóór deze hervorming reed een aanzienlijk deel van de bromfietsen zonder registratie, waardoor betrouwbare informatie over het land van inschrijving niet systematisch beschikbaar was. Deze beleidswijziging veroorzaakte een breuk in de gegevens. Na 2014 verschijnen plots veel bromfietsen als Belgisch ingeschreven, niet als gevolg van veranderingen in mobiliteit of verkeersveiligheid, maar louter door de administratieve verplichting. Een dergelijke abrupte wijziging in de meting van de behandelingsvariabele schendt de parallele trendsaansname die vereist is voor een *difference-in-differences*-opzet en verhindert de constructie van een consistente tegenfeitelijke trend vóór de beleidsinvoering. Om die reden worden bromfietsen niet opgenomen in de DiD-modellen.

De hoofdspecificatie vergelijkt het aantal ongevallen met in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen binnen dezelfde provincie en maand, met gebruik van een verzadigde vaste effectenstructuur die alle provinciespecifieke schokken in een bepaalde maand absorbeert (inclusief seizoenspatronen en tijdsvariërende blootstelling). Naast de analyse van het aantal ongevallen richt de causale analyse zich op de relatieve betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen bij ongevallen. Als aanvullende en gemakkelijk interpreteerbare maatstaf rapporteren we ook resultaten op basis van het aandeel ongevallen waarbij minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken is in een gegeven provincie en maand. Deze genormaliseerde uitkomstmaat vangt veranderingen in relatieve betrokkenheid op en is minder gevoelig voor algemene schommelingen in verkeersvolume, rapportering of het algemene ongevalsrisico die alle weggebruikers gelijktijdig treffen. Voor elke provincie en maand wordt de aandeeluitkomst daarom als volgt geconstrueerd:

- *foreign\_share* = de verhouding tussen het aantal ongevallen waarbij minstens één betrokken voertuig in een ander Europees land is ingeschreven en het totale aantal ongevallen.

De ruimtelijke analyse-eenheid bestaat uit de tien Belgische provincies, aangevuld met het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Een categorische variabele (*prov*) wordt gebruikt om deze 11 locaties te identificeren.

Voor de *difference-in-differences*-analyse wordt een behandelingsvariabele gedefinieerd die de invoering van de CBE-richtlijn weergeeft. De richtlijn werd in België operationeel in mei 2015. Daarom wordt een binaire variabele gecreëerd die deze timing vastlegt:

- *post\_cbe* = 1 voor maanden vanaf mei 2015
- *post\_cbe* = 0 voor maanden vóór mei 2015

De identificerende variatie komt dus voort uit veranderingen in de betrokkenheid bij ongevallen van buitenlandse voertuigen ten opzichte van Belgische voertuigen vóór en na de invoering van de CBE-richtlijn.

Om de dynamiek van het beleidseffect te analyseren en mogelijke anticipatie- of vertraagde effecten te onderzoeken, wordt ook een *event-time* variabele geconstrueerd:

- *rel\_month* = het aantal maanden ten opzichte van mei 2015, waarbij negatieve waarden de pre-interventieperiode aanduiden en positieve waarden de post-interventieperiode.

Om rekening te houden met omgevingsfactoren die het ongevalsrisico en seizoenspatronen kunnen beïnvloeden, worden de volgende tijdsvariërende controlevariabelen opgenomen:

- *avg\_tem*: gemiddelde maandtemperatuur (°C)
- *avg\_pre*: maandgemiddelde van de dagelijkse neerslaghoeveelheden (mm)

Tot slot bevatten de empirische modellen vaste effecten op provinciaal niveau (*prov*) om structurele verschillen tussen provincies op te vangen, zoals wegnen, verkeersdichtheid, verstedelijkingsgraad en handhavingscapaciteit. Daarnaast worden maandvaste effecten opgenomen om gemeenschappelijke seizoenspatronen in ongevallen en rijomstandigheden te modelleren.

## 3.3 Methodologie

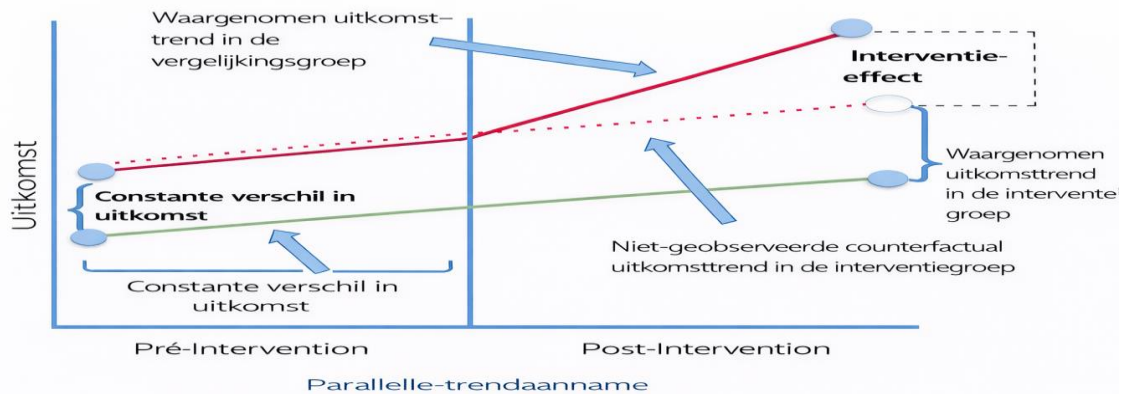
Deze sectie beschrijft de empirische strategie die wordt gebruikt om de impact van de EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving (CBE) op de betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen bij verkeersongevallen in België te schatten. De analyse wordt uitgevoerd met behulp van een *difference-in-differences* (DiD)-opzet waarbij in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen vóór en na mei 2015 met elkaar worden vergeleken. De voorkeurspecificatie vergelijkt het aantal ongevallen binnen dezelfde provincie en maand met behulp van een verzadigde vaste effectenstructuur, wat de gevoeligheid voor provinciespecifieke seizoenspatronen, blootstellingschommelingen en andere tijdsvariërende versturende factoren vermindert. Als aanvullende analyse schatten we ook DiD-modellen op basis van het aandeel ongevallen waarbij minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken is, per provincie en maand, wat een intuïtieve genormaliseerde maatstaf voor relatieve betrokkenheid oplevert.

Een *difference-in-differences*-opzet is bijzonder geschikt in deze context omdat zij veranderingen in de tijd vergelijkt tussen de behandelde groep en de controlegroep, vóór en na de invoering van de CBE-richtlijn. De centrale uitdaging bij het evalueren van de impact van de richtlijn bestaat erin vast te stellen of de betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen bij ongevallen na mei 2015 anders evolueerde dan die van Belgisch geregistreerde voertuigen. Aangezien de CBE-richtlijn specifiek gericht is op voertuigen die buiten België zijn ingeschreven, vormen in het buitenland geregistreerde voertuigen de behandelde groep. Belgisch geregistreerde voertuigen fungeren bijgevolg als controlegroep. Onze veronderstelling is dat, indien de CBE-richtlijn dankzij de toegenomen pakkans effectief was in het veranderen van het gedrag van bestuurders van in het buitenland geregistreerde voertuigen, ongevallen met dergelijke voertuigen zich na mei 2015 anders zouden moeten ontwikkelen dan ongevallen met Belgisch geregistreerde voertuigen.

Het is belangrijk te benadrukken dat een DiD-opzet niet vereist dat de behandelde en de controlegroep identieke uitkomstniveaus hebben of perfect samenvallende trends vertonen. Verschillen tussen buitenlandse en Belgische voertuigen, evenals gemeenschappelijke invloeden die beide groepen treffen, zijn toegelaten. Wel vereist de methode dat de uitkomsten voor in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen vóór mei 2015 gelijkaardige trends volgen (de parallelle trendsaanname). Wanneer aan deze voorwaarde is voldaan, kan elke systematische afwijking die na mei 2015 wordt waargenomen, worden toegeschreven aan de beleidsinterventie en niet aan reeds bestaande verschillen of gezamenlijke externe invloeden. Om deze aanname te toetsen en om mogelijke anticipatie-effecten of geleidelijke beleidsreacties op te sporen, werd een *event-study*-analyse uitgevoerd. Samen zorgen de DiD-opzet, de *event-study*-specificaties en placebo-tests voor een solide basis om de geldigheid en robuustheid van de resultaten te waarborgen en om geloofwaardige causale effecten van de richtlijn op verkeersveiligheidsuitkomsten te schatten.

### 3.3.1 Aanvullend *difference-in-differences* (DiD)-model: aandeel ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen

De *difference-in-differences*-benadering vergelijkt hoe een uitkomstmaat in de tijd verandert tussen een groep die aan een interventie wordt blootgesteld (de behandelde groep) en een vergelijkingsgroep (de controlegroep). In Figuur 1 vertonen beide groepen vóór de interventie hun eigen uitkomstniveaus, maar volgen zij een gelijkaardig verloop in de tijd. Dit illustreert de parallelle trendsaanname, die inhoudt dat het verschil tussen beide groepen zonder interventie constant zou zijn gebleven. Na de invoering van de interventie zet de controlegroep haar oorspronkelijke trend voort, terwijl de behandelde groep een duidelijk afwijkende evolutie vertoont. De rode stippellijn stelt het niet-geobserveerde tegenfeitelijke verloop voor: het uitkomstniveau dat de behandelde groep zou hebben gekend indien de interventie niet was ingevoerd. De DiD-schatting wordt verkregen door het waargenomen uitkomstniveau van de behandelde groep na de interventie te vergelijken met dit tegenfeitelijke verloop, en daarbij de verandering in de controlegroep af te trekken. Op die manier isoleert de DiD-benadering het causale effect van de interventie door zowel verschillen in de referentiewaarde als algemene tijdstrends die beide groepen beïnvloeden, weg te filteren.



Figuur 1 Difference-in-differences-opzet (DiD) en parallele trendsaanname.

Bron: <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/difference-difference-estimation>

De aanvullende specificatie evalueert of het aandeel ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen is veranderd na de implementatie van de CBE-richtlijn. De modelspecificatie luidt als volgt:

$$foreign\_share_{pt} = \beta_0 + \beta_1 post\_cbe_t + \gamma X_{pt} + \alpha_p + \lambda_m + \varepsilon_{pt}$$

waarbij:

- $foreign\_share_{pt}$  = het aandeel ongevallen waarbij minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken is in provincie  $p$  per maand  $t$ ;
- $post\_cbe_t$  = binaire indicator die gelijk is aan 1 voor maanden vanaf mei 2015 en 0 voor eerdere maanden;
- $X_{pt}$  = maandelijkse weercontroles (temperatuur en neerslag);
- $\alpha_p$  = provinciale vaste effecten (om niet-geobserveerde, tijdsinvariante verschillen tussen provincies te controleren);
- $\lambda_m$  = maandvaste effecten die gemeenschappelijke seizoenspatronen tussen provincies opvangen;
- $\varepsilon_{pt}$  = foutterm, geclusterd op provinciaal niveau om seriële correlatie en willekeurige afhankelijkheid binnen provincies toe te laten.

In dit model is de relevante coëfficiënt  $\beta_1$ , die de gemiddelde verandering meet in het aandeel ongevallen met buitenlandse voertuigen na de invoering van de CBE-richtlijn, ten opzichte van de periode vóór het beleid. Aangezien de uitkomstvariabele een aandeel is en geen absoluut aantal, dient het geschatte effect te worden geïnterpreteerd als een verandering in procentpunten in de relatieve betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen bij ongevallen.

Hoewel de empirische analyse het aandeel ongevallen met buitenlandse voertuigen als uitkomstmaat hanteert, blijft de identificatiestrategie die van een *difference-in-differences*-opzet met tweeweg-vaste effecten. De behandeling wordt bepaald door de invoering van de CBE-richtlijn in mei 2015, die van toepassing is op in het buitenland geregistreerde voertuigen maar niet op Belgisch ingeschreven voertuigen. De controlegroep is daardoor impliciet vervat in de uitkomstmaat via de normalisatie op het totale aantal ongevallen. Deze formulering vergelijkt veranderingen in de tijd in de relatieve betrokkenheid van buitenlandse voertuigen vóór en na het beleid, waarbij Belgisch geregistreerde voertuigen fungeren als tegenfeitelijke referentie.

Hoewel informatief, blijft de op aandelen gebaseerde specificatie een genormaliseerde uitkomstmaat. De belangrijkste empirische specificatie berust op een verzadigd *difference-in-differences* model dat gebruikmaakt van het aantal ongevallen, en wordt gepresenteerd in de volgende subsectie.

### 3.3.2 Verzadigde difference-in-differences (DiD)-specificatie

Om de causale impact van de CBE-richtlijn te schatten, steunt de hoofdspecificatie op een verzadigd *difference-in-differences* (DiD)-model dat gebruikmaakt van het aantal ongevallen in plaats van het aandeel ongevallen. Deze specificatie versterkt de identificatie en brengt de analyse in overeenstemming met een standaard DiD-kader door ongevallen met in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen per provincie en per maand te vergelijken.

De hoofdspecificatie is:

$$y_{ptg} = \exp(\beta(\text{foreign}_g * \text{post\_cbe}_t) + \gamma X_{pt} + \alpha_g) + \varepsilon_{ptg}$$

waarbij:

- $y_{ptg}$  = het aantal ongevallen in provincie  $p$ , maand  $t$  en voor registratiegroep  $g$  (buitenlands of Belgisch);
- $\text{foreign}_g$  = binaire indicator gelijk aan 1 voor in het buitenland geregistreerde voertuigen en 0 voor Belgische voertuigen;
- $\text{post\_cbe}_t$  = binaire indicator gelijk aan 1 voor maanden na mei 2015 en 0 voor maanden voor mei 2015;
- $X_{pt}$  = provincie  $\times$  maand vaste effecten (d.w.z. provincie  $\times$  jaar-maand), die alle tijdsvariërende schokken absorberen die binnen dezelfde provincie en maand gemeenschappelijk zijn voor beide groepen;
- $\alpha_g$  = vangt persistente niveauverschillen op tussen in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen;
- $\varepsilon_{ptg}$  = foutterm met standaardfouten geclusterd op provincieniveau om seriële correlatie en willekeurige afhankelijkheid binnen provincies toe te laten.

Dit verzadigde model absorbeert alle provinciespecifieke maandelijke schokken, waaronder seizoenspatronen, macro-economische schommelingen, veranderingen in handhavingsintensiteit en andere tijdsvariërende versturende factoren die binnen dezelfde provincie en maand gemeenschappelijk zijn. De identificatie komt dus voort uit vergelijkingen binnen provincies van het aantal ongevallen met in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen vóór en na de invoering van de CBE-richtlijn.

Wij schatten een log-lineaire OLS-specificatie als primair model en een *Poissormodel* als robuustheidscontrole. In de log-lineaire specificatie meet de coëfficiënt van de interactieterm  $\text{foreign}_g * \text{post\_cbe}_t$  (aangeduid als  $\beta$ ) de procentuele verandering in ongevallen met in het buitenland geregistreerd voertuigen ten opzichte van Belgische voertuigen na de invoering van de CBE-richtlijn. Meer precies kan het geschatte effect worden geïnterpreteerd als  $\exp(\beta) - 1$ , wat de proportionele verandering in het aantal ongevallen met minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig ten opzichte van de controlegroep benadert. De *Poissormodel* specificatie, geschat met dezelfde vaste-effectenstructuur, biedt een aanvullende op tellingen gebaseerde robuustheidscontrole onder een andere functionele vorm.

### 3.3.3 Event-study-specificatie voor de toetsing van de parallele trendsaanname

Om de geldigheid van de parallele trendsaanname te beoordelen en de dynamische evolutie van het beleidseffect te onderzoeken, wordt een *event-study*-specificatie geschat die aansluit bij het verzadigde *difference-in-differences* model:

$$\log(y_{ptg}) = \sum_{k \neq -1} \delta_k [\text{foreign}_g * 1(\text{rel\_month}_t = k)] + \gamma X_{pt} + \alpha_g + \varepsilon_{ptg}$$

waarbij  $y_{ptg}$  staat voor het aantal ongevallen in provincie  $p$ , maand  $t$  en voor registratiegroep  $g$  (buitenlands of Belgisch);  $1()$  een indicatorfunctie is die gelijk is aan 1 wanneer aan de voorwaarde tussen haakjes is

voldaan, en 0 in het andere geval. Het model wordt geschat in logaritmische vorm, zodat de coëfficiënten kunnen worden geïnterpreteerd als benaderende procentuele veranderingen. De variabele "*rel\_month*" geeft het aantal maanden weer ten opzichte van mei 2015, waarbij maand  $-1$  (april 2015) als referentieperiode wordt weggelaten. Elke coëfficiënt  $\delta_k$  vertegenwoordigt het relatieve verschil in ongevallen met buitenlandse voertuigen ten opzichte van ongevallen met Belgisch geregistreerde voertuigen in maand  $k$  ten opzichte van deze referentieperiode, en beschrijft zo de dynamische evolutie van het beleidseffect vóór en na de invoering van de CBE-richtlijn. Ook in deze specificatie wordt gecontroleerd voor provinciale vaste effecten, maandvaste effecten en weersomstandigheden.

Indien de aannames van de DiD-benadering geldig zijn, zouden de coëfficiënten vóór de beleidsinvoering ( $k < 0$ ) willekeurig rond nul moeten schommelen, zonder een systematisch stijgend of dalend patroon te vertonen. Wanneer de *event-study*-schattingen vóór mei 2015 daarentegen consequent positief of negatief zouden zijn, wijst dit erop dat ongevallen met buitenlandse voertuigen al vóór de invoering van de richtlijn een afwijkende trend volgde. Een dergelijk patroon kan duiden op anticipatie-effecten — bijvoorbeeld gedragsaanpassingen als reactie op eerdere aankondigingen of discussies rond de richtlijn — of op andere gelijktijdige ontwikkelingen die specifiek bestuurders van buitenlandse voertuigen beïnvloedden. In dat geval zou een eenvoudig DiD-model reeds bestaande dynamieken ten onrechte kunnen toeschrijven aan de beleidsinterventie.

Daartegenover beschrijven de post-interventiecoëfficiënten ( $k > 0$ ) hoe ongevallen met in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen zich ontwikkelden na de invoering van het beleid. Een aanhoudend negatief patroon na mei 2015 is consistent met een daling van het aandeel ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen ten opzichte van Belgisch geregistreerde voertuigen na de invoering van de CBE-richtlijn, terwijl schattingen dicht bij nul zouden wijzen op een beperkt of afwezig meetbaar effect op de relatieve betrokkenheid bij ongevallen.

Samengevat vervullen de *event-study*-schattingen een dubbele rol: enerzijds fungeren zij als diagnostisch instrument om de plausibiliteit van de parallele trendsaanname te beoordelen, en anderzijds bieden zij een beschrijvende illustratie van het tijdstip en de richting van eventuele beleidsgerelateerde veranderingen in verkeersveiligheidsuitkomsten (Goodman-Bacon, 2021).

### 3.3.4 Robuustheidsanalyses en alternatieve specificaties

Om de gevoeligheid van de resultaten te toetsen, werden verschillende robuustheidsanalyses uitgevoerd. Deze omvatten placebo-tests met alternatieve beleidsdatums en alternatieve steekproeven op basis van complementaire modellen gebaseerd op aandelen. Daarnaast wordt ook een verzadigd vaste-effectenmodel geschat met behulp van *Poisson*-regressie. In de bijlage worden bovendien modellen gepresenteerd die gebaseerd zijn op ongevals aantallen, om aanvullend bewijs te leveren en te illustreren hoe de resultaten zich verhouden over verschillende uitkomstdefinities heen.<sup>4</sup>

De modellen worden geschat met R versie 4.0.2 en het *fixest* pakket, dat is ontworpen voor regressies met hoog-dimensionale vaste effecten en robuuste DiD-schattingen (Berge, 2018).

## 3.4 Beschrijvende patronen en pre-trendanalyse

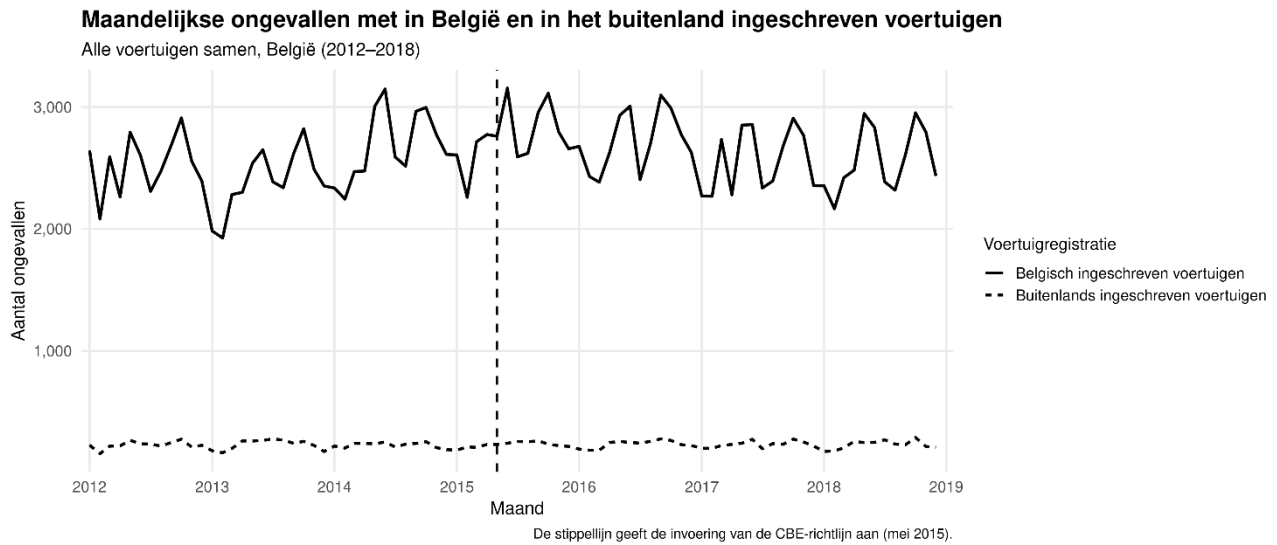
Vooraleer het causale effect van de CBE-richtlijn te schatten, is het belangrijk om eerst de onderliggende ongevalspatronen voor Belgisch en in het buitenland geregistreerde voertuigen te beschrijven. Een beschrijvende analyse biedt essentiële context voor de interpretatie van de DiD-resultaten, door inzicht te geven in langetermijntrends, seizoensvariatie, verkeerssamenstelling en verschillen tussen voertuigcategorieën. Deze patronen helpen bovendien om te beoordelen of de evolutie van ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen vóór de invoering van de richtlijn in grote lijnen vergelijkbaar was met die van Belgisch ingeschreven voertuigen — een cruciale voorwaarde voor de betrouwbaarheid van de daaropvolgende causale analyse.

Dit onderdeel presenteert daarom beschrijvende patronen en pre-trenddiagnoses voor maandelijkse ongevallen met Belgisch en in het buitenland geregistreerde voertuigen over de periode 2012-2018. In deze

<sup>4</sup> De analyse werd ook afzonderlijk uitgevoerd per voertuigtype (auto's, motorfietsen, vrachtwagens en bestelwagens). De bijbehorende resultaten kunnen op verzoek worden gedeeld, maar zijn vanwege hun omvang niet in het rapport opgenomen.

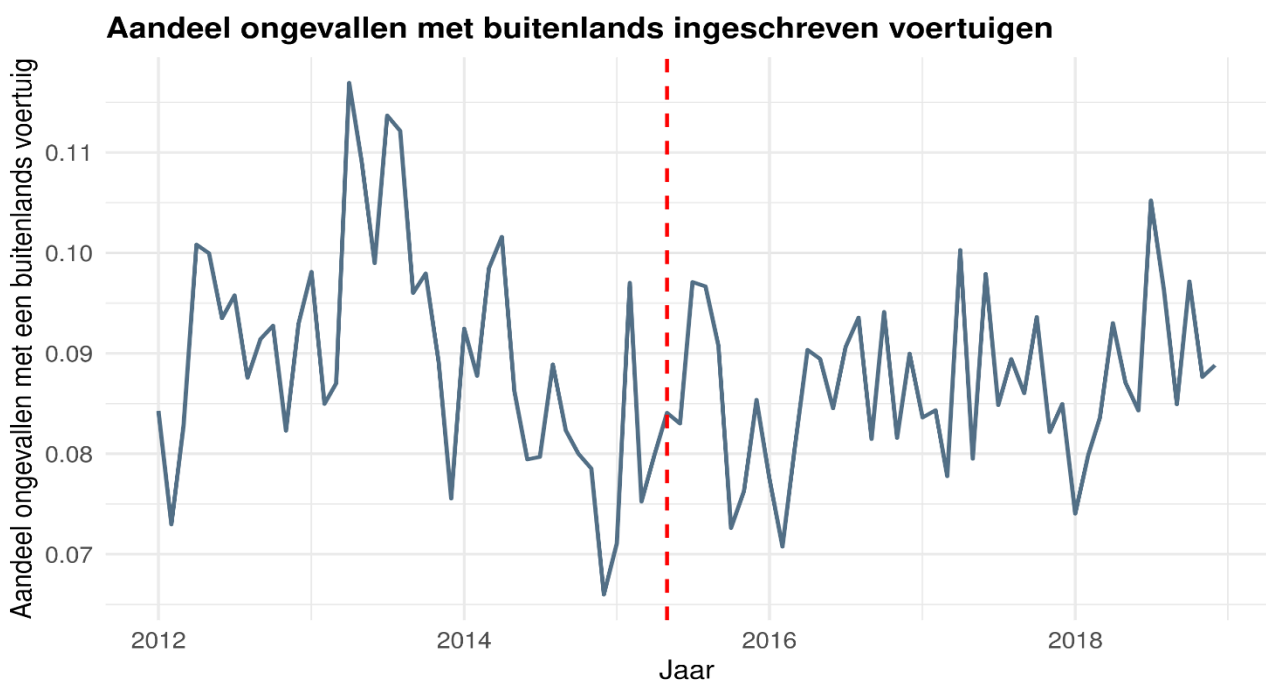
sectie worden cijfers weergegeven voor alle voertuigen samen, waarbij personenwagens, vrachtwagens, bestelwagens en motorfietsen worden geaggregeerd.

Ongevallen met Belgisch geregistreerde voertuigen domineren vanzelfsprekend de totale aantallen, wat de veel grotere vertegenwoordiging van deze voertuigen in het Belgische wagenpark weerspiegelt.



Figuur 2 Maandelijkse ongevallen met Belgische en in het buitenland geregistreerde voertuigen (2012–2018).

Zoals weergegeven in Figuur 2 varieert het maandelijkse aantal ongevallen met Belgisch geregistreerde voertuigen doorgaans tussen 2.000 en 3.000, terwijl het aantal ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen schommelt tussen ongeveer 200 en 400 per maand. Beide reeksen vertonen duidelijke seizoensschommelingen, met hogere ongevalsantallen in de lente- en zomermaanden en lagere aantallen in de winter. Daarnaast tonen zij in de periode vóór de beleidsinvoering gelijkaardige cyclische bewegingen, wat erop wijst dat er geen duidelijke divergentie is in de pre-interventiedynamiek. Dit vormt een eerste indicatie dat de parallelle trendsaanname plausibel is en motiveert de formele toetsing ervan met *event-study*-modellen in de volgende sectie. Tot slot is er op beschrijvend niveau geen scherpe breuk zichtbaar rond mei 2015, wat consistent is met een beleidseffect dat beperkt is in omvang ten opzichte van de onderliggende seizoensgebonden en structurele variatie.



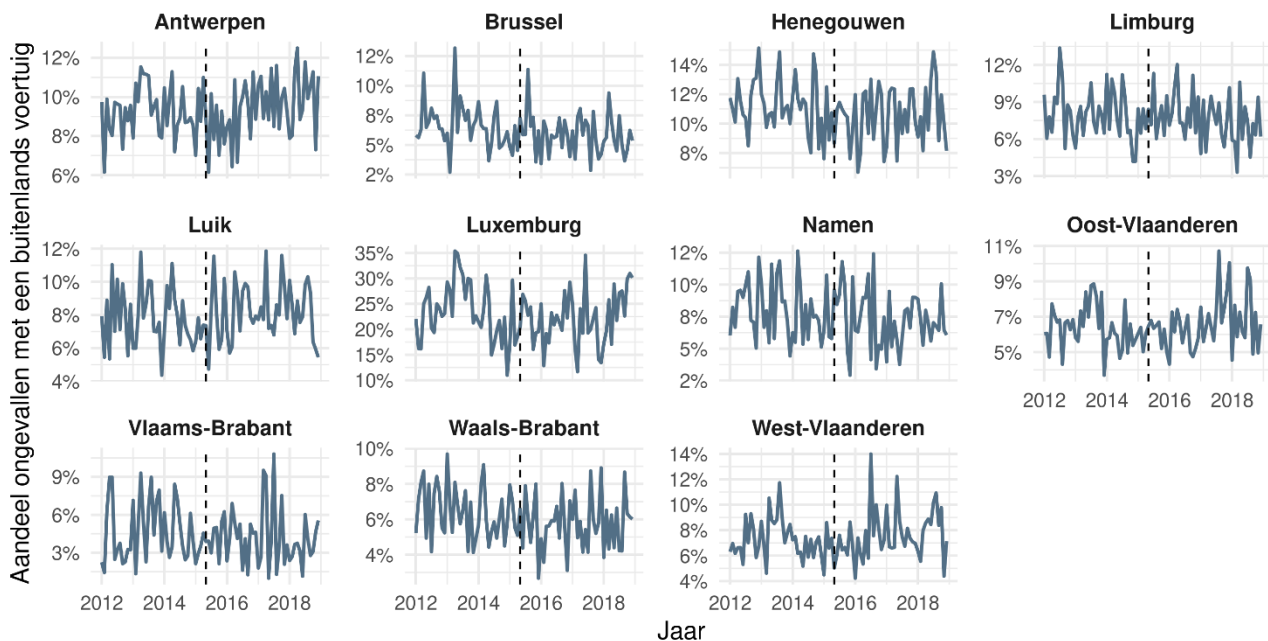
Figuur 3 Aandeel van ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen in het totaal aantal ongevallen.

Figuur 3 toont de maandelijkse evolutie van het aandeel ongevallen waarbij minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken was in België tussen over de periode 2012-2018. Uit de figuur blijkt dat in het buitenland geregistreerde voertuigen een relatief klein, maar niet verwaarloosbaar deel van het totale aantal ongevallen vertegenwoordigen, met aandelen die schommelen tussen ongeveer 7% en 11% over de beschouwde periode. De tijdreeks vertoont een uitgesproken seizoenspatroon, met hogere aandelen in de lente- en zomermaanden, wat samenhangt met toegenomen toeristisch verkeer en de aanwezigheid van grensoverschrijdende bezoekers. Figuur 3 laat verder zien dat het aandeel ongevallen met buitenlandse voertuigen vóór de invoering van de CBE-richtlijn in mei 2015 binnen een relatief stabiele bandbreedte fluctueert, zonder een aanhoudende stijgende of dalende trend. Hoewel op korte termijn schommelingen optreden, volgen deze geen systematisch richtinggevend patroon.

Rond het moment van beleidsinvoering (aangeduid met de stippellijn) is bovendien geen abrupte breuk zichtbaar. Dit suggereert dat eventuele beleidseffecten klein zijn in verhouding tot de onderliggende seizoens- en structuurvariatie. Deze bevindingen versterken de geloofwaardigheid van een vergelijking van ongevalstrends tussen Belgisch en in het buitenland geregistreerde voertuigen doorheen de tijd. Er zijn geen aanwijzingen voor een systematische divergentie vóór de beleidsinvoering die de tegenfeitelijke vergelijking zou ondermijnen, wat de geschiktheid van een DiD-opzet verder ondersteunt.

### Aandeel ongevallen met een buitenlands voertuig, per provincie

Maandelijkse evolutie in België (2012–2018)



De stippellijn geeft de invoering van de CBE-richtlijn aan (mei 2015).

Figuur 4 Aandeel van ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen in het totaal aantal ongevallen, per provincie (2012–2018).

Figuur 4 toont de maandelijkse evolutie van het aandeel ongevallen waarbij minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken was, uitgesplitst per provincie voor de periode 2012–2018. Hieruit blijkt een duidelijke heterogeniteit tussen provincies in het niveau van buitenlandse ongevalsbetrokkenheid. Grensprovincies vertonen systematisch hogere aandelen. In het bijzonder springt de provincie Luxemburg eruit, met aandelen die variëren tussen ongeveer 15% en 30%, wat samenhangt met haar rol als belangrijke transitregio en grensgebied. Ook Brussel en Antwerpen kennen relatief hoge aandelen in vergelijking met andere provincies, in lijn met hun internationale connectiviteit en het hoge volume aan niet-ingezetenen verkeer. Daarnaast is in vrijwel alle provincies een uitgesproken seizoenspatroon zichtbaar, met doorgaans hogere aandelen in de lente- en zomermaanden. Het feit dat gelijkaardige seizoenscycli optreden zowel vóór als na mei 2015 onderstreept het belang van het opnemen van maandvasten effecten in de empirische analyse.

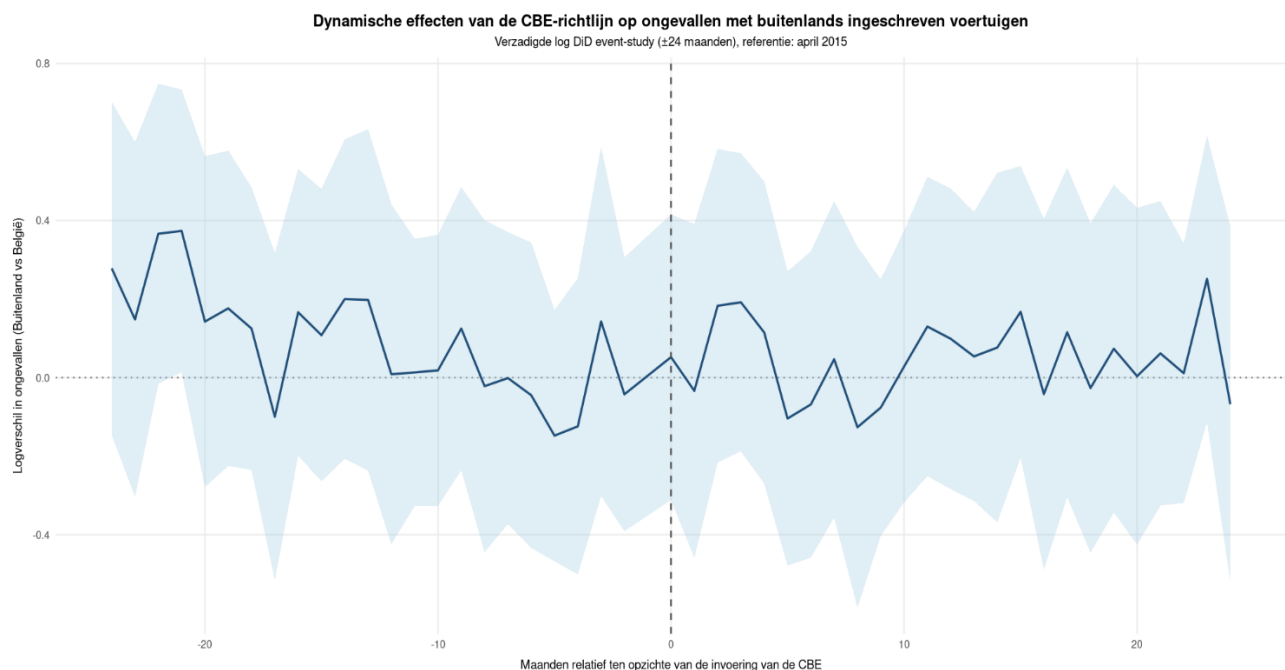
Wanneer we naar Figuur 4 kijken, zien we bovendien dat er vóór de invoering van de CBE-richtlijn in mei 2015 geen uitgesproken continue stijgende of dalende trend aanwezig is. Op basis van de maandelijkse cijfers

stellen we wel schommelingen vast, maar deze bewegingen wijzen niet op een divergentie vóór het beleid. Deze stabiliteit is vooral duidelijk zichtbaar in provincies zoals Antwerpen, Oost-Vlaanderen, Luik, Limburg en West-Vlaanderen. Daarnaast is er in deze provincies geen abrupte of structurele breuk waarneembaar rond mei 2015. Dit suggereert dat een eventuele impact van de CBE-richtlijn waarschijnlijk beperkt is in verhouding tot de onderliggende seizoensgebonden en provinciale variatie. In het algemeen lijkt de evolutie van het aandeel ongevallen met buitenlandse voertuigen vóór het beleid grotendeels parallel te verlopen tussen de provincies, ook al verschillen de niveaus onderling. Dit alles onderstreept zowel de noodzaak van een DiD-opzet in plaats van louter beschrijvende analyses, als de geloofwaardigheid van de gekozen identificatiestrategie.

Tabel 2 Gemiddeld aandeel buitenlandse voertuigen vóór en na de invoering van de CBE-richtlijn.

Periode	Gemiddelde	SD
Pre	9%	5.43%
Post	8.67%	5.17%

Tabel 2 rapporteert het gemiddelde en de standaardafwijking van het aandeel ongevallen met buitenlandse voertuigen vóór en na de invoering van de CBE-richtlijn. Gemiddeld daalt dit aandeel van 9% in de periode vóór het beleid naar 8,7% in de periode erna. Hoewel dit verschil klein is en louter beschrijvend van aard, wijst het op een bescheiden afname van de relatieve betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen na mei 2015. De aanzienlijke variabiliteit in de gegevens maakt duidelijk dat eenvoudige voor-/navergelijkingen onvoldoende zijn en motiveert het gebruik van een DiD-opzet die expliciet controleert voor seizoensinvloeden, provinciale heterogeniteit en gemeenschappelijke maandelijkse effecten. Deze beschrijvende statistieken bieden nuttige context, maar volstaan op zich niet om een causaal effect van de richtlijn vast te stellen.



Figuur 5 Verzadigde log-DiD event-study-schattingen.

Een cruciale identificatieaanname van de DiD-opzet is dat, bij afwezigheid van de CBE-richtlijn, ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen een gelijkaardig verloop zouden hebben gekend als ongevallen met Belgisch geregistreerde voertuigen. Om na te gaan of deze aanname standhoudt, kan onder meer een *event-study*-specificatie worden toegepast, zoals eerder vermeld. Na de schatting van de *event-study*-specificatie moet niet het niveau, maar vooral de helling van de coëfficiënten vóór de beleidsinvoering worden nagegaan. Een monotone stijging of daling, een uitgesproken niet-lineair patroon of een duidelijke structurele breuk vóór de beleidsinvoering kan wijzen op een schending van de parallele trendsaanname en op verschillen in pre-beleids-trends tussen de behandelde en de controlegroep. Coëfficiënten die daarentegen wel consistent positief of negatief zijn maar stabiel blijven in de tijd, duiden op niveauverschillen en niet op uiteenlopende trends, en ondermijnen de DiD-opzet niet.

Figuur 5 presenteert de dynamische *event-study*-schattingen op basis van de verzadigde log *difference-in-differences*-specificatie, met focus op de 24 maanden vóór en na de invoering van de CBE-richtlijn in mei 2015. Uit Figuur 5 blijkt dat de coëfficiënten vóór de beleidsinvoering rond nul fluctueren zonder een systematisch stijgende of dalende trend te vertonen. Hoewel de afzonderlijke maandelijkse schattingen variëren en de betrouwbaarheidsintervallen relatief breed zijn (wat het beperkte aantal clusters en de sterk verzadigde vaste effectenstructuur weerspiegelt) is er geen bewijs van een aanhoudende of monotone divergentie tussen ongevallen met in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen vóór de implementatie. Na de invoering van de CBE-richtlijn blijven de schattingen beperkt in omvang en fluctueren ze rond nul, met betrouwbaarheidsintervallen die vaak nul overlappen, wat suggereert dat eventuele veranderingen na de beleidsinvoering in ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen ten opzichte van Belgische voertuigen klein zijn in verhouding tot de totale variabiliteit. De *event-study* fungeert daarom zowel als diagnostisch instrument ter validatie van de identificatiestrategie, als beschrijvende illustratie van het tijdstip en de mogelijke persistentie van beleidseffecten illustreert.

Globaal genomen vertonen de dynamische schattingen geen duidelijke of aanhoudende divergentie vóór de beleidsinvoering tussen in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen. Hoewel de afzonderlijke maandelijkse coëfficiënten variëren en de inherente volatiliteit van de gegevens weerspiegelen, is er geen bewijs van een systematische stijgende of dalende trend voor de invoering die zou wijzen op een structurele breuk vóór de implementatie. Alles samen genomen ondersteunt het grafische bewijs de interpretatie dat de belangrijkste *difference-in-differences*-resultaten een bescheiden aanpassing na de beleidsinvoering weerspiegelen en niet het gevolg zijn van een reeds bestaande divergentie.

### 3.5 Resultaten

Deze sectie presenteert de belangrijkste empirische bevindingen over de impact van de CBE-richtlijn op ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen in België. De analyse maakt gebruik van een *difference-in-differences* (DiD)-opzet toegepast op maandelijkse gegevens op provincieniveau van mei 2012 tot april 2018. Onze primaire specificatie is een verzadigd *difference-in-differences*-model en de afhankelijke variabele is het aantal ongevallen in een gegeven provincie en maand waarbij minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken is. De coëfficiënt van interesse meet de verandering in het aantal ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen na mei 2015, relatief ten opzichte van Belgische voertuigen. Het model omvat provincie × maand vaste effecten om regionale verschillen en gemeenschappelijke seizoenspatronen te controleren, en de standaardfouten zijn geclusterd op provincieniveau.

Als aanvullend bewijs rapporteren we ook een aanvullende specificatie op basis van aandelen, die veranderingen in het aandeel ongevallen met minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig onderzoekt, evenals een *Poisson*-versie van het verzadigde telmodel als robuustheidscontrole.

Tabel 3 Effect van de CBE-richtlijn op ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen

	DiD op basis van het aandeel in het totaal aantal ongevallen	Verzadigde log-DiD op basis van het aantal ongevallen
post_cbe	-0.0050+ (0.075)	-
Foreign * post_cbe	-	-0,0526* (0,018)
temperatuur	-0.0001 (0.6315)	-
neerslag	-0.0020 (0.2493)	-
provinciale vaste effecten	ja	Provincie × maand vaste effecten
maandvaste effecten	ja	Provincie × maand vaste effecten
observaties	792	1584
Aangepaste R <sup>2</sup>	0.796	0.931

+p ≤ 0.10; \*p ≤ 0.05; \*\*p ≤ 0.01; \*\*\*p ≤ 0.001

Tabel 3 rapporteert de schattingen uit de DiD-modellen. De waarden tussen haakjes zijn p-waarden. Kolom (1) presenteert de aanvullende specificatie waarbij het aandeel ongevallen met in het buitenland

geregistreerde voertuigen als afhankelijke variabele wordt gebruikt, terwijl kolom (2) de verzadigde telling-gebaseerde specificatie weergeeft, waarbij het logaritme van het aantal ongevallen wordt gebruikt met provincie  $\times$  maand vaste effecten.

In het basisspecificatiemodel op basis van het aandeel (kolom 1) is de coëfficiënt voor *post\_cbe*, die de belangrijkste variabele van interesse vormt, negatief en statistisch significant op het 10%-niveau. De geschatte waarde van  $-0,0050$  impliceert dat het aandeel ongevallen waarbij in het buitenland geregistreerde voertuigen betrokken zijn, na de invoering van de CBE-richtlijn in mei 2015 met ongeveer 0,5 procentpunt is gedaald ten opzichte van de periode vóór het beleid.

Zoals weergegeven in Tabel 1 in de vorige sectie bedraagt het gemiddelde aandeel ongevallen met buitenlandse voertuigen vóór het beleid ongeveer 9%. De DiD-schatting komt daarmee overeen met een daling van ongeveer 5-6% in het aantal ongevallen waarbij een buitenlands voertuig betrokken is. Hoewel deze omvang beperkt is en statistisch significant op het 10%-niveau, ligt de richting van het effect in lijn met de doelstelling van de CBE-richtlijn, die beoogt de handhavingsprikkels voor bestuurders van in het buitenland geregistreerde voertuigen te versterken door de grensoverschrijdende uitwisseling van informatie te faciliteren. Deze schatting levert dus eerste aanwijzingen dat de richtlijn de relatieve betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen bij ongevallen mogelijk heeft vermindert.

Kolom 2 presenteert de verzadigde log-lineaire DiD-specificatie, die het aantal ongevallen met in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen binnen dezelfde provincie en maand vergelijkt, terwijl alle provinciespecifieke maandelijkse schokken worden geabsorbeerd. De geschatte interactiecoëfficiënt bedraagt  $-0,0526$  ( $p = 0,018$ ). Geïnterpreteerd als  $\exp(\beta) - 1$  impliceert dit een relatieve daling van ongeveer 5,1% in ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen ten opzichte van Belgische voertuigen na de invoering van de richtlijn. Dit betekent niet dat het aandeel ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen met 5 procentpunt is gedaald. Gegeven een gemiddelde pre-beleidsaandeel van ongeveer 9% komt een relatieve daling van 5,1% overeen met een afname van ongeveer 9% naar circa 8,5–8,6% van de ongevallen met in het buitenland ingeschreven voertuigen. De omvang van het effect is bescheiden maar statistisch significant op het 5%-niveau en sluit nauw aan bij de resultaten op basis van aandelen.

Hoewel de geschatte effecten in relatieve termen worden uitgedrukt, is het nuttig om deze resultaten om te zetten naar benaderende aantallen ongevallen om de interpretatie te vergemakkelijken. De voorkeurspecificatie suggereert een relatieve daling van ongeveer 5% in ongevallen waarbij in het buitenland geregistreerde voertuigen betrokken zijn na de invoering van de CBE-richtlijn. Uitgaande van het gemiddelde aantal ongevallen per provincie vóór de invoering van de richtlijn komt deze schatting overeen met ongeveer 130 tot 150 minder ongevallen per jaar op nationaal niveau waarbij in het buitenland geregistreerde voertuigen betrokken zijn. De omvang van deze daling verschilt per provincie: van ongeveer 3 tot 6 ongevallen per jaar in minder dichtbevolkte provincies, zoals Luxemburg en Namen, tot meer dan 20 ongevallen per jaar in sterk verkeersbelaste provincies, zoals Antwerpen en Oost-Vlaanderen.

Rekening houdend met de statistische onzekerheid suggereert het 95%-betrouwbaarheidsinterval een daling tussen ongeveer 1% en 9%, wat overeenkomt met een betekenisvolle maar gematigde afname van ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen. Hoewel deze cijfers als benaderingen moeten worden geïnterpreteerd, tonen zij aan dat zelfs een relatief kleine relatieve daling kan resulteren in een niet te verwaarlozen aantal vermeden ongevallen op nationaal niveau.

De geschatte coëfficiënten voor temperatuur en neerslag zijn klein en statistisch niet significant. Dit wijst erop dat, zodra seizoenseffecten worden opgevangen door maandvaste effecten, kortetermijnschommelingen in weersomstandigheden geen systematische invloed hebben op de relatieve betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen bij ongevallen, ook al kan het weer wel een effect hebben op het algemene ongevalsrisico.

Als robuustheidscontrole levert een *Poisson*-specificatie met dezelfde vaste-effectenstructuur een negatief effect van vergelijkbare omvang op (ongeveer  $-2,7\%$ ), hoewel de statistische significantie afneemt ( $p \approx 0,10$ ). De volledige *Poisson*-resultaten worden gerapporteerd in de bijlage. De consistentie in richting over de verschillende specificaties heent versterkt het vertrouwen in de belangrijkste bevindingen.

Zoals besproken in de vorige sectie tonen de event-study-schattingen geen systematische divergentie in trends vóór mei 2015, wat de plausibiliteit van de parallele trendaannamen ondersteunt. De post-treatmentcoëfficiënten zijn over het algemeen negatief, wat suggereert dat de daling in ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen rond het moment van implementatie is ontstaan en daarna aanhield,

eerder dan het gevolg te zijn van een scherpe eenmalige breuk. Aangezien de discussies en voorbereidende stappen voor de CBE-richtlijn voorafgingen aan de formele inwerkingtreding ervan, kan dit patroon een combinatie weerspiegelen van geleidelijke implementatie-effecten en gedragsreacties op een grotere handhavingszekerheid.

In het geheel genomen wijzen deze resultaten erop dat de invoering van de CBE-richtlijn gepaard gaat met een statistisch aantoonbare daling van de relatieve betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen bij ongevallen, wat consistent is met een gedragsreactie op de toegenomen pakkans. De bevindingen ondersteunen daarmee het standpunt van ETSC (2022) dat grensoverschrijdende handhavingsmechanismen de naleving van verkeersregels en de verkeersveiligheid verbeteren, en onderstrepen tegelijk het belang van blijvende samenwerking en gerichte initiatieven op EU-niveau. Dit benadrukt de meerwaarde van het behouden en verder versterken van gecoördineerde Europese handhaving.

Als aanvullende analyse werden ook DiD-modellen geschat waarbij het aandeel verkeersslachtoffers (dodelijk en niet-dodelijk) met in het buitenland geregistreerde voertuigen als uitkomstmaat werd gebruikt. Gezien de lagere frequentie en grotere volatiliteit van slachtofferuitkomsten richt de analyse zich op de aandeel-gebaseerde specificatie in plaats van op het verzadigde telmodel. Hoewel de geschatte coëfficiënt ook hier negatief is, blijkt deze niet statistisch significant zodra vaste effecten op provinciaal en maandelijks niveau worden opgenomen (zie Figuur 12 in de bijlage). Dit suggereert dat, hoewel de CBE-richtlijn samenhangt met een bescheiden daling in de relatieve betrokkenheid van buitenlandse voertuigen bij ongevallen, deze verandering zich niet vertaalt in een statistisch aantoonbare verschuiving in de verdeling van slachtoffers. Gezien de grotere volatiliteit en complexiteit van slachtoffercijfers richt de hoofdanalyse zich daarom op ongevalsbetrokkenheid eerder dan op slachtofferaandelen.

### 3.5.1 Robuustheids- en sensitiviteitsanalyses

Er werden verschillende robuustheidsanalyses uitgevoerd om de geloofwaardigheid van de basisschattingen uit het DiD-model te beoordelen en om na te gaan hoe gevoelig de resultaten zijn voor alternatieve modelspecificaties. Deze aanvullende analyses worden voornamelijk uitgevoerd met behulp van de aandeel-gebaseerde specificatie, die een genormaliseerde uitkomstmaat biedt en een vergelijking tussen verschillende modelleringsvarianten vergemakkelijkt. Ten eerste bevatten alle aandeel-gebaseerde specificaties vaste effecten voor provincie en maand. Provinciale vaste effecten absorberen blijvende verschillen tussen provincies in verkeersblootstelling, infrastructuur en mobiliteitspatronen, terwijl maandvaste effecten gemeenschappelijke seizoensvariatie in ongevallen en rijomstandigheden opvangen. Daarnaast worden weersvariabelen opgenomen om omgevingsfactoren te controleren die het ongevalsrisico kunnen beïnvloeden. De geschatte coëfficiënten voor deze controles zijn stabiel over de verschillende specificaties heen en hebben geen wezenlijke invloed op het geschatte beleidseffect.

Ten tweede worden de standaardfouten geclusterd op provinciaal niveau om rekening te houden met seriële correlatie en niet-geobserveerde schokken binnen provincies doorheen de tijd. Deze conservatieve aanpak leidt tot ruimere betrouwbaarheidsintervallen, maar verkleint het risico op schijnbare statistische significantie.

Ten derde schatten we, als onderdeel van de robuustheidsanalyse, versies van het DiD-model die elke registratiegroep (Belgische versus buitenlandse voertuigen) toestaan om hun eigen lineaire tijdstrend te volgen. In lijn met gangbare praktijken in toegepast DiD-onderzoek werd zo nagegaan in hoeverre de resultaten robuust blijven wanneer behandelde en controlegroep verschillende onderliggende trends kunnen vertonen. Het gebruik van differentiële lineaire trends als diagnostisch hulpmiddel is goed ingeburgerd in de DiD-literatuur en wordt aanbevolen wanneer onderzoekers vermoeden dat er onderliggende heterogeniteit in hellingen aanwezig is (Angrist & Pischke, 2009; Duflo & Mullainathan, 2004; Goodman-Bacon, 2021). Recente methodologische bijdragen benadrukken eveneens dat het testen van gevoeligheid voor groepsspecifieke trends een belangrijke stap is om mogelijke schendingen van de parallel trendsaanname te detecteren (Clarke & Schythe, 2021; Roth, 2022; Sun & Abraham, 2021).

Tot slot werden placebo-timingtesten uitgevoerd om na te gaan of de geschatte daling van het aandeel ongevallen met buitenlandse voertuigen na 2015 zou kunnen worden verklaard door toevallige timing of niet-gerelateerde langetermijntrends. Met behulp van een uitgebreidere steekproef voor de periode 2008–2019 werd het complementaire aandeel-gebaseerde DiD-model opnieuw geschat, waarbij fictieve invoeringsdata werden toegekend in verschillende jaren vóór het beleid (2011–2014) en in één jaar na het beleid (2016). De meeste placebo-coëfficiënten zijn klein en statistisch niet significant, al wordt voor één placebojaar een bescheiden negatief effect vastgesteld. Belangrijk is dat de placeboresultaten geen systematisch of monotoon

patroon vertonen naarmate de fictieve invoeringsdatum dichterbij mei 2015 komt. Dit suggereert dat het aandeel ongevallen met buitenlandse voertuigen weliswaar enige geleidelijke langetermijnvariatie vertoont, maar dat de timing en persistentie van de waargenomen daling het nauwst samenhangen met de daadwerkelijke invoering van de CBE-richtlijn. Als bijkomende sensitiviteitsanalyse werd het complementaire aandeel-gebaseerde model ook geschat na uitsluiting van voertuigen die in het Verenigd Koninkrijk, Ierland en Denemarken zijn ingeschreven. Deze landen wijken institutioneel af van de kern van de EU-27 en vertegenwoordigen een relatief groot aandeel van het buitenlandse verkeer in België. Het geschatte post-CBE-effect blijft negatief en van vergelijkbare grootte ( $-0,36$  procentpunt), al neemt de statistische significantie af tot het 10%-niveau. Dit wijst erop dat het hoofdresultaat niet wordt gedreven door een beperkt aantal landen met een groot verkeersvolume, maar weerspiegelt tegelijk de verminderde statistische kracht in de beperktere steekproef. De gedetailleerde resultaten zijn opgenomen in de bijlage.

Gezamenlijk wijzen deze robuustheidsanalyses erop dat de complementaire schattingen op basis van ongevalsandelen niet worden gedreven door seizoenseffecten, provinciespecifieke vertekenende factoren, toevallige timing of verschillen in pre-interventietrends. Zij ondersteunen de interpretatie dat de waargenomen daling van het aandeel ongevallen met buitenlandse voertuigen na 2015 een bescheiden maar statistisch aantoonbare reactie is op de invoering van de CBE-richtlijn.

### 3.6 Discussie

Deze studie onderzoekt de impact van de EU-richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving (CBE) op verkeersveiligheidsuitkomsten in België, met een focus op ongevallen waarbij minstens één in het buitenland geregistreerd voertuig betrokken is. Op basis van een rijke dataset die variatie toelaat tussen Belgische en buitenlandse voertuigen per provincie en per maand, werd een *difference-in-differences*-model toegepast. De hoofdspecificatie maakt gebruik van een verzadigde vaste effectenstructuur die het aantal ongevallen met in het buitenland en in België geregistreerde voertuigen per maand en per provincie vergelijkt, aangevuld met aandeel-gebaseerde modellen en aanvullende robuustheidscontroles zoals placebotests en alternatieve DiD-specificaties.

Onze bevindingen wijzen erop dat de CBE-richtlijn gepaard ging met een meetbare en betekenisvolle verbetering van de verkeersveiligheid in België. We vinden dat de CBE-richtlijn geassocieerd is met een daling van ongeveer 0,5 procentpunt in het aandeel ongevallen met in het buitenland ingeschreven voertuigen, ten opzichte van Belgische voertuigen in de aanvullende aandeel-gebaseerde specificatie. Gegeven een gemiddeld pre-beleidsaandeel van ongeveer 9% komt dit overeen met een daling tot ongeveer 8,5% van de ongevallen met in het buitenland ingeschreven voertuigen. De voorkeurspecificatie met verzadigde log-DiD suggereert een relatieve daling van ongeveer 5% in ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen ten opzichte van Belgische voertuigen na de implementatie. In praktische termen is deze relatieve daling consistent met een afname van het aandeel van ongeveer 9% naar circa 8,5–8,6%, en niet met een daling van 5 procentpunt. Hoewel deze omvang bescheiden kan lijken, is de richting van het effect in overeenstemming met de doelstelling van de CBE-richtlijn.

Wanneer deze schatting op nationaal niveau wordt geëxtrapoleerd op basis van het gemiddelde aantal ongevallen per provincie vóór de invoering van het beleid, komt dit overeen met ongeveer 130-150 minder ongevallen per jaar waarbij in het buitenland geregistreerde voertuigen betrokken zijn. Rekening houdend met statistische onzekerheid suggereert het 95%-betrouwbaarheidsinterval dat deze daling zich situeert tussen ongeveer 1% en 9%. Op provinciaal niveau blijkt de impact te variëren, van circa 2 tot 6 vermeden ongevallen per jaar in minder bevolkte provincies zoals Luxemburg en Namen, tot meer dan 20 vermeden ongevallen per jaar in provincies met een hogere verkeersdichtheid, zoals Antwerpen en Oost-Vlaanderen.

Het is belangrijk te benadrukken dat deze cijfers niet mogen worden geïnterpreteerd als een daling van het totale aantal ongevallen, maar wel als een afname van de relatieve betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen bij ongevallen. Dit sluit nauw aan bij het werkingsmechanisme van de CBE-richtlijn. De resultaten suggereren dan ook dat grensoverschrijdende handhaving, in samenwerking met andere EU-lidstaten, kan leiden tot meetbare verkeersveiligheidswinsten, zelfs in contexten waar in het buitenland geregistreerde voertuigen slechts een beperkt aandeel van het totale verkeer vertegenwoordigen. In het algemeen stemmen deze bevindingen overeen met de evaluatie van ETSC (2022), die stelt dat grensoverschrijdende handhaving bijdraagt tot een betere naleving van verkeersregels. De resultaten onderstrepen bovendien het belang van voortdurende samenwerking tussen nationale autoriteiten om de doeltreffende werking van EU-brede handhavingsskaders te waarborgen.

Deze bevindingen leveren nieuwe empirische evidentie binnen de bredere literatuur over grensoverschrijdende verkeershandhaving en afschrikking. De bestaande literatuur bevat nauwelijks analyses van de impact van de CBE-richtlijn op verkeersveiligheidsuitkomsten, waardoor deze studie een duidelijke bijdrage vormt aan het onderzoeksveld. In het algemeen toont de studie aan dat het harmoniseren en versterken van grensoverschrijdende handhaving op betekenisvolle wijze kan bijdragen aan verbeterde verkeersveiligheid. Naarmate de mobiliteit binnen de Europese Unie verder toeneemt, blijft het essentieel dat verkeersregels consequent worden toegepast, ongeacht het land van inschrijving van het voertuig. Dit vormt een cruciaal element van een doeltreffend en rechtvaardig verkeersveiligheidsbeleid. Toekomstig onderzoek kan voortbouwen op deze resultaten door dieper in te gaan op gedragsmechanismen, handhavingsintensiteit en de heterogeniteit van effecten naar wegtype, handhavingstechnologie en bestuurdersgroepen.

### 3.7 Beperkingen

Hoewel de DiD-modellen een gestructureerde en breed toegepaste aanpak bieden om het causale effect van de CBE-richtlijn te schatten, dienen bij de interpretatie van de resultaten verschillende beperkingen in acht te worden genomen. Ten eerste kan de analyse niet volledig uitsluiten dat andere verkeersveiligheidsmaatregelen die in dezelfde periode werden ingevoerd, een invloed hebben gehad op de resultaten. Tijdens de studieperiode breidde België het gebruik van trajectcontroles, ANPR-handhaving (*Automatic Number-Plate Recognition*) en regionale verkeershandhaving uit, en vonden in verschillende provincies verbeteringen aan de autosnelweginfrastructuur plaats. Indien dergelijke maatregelen onevenredig sterk effect hadden op buitenlandse bestuurders — bijvoorbeeld omdat zij geconcentreerd waren op belangrijke interstedelijke verkeersassen — dan kunnen de schattingen deze effecten gedeeltelijk toeschrijven aan de CBE-richtlijn. De modellen identificeren relatieve veranderingen tussen Belgisch en in het buitenland geregistreerde voertuigen, maar laten niet toe om overlappende hervormingen die beide groepen verschillend beïnvloeden volledig van elkaar te onderscheiden.

De resultaten worden ook mee bepaald door de beschikbare data. Hoewel de administratieve ongevallenregistraties een uitgebreid overzicht bieden van alle gemelde ongevallen, bevatten zij geen blootstellingsmaten zoals afgelegde voertuigkilometers, grensoverschrijdende verkeersstromen, toeristische intensiteit of vrachtvolumes. Indien de mobiliteit van buitenlandse bestuurders om redenen los van de richtlijn is toegenomen of afgenomen, kunnen veranderingen in ongevals- of slachtofferaantallen eerder wijzen op verschuivingen in blootstelling dan op gedragsveranderingen. Slachtoffergegevens zijn bovendien bijzonder volatiel, onder meer door ongevallen met meerdere slachtoffers. De aggregatie op maand- en provincieniveau maskeert daarnaast variatie binnen provincies, en de databank bevat geen informatie over overtredingsdetectie, boetebetaling of naleving, wat de analyse van onderliggende mechanismen beperkt. Ook beperkingen in steekproefomvang spelen een rol in de robuustheid van sommige schattingen.

Gezamenlijk doen deze beperkingen geen afbreuk aan de gehanteerde empirische strategie, maar impliceren zij wel dat de geschatte effecten moeten worden geïnterpreteerd als netto relatieve veranderingen die samenhangen met de invoering van de CBE-richtlijn, eerder dan als een zuivere isolatie van dit beleid ten opzichte van alle andere gelijktijdige invloeden. De bevindingen leveren beleidsrelevante inzichten in de manier waarop ongevallen en slachtoffers met in het buitenland geregistreerde voertuigen zijn geëvolueerd na de invoering van de richtlijn, maar laten niet toe om het effect van de CBE-richtlijn volledig los te koppelen van bredere veranderingen in handhaving, mobiliteit of verkeersveiligheidscontext in dezelfde periode.

### 3.8 Aanbevelingen

De bevindingen suggereren verschillende beleidsopties om de impact van grensoverschrijdende verkeersveiligheidshandhaving te vergroten. Aangezien de CBE-richtlijn de verkeersveiligheidsuitkomsten lijkt te hebben verbeterd, zou het aangewezen zijn om de mechanismen die grensoverschrijdende opvolging van verkeersovertredingen mogelijk maken verder uit te breiden en te versterken. Voor handhavingsinstanties in de EU-lidstaten is tijdige toegang tot betrouwbare voertuigregistratiegegevens essentieel. De technische en administratieve infrastructuur voor de uitwisseling van grensoverschrijdende informatie kan via bijkomende investeringen verder worden uitgebreid en geoptimaliseerd, om resterende handhavingshiaten die straffeloosheid mogelijk maken verder te verkleinen.

In december 2024 keurde de Europese Commissie een herziene versie van de CBE-richtlijn goed, met als doel de tekortkomingen van het eerdere kader aan te pakken: ongeveer 40% van de grensoverschrijdende overtredingen bleef immers onbestraft door problemen bij de identificatie van overtreders of de effectieve

inning van boetes. Naast een verbeterde identificatie van overtreeders werd ook het toepassingsgebied uitgebreid met bijkomende gevaarlijke gedragingen, zoals het niet respecteren van de veiligheidsafstand, gevaarlijk inhalen en vluchtmisdrijf. Zodra de lidstaten deze herziening hebben omgezet in nationale wetgeving en voldoende ongevals- en handavingsgegevens beschikbaar zijn, kan een gelijkaardige studie worden uitgevoerd om de meerwaarde van deze herziening te evalueren en eventuele tekortkomingen van de oorspronkelijke CBE-richtlijn te kwantificeren.

Naast beleidsmatige maatregelen is het ontwikkelen van meer geïntegreerde databanken een cruciale volgende stap. Het combineren van administratieve ongevalsgegevens met gedetailleerde informatie over handavingsactiviteiten — zoals alcohol- en drugscontroles, de timing en locatie van traject- en flitspalen — en met blootstellingsgegevens zoals verkeersvolumes per provincie, zou toelaten om het effect van de CBE-richtlijn op rijgedrag nauwkeuriger te identificeren. Dergelijke datakoppelingen maken het ook mogelijk om het effect van de richtlijn beter te onderscheiden van andere gelijktijdige interventies, zoals de uitrol van nieuwe handavingstechnologieën. Daarnaast zou harmonisatie van gegevens tussen lidstaten, met consistente definities van letselernst, voertuigcategorieën en overtredingstypes, robuustere grensoverschrijdende vergelijkingen mogelijk maken. Aangezien de CBE-richtlijn in eerste instantie ingrijpt op verkeersovertredingen, ligt het bovendien voor de hand om, zodra de gegevens beschikbaar zijn, ook causale analyses uit te voeren op basis van overtredingsdata. In dit rapport werd immers enkel het indirecte effect van de richtlijn op verkeersveiligheidsuitkomsten onderzocht.

Vanuit methodologisch oogpunt zouden rijkere databronnen met informatie over blootstelling, zoals afgelegde voertuigkilometers, toelaten om de causale onderzoeksopzet verder te verfijnen. Het opnemen van ruimtelijke afhankelijkheid en grensoverschrijdende spillovereffecten zou daarbij bijzonder waardevol zijn, aangezien verkeersgedrag in grensprovincies kan worden beïnvloed door het handavingsniveau in naburige landen. Naarmate betere gegevens beschikbaar komen, kunnen toekomstige evaluaties baat hebben bij een combinatie van DiD-modellen met structurele of gedragsmodellen die expliciet beschrijven hoe bestuurders reageren op veranderingen in de pakkans.

Tot slot onderstrepen de resultaten het belang van blijvende grensoverschrijdende samenwerking op het vlak van verkeersveiligheid. De mobiliteit binnen de Europese Unie blijft toenemen en handavingskaders moeten gelijktijdig mee evolueren. Het versterken van de consistentie van sancties, het verkorten van doorlooptijden voor grensoverschrijdende kennisgevingen en het vergroten van de publieke bekendheid met de afdwingbaarheid van verkeersregels over de landsgrenzen heen, kunnen er samen toe bijdragen dat bestuurders van in het buitenland geregistreerde voertuigen worden geconfronteerd met dezelfde afschrikkende werking als bestuurders van Belgisch geregistreerde voertuigen.

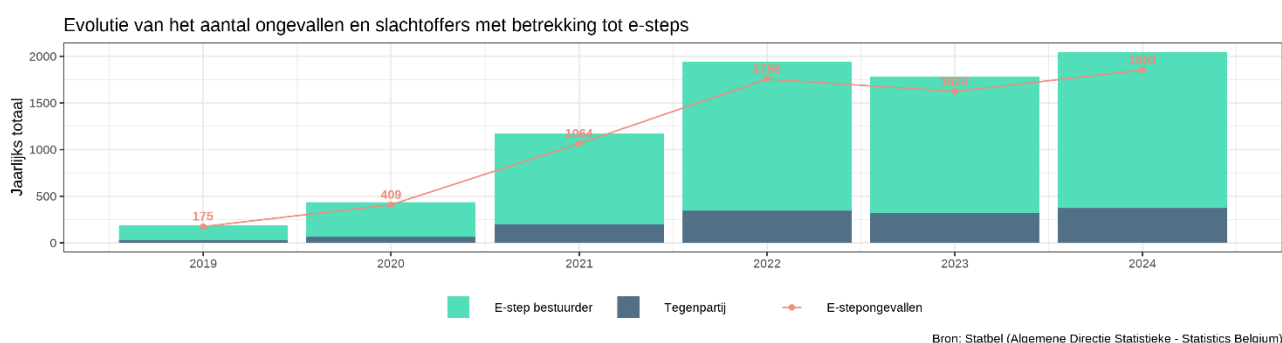
# 4 Heeft de regelgeving van 2022 voor gemotoriseerde voortbewegingstoestellen het aantal slachtoffers met e-steps verminderd? Een analyse op basis van een *interrupted time series-analyse*

## 4.1 Achtergrond

### 4.1.1 E-steps en verkeersveiligheid

Ondanks hun voordelen brengen e-steps ook duidelijke risico's met zich mee. Die houden verband met het voertuig zelf (zoals kleinere wielen en minder krachtige remmen), met het gedrag van gebruikers (rijden op het voetpad, het niet dragen van een helm), maar ook met andere weggebruikers, bijvoorbeeld door een gebrek aan alertheid of voorspelbaarheid (Störmann et al., 2020; Slootmans, 2024).

Sinds 2019 laten de politiecijfers over ongevallen met lichamelijk letsel toe om e-stepgebruikers afzonderlijk te identificeren. Deze gegevens tonen aan dat zowel het aantal ongevallen met een e-step als het aantal gewonde slachtoffers daarbij sinds die datum gestaag is toegenomen, met uitzondering van 2023.



Figuur 6 Evolutie van het aantal ongevallen en slachtoffers met betrekking tot e-steps.

In 2024 bedroeg het totale aantal slachtoffers bij e-stepongevallen 2.044. Dat is 10,8 keer meer dan in 2019, toen 189 slachtoffers werden geregistreerd. Het aantal ongevallen volgde een gelijkaardig patroon en liep in 2024 op tot 1.853, wat eveneens een vertienvoudiging betekent ten opzichte van 2019. Tabel 4 geeft een uitsplitsing van deze evolutie naar letselernst. Vooral het aantal zwaargewonden nam sterk toe, wat erop wijst dat e-stepongevallen niet alleen frequenter worden, maar ook ernstiger. Hoewel ook het aantal dodelijke slachtoffers is gestegen, blijft dit absolute aantal laag, waardoor de cijfers met voorzichtigheid geïnterpreteerd moeten worden. Deze cijfers moeten bovendien worden bekeken in het licht van het sterk toegenomen gebruik van e-steps in dezelfde periode (+ 139% tussen 2020 en 2024; Vias institute, 2023).

Tabel 4 Evolutie van het aantal slachtoffers bij ongevallen met een e-step naar letselernst (2019–2024)

	2019	2024	Evolutie 2019-2024
Lichtgewonden	180	1921	+967%
Zwaargewonden	8	119	+ 1387%
Doden 30 dagen	0	3	+ 3
<b>Alle slachtoffers</b>	<b>189</b>	<b>2044</b>	<b>+ 982%</b>

De internationale literatuur toont een gelijkaardige evolutie. In Wenen nam het aantal gewonde patiënten tussen 2018 en 2021 met ongeveer een factor negentien toe (Frank et al., 2024). In de Verenigde Staten steeg het aantal slachtoffers van e-steps tussen 2017 en 2022 met meer dan 45% per jaar (Fernandez et al., 2024).

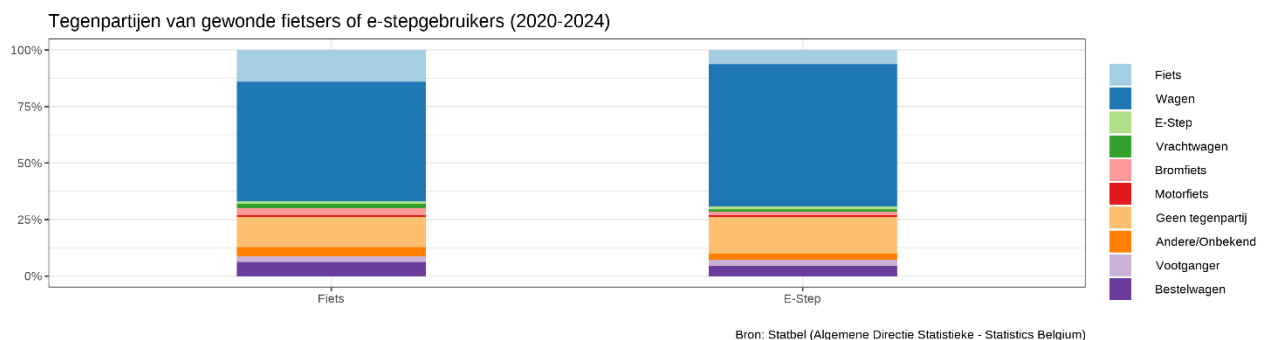
Een andere invalshoek om de impact van e-steps op de verkeersveiligheid te beoordelen, is de ernst van de ongevallen. Die wordt doorgaans berekend als het aantal doden per 1.000 ongevallen, maar door het lage absolute aantal dodelijke slachtoffers is deze indicator weinig stabiel. Daarom werd ook gekeken naar het aantal zwaargewonden als alternatief, wat een robuuster beeld oplevert. Voor de periode 2019–2024 bedraagt de ernstgraad van e-stepongevallen 221. Ter vergelijking: in dezelfde periode lag de ernstgraad van fietsongevallen op 259. Voor tegenpartijen is de ernst vergelijkbaar in beide groepen, maar bij de bestuurders zelf is het verschil opvallend: de ernst bedraagt 57 voor e-stepgebruikers tegenover 102 voor fietsers.

Tabel 5 Aangepaste ernst van ongevallen voor bestuurders en tegenpartijen van e-steps en fietsen (2019–2024)

	<b>E-step</b>	<b>Fiets</b>
Bestuurder	57	102
Tegenpartij	165	158
<b>Algemeen</b>	<b>221</b>	<b>259</b>

Een analyse van honderd politierapporten over verkeersongevallen met minstens één elektrische step in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest in 2020 toont aan dat de e-stepgebruiker in 46% van de gevallen als hoofdverantwoordelijke wordt aangeduid (De Vos et al., 2023). In 35% van de ongevallen is er sprake van gedeelde aansprakelijkheid. In de meeste gevallen gaat het om ongevallen tussen e-steps en gemotoriseerde voertuigen.

De ongevallendata van Statbel geven een meer gedetailleerd beeld van de tegenpartijen bij ongevallen met lichamelijk letsel waarbij e-stepgebruikers betrokken zijn. Figuur 7 toont een uitsplitsing van het type tegenpartij bij ongevallen met gewonde of overleden e-stepgebruikers en vergelijkt dit met fietsers. In 72% van de ongevallen met een gewonde e-stepgebruiker was de tegenpartij een gemotoriseerd voertuig. In 3,2% van de gevallen ging het om een voetganger, wat vergelijkbaar is met fietsers. Tot slot had 15% van de gewonde e-stepgebruikers geen tegenpartij. Dit aandeel ligt iets hoger dan bij gewonde fietsers (12,7%). Statbelgegevens en politierapporten geven echter slechts een gedeeltelijk beeld van de werkelijkheid, aangezien zij enkel betrekking hebben op ongevallen met lichamelijk letsel die bij of door de politie werden gemeld.



Figuur 7 Type tegenpartij bij fiets- en e-stepongevallen.

Ziekenhuisgegevens schetsen een ander beeld. Op basis van acht studies met ziekenhuisdata concludeerde de OESO in 2020 dat slechts 4% van de e-stepongevallen een andere weggebruiker betrof (ITF & OECD, z.d.). Studies in Spanje, Israël en Duitsland tonen aan dat valpartijen veruit de belangrijkste oorzaak zijn van e-stepongevallen, veel vaker dan botsingen met andere weggebruikers (Coelho et al., 2021; Shichman et al., 2022; Störmann et al., 2020). Een analyse van 3.331 patiëntendossiers van personen die op de spoedgevallendienst werden opgenomen met een e-stepgerelateerd letsel, wijst uit dat slechts 4,8% van de slachtoffers voetgangers waren die door een e-step werden aangereden (Shichman et al., 2022).

Ondanks het relatief beperkte aantal dodelijke slachtoffers bij e-stepongevallen vereist een aanzienlijk deel van de gewonde slachtoffers een intensieve medische behandeling, vaak met een chirurgische ingreep of opname op de afdeling intensieve zorg (Dhillon et al., 2020; Liew et al., 2020). Een opvallend en consistent patroon in meerdere Amerikaanse studies is het hoge aandeel hoofdletsels, die vaak ongeveer een derde van alle vastgestelde letsels uitmaken (Aizpuru et al., 2019; Bauer et al., 2020; Bresler et al., 2019; Störmann et al., 2020). Een grootschalige Duitse studie bij 538 ongevalsslachtoffers onderstreept deze ernst nog sterker: 83% van de betrokkenen liep een ernstig hoofd- of aangezichtsletsel op (*Abbreviated Injury Scale* [AIS]  $\geq 2$ )

(Hartz et al., 2025). De meest voorkomende ernstige letsels waren subarachnoidale bloedingen, schedelbasisfracturen en meervoudige ribfracturen. Een studie uit Polen wijst daarnaast ook de ledematen aan als meest voorkomende letsellocatie (51%), gevolgd door hoofd en aangezicht (36%) (Kłosiewicz et al., 2024). Ziekenhuisgegevens uit België bevestigen dit beeld: 60% van de zwaargewonde e-stepgebruikers liep een ernstig hoofdletsel op, terwijl bij 24% ook letsels aan heup en bovenbenen werden vastgesteld (Bouwen, 2024).

De hoge prevalentie van ernstige hoofdletsels kan grotendeels worden verklaard door het lage helmgebruik bij e-stepgebruikers. Observationale gegevens maken dit veiligheidsprobleem duidelijk. Bij een vergelijking van ongevalsslachtoffers die werden opgenomen op de spoedgevallendienst in Washington D.C. bleek dat e-stepgebruikers aanzienlijk minder vaak een helm droegen dan fietsers (2% tegenover 66,4%) (Cicchino et al., 2021). Een andere Amerikaanse studie stelde vast dat gebruikers van gedeelde e-steps 70% minder vaak een helm dragen dan gebruikers van particuliere e-steps (Frye et al., 2024). Dit gedragspatroon draagt rechtstreeks bij tot een hogere letselernst.

Alles samen tonen de gegevens duidelijk aan dat e-steps weliswaar niet leiden tot een hoog aantal dodelijke slachtoffers, maar wel gepaard gaan met een aanzienlijk risico op ernstige, zorgintensieve en potentieel levensingrijpende letsels. Deze zware letsels brengen bovendien aanzienlijke gezondheidskosten met zich mee, met in Polen een geraamde mediane hospitalisatiekost van 291 dollar (Kłosiewicz et al., 2024).

Hoewel e-steps een belangrijke rol spelen in de ontwikkeling van nieuwe mobiliteitsvormen, hebben ze een aantoonbare impact op de verkeersveiligheid. In juli 2022 trad daarom een nieuwe regelgeving in werking om deze problematiek aan te pakken. Het doel van deze casus is om de impact van deze nieuwe regelgeving te evalueren op het maandelijks aantal slachtoffers bij e-stepongevallen (zowel bestuurders als tegenpartijen, en zowel privé- als gedeelde e-steps) in België, door het verloop tussen januari 2019 en juni 2022 te vergelijken met de periode van juli 2022 tot december 2024.

## 4.1.2 Beleidscontext

Sinds 2007 voorziet de Wegcode in een specifieke categorie voor gemotoriseerde "voortbewegingstoestellen", waaronder gemotoriseerde voertuigen met één of meer wielen en een maximumsnelheid van 25 km/u. Tot deze categorie behoren ook elektrische steps (e-steps), die gelijk zijn op klassieke steps maar worden aangedreven door een elektrische motor met batterij.

E-stepgebruikers kunnen beschikken over een eigen toestel of, in de meeste grote steden, via een smartphone een gedeeld toestel ontgrendelen dat eigendom is van een verhuurbedrijf. Hoewel het gebruikersprofiel en de motivatie verschillen tussen privé- en gedeelde toestellen, zijn beide de voorbije jaren sterk in populariteit toegenomen. Dit is te verklaren door hun functionele voordelen (betaalbaarheid, toegankelijkheid in stedelijke context, multimodaliteit, ...) en door de waarden en behoeften waaraan zij tegemoetkomen, zoals een verminderde milieu-impact, een gevoel van vrijheid en aandacht voor gezondheid en welzijn (Espinoza et al., 2019; Vandael Schreurs et al., 2023).

Als reactie op het toegenomen gebruik en het stijgende aantal slachtoffers werd de Wegcode aangepast met meer specifieke regels voor "gemotoriseerde voortbewegingstoestellen", waaronder e-steps. Deze regelgeving, die op 1 juli 2022<sup>5</sup>, in werking trad, stelt gebruikers van deze toestellen gelijk met fietsers in plaats van voetgangers. Hierdoor zijn zij onderworpen aan de verkeersregels voor fietsers. De belangrijkste gevolgen en bepalingen van deze hervorming zijn:

1. Het verbod om met e-steps op het voetpad te rijden; voortaan moeten zij gebruikmaken van het fietspad (of, bij afwezigheid daarvan, de rijbaan).
2. Een maximumsnelheid van 25 km/u, met bijkomende beperkingen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (8 km/u in bepaalde voetgangerszones en 20 km/u op de rest van het grondgebied).
3. Een minimumleeftijd van 16 jaar om een e-step te besturen (behalve in woonerven, voetgangerszones en ontmoetingsgebieden, evenals op speelstraten en -wegen).
4. Een verbod op het vervoeren van een passagier.
5. De verplichting om e-steps buiten de rijbaan en parkeerzones te stallen, behalve op specifieke parkeerplaatsen aangeduid met verkeersborden M21 tot M24.

<sup>5</sup> 15 MEI 2022. – Wet tot wijziging van het koninklijk besluit van 1 december 1975 houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg, wat betreft de reglementering van voortbewegingstoestellen, BS 15 juni 2022, p. 50763.

## 6. Een uitbreiding van de verplichte uitrusting: reflectoren, zijreflectoren, remmen en een geluidssignaal.

Deze regelgeving beoogt gevaarlijk gedrag te beperken en het juridische kader voor deze nieuwe stedelijke voortbewegingstoestellen te verduidelijken. Daarnaast moeten e-steps voldoen aan de EN17128-norm, die veiligheidsvereisten vastlegt voor lichte elektrische voertuigen (zoals snelheid, remsysteem en batterijbeheer), evenals aan de nationale wetgeving. Concreet moeten e-steps uitgerust zijn met reflectoren, een geluidssignaal, een aangepast remsysteem en mogen zij maximaal één meter breed zijn.

Ook andere verkeersregels, zoals het verbod op gsm-gebruik tijdens het rijden en rijden onder invloed van alcohol, zijn van toepassing op e-stepgebruikers.

Hoewel ook andere vormen van micromobiliteit, zoals monowheels, hoverboards en e-skateboards, onder de genoemde regelgeving vallen, blijft hun gebruik zeer beperkt (Mobilians & Smart Mobility Lab, 2025; FOD Mobiliteit en Vervoer, 2020). In mobiliteitsenquêtes worden deze vervoersmiddelen meestal niet afzonderlijk opgenomen, maar uitgesloten of samengebracht in een algemene categorie "andere" (Eurostat, 2021; Ipsos & Europ Assistance, 2025; Vias institute, 2023). Dat geldt ook voor politierapporten, waarin deze types vaak niet eenduidig kunnen worden geïdentificeerd. Om die redenen focust de analyse in dit hoofdstuk uitsluitend op e-steps.

## 4.2 Data en definities

De nationale databank met verkeersongevallen met dodelijke of lichamelijke letsels vormt de belangrijkste gegevensbron voor deze analyse en werd reeds beschreven in sectie 3.2.1. Uit deze databank werd het maandelijkse aantal dodelijke en gewonde slachtoffers geselecteerd van ongevallen waarbij minstens één e-step betrokken was, voor de periode van 1 januari 2019 tot en met 31 december 2024.

De open dataset van automatische weerstations (AWS) van het KMI werd gebruikt om te controleren voor meteorologische effecten (Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, 1995). Voor de volledige periode werden weerwaarnemingen per uur tussen 8.00 en 20.00 uur afkomstig van het station Ukkel geëxtraheerd. De gemiddelde temperatuur (*TEMP\_AVG*) en de hoeveelheid neerslag (*PRECIP\_QUANTITY*) werden vervolgens geaggregeerd op maandniveau en opgenomen als externe verklarende variabelen.

Aangezien de COVID-19-pandemie een invloed had tijdens de studieperiode, werd ook gebruikgemaakt van de Oxford COVID-19 Government Response Tracker (OxCGRT) om een derde externe variabele te construeren (Hale et al., 2021). Op basis van de vereenvoudigde OxCGRT-dataset werden voor België de dagelijkse scores voor de indicatoren *CI* tot en met *C8* (sluiting van scholen, sluiting van werkplaatsen, annulering van publieke evenementen, beperkingen op samenkomsten, sluiting van openbaar vervoer, thuisblijfverplichtingen, beperkingen op binnenlandse verplaatsingen en beperkingen op internationale reizen) geselecteerd. Deze waarden werden per maand gemiddeld om de strengheid van de maatregelen inzake lockdown en contactbeperking weer te geven. De dataset bestrijkt de periode van 1 januari 2020 tot 30 december 2022. Voor de overige maanden (in 2019, 2023 en 2024) werd de index op nul gezet, wat overeenkomt met de afwezigheid van dergelijke maatregelen.

Om het gebruik van e-steps bij benadering te schatten, maken we gebruik van het maandelijkse aantal ritten dat wordt gerapporteerd door aanbieders van gedeelde e-steps die actief zijn in Brussel ([Maandelijkse evolutie van de mobiliteit](#), z.d.). Aangezien er vóór 2021 geen gegevens beschikbaar zijn, werden ontbrekende waarden geïmputeerd op basis van een lineaire toename, vertrekkend van nul in januari 2019 tot 2.726 ritten (de eerste beschikbare waarde) in januari 2021.

## 4.3 Methodologie

Om de impact van de regelgeving van 2022 te evalueren, werd een *interrupted time series* -analyse (ITS) toegepast. ITS is een quasi-experimentele methode die nagaat of een beleidsmaatregel gepaard gaat met meetbare veranderingen door de evolutie vóór en na de invoering van de maatregel te vergelijken, terwijl rekening wordt gehouden met onderliggende tijds patronen en externe invloeden zoals seizoensschommelingen, mobiliteitstrends en weersomstandigheden (Linden, 2015; Lopez Bernal et al., 2016). Studies die ITS toepassen op alcoholbeleid, snelheidscontroles en rijbewijssystemen (zie sectie 2.2.3) vormen een geschikt referentiekader voor de evaluatie van de hervorming van de Wegcode voor gemotoriseerde voortbewegingstoestellen. De duidelijk afgebakende invoeringsdatum, het nationale toepassingsgebied en het

omvattende karakter van de hervorming maken ITS bijzonder geschikt om zowel onmiddellijke als meer langdurige effecten op letseltrends bij e-steps in kaart te brengen.

Binnen dit kader wordt het effect van de interventie vastgelegd via veranderingen in zowel het niveau als de helling van de tijdreeks:

- Een significante verandering in het niveau wijst op een onmiddellijk effect, met een abrupte daling of stijging van het aantal e-stepslachtoffers vlak na de inwerkingtreding van de maatregel.
- Een significante verandering in de helling geeft aan dat het langetermijnverloop is gewijzigd. Dit kan duiden op een trendomslag (bijvoorbeeld een stijgende trend die begint te dalen) of op een verandering in het groeitempo (bijvoorbeeld een sterke stijging die afzwakt, of een dalende trend die versnelt).

Door deze componenten gelijktijdig te modelleren, laat de ITS-aanpak niet alleen toe om vast te stellen óf de maatregel een effect had, maar ook om te verduidelijken *hoe* en *wanneer* dat effect zich manifesteerde. Zo kan een onderscheid gemaakt worden tussen snelle, kortetermijneffecten en meer geleidelijke, structurele veranderingen in het aantal ongevallen bij e-stepgebruikers.

Voor de analyse en voorspelling van de data werd een SARIMAX-model gebruikt. Een ARIMA-model, wat staat voor *AutoRegressive Integrated Moving Average*, is een statistische methode om tijdreeksgegevens te analyseren en te voorspellen door patronen in eerdere waarden, trends en foutstructuren van de reeks te modelleren. Het model combineert drie componenten. Het autoregressieve gedeelte (AR) modelleert de relatie tussen de huidige waarde en eerdere observaties, waarbij de parameter  $p$  aangeeft hoeveel vertraagde waarden worden meegenomen. De geïntegreerde component (I) staat voor de differencing die op de reeks wordt toegepast om trends of niet-stationariteit te verwijderen; de parameter  $d$  specificceert hoe vaak de gegevens worden gedifferentieerd. Het *moving-average* gedeelte (MA) beschrijft de invloed van eerdere voorspellingsfouten op de huidige waarden, waarbij  $q$  het aantal opgenomen vertraagde fouten aanduidt.

Voor tijdreeksen met uitgesproken seizoenspatronen, zoals maand- of weekcycli, kan het model worden uitgebreid tot een seizoensgebonden ARIMA-model, genoteerd als:

$$ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_m$$

In deze specificatie hebben de parameters  $P, D$  en  $Q$  dezelfde betekenis als hun niet-seizoensgebonden tegenhangers, maar dan op seizoensniveau, terwijl  $m$  de lengte van de seizoenscyclus vastlegt (in dit geval 12, voor maandgegevens met een jaarlijkse seizoenscyclus). Samen laten deze parameters toe om zowel kortetermijneffecten, langetermijntrends, als terugkerende seizoenspatronen te modelleren. Daardoor vormt het ARIMA-kader een flexibel instrument om tijdsafhankelijke processen te begrijpen en te voorspellen (Box et al., 2016). Zowel de literatuur (Frank et al., 2024; Kłosiewicz et al., 2024; Sloomans, 2024) als de gegevens in deze studie wijzen duidelijk op seizoensgebondenheid in e-stepongevallen met een piek in de zomer, wat de keuze voor een model met seizoenscomponenten rechtvaardigt.

De drie externe verklarende variabelen die werden beschreven in sectie 4.2 (neerslagniveau, temperatuur en de *Stringency Index*) zijn als regressoren in het model opgenomen om rekening te houden met de invloed van externe factoren.

De modelparameters werden geselecteerd met behulp van de functie *auto.arima* uit het R-pakket *forecast* (versie 8.15) (Hyndman & Khandakar, 2008). Deze functie onderzoekt automatisch verschillende modelcombinaties en selecteert het best presterende model. De evaluatie gebeurt op basis van informatiecriteria zoals het *Akaike Information Criterion* (AIC) en het *Bayesian Information Criterion* (BIC), die een afweging maken tussen de *goodness of fit* en de complexiteit van het model. In deze studie werd gebruikgemaakt van de search-procedure (en niet van de stapsgewijze methode), waarbij het model met de laagste waarde van het gekozen informatiecriterium als optimale specificatie wordt geselecteerd. Zowel bij de search- als bij de stapsgewijze procedure worden eerst de niet-seizoensgebonden ( $d$ ) en seizoensgebonden ( $D$ ) differentieerparameters bepaald door de tijdreeks te testen op stationariteit. Indien de reeks niet stationair is, worden deze parameters stapsgewijs verhoogd tot stationariteit wordt bereikt. Zodra  $d$  en  $D$  zijn vastgelegd, bepaalt de stapsgewijze procedure de autoregressieve en *moving-average*-termen ( $p, q, P, Q$ ) via een algoritme dat start met vier vooraf gedefinieerde modellen en het model met de laagste AIC selecteert. Vervolgens worden tot zeventien varianten van het huidige model getest. Telkens wanneer een model met een lagere AIC wordt gevonden, wordt dit het nieuwe uitgangspunt en wordt de procedure herhaald. Het proces stopt wanneer geen beter model meer wordt gevonden in de onmiddellijke omgeving van het huidige

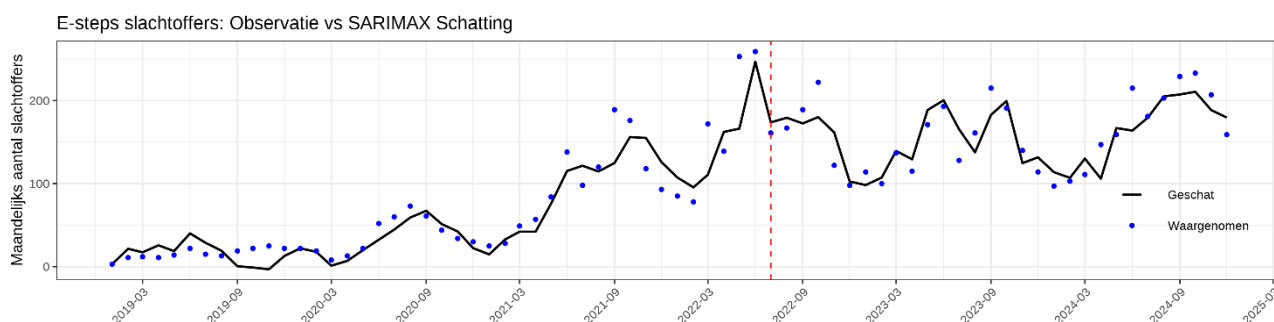
model. De search-procedure daarentegen is exhaustief: zij schat expliciet alle geldige combinaties van  $p$ ,  $q$ ,  $P$  en  $Q$  en selecteert vervolgens het model met de laagste AIC. Deze methode heeft weliswaar een veel hogere rekentijd, maar is niet afhankelijk van startwaarden, lokale verbeteringen of incrementele stappen, en kan daardoor niet vastlopen in een lokaal minimum.

Daarnaast werden twee ad-hocanalyses uitgevoerd om de robuustheid van de resultaten te toetsen en bijkomend inzicht te krijgen in hun interpretatie. Ten eerste werd een placebotest uitgevoerd met fictieve interventiedata (één jaar vóór en één jaar na de daadwerkelijke inwerkingtreding van de regelgeving). Door deze resultaten te vergelijken met die op de werkelijke invoeringsdatum, kan worden nagegaan of het model effectief het directe effect van de maatregel oppikt, en niet louter seizoensschommelingen of toevallige fluctuaties. Ten tweede werd met hetzelfde model een voorspelling gemaakt van het aantal ritten met gedeelde e-steps in Brussel, om via deze proxy een indicatie te krijgen van de impact van de regelgeving op het gebruik van e-steps<sup>6</sup>.

## 4.4 Resultaten

### 4.4.1 Hoofd-ITS-analyse: impact op het aantal slachtoffers

Het geschatte model is een  $ARIMA(0,1,1)(1,0,0)_{12}$ . Figuur 7 vergelijkt de door het model geschatte waarden (met andere woorden: het aantal slachtoffers dat op elk tijdstip door het model wordt voorspeld) met de daadwerkelijk geregistreerde waarden uit de ongevallendata.



Figuur 8 Door het SARIMAX-model geschatte aantallen e-stepslachtoffers.

De geschatte foutvariantie bedraagt 629,4, met een log-likelihood van  $-327,84$ . De modelselectiecriteria zijn  $AIC = 671,69$  en  $BIC = 689,79$  (zie Tabel 6).

Tabel 6 Selectiecriteria van het hoofd-ITS-model

Statistiek	Waarde
<b>Sigma<sup>2</sup></b>	629.40
<b>Log-likelihood</b>	-327.84
<b>AIC</b>	671.69
<b>AICc</b>	674.01
<b>BIC</b>	689.79

De schattingen van de modelparameters zijn samengevat in Tabel 7. De *moving-average*-term (MA1) is negatief en statistisch significant ( $-0,33$ ), terwijl de seizoensgebonden autoregressieve term met vertraging 12 (SAR1) positief en significant is ( $0,53$ ). Van de externe regressoren is de temperatuur positief en statistisch

<sup>6</sup> Aangezien er vóór januari 2021 geen gegevens werden verzameld, werd het aantal ritten voor de periode januari 2019 – december 2020 geïnterpoleerd.

significant geassocieerd met de uitkomst ( $\beta = 3,88$ ), terwijl neerslaghoeveelheid en de *Stringency Index* geen significante samenhang vertonen. Wat de beleidsimpact betreft, is de niveaoverschuiving negatief en significant ( $\beta = -78,11$ ), terwijl de verandering in de helling klein en niet significant is ( $\beta = -1,67$ ). Dit wijst op een onmiddellijk effect van de maatregel, zonder aantoonbare wijziging in het langetermijnverloop.

Tabel 7 Samenvattende statistieken van de parameters van het hoofd-ITS-model

Parameter	Schatting	Std. fout	p-waarde
<b>MA(1)</b>	-0.325	0.129	0.01**
<b>SAR(1)</b>	0.525	0.106	0.001***
<b>Temperatuur</b>	3.875	0.946	0.001***
<b>Neerslag</b>	-3.244	3.889	0.4
<b>Stringency Index</b>	-18.607	10.018	0.06
<b>Niveaoverschuiving</b>	-78.113	22.512	0.001***
<b>Hellingverandering</b>	-1.673	4.404	0.7

\* $p \leq 0.5$ ; \*\* $p \leq 0.01$ ; \*\*\* $p \leq 0.001$

#### 4.4.2 Robuustheidsanalyses

De schattingen van de placebo-modellen zijn weergegeven in Tabel 8. De modellen werden geschat met dezelfde parameters en dezelfde externe regressoren. De niveaoverschuiving en de verandering in helling werden aangepast om een fictieve invoeringsdatum op 1 juli 2021 respectievelijk 2023 te weerspiegelen. De modellen vertonen een goede fit ( $AIC_{2021} = 683.02$ ;  $AIC_{2023} = 682.75$ ) en leveren vergelijkbare schattingen op voor temperatuur, neerslag en de Stringency Index. Zowel het niveau als de helling zijn echter niet significant voor beide fictieve invoeringsdata, wat betekent dat er geen verschil werd vastgesteld tussen de periode vóór en na de gekozen drempelwaarden.

Tabel 8 Schattingen en significantieniveaus van ITS-placebomodellen

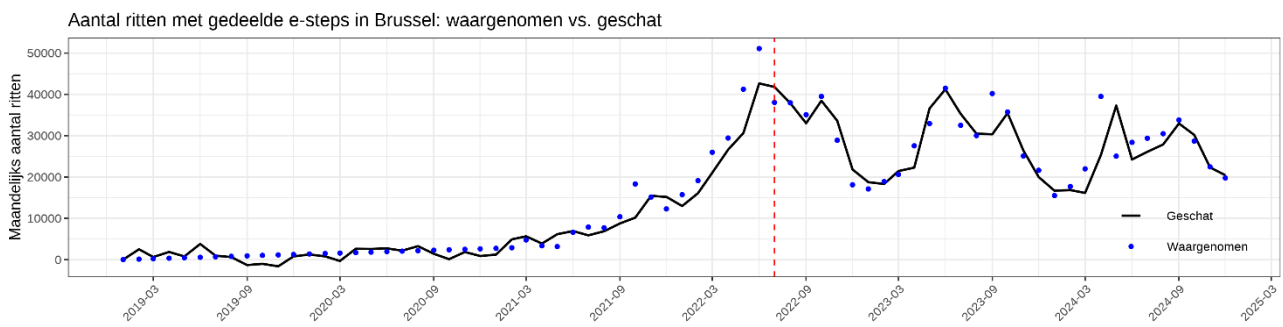
Parameter	Juli 2021		Juli 2023	
	Schatting	p-waarde	Schatting	p-waarde
<b>MA(1)</b>	-0.414	0.016*	-0.386	0.023*
<b>SAR(1)</b>	0.501	0.001***	0.489	0.001***
<b>Temperatuur</b>	3.622	0.001***	3.754	0.001***
<b>Neerslag</b>	0.993	0.82	2.118	0.618
<b>Stringency Index</b>	-18.848	0.07	-19.667	0.067
<b>Niveaoverschuiving</b>	21.811	0.37	-0.358	0.988
<b>Hellingverandering</b>	1.604	0.66	5.280	0.241

\* $p \leq 0.5$ ; \*\* $p \leq 0.01$ ; \*\*\* $p \leq 0.001$

#### 4.4.3 Impact op blootstelling

Het laatste geteste model focust op een andere uitkomstmaat en onderzoekt de impact van de regelgeving op het aantal ritten met gedeelde e-steps in Brussel. De schattingen tonen aan dat het aantal ritten na juli 2022 significant is gedaald ( $-10\ 133$  ritten per maand,  $p = 0,004^{**}$ ). Daarbij moet wel worden opgemerkt dat de relatief hoge geschatte variantie van de één-stap-voortuit-voorspellingsfout ( $\sigma^2 = 15\ 671\ 755$ ) wijst op aanzienlijke resterende ruis in de gegevens. Dit suggereert dat andere factoren, die niet in het model zijn

opgenomen, een belangrijke rol blijven spelen. De volledige modelspecificaties en bijbehorende schattingen zijn opgenomen in de bijlage.

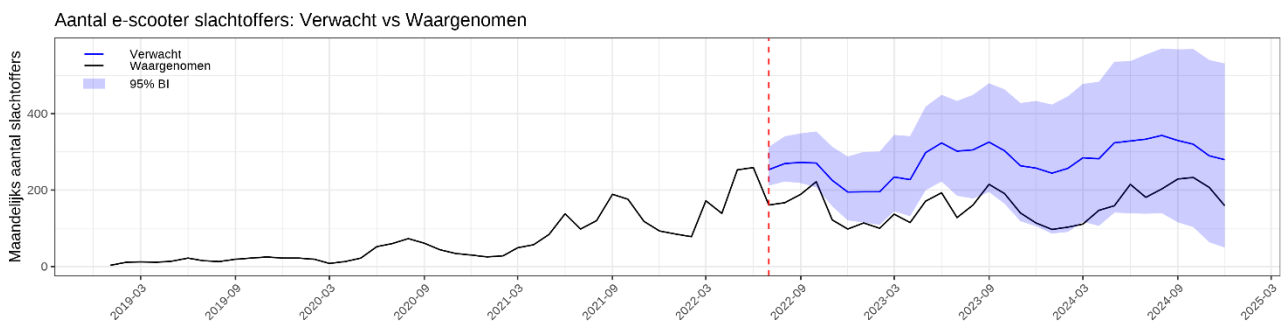


Figuur 9 Door het SARIMAX-model geschatte aantallen ritten met gedeelde e-steps.

## 4.5 Discussie

Deze studie had tot doel de impact te evalueren van de hervorming van de Belgische Wegcode van juli 2022 op het maandelijkse aantal slachtoffers bij e-stepongevallen in België. De analyse werd uitgevoerd aan de hand van een *interrupted time series* met een SARIMAX-specificatie die rekening houdt met weersomstandigheden, COVID-19-maatregelen en seizoensinvloeden. De impact van de regelgeving moet hier in ruime zin worden begrepen en niet louter als het formeel invoeren van een nieuwe wet. Het omvat ook andere essentiële componenten die naleving van regelgeving beïnvloeden, zoals educatie, communicatie, sensibilisering en handhaving (Cooter & Gilbert, 2022; Roy, 2021; Van Rooij, 2021).

De resultaten wijzen erop dat de nieuwe regelgeving leidde tot een onmiddellijke en meetbare daling van het aantal slachtoffers, maar geen aantoonbare wijziging teweegbracht in het langetermijnverloop. In Figuur 9 wordt het niveau-effect visueel geïllustreerd door het feit dat de waargenomen waarden (zwart) onmiddellijk na de interventie systematisch lager liggen dan de verwachte waarden (blauw). Het uitblijven van een hellingeffect blijkt uit het feit dat de verwachte en waargenomen waarden na de interventie grotendeels parallel blijven verlopen. Het lichtblauwe gebied geeft het 95%-betrouwbaarheidsinterval rond de voorspelde waarden weer, waarbij de onzekerheid toeneemt naarmate de tijd vordert.



Figuur 10 Verwacht aantal e-stepslachtoffers zonder beleidswijziging.

Het model wijst op een niveaoverschuiving van ongeveer 78 slachtoffers per maand na de invoering van de regelgeving. Dit effect is substantieel, zeker tegen de achtergrond van het snel toegenomen gebruik van e-steps en het stijgende aantal letsels in de periode 2019–2024. Het ontbreken van een significante verandering in de helling impliceert echter dat de onderliggende stijgende trend in e-stepgerelateerde letsels grotendeels behouden blijft. Met andere woorden: de regelgeving heeft het risico afgezwakt, maar niet structureel omgevoerd.

De twee placeboanalyses ondersteunen de geloofwaardigheid van deze bevindingen. Geen van beide leverde significante niveau- of hellingeffecten op, wat erop wijst dat de vastgestelde verandering in juli 2022 niet kan worden toegeschreven aan seizoenspieken, toevallige fluctuaties of bredere mobiliteitstrends. Dit versterkt de causale interpretatie dat de waargenomen daling samenhangt met de beleidsmaatregel zelf.

Parallel daaraan toont de analyse van het aantal ritten met gedeelde e-steps in Brussel aan dat de regelgeving gepaard ging met een significante afname van het gebruik. Dit suggereert dat de daling van het aantal slachtoffers deels kan worden verklaard door een verminderde blootstelling, en niet uitsluitend door veiliger gedrag van gebruikers of een intrinsiek hogere veiligheid van de toestellen. Dit onderscheid is beleidsmatig belangrijk: hoewel minder slachtoffers uiteraard wenselijk zijn, wijzen dalingen die uitsluitend voortkomen uit een lager gebruik niet noodzakelijk op een veiligere mobiliteitsomgeving of een duurzamere gedragsverandering. Daarentegen kunnen aanpassingen in rijgedrag, naleving of infrastructuur wel leiden tot blijvende veiligheidswinsten.

De aard van de letsels die worden vastgesteld in Belgische en internationale ziekenhuisgegevens onderstreept het belang van deze problematiek. Hoewel dodelijke slachtoffers relatief zeldzaam blijven, gaan e-steps gepaard met een hoge last aan ernstige letsels, zoals hoofdtrauma's en andere aandoeningen die intensieve zorg vereisen (Bouwen, 2024; Dhillon et al., 2020; Liew et al., 2020). Het helmgebruik blijft bijzonder laag, en gebruikers van gedeelde toestellen dragen zelfs nog minder vaak een helm dan gebruikers van privé-e-steps (Cicchino et al., 2021; Frye et al., 2024). Aangezien valpartijen de belangrijkste oorzaak van letsels vormen, zijn toestelontwerp, beschermend gedrag van bestuurders en de kwaliteit van de infrastructuur cruciale determinanten van het risico.

Tegelijk blijkt de kennis van de regelgeving bij het publiek ongelijk verdeeld. Uit de ESRA-enquête blijkt dat regels rond rijden onder invloed, gsm-gebruik en het verplicht gebruik van fietspaden relatief goed gekend zijn, terwijl de bekendheid met voorschriften over helmgebruik, het dragen van oortjes of het vervoeren van goederen beperkter blijft (Delavary et al., 2024). Het kennisniveau over deze regels is in België vergelijkbaar met dat in andere Europese landen. Een gerichte bevraging over de wijzigingen van 2022 zou nuttig zijn om na te gaan in welke mate de regelgeving haar volle potentieel heeft bereikt. Inzicht in zowel het kennisniveau als de naleving door wie de regels kent, is essentieel om te bepalen of bijkomende inspanningen nodig zijn en of de focus daarbij moet liggen op sensibilisering, handhaving of een combinatie van beide. Tot slot wijst internationale evidentie erop dat de stedelijke infrastructuur de veiligheidseffecten van e-steps sterk beïnvloedt. Steden met een beperkt aanbod aan fietsinfrastructuur kenden grotere stijgingen in het aantal ongevallen na de introductie van e-steps, terwijl steden met een hoge dichtheid aan fietspaden weinig tot geen effect vertoonden (Cloud et al., 2022, 2023). Deze heterogeniteit plaatst de regelgeving van 2022 in een bredere context: regelgeving alleen volstaat niet en moet worden ondersteund door investeringen in infrastructuur, voertuigontwerp en veilig rijgedrag.

## 4.6 Beperkingen en toekomstig onderzoek

Het is moeilijk om alle factoren in rekening te brengen die het aantal slachtoffers kunnen hebben beïnvloed rond het moment waarop de nieuwe regelgeving in werking trad. Daarnaast kunnen ook andere, gelijktijdige veranderingen hebben bijgedragen aan de waargenomen daling. Het ontbreken van gedetailleerde blootstellingsgegevens vormt hierbij een belangrijke beperking, omdat dit de mogelijkheden beperkt om het model nauwkeuriger te kalibreren en om te onderscheiden of de daling wijst op veiligere omstandigheden dan wel louter op veranderingen in het gebruik.

Bovendien zijn e-stepongevallen sterk ondergerapporteerd in politiedata, in het bijzonder eenzijdige ongevallen en ongevallen met licht letsel. Daardoor is het moeilijk om een volledig beeld te krijgen van de problematiek. Zelfs indien de regelgeving een groot effect zou hebben gehad op dit type ongevallen, kan dit met de beschikbare gegevens niet worden vastgesteld.

De regelgeving grijpt ook op meerdere dimensies tegelijk in, zoals het gedrag van gebruikers via leeftijdsgrenzen en de prestaties van het voertuig via snelheidsbeperkingen. Daardoor is het niet mogelijk om te bepalen welk specifiek onderdeel verantwoordelijk is voor het waargenomen effect, noch om het relatieve gewicht van de verschillende maatregelen te schatten. Tot slot vereist naleving van de regelgeving randvoorwaarden zoals communicatie, opleiding en handhaving. Het is moeilijk om te ontwarren welke rol elk van deze elementen speelt in het (uitblijven van een) effect van de wetswijziging. De vastgestelde daling van het aantal slachtoffers weerspiegelt dan ook het cumulatieve effect van al deze randvoorwaarden, over zowel gedrags- als toestelgerelateerde veranderingen heen.

Een meer gedetailleerde uitsplitsing van de effecten van de regelgeving naar letselernst (bijvoorbeeld licht- versus zwaargewonden) en naar type slachtoffer (bestuurder versus tegenpartij) zou helpen om beter te begrijpen waar de veiligheidswinsten zich situeren en welke groepen gebruikers een verhoogd risico blijven lopen. Voortgezette longitudinale evaluatie is essentieel om na te gaan of de onmiddellijke daling die in 2022

werd vastgesteld aanhoudt, afzwakt of evolueert naarmate gebruikers zich aanpassen. Toekomstig onderzoek zou zich ook kunnen richten op de impact van gerichte maatregelen, zoals infrastructuurverbeteringen of beleid rond helmgebruik, en nagaan of deze sterkere of duurzamere veiligheidswinsten opleveren. Analyses die ook blootstellingsmaten opnemen, zoals vlootomvang, aantal actieve gebruikers en afgelegde kilometers, zouden een betekenisvollere vergelijking in de tijd mogelijk maken. Daarnaast kan een analyse van geografische verschillen (naar regio, type infrastructuur, verstedelijkingsgraad, ...) waardevolle bijkomende inzichten opleveren.

## 4.7 Aanbevelingen

De meeste aanbevelingen uit eerdere studies van Vias (De Vos et al., 2023; Slootmans, 2024) blijven relevant met het oog op het verminderen van het aantal slachtoffers bij e-stepongevallen.

In de eerste plaats blijft het verbeteren van de veiligheid van de toestellen essentieel, zeker gezien het hoge aandeel valpartijen en ernstige hoofdletsels. Inspanningen kunnen worden gericht op een betere stabiliteit en remsystemen, het inzetten van *geofencing* om snelheidslimieten en *no-ridezones* af te dwingen, en het stimuleren van geavanceerde veiligheidsvoorzieningen. Ten tweede is de ontwikkeling van veilige, continue en goed onderhouden infrastructuur voor micromobiliteit cruciaal. Onderzoek toont aan dat steden met een dicht fietsnetwerk minder ernstige e-stepongevallen kennen, wat erop wijst dat investeringen in infrastructuur mogelijk grotere en meer duurzame veiligheidswinsten opleveren dan regelgeving alleen (Cloud et al., 2022, 2023). Ten derde blijft het bevorderen van veiliger gebruikersgedrag een prioriteit. Sensibiliseringscampagnes, opleidingsinitiatieven en incentieven of verplichtingen om het helmgebruik te verhogen kunnen bijdragen tot een vermindering van ernstige hoofdletsels. Handhavingsmaatregelen (alcoholcontroles, snelheidscontroles en toezicht op naleving van regels rond rijden op het voetpad en parkeren) moeten deze educatieve initiatieven aanvullen om veilig rijgedrag te verankeren.

Tot slot zou vanuit een breder beleidsperspectief de systematische evaluatie van nieuwe mobiliteitsregelgeving de standaardpraktijk moeten worden. Het versterken van datasystemen met betere blootstellingsindicatoren, gekoppelde ziekenhuis- en politiedata en toegang tot gegevens van operatoren, zou betrouwbaardere beleidsbeoordelingen mogelijk moeten maken en helpen om tijdig bij te sturen of gerichte maatregelen te nemen. Samen kunnen deze acties ertoe bijdragen dat de positieve effecten die na de hervorming van 2022 werden vastgesteld, zich vertalen in blijvende verbeteringen van de veiligheid van e-steps.

## 5 Conclusies

De twee empirische casussen die in dit rapport worden onderzocht, tonen in verschillende contexten aan hoe regelgevende ingrepen de verkeersveiligheid in België beïnvloeden. Hoewel ze betrekking hebben op uiteenlopende mobiliteitsdomeinen – grensoverschrijdende handhaving voor gemotoriseerd verkeer enerzijds en de regulering van e-stepgebruik anderzijds – schetsen ze samen een breder beeld van hoe wijzigingen in het juridische kader, de pakkans en gebruikersgedrag zich vertalen in meetbare veiligheidseffecten.

In een eerste analyse onderzochten we de impact van de Europese richtlijn inzake grensoverschrijdende handhaving op ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen in België. De CBE-richtlijn had tot doel een handhavingskloof te dichten door het gemakkelijker te maken om verkeersovertredingen gepleegd door buitenlandse voertuigen in België te identificeren en te sanctioneren. Op basis van maandelijkse gegevens op provincieniveau en een *difference-in-differences*-opzet stellen we vast dat de invoering van de CBE-richtlijn gepaard ging met een kleine maar statistisch significante daling van de relatieve betrokkenheid van in het buitenland geregistreerde voertuigen bij ongevallen. Na mei 2015 geven aanvullende aandeel-gebaseerde schattingen aan dat het aandeel ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen met ongeveer 0,5 procentpunt is gedaald ten opzichte van Belgische voertuigen. Gegeven een gemiddeld pre-beleidsaandeel van ongeveer 9% komt dit overeen met een daling tot ongeveer 8,5% van de ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen. De voorkeurspecificatie met verzadigde DiD suggereert een relatieve daling van ongeveer 5% in ongevallen met buitenlandse voertuigen ten opzichte van Belgische voertuigen. In praktische termen is deze relatieve daling consistent met een afname van het aandeel van ongeveer 9% naar circa 8,5–8,6%, en niet met een daling van 5 procentpunt. Hoewel de omvang bescheiden is, is dit patroon in overeenstemming met een gedragsreactie op een grotere handhavingszekerheid en blijft het resultaat robuust over verschillende specificaties heen. Wanneer de analyse daarentegen wordt herhaald met het aandeel slachtoffers in ongevallen met in het buitenland geregistreerde voertuigen als uitkomstmaat, is het geschatte effect negatief maar niet statistisch significant. Dit suggereert dat de waargenomen verandering in ongevalsbetrokkenheid zich niet duidelijk vertaalt in meetbare veranderingen in letseluitkomsten, die volatieler zijn en beïnvloed worden door bijkomende factoren naast handhaving. Over het geheel genomen wijzen de bevindingen erop dat het versterken van grensoverschrijdende handhaving het rijgedrag kan beïnvloeden, maar dat handhaving alleen waarschijnlijk geen grote veiligheidswinsten zal opleveren voor alle uitkomsten of alle groepen weggebruikers.

Vanuit beleidsmatig perspectief ondersteunen deze bevindingen het belang van blijvende samenwerking tussen lidstaten op het vlak van verkeershandhaving. Verdere vooruitgang kan afhangen van een grotere zichtbaarheid en een hogere gepercipieerde pakkans voor buitenlandse bestuurders, evenals van blijvende investeringen in efficiënte en onderling afgestemde handhavingssystemen. Het opvolgen van ongevalspatronen met buitenlandse voertuigen blijft daarbij cruciaal om de langetermijneffecten van recente en toekomstige herzieningen van de CBE-richtlijn te evalueren.

De hervorming van juli 2022 inzake e-steps biedt daarentegen een duidelijker voorbeeld van een regelgevende maatregel met een onmiddellijk en meetbaar veiligheidseffect. De *interrupted time series*-analyse toont een scherpe daling van het aantal maandelijkse slachtoffers na de verstrenging van regels rond leeftijdsgrenzen, rijgedrag en verboden zones. Placebotesten bevestigen dat deze daling niet kan worden verklaard door toevallige tijdeffecten of door de structuur van de gegevens. Daarnaast blijkt ook dat het gebruik van gedeelde e-steps in Brussel afnam na de hervorming. Indien deze evolutie zich ook voordoet bij particuliere e-steps en in andere regio's, kan een deel van de veiligheidswinst het gevolg zijn van een lagere blootstelling, eerder dan uitsluitend van veiliger gedrag bij de resterende gebruikers. Tegelijk werd de onderliggende stijgende trend in het aantal e-stepslachtoffers niet doorbroken. Dit onderstreept dat kortetermijnwinsten niet automatisch leiden tot een duurzame risicoreductie zolang de vraag naar micromobiliteit blijft groeien en gedrags- of infrastructuurfactoren onveranderd blijven.

De resultaten maken duidelijk dat regelgeving op zich onvoldoende is om blijvende veiligheidswinsten te garanderen in een context van toenemende micromobiliteit. Aan de ene kant kan regelgeving worden versterkt door gerichte communicatie over veilig rijgedrag, alcoholgebruik, afleiding en helmgebruik. Aan de andere kant blijft de uitbouw van continue, goed ontworpen micromobiliteitsinfrastructuur – met name beschermde rijstroken en een duidelijke scheiding van voetgangers en gemotoriseerd verkeer – essentieel om conflicten en risico's structureel te verminderen.

Vanuit onderzoeksperspectief tonen beide 'casussen' het belang én de haalbaarheid aan van causale inferentiemethoden voor de evaluatie van verkeersveiligheidsbeleid. Een verdere verbetering van de

beschikbare data zou beleidsanalyse en toekomstig veiligheidsbeleid aanzienlijk verbeteren. Het koppelen van politiedata over ongevallen aan ziekenhuisgegevens, het beschikbaar maken van blootstellingsindicatoren zoals verkeersvolumes, en het harmoniseren van rapporteringspraktijken tussen regio's zouden een meer nauwkeurige identificatie van risicopatronen mogelijk maken. Ook het verbinden van handhavingsdata – zoals de inzet van snelheidscamera's, mobiele controles of alcoholcontroles – met ongevalsuitkomsten, zou beleidsmakers helpen om het effect van handhaving beter te onderscheiden van dat van regelgevende hervormingen.

Samengenomen leiden deze bevindingen tot een overkoepelende conclusie: succesvolle verkeersveiligheidsregulering vereist meer dan louter wetswijzigingen of technologische upgrades van handhavingssystemen. In lijn met de Safe System-benadering, zoals ontwikkeld en gepromoot door de ITF (2022) en overgenomen in het Europese beleidskader (Europese Commissie, 2022), ontstaan betekenisvolle en duurzame verbeteringen wanneer beleid erkent dat mensen fouten maken, dat het transportsysteem veerkrachtig moet zijn ten aanzien van die fouten, en dat de verantwoordelijkheid voor veiligheid gedeeld wordt door weggebruikers, infrastructuurbeheerders, voertuigsystemen en handhavingsinstanties. In de praktijk betekent dit dat regelgevende hervormingen het meest effectief zijn wanneer zij de pakkans versterken, aansluiten bij gedragsprikkelers en worden ondersteund door een veilige weginrichting, vergevingsgezinde infrastructuur, duidelijke communicatie en adequate zorgverlening na ongevallen. Continue monitoring, geïntegreerde data en robuuste evaluaties zijn essentieel om adaptief en *evidence-based* beleid te ondersteunen binnen een evoluerend multimodaal transportsysteem.

## Referenties

- Abouk, R., & Adams, S. (2013). Texting Bans and Fatal Accidents on Roadways: Do They Work? Or Do Drivers Just React to Announcements of Bans? *American Economic Journal: Applied Economics*, *5*(2), 179–199.
- Aizpuru, M., Farley, K. X., Rojas, J. C., Crawford, R. S., Moore, T. J., & Wagner, E. R. (2019). Motorized scooter injuries in the era of scooter-shares: A review of the national electronic surveillance system. *The American Journal of Emergency Medicine*, *37*(6), 1133–1138.  
<https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.03.049>
- Angrist, J. D., & Pischke, J.-S. (2009). *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*. Princeton University Press.
- Auerbach, J., Eshleman, C., & Trangucci, R. (2017). *A Hierarchical Bayes Approach to Adjust for Selection Bias in Before-After Analyses of Vision Zero Policies* (No. arXiv:1705.10876). arXiv.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.10876>
- Austin, P. C. (2011). An Introduction to Propensity Score Methods for Reducing the Effects of Confounding in Observational Studies. *Multivariate Behavioral Research*, *46*(3), 399–424.
- Bailey, W. C., & Smith, R. W. (1973). Punishment: Its Severity and Certainty. *Journal of Criminal Law and Criminology*, *63*(4), 530.
- Bauer, F., Riley, J. D., Lewandowski, K., Najafi, K., Markowski, H., & Kepros, J. (2020). Traumatic Injuries Associated With Standing Motorized Scooters. *JAMA Network Open*, *3*(3), e201925.  
<https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.1925>
- Berge, L. (2018). Efficient estimation of maximum likelihood models with multiple fixed-effects: The {R} package {FENmlm}. *CREA Discussion Papers*, *13*.
- Blais, 'Eric, & Carnis, L. (2015). Improving the Safety Effect of Speed Camera Programs through Innovations: Evidence from the French Experience. *Journal of Safety Research*.
- Bouwen, L. (2024). *Les blessés de la route hospitalisés en 2022* (Nos. 2024-S-02-FR).
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2016). *Time series analysis: Forecasting and control* (Fifth edition). Wiley.

- Bresler, A. Y., Hanba, C., Svider, P., Carron, M. A., Hsueh, W. D., & Paskhover, B. (2019). Craniofacial injuries related to motorized scooter use: A rising epidemic. *American Journal of Otolaryngology*, *40*(5), 662–666. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2019.05.023>
- Callaway, B., & Sant'Anna, P. H. C. (2021). Difference-in-Differences with multiple time periods. *Journal of Econometrics*, *225*(2), 200–230. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.12.001>
- Chambre des Représentants de Belgique. (2021). *Proposition de loi modifiant l'arrêté royal du 1er décembre 1975 portant règlement général sur la police de la circulation routière et de l'usage de la voie publique, en ce qui concerne la réglementation des engins de déplacement motorisés.*
- Chamlin, M. B. (2016). An Interrupted Time Series Analysis of the Differential Impact of New Jersey's BAC Legislation on Driver and Passenger Crash Fatalities. *Journal of Crime and Justice*.
- Cicchino, J. B., Kulie, P. E., & McCarthy, M. L. (2021). Injuries related to electric scooter and bicycle use in a Washington, DC, emergency department. *Traffic Injury Prevention*, *22*(5), 401–406. <https://doi.org/10.1080/15389588.2021.1913280>
- Clarke, D., & Schythe, K. (2021). Implementing the Panel Event Study. *The Stata Journal*, *21*(4), 853–884.
- Cloud, C., Heß, S., & Kasinger, J. (2022). *Do shared e-scooter services cause traffic accidents? Evidence from six European countries* (No. arXiv:2209.06870). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.06870>
- Cloud, C., Heß, S., & Kasinger, J. (2023). Shared e-scooter services and road safety: Evidence from six European countries. *European Economic Review*, *160*, 104593. <https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2023.104593>
- Coelho, A., Feito, P., Corominas, L., Sánchez-Soler, J. F., Pérez-Prieto, D., Martínez-Díaz, S., Alier, A., & Monllau, J. C. (2021). Electric Scooter-Related Injuries: A New Epidemic in Orthopedics. *Journal of Clinical Medicine*, *10*(15), 3283. <https://doi.org/10.3390/jcm10153283>
- Cooter, R. D., & Gilbert, M. D. (2022). Theory of Enforcement. In R. Cooter & M. Gilbert, *Public Law and Economics* (1st ed., pp. 461–502). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780197655870.003.0012>
- De Paola, M., & Scoppa, V. (2013). The Deterrent Effects of the Penalty Points System for Driving Offences: A Regression Discontinuity Approach. *Empirical Economics*, *45*(2), 965–985.
- De Vos, N., Sloomans, F., & Moreau, N. (2023). *Analyse approfondie des caractéristiques et profils d'accidents impliquant une trottinette électrique* (No. R-2023-R-18-FR). Vias Institute.

- Delavary, M., Lyon, C., Vanlaar, W. G. M., Robertson, R. D., Nikolaou, D., & Yannis, G. (2024). *E-Scooter Riders. ESRA3 Thematic report Nr. 6. ESRA project (E-Survey of Road users' Attitudes)*.
- Dhillon, N. K., Juillard, C., Barmparas, G., Lin, T.-L., Kim, D. Y., Turay, D., Seibold, A. R., Kaminski, S., Duncan, T. K., Diaz, G., Saad, S., Hanpeter, D., Benjamin, E. R., Tillou, A., Demetriades, D., Inaba, K., & Ley, E. J. (2020). Electric Scooter Injury in Southern California Trauma Centers. *Journal of the American College of Surgeons*, *231*(1), 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2020.02.047>
- Duflo, E., & Mullainathan, S. (2004). How Much Should We Trust Differences-in-Differences Estimates? *Quarterly Journal of Economics*, *119*(1), 249–275.
- Edwards, H. B., De Vocht, F., Jago, R., Armstrong, M. E. G., Carlton, E., & Ben-Shlomo, Y. (2025). Risk of bicycle collisions and 'safety in numbers': A natural experiment using the local introduction of e-scooters in England. *Injury Prevention*, ip-2024-045569. <https://doi.org/10.1136/ip-2024-045569>
- Elvik, R. (2002). The Importance of Confounding in Observational Before-and-After Studies of Road Safety Measures. *Accident Analysis & Prevention*, *34*(5), 631–635.
- Elvik, R. (2009). The Power Model of the Relationship between Speed and Road Safety. *Transportation Research Record*, *2103*, 1–8.
- Espinoza, W., Howard, M., Lane, J., & Hentenryck, P. V. (2019). *Shared E-scooters: Business, Pleasure, or Transit?* (No. arXiv:1910.05807). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.05807>
- European Commission. (2022). *Road Safety Thematic Report – Safe System Approach*. Directorate General for Transport.
- European Commission. (2023). *Impact Assessment Support Study for the Revision of Directive (EU) 2015/413*. Directorate-General for Mobility and Transport.
- European Parliament and Council of the European Union. (2015). *Directive (EU) 2015/413 Facilitating Cross-Border Exchange of Information on Road-Safety-Related Traffic Offences*.
- European Parliamentary Research Service. (2025). *Cross-Border Exchange of Information on Road-Safety-Related Traffic Offences: Legislative Briefing*.
- European Transport Safety Council. (2022). *Position on the Revision of Directive (EU) 2015/413 Facilitating Cross-Border Enforcement of Traffic Offences*.
- Eurostat. (2021). *Passenger mobility statistics—Statistics Explained*. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/81760.pdf>

- Évolution mensuelle de la mobilité.* (n.d.). Région de Bruxelles-Capitale. Retrieved September 10, 2025, from <https://be.brussels/fr/transport-mobilite/enjeux-de-la-mobilite/observatoire-thematique/evolution-de-la-mobilite/evolution-mensuelle-de-la-mobilite>
- Fernandez, A. N., Li, K. D., Patel, H. V., Allen, I. E., Ghaffar, U., Hakam, N., & Breyer, B. N. (2024). Injuries With Electric vs Conventional Scooters and Bicycles. *JAMA Network Open*, *7*(7), e2424131. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.24131>
- Frank, S., Sator, T., Kinsky, R. M., Frank, J. K., Frank, R., Fialka, C., Mittermayr, R., & Boesmueller, S. (2024). Continuously increasing e-scooter accidents and their possible prevention in a large European city. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, *50*(6), 2895–2904. <https://doi.org/10.1007/s00068-024-02594-9>
- Frye, W., Chehab, L., Feler, J., Wong, L., Tan, A., Alpers, B., Patel, D., Von Hippel, C., & Sammann, A. (2024). Popular but precarious: Low helmet use among shared micromobility program riders in San Francisco. *Frontiers in Public Health*, *12*, 1477473. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1477473>
- Gehrsitz, M. (2017). Speeding, Punishment, and Recidivism: Evidence from a Regression Discontinuity Design. *Journal of Law and Economics*, *60*(3).
- Gertler, P., Martinez, S., Premand, P., Rawlings, L., & Vermeersch, C. (2016). *Impact Evaluation in Practice* (2nd ed.). World Bank.
- Goodman-Bacon, A. (2021). Difference-in-Differences with Variation in Treatment Timing. *Journal of Econometrics*, *225*(2), 254–277.
- Haghpanahan, H., Lewsey, J., Mackay, D., & others. (2019). Effects of Lowering Blood Alcohol Concentration Limits for Drivers. *The Lancet*, *393*(10169), 321–329.
- Hale, T., Angrist, N., Goldszmidt, R., Kira, B., Petherick, A., Phillips, T., Webster, S., Cameron-Blake, E., Hallas, L., Majumdar, S., & Tatlow, H. (2021). A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID-19 Government Response Tracker). *Nature Human Behaviour*, *5*(4), 529–538. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01079-8>
- Hartz, F., Zehnder, P., Resch, T., Römmermann, G., Schwarz, M., Kirchhoff, C., Biberthaler, P., Lefering, R., & Zyskowski, M. (2025). Severe injuries in e-scooter accidents: An evaluation of data from the TraumaRegister DGU. *Deutsches Ärzteblatt International*. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2025.0041>
- Hauer, E. (1997). *Observational Before–After Studies in Road Safety*. Pergamon.

- Holland, P. W. (1986). Statistics and Causal Inference. *Journal of the American Statistical Association*, 81(396), 945–960.
- Hyndman, R. J., & Khandakar, Y. (2008). Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R. *Journal of Statistical Software*, 27(3). <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>
- Imbens, G., & Lemieux, T. (2008). Regression Discontinuity Designs: A Guide to Practice. *Journal of Econometrics*, 142(2), 615–635.
- Ipsos & Europ Assistance. (2025). *2025 Mobility Barometer Among European*.  
<https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2025-04/ipsos-europ-assistance-mobility-barometer-report-2025.pdf>
- ITF. (2022). *The Safe System Approach in Action*. OECD Publishing.
- ITF, & OECD. (n.d.). *Safe Micromobility*.
- Kazemzadeh, K., & Sprei, F. (2024). The effect of shared e-scooter programs on modal shift: Evidence from Sweden. *Sustainable Cities and Society*, 101, 105097. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105097>
- Kłosiewicz, T., Konieczka, P., Rutkowska, D., Duchañ-Ogrodnik, D. P., Zasada, W., Cholerzyńska, H., Rozmarynowska, M., Bednorz, M., & Jodłowski, Ł. (2024). Burden and Patterns of Electric Scooter-Related Injuries: Insights From 2 Polish Emergency Departments. *Medical Science Monitor*, 30. <https://doi.org/10.12659/MSM.944448>
- Kontopantelis, E., Doran, T., Springate, D. A., Buchan, I., & Reeves, D. (2015). Regression based quasi-experimental approach when randomisation is not an option: Interrupted time series analysis. *BMJ*, 350(jun09 5), h2750–h2750. <https://doi.org/10.1136/bmj.h2750>
- Kudła, J., Podsiadło, A., & Woźniak, R. (2024). The effectiveness of regulations preventing alcohol-related road traffic crashes and fatalities in the European Union countries. *Journal of Safety Research*, 88, 161–173. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.11.003>
- Kundro, T. G., Nurmohamed, S., Kakkar, H., & Affinito, S. J. (2023). Time and Punishment: Time Delays Exacerbate the Severity of Third-Party Punishment. *Psychological Science*, 34(8), 914–931. <https://doi.org/10.1177/09567976231173900>
- Lechner, M. (2010). The Estimation of Causal Effects by Difference-in-Difference Methods Estimation of Spatial Panels. *Foundations and Trends® in Econometrics*, 4(3), 165–224. <https://doi.org/10.1561/08000000014>

- Lee, D. S., & Lemieux, T. (2010). Regression Discontinuity Designs in Economics. *Journal of Economic Literature*, 48(2), 281–355. JSTOR.
- Li, H., Zhang, Y., & Ren, G. (2020). A causal analysis of time-varying speed camera safety effects based on the propensity score method. *Journal of Safety Research*, 75, 119–127.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.08.007>
- Lian, Y., Yasmin, S., & Haque, M. M. (2025). Influence of road safety policies on the long-term trends in fatal Crashes: A Gaussian Copula-based time series count model with an autoregressive moving average process. *Accident Analysis & Prevention*, 211, 107795.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107795>
- Liang, L., & Huang, J. (2008). Go out or stay in? The effects of zero tolerance laws on alcohol use and drinking and driving patterns among college students. *Health Economics*, 17(11), 1261–1275.  
<https://doi.org/10.1002/hec.1321>
- Liew, Y., Wee, C., & Pek, J. (2020). New peril on our roads: A retrospective study of electric scooter-related injuries. *Singapore Medical Journal*, 61(2), 92–95. <https://doi.org/10.11622/smedj.2019083>
- Linden, A. (2015). Conducting Interrupted Time-series Analysis for Single- and Multiple-group Comparisons. *The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata*, 15(2), 480–500.  
<https://doi.org/10.1177/1536867X1501500208>
- Lopez Bernal, J., Cummins, S., & Gasparrini, A. (2016). Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: A tutorial. *International Journal of Epidemiology*, dyw098.  
<https://doi.org/10.1093/ije/dyw098>
- Luo, H., Zhang, Z., Gkritza, K., & Cai, H. (2021). Are shared electric scooters competing with buses? A case study in Indianapolis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 97, 102877.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102877>
- Meyer, B. D. (1995). Natural and Quasi-Experiments in Economics. *Journal of Business & Economic Statistics*, 13(2), 151–161. <https://doi.org/10.1080/07350015.1995.10524589>
- Mobilians & Smart Mobility Lab. (2025). *Communiqué de presse—Mobilians et Smart Mobility Lab Présentent le Baromètre du Marché de la Micromobilité 2024*. [https://datastore.smart-mobility-lab.com/wp-content/uploads/2025/05/CP-Barometre\\_Micromobilite\\_Mobilians\\_SmartMobilityLab\\_Ventes2024\\_2025\\_05.pdf](https://datastore.smart-mobility-lab.com/wp-content/uploads/2025/05/CP-Barometre_Micromobilite_Mobilians_SmartMobilityLab_Ventes2024_2025_05.pdf)

- Mobilité et Transports. (2022, mai). *Loi modifiant l'arrêté royal du 1er décembre 1975 portant sur le règlement général de la police de la circulation routière et de l'utilisation de la voie publique, en ce qui concerne la réglementation des appareils de locomotion*. Moniteur belge.
- Morgan, S. L., & Winship, C. (2014). *Counterfactuals and Causal Inference: Methods and Principles for Social Research* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107587991>
- Nagin, D. S. (2013). Deterrence in the Twenty-First Century. *Crime and Justice*, 42(1), 199–263. <https://doi.org/10.1086/670398>
- Nistal-Nuño, B. (2017). Segmented regression analysis of interrupted time series data to assess outcomes of a South American road traffic alcohol policy change. *Public Health*, 150, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.04.025>
- Otero, S., & Rau, T. (2017). The effects of drinking and driving laws on car crashes, injuries, and deaths: Evidence from Chile. *Accident Analysis & Prevention*, 106, 262–274. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.05.031>
- Pérez, K., Marí-Dell'Olmo, M., Tobias, A., & Borrell, C. (2007). Reducing Road Traffic Injuries: Effectiveness of Speed Cameras in an Urban Setting. *American Journal of Public Health*, 97(9), 1632–1637. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2006.093195>
- Qiu, L., & Nixon, W. A. (2008). Effects of Adverse Weather on Traffic Crashes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2055(1), 139–146. <https://doi.org/10.3141/2055-16>
- Rebollo-Sanz, Y., Rodríguez-López, J., & Rodríguez-Planas, N. (2021). Penalty-point system, deterrence and road safety: A quasi-experimental analysis. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 190, 408–433. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2021.08.007>
- Rocco, L., & Sampaio, B. (2016). Are handheld cell phone and texting bans really effective in reducing fatalities? *Empirical Economics*, 51(2), 853–876. <https://doi.org/10.1007/s00181-015-1018-8>
- Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1), 41–55. <https://doi.org/10.1093/biomet/70.1.41>
- Rossi, P. H., Lipsey, M. W., & Freeman, H. E. (2004). *Evaluation: A systematic approach* (7th ed). Sage.
- Roth, J. (2022). Pretest with Caution: Event-Study Estimates after Testing for Parallel Trends. *American Economic Review: Insights*, 4(3), 305–322. <https://doi.org/10.1257/aeri.20210236>

- Roy, S. (2021). Theory of Social Proof and Legal Compliance: A Socio-Cognitive Explanation for Regulatory (Non) Compliance. *German Law Journal*, 22(2), 238–255. <https://doi.org/10.1017/glj.2021.5>
- Royal Meteorological Institute of Belgium. (1995). *Automatic Weather Station (AWS) daily observations* [Dataset]. [https://opendata.meteo.be/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/RMI\\_DATASET\\_AWS\\_1DAY](https://opendata.meteo.be/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/RMI_DATASET_AWS_1DAY)
- Rubin, D. B. (1974). Estimating causal effects of treatments in randomized and nonrandomized studies. *Journal of Educational Psychology*, 66(5), 688–701. <https://doi.org/10.1037/h0037350>
- Sasidharan, L., & Donnell, E. T. (2013). Application of propensity scores and potential outcomes to estimate effectiveness of traffic safety countermeasures: Exploratory analysis using intersection lighting data. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 539–553. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.05.036>
- Schiff, A., Wright, L., & Denne, T. (2017). *Ex-post evaluation of transport interventions using causal inference methods*. NZ Transport Agency.
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference* (Nachdr.). Wadsworth Cengage Learning.
- Shichman, I., Shaked, O., Factor, S., Weiss-Meilik, A., & Khoury, A. (2022). Emergency department electric scooter injuries after the introduction of shared e-scooter services: A retrospective review of 3,331 cases. *World Journal of Emergency Medicine*, 13(1), 5. <https://doi.org/10.5847/wjem.j.1920-8642.2022.002>
- Silverans, P., Nieuwkamp, R., & Van den Berghe, W. (2018). *Effets attendus des systèmes à points et des autres mesures en matière de récidive au volant* (Nos. 2018-R-07-FR). Vias Institute.
- Slootmans, F. (2024). *Briefing—Les trottinettes électriques et la sécurité routière*. Institut Vias.
- SPF Mobilité et Transports. (2020). *La Micromobilité en Belgique* (No. D/2020/13.831/7).
- Störmann, P., Klug, A., Nau, C., Verboket, R. D., Leiblein, M., Müller, D., Schweigkofler, U., Hoffmann, R., Marzi, I., & Lustenberger, T. (2020). Characteristics and Injury Patterns in Electric-Scooter Related Accidents—A Prospective Two-Center Report from Germany. *Journal of Clinical Medicine*, 9(5), 1569. <https://doi.org/10.3390/jcm9051569>
- Sun, L., & Abraham, S. (2021). Estimating dynamic treatment effects in event studies with heterogeneous treatment effects. *Journal of Econometrics*, 225(2), 175–199. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.09.006>

- Taljaard, M., McKenzie, J. E., Ramsay, C. R., & Grimshaw, J. M. (2014). The use of segmented regression in analysing interrupted time series studies: An example in pre-hospital ambulance care. *Implementation Science, 9*(1), 77. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-9-77>
- Upton, G. J. G., & Cook, I. (2011). *A dictionary of statistics: The invaluable guide to all aspects of statistics* (2. ed. rev., reprinted with corr). Oxford Univ. Press.
- Van Rooij, B. (2021). Do People Know the Law? Empirical Evidence about Legal Knowledge and Its Implications for Compliance. In B. Van Rooij & D. D. Sokol (Eds.), *The Cambridge Handbook of Compliance* (1st ed., pp. 467–488). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108759458.032>
- Vandael Schreurs, K., Ben Messaoud, Y., Dons, E., Wrzesinska, D., & Deleuze, J. (2023). *Le rôle des trottinettes électriques dans le mix de mobilité* (No. Ben Messaoud).
- Vias Institute. (2023). *What is the modal split in Belgium?* <https://www.vias-modalsplit.be/en/>
- Wagner, A. K., Soumerai, S. B., Zhang, F., & Ross-Degnan, D. (2002). Segmented regression analysis of interrupted time series studies in medication use research. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics, 27*(4), 299–309. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2710.2002.00430.x>
- Wegman, F., & Aarts, L. (Eds.). (2006). *Advancing sustainable safety: National road safety outlook for 2005 - 2020*. SWOV.
- Weiss, C. H. (1998). *Evaluation: Methods for studying programs and policies* (2. ed). Prentice Hall.
- Willardsen, K. (2021). Effects of Speed Cameras on Intersection Accidents: Evidence from Dayton. *Review of Regional Studies, 51*(3). <https://doi.org/10.52324/001c.30972>
- Wilson, C., Willis, C., Hendrikz, J. K., Le Brocq, R., & Bellamy, N. (2010). Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths. In The Cochrane Collaboration (Ed.), *Cochrane Database of Systematic Reviews* (p. CD004607.pub3). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004607.pub3>
- Wing, C., Simon, K., & Bello-Gomez, R. A. (2018). Designing Difference in Difference Studies: Best Practices for Public Health Policy Research. *Annual Review of Public Health, 39*(1), 453–469. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040617-013507>
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data* (2nd ed.). MIT Press.
- Wright, N. A., & Lee, L.-T. (2021). Alcohol-related traffic laws and drunk-driving fatal accidents. *Accident Analysis & Prevention, 161*, 106358. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106358>

Yang, H., Huo, J., Bao, Y., Li, X., Yang, L., & Cherry, C. R. (2021). Impact of e-scooter sharing on bike sharing in Chicago. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 154, 23-36.  
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.09.012>

Yu, B., & Kaffine, D. T. (2011). *Blue Laws, DUIs and Alcohol-Related Accidents: Regression Discontinuity Evidence from Colorado*. 1.

# Bijlage

## Bijlage 1: Toepassingsscenario 1

Annex 1.A: Aanvullende robuustheidscontroles

Tabel 9 Resultaten voor het verzadigde *Poisson* DiD-model.

	<b><i>Poisson</i> verzadigde DiD</b>
<b>Buitenlands voertuig</b>	-2.41 (0.0002)
<b>Buitenlands * post_cbe</b>	-0.028 (0.108)
<b>Provinciale vaste effecten</b>	Provincie × maand vaste effecten
<b>Maandelijkse vaste effecten</b>	Provincie × maand vaste effecten
<b>observations</b>	1584
<b>Aangepaste Pseudo R2</b>	0.9421

Afhankelijke variabele :	placebo_2011	placebo_2012	placebo_2013	placebo_2014	placebo_2016
	buitenlands_aandeel	buitenlands_aandeel	buitenlands_aandeel	buitenlands_aandeel	buitenlands_aa
Post (placebo-afkap)	-0.0016 (0.0025)	-0.0018 (0.0025)	-0.0031 (0.0022)	-0.0062* (0.0024)	-0.0015 (0.0020)
gem_temp	-0.0009* (0.0003)	-0.0009* (0.0004)	-0.0007* (0.0003)	-0.0006 (0.0003)	-0.0009* (0.0004)
gem_neerslag	-0.0002 (0.0003)	-0.0002 (0.0003)	-0.0002 (0.0003)	-0.0001 (0.0003)	-0.0003 (0.0002)
Vaste effecten :					
provincie	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
maand	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
S.E. : geclusterd per provincie					
Observaties	1,584	1,584	1,584	1,584	1,584
R2	0.80865	0.80873	0.80919	0.81154	0.80863
Significantiecodes :	0 '***'	0.001 '***'	0.01 '**'	0.05 '.'	0.1 ' ' 1

Figuur 11 Placebotesten met aanvullende aandeelgebaseerde modellen.

did\_share\_all  
Afhankelijke variabele : buitenlands\_aandeel

Post (echte CBE)        -0.0036.  
                                      (0.0018)

gem\_temp                -0.0001  
                                      (0.0006)

gem\_neerslag            -0.0022  
                                      (0.0018)

Vaste effecten :

provincie                Ja  
maand                    Ja

S.E. : geclusterd per provincie

Observaties             924  
R2                        0.81151

Figuur 12 Resultaten van aandeelgebaseerde modellen exclusief het Verenigd Koninkrijk, Ierland en Denemarken.

did\_share\_all  
Afhankelijke variabele : buitenlands\_aandeel

Post (echte CBE)        -0.0022  
                                      (0.0021)

gem\_temp                -0.0006  
                                      (0.0008)

gem\_neerslag            -0.0028  
                                      (0.0023)

Vaste effecten :

provincie                Ja  
maand                    Ja

S.E. : geclusterd per provincie

Observaties             924  
R2                        0.76034

Figuur 13 Resultaten van aandeelgebaseerde modellen voor slachtoffers.

	placebo_2011	placebo_2012	placebo_2013	placebo_2014	placebo_2016
Afhankelijke variabele : buitenlands_aandeel buitenlands_aandeel buitenlands_aandeel buitenlands_aar					
Post (placebo-afkap)	0.0010 (0.0030)	-0.0007 (0.0032)	-0.0019 (0.0028)	-0.0048 (0.0029)	-0.0003 (0.0024)
gem_temp	-0.0014* (0.0005)	-0.0013* (0.0004)	-0.0012* (0.0004)	-0.0010* (0.0004)	-0.0014* (0.0005)
gem_neerslag	-0.0008 (0.0006)	-0.0007 (0.0006)	-0.0008 (0.0006)	-0.0007 (0.0006)	-0.0008 (0.0005)
Vaste effecten :					
provincie	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
maand	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
S.E. : geclusterd per provincie					
Observaties	1,584	1,584	1,584	1,584	1,584
R2	0.75966	0.75964	0.75981	0.76094	0.75962
Significantiecodes : 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

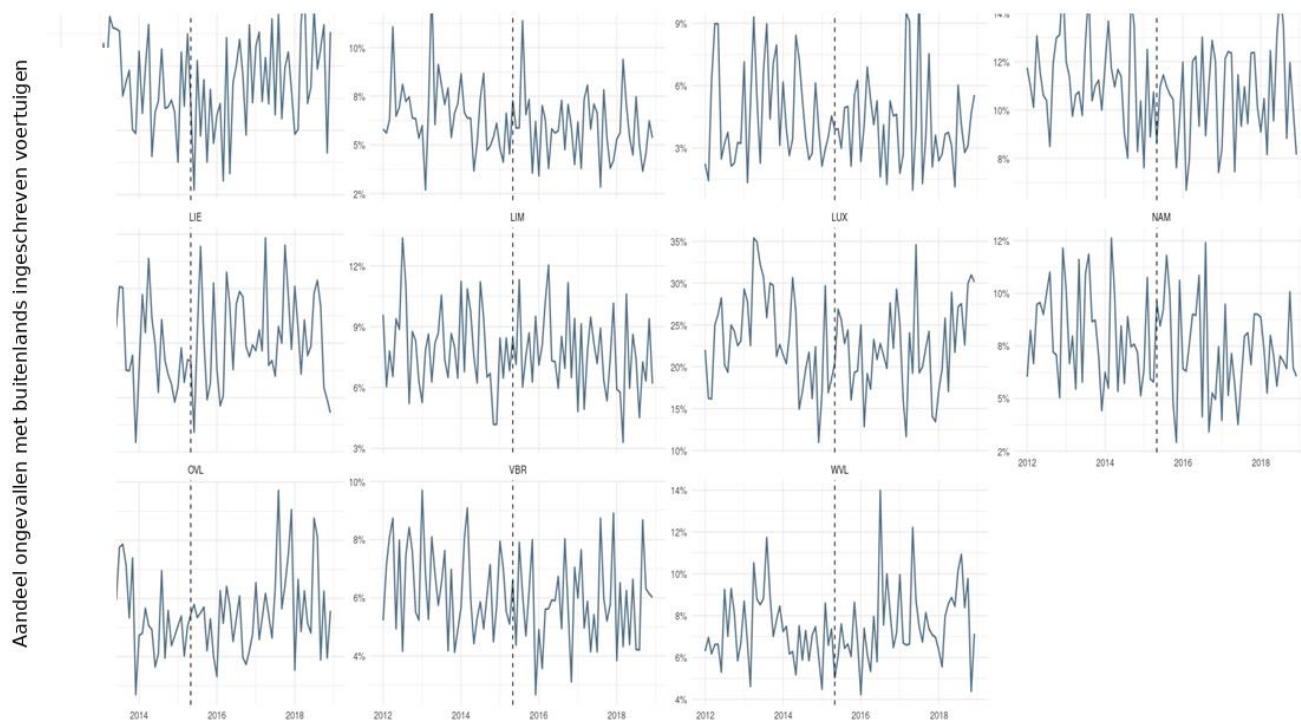
Figuur 14 Placebotesten voor slachtoffers.

Bijlage 1.A.1: Beschrijvende / pre-diagnostische figuren voor absolute waarden

Bijlage 1.A.1.1: Ongevallen

## Aandeel ongevallen met buitenlands ingeschreven voertuigen per provincie

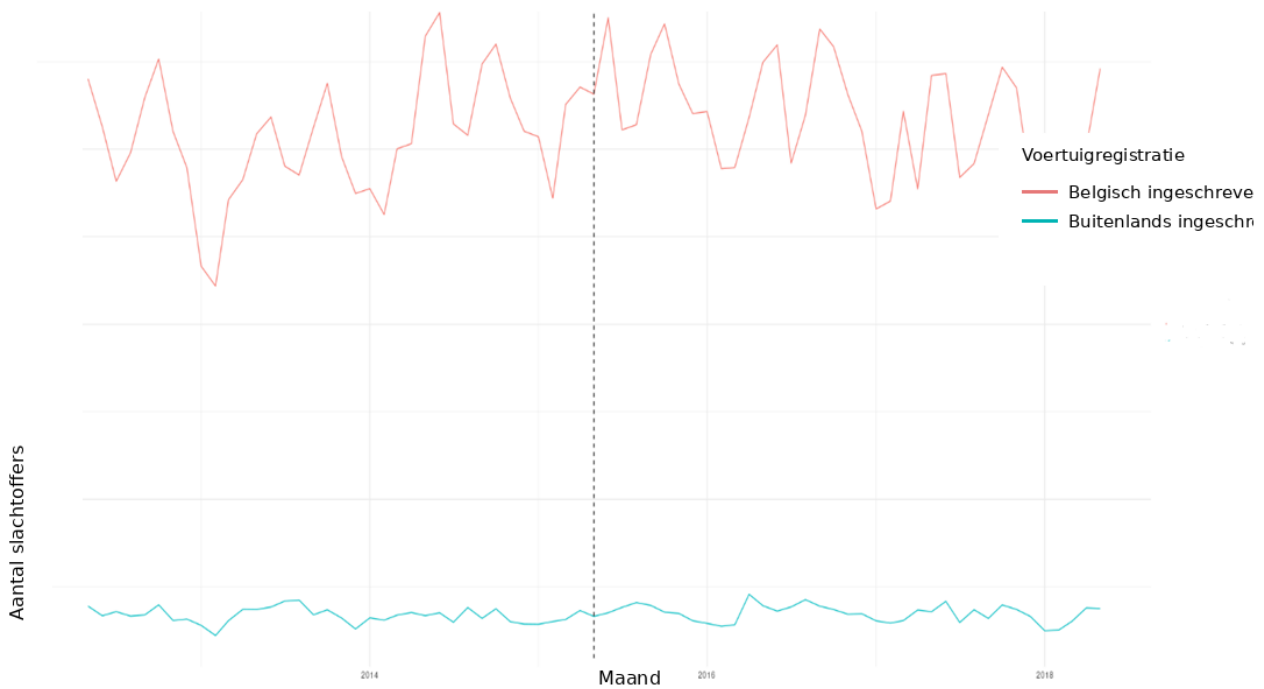
Maandelijkse evolutie (2012–2018)



Figuur 15 Maandelijkse ongevallen met voertuigen ingeschreven in België en in het buitenland, voor alle voertuigtypes.

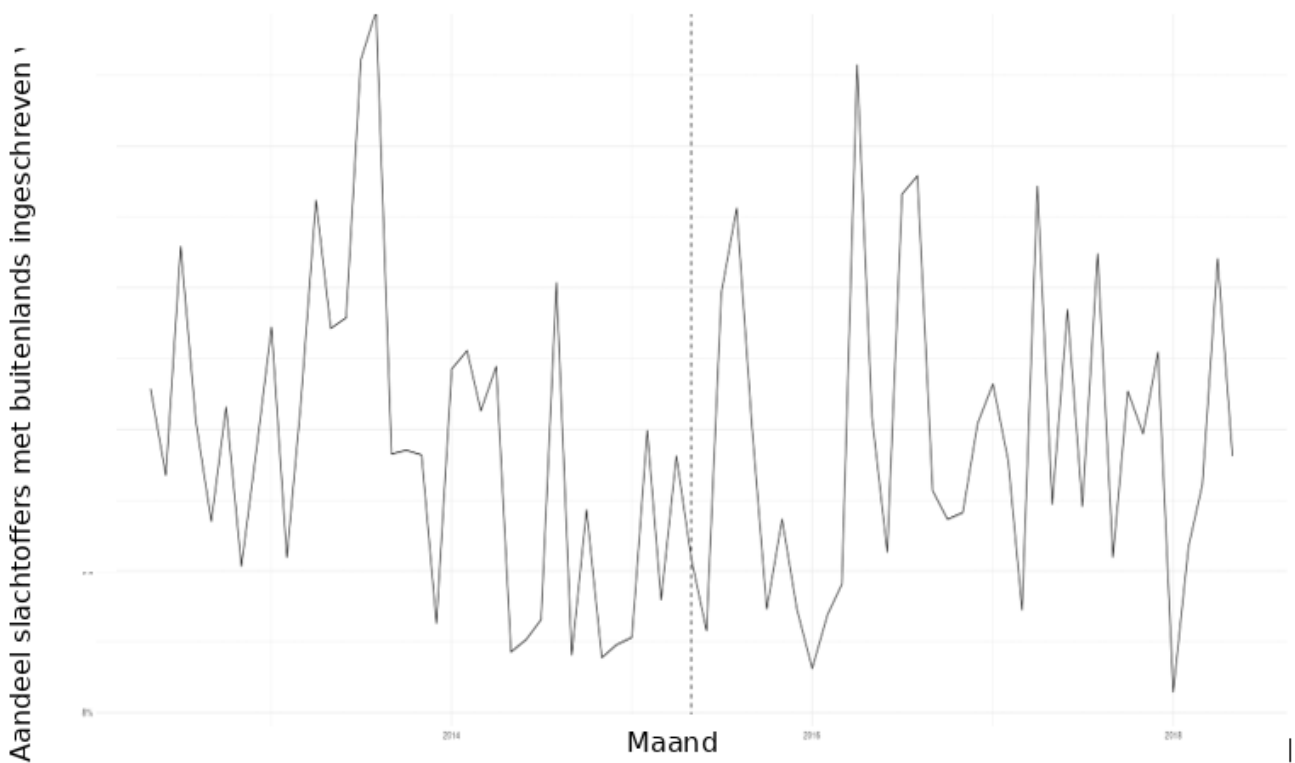
## Bijlage 1.A.1.2: Slachtoffers

### Maandelijkse slachtoffers met Belgisch en buitenlands ingeschreven voertuigen - Alle voertuigen



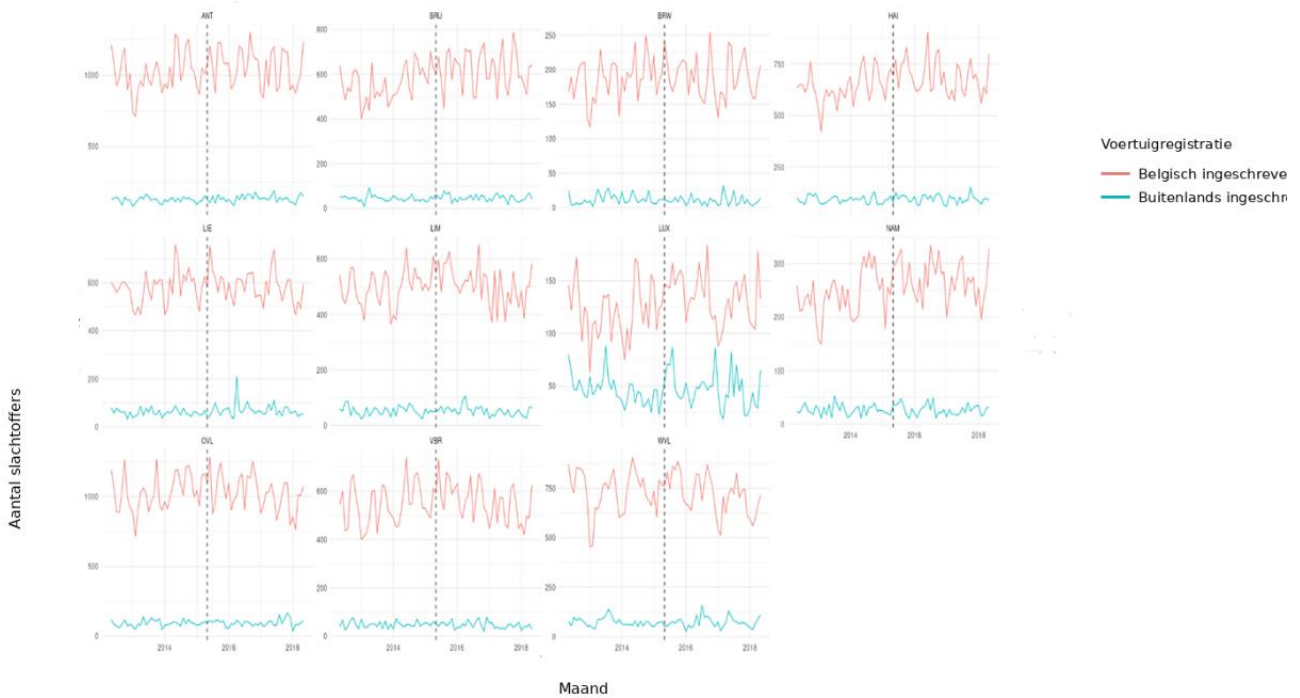
Figuur 16 Maandelijkse slachtoffers bij ongevallen met voertuigen ingeschreven in België en in het buitenland – alle voertuigtypes.

### Aandeel buitenlands ingeschreven voertuigen in alle slachtoffers - Alle voertuigen



Figuur 17 Aandeel van in het buitenland ingeschreven voertuigen in alle slachtoffers in de tijd – alle voertuigtypes.

## Slachtoffers naar registratiestatus en provincie in de tijd - Alle voertuigen



Figuur 18 Slachtoffers naar inschrijvingsstatus en provincie doorheen de tijd – alle voertuigtypes.

### Bijlage 1.B: Event-studyfiguren

#### Bijlage 1.B.1: Ongevallen

##### Difference-in-differences voor absolute ongevals aantallen

Het model evalueert of de behandelingsgroep een verandering in ongevals betrokkenheid heeft ervaren na de richtlijn:

$$accidents_{ipt} = \beta_0 + \beta_1 post_t + \beta_2 treatment_i + \beta_3(post_t * treatment_i) + \gamma X_{pt} + \alpha_p + \varepsilon_{ipt}$$

Waarbij:

- $accidents_{ipt}$  : het maandelijks aantal ongevallen met in het buitenland of in België ingeschreven voertuigen in provincie p op tijdstip t
- $post_t$  : gelijk aan 1 na mei 2015
- $treatment_i$  : gelijk aan 1 voor in het buitenland ingeschreven voertuigen
- $post_t * treatment_i$  : de DiD-schatting die het effect van de CBE-richtlijn weergeeft
- $X_{pt}$  : maandelijks weerscontrolevariabelen (temperatuur en neerslag)
- $\alpha_p$  : Provincievaste effecten (om te controleren voor niet-geobserveerde, tijdsinvariante verschillen tussen provincies)
- $\varepsilon_{ipt}$  : Standaardfouten: geclusterd op provincieniveau

De coëfficiënt van interesse,  $\beta_3$ , meet de relatieve verandering in ongevallen met in het buitenland ingeschreven voertuigen nadat de CBE-richtlijn in werking is getreden.

Dit model wordt afzonderlijk geschat voor alle voertuigen samen (met uitsluiting van bromfietsen) en voor elk voertuigtype afzonderlijk (personenauto's, vrachtwagens, bestelwagens, motorfietsen).

##### Trend-gecorrigeerd difference-in-differencesmodel voor absolute ongevals aantallen

In gevallen waarin de verschillen vóór de behandeling niet stabiel zijn, kan de standaard DiD-schatting het effect van de richtlijn verwarren met reeds bestaande divergentie. In dergelijke gevallen wordt een groepsspecifieke lineaire tijdstrend toegevoegd:

$$accidents_{ipt} = \beta_0 + \beta_1 post_t + \beta_2 treatment_i + \beta_3 (post_t * treatment_i) + \beta_4 (treatment_i * time_t) + \gamma X_{pt} + \alpha_p + \varepsilon_{ipt}$$

Waarbij:

- $time_t$  : is de maandelijkse tijdsindex
- De interactie  $treatment_i * time_t$  vangt systematische divergentie vóór het beleid op
- De coëfficiënt  $\beta_3$  meet nu het behandelingseffect, gecorrigeerd voor deze reeds bestaande divergentie

De overige coëfficiënten hebben dezelfde interpretatie als voorheen. Deze specificatie wordt uitsluitend gebruikt wanneer dit wordt gerechtvaardigd door de event-study-diagnostiek.

Deze selectieve toepassing van aangepaste modellen volgt de best practices in toegepast DiD-onderzoek.

Bijlage 1.B.2: Volledige regressieresultaten

Bijlage 1.B.2.1: Ongevallen

Auto's		
Afhankelijke variabele :	did_model accidents	did_trend accidents
Na beleid	7.941* (3.120)	7.940* (3.121)
Buitenlands ingeschreven voertuig	-193.22*** (31.15)	-214.1*** (44.44)
Gemiddelde temperatuur	0.7587*** (0.1796)	0.7658*** (0.1842)
Gemiddelde neerslag	0.7971** (0.2225)	0.8145** (0.2273)
Buitenlands × Post (CBE-effect)	-8.259* (2.976)	-9.715* (3.086)
Buitenlands × tijdtrend	---	0.0013 (0.0010)
Vaste effecten :		
prov	Ja	Ja
S.E. : geclusterd	per : prov	per : prov
Observaties	1,606	1,606
R2	0.81831	0.81831
Binnen R2	0.77140	0.77141
Significantiecodes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1		

Figuur 19 DiD-resultaten voor personenwagens – aantal ongevallen.

Vrachtwagens		
Afhankelijke variabele :	did_model accidents	did_trend accidents
Na beleid	0.0421 (0.3967)	0.0417 (0.3966)
Buitenlands ingeschreven voertuig	-4.995*** (1.082)	-12.85 (7.312)
Gemiddelde temperatuur	0.0621** (0.0145)	0.0648*** (0.0160)
Gemiddelde neerslag	0.0242 (0.0608)	0.0307 (0.0630)
Buitenlands × Post (CBE-effect)	0.2554 (0.3502)	-0.2904 (0.6994)
Buitenlands × tijdtrend	---	0.0005 (0.0004)
Vaste effecten :		
prov	Ja	Ja
S.E. : geclusterd	per : prov	per : prov
Observaties	1,606	1,606
R2	0.74534	0.74561
Binnen R2	0.34526	0.34595
Significantiecodes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1		

Figuur 20 DiD-resultaten voor vrachtwagens – aantal ongevallen.

### Bestelwagens

Afhankelijke variabele : did\_model accidents                      did\_trend accidents

Na beleid	1.319* (0.4906)	1.319* (0.4908)
Buitenlands ingeschreven voertuig	-19.77*** (4.106)	-27.68** (6.228)
Gemiddelde temperatuur	0.0819** (0.0261)	0.0845** (0.0266)
Gemiddelde neerslag	0.0830 (0.1209)	0.0896 (0.1205)
Buitenlands × Post (CBE-effect)	-0.9326 (0.4579)	-1.482* (0.5008)
Buitenlands × tijdtrend	---	0.0005* (0.0002)

#### Vaste effecten :

prov                                      Ja                                      Ja

S.E. : geclusterd	per : prov	per : prov
Observaties	1,606	1,606
R2	0.74139	0.74144
Binnen R2	0.63765	0.63773

Significantiecodes : 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Figuur 21 DiD-resultaten voor bestelwagens – aantal ongevallen.

### Motorfietsen

Afhankelijke variabele: did\_model ongevallen                      did\_trend ongevallen

Na beleid (Post-policy)	-0.1220 (0.4610)	-0.1232 (0.4611)
Buitenlands geregistreerd voertuig	-19.05*** (2.990)	-42.14*** (7.476)
Gemiddelde temperatuur	0.7029*** (0.0716)	0.7108*** (0.0726)
Gemiddelde neerslag	-1.031*** (0.1520)	-1.012*** (0.1520)
Buitenlands × Na (CBE-effect)	-0.3082 (0.3829)	-1.912** (0.6031)
Buitenlands × Tijdtrend	---	0.0014** (0.0003)

#### Vaste effecten:

prov                                      Ja                                      Ja

S.E.: Geclusterd per: prov	Geclusterd per: prov	
Observaties	1,606	1,606
R2	0.70804	0.70859
Binnen R2	0.66073	0.66137

Significantiecodes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Figuur 22 DiD-resultaten voor motorfietsen – aantal ongevallen.

Bijlage 1.B.2.2: Slachtoffers

Alle voertuigen	did_model
Afhankelijke variabele:	totaal_slachtoffers
Na beleid	19.02* (7.721)
Buitenlands geregistreerd voertuig	-496.7*** (82.23)
Gemiddelde temperatuur	3.156*** (0.6192)
Gemiddelde neerslag	1.077. (0.5907)
Buitenlands × Na (CB-effect)	-18.20* (7.181)
Buitenlands × Tijdtrend	
Vaste effecten:	
prov	Ja
-----	
S.F.: Geclusterd per: prov	
Observaties	1,606
R2	0.81623
Binnen R2	0.76214
---	
Significantiecodes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	

Figuur 23 DiD-resultaten voor alle voertuigen – aantal slachtoffers.

Auto's	did_model
Afhankelijke variabele:	totaal_slachtoffers
Na beleid	16.55* (6.931)
Buitenlands geregistreerd voertuig	-464.1*** (76.18)
Gemiddelde temperatuur	2.410*** (0.5225)
Gemiddelde neerslag	1.992** (0.5333)
Buitenlands × Na (CBE-effect)	-16.67* (6.354)
Buitenlands × Tijdtrend	
Vaste effecten:	
prov	Ja
-----	
S.F.: Geclusterd per: prov	
Observaties	1,606
R2	0.81782
Binnen R2	0.76581
---	
Significantiecodes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	

Figuur 24 DiD-resultaten voor personenwagens – aantal slachtoffers.

Vrachtwagens	did_model
Afhankelijke variabele:	totaal_slachtoffers
Na beleid	-0.0050 (0.8812)
Buitenlands geregistreerd voertuig	-10.65** (2.399)
Gemiddelde temperatuur	0.2201** (0.0574)
Gemiddelde neerslag	0.1951 (0.2402)
Buitenlands × Na (CBE-effect)	1.924. (0.9096)
Buitenlands × Tijdtrend	
Vaste effecten:	
prov	Ja
-----	
S.F.: Geclusterd per: prov	
Observaties	1,606
R2	0.69134
Binnen R2	0.19839
---	
Significantiecodes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	

Figuur 25 DiD-resultaten voor vrachtwagens – aantal slachtoffers.

Bestelwagens	did_model
Afhankelijke variabele:	totaal_slachtoffers
Na beleid	3.051* (1.196)
Buitenlands geregistreerd voertuig	-50.79*** (10.66)
Gemiddelde temperatuur	0.2219* (0.0783)
Gemiddelde neerslag	0.2719 (0.3407)
Buitenlands × Na (CBE-effect)	-1.453 (1.191)
Buitenlands × Tijdtrend	
Vaste effecten:	
prov	Ja
-----	
S.F.: Geclusterd per: prov	
Observaties	1,606
R2	0.73811
Binnen R2	0.61986
---	
Significantiecodes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	

Figuur 26 DiD-resultaten voor bestelwagens – aantal slachtoffers.

```

Motorfietsen          did_model
Afhangelijke variabele:  totaal_slachtoffers

Na beleid             -0.4388 (0.9719)
Buitenlands geregistreerd voertuig -39.24*** (6.295)
Gemiddelde temperatuur  1.488*** (0.1533)
Gemiddelde neerslag    -2.256*** (0.3194)
Buitenlands x Na (CBE-effect) -0.4137 (0.8029)
Buitenlands x Tijdtrend

Vaste effecten:
prov                  Ja
-----
S.F.: Geclusterd per: prov
Observaties          1,606
R2                   0.69377
Binnen R2            0.64230
---
Significantiecodes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Figuur 27 DiD-resultaten voor motorfietsen – aantal slachtoffers.

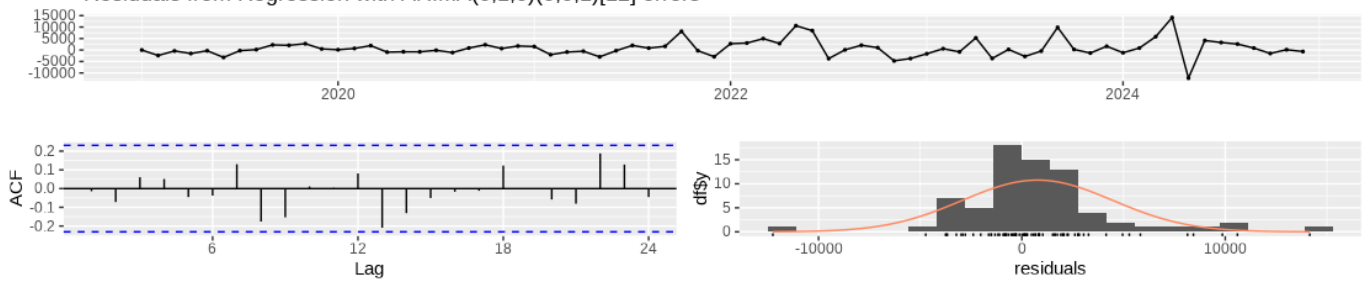
## Bijlage 2: Toepassingsscenario 2

Bijlage 2.A: Statistieken van het SARIMAX-model voor het aantal ritten met gedeelde e-steps in Brussel.

Statistiek	Waarde
<b>Sigma<sup>2</sup></b>	629.40
<b>Log-likelihood</b>	-690.59
<b>AIC</b>	1395.18
<b>AICc</b>	1396.96
<b>BIC</b>	1411.02

Parameter	Schatting	Std. fout	p-waarde
<b>SAR(1)</b>	0.750	0.232	0.001***
<b>Temperatuur</b>	588.631	135.641	0.001***
<b>Neerslag</b>	-56.426	433.858	0.89
<b>Stringentie-index</b>	-1987.949	1869.325	0.29
<b>Niveaushift</b>	-10133.125	3542.185	0.004**
<b>Trendverandering</b>	-1877.498	1192.225	0.12

Residuals from Regression with ARIMA(0,1,0)(0,0,1)[12] errors





**Vias institute**

Haachtsesteenweg 1405  
1130 Brussel

+32 2 244 15 11

[info@vias.be](mailto:info@vias.be)

[www.vias.be](http://www.vias.be)