



**Universiteit  
Leiden**  
The Netherlands

## **Machine learning-based NO<sub>2</sub> estimation from seagoing ships using TROPOMI/S5P satellite data**

Kurchaba, S.

### **Citation**

Kurchaba, S. (2024, June 11). *Machine learning-based NO<sub>2</sub> estimation from seagoing ships using TROPOMI/S5P satellite data*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3762166>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3762166>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

# Samenvatting

De zeevaartsector is een van de grootste vervuilers waar het gaat om de uitstoot van stikstof-oxides ( $\text{NO}_x$ ). Dit is een groep van vervuilende stoffen die zeer schadelijk zijn voor ecosystemen en humane gezondheid. De afgelopen 20 jaar is de vervuiling veroorzaakt door electriciteitscentrales, de zware industrie en het autoverkeer constant afgenomen. Deze trend zien we niet terug in de zeevaart, integendeel, we zien in feite dat de bijdrage van de scheepvaart aan de vervuiling continu toeneemt. Deze opwaartse trend zorgt voor een sterke druk vanuit de maatschappij die erin geresulteerd heeft dat er nieuwe regelgeving is voorgesteld vanuit de "International Maritime Organisation" (IMO). Deze voorschriften leggen restricties op aan individuele schepen met betrekking tot het niveau van uitstoot (emissie) dat een schip kan produceren. Er bestaan verschillende methodes voor het monitoren van uitstoot voor kustvaart en voor schepen in havengebieden, terwijl het monitoren van schepen op open zee tot op heden onhaalbaar is gebleken. De grote verandering in dit verband is het TROPOMI instrument dat is ingebouwd in de Sentinel 5 Precursor Satelliet - studies hebben aangetoond dat  $\text{NO}_2$  rookpluimen van sommige zeegaande schepen op TROPOMI beeldmateriaal kunnen worden onderscheiden. Het doel van het onderzoek dat in dit proefschrift wordt gepresenteerd is de mogelijkheden te laten zien van het TROPOMI instrument voor de naleving van de regelgeving door IMO opgesteld voor zeegaande schepen. Ons doel wordt bereikt door het inzetten van innovatieve combinaties van geavanceerde methodes uit het machinaal leren, kenmerk extractie en data integratie. Ieder hoofdstuk uit dit proefschrift bouwt voort op de bevindingen uit het voorgaande hoofdstuk; het geheel van de hoofdstukken representeert de nieuwste-van-het-nieuwste kennis met betrekking tot het toepassen van TROPOMI satelliet data voor het monitoren van  $\text{NO}_2$  uitstoot van individuele zeegaande schepen. In de eerste twee hoofdstukken introduceren we het werkveld en achtergrondinformatie relevant voor ons onderzoek. Vervolgens ontwikkelen we in Hoofdstuk 3 een methodologie gebaseerd op machinaal-

leren en we gebruiken deze methodologie om de grenzen van de gevoeligheid van het detectiesysteem uit TROPOMI data te onderzoeken met betrekking tot de detecteren van NO<sub>2</sub>-rookpluimen van schepen. De inzichten uit dit hoofdstuk bepalen de reikwijdte van het verdere onderzoek in dit proefschrift. In Hoofdstuk 4 presenteren we een methode voor het automatische afbakening van een TROPOMI-beeld dat correspondeert met een schip onder aandacht. Door hiervan gebruik te maken kunnen delen waarin geen informatie van belang voorkomt worden uitgesloten van de analyse, terwijl de specifieke aandacht kan gaan naar dat deel van van het TROPOMI-beeld waar de lokatie van de rookpluim van een schip kan worden verwacht. Daaropvolgend presenteren we in Hoofdstuk 5 een methode gebaseerd op machinaal-leren voor de automatische segmentatie van NO<sub>2</sub>-rookpluimen zoals die zijn geproduceerd door individuele schepen. De resultaten die hiermee worden verkregen suggereren dat het gebruik van machinaal leren voor de taak van rookpluim detectie (segmentatie) ons in staat stelt de rookpluim correct te detecteren; anderszins zijn deze rookpluimen moeilijk tot niet detecteerbaar voor het menselijk oog. Tenslotte, presenteren we in Hoofdstuk 6 een methode voor de automatische detectie van schepen die potentieel abnormale uitstoot produceren. Onze aanpak maakt het mogelijk grote hoeveelheden "remote sensing" satelliet data geautomatiseerd verwerken teneinde schepen te kunnen selecteren die consistent meer uitstoot produceren dan op basis van eigenschappen van een schip en vaarcondities kan worden afgeleid. De voorgestelde methode voorziet in een mogelijke benadering voor het ontwikkelen van een schaalbaar systeem voor het verstrekken van aanbevelingen voor scheep-inspecteurs gebaseerd op satelliet observaties. Concluderend, kunnen we stellen dat met het onderzoek en de resultaten gepresenteerd in dit proefschrift, we opmerkelijke stappen voorwaarts gezet hebben betreffende vernieuwingen in het inzetten van satelliet-observaties voor de taak van het continue en wereldwijd monitoren van de NO<sub>2</sub>-uitstoot van individuele schepen op open zee. Bij aanvang van het onderzoek voor dit proefschrift wisten we niet meer dan dat sommige rookpluimen met het TROPOMI instrument zouden kunnen worden onderscheiden. Maar bij de afsluiting van dit onderzoek hebben we inzicht verkregen in de beperkingen van de gevoeligheid van het detectiesysteem van het TROPOMI-instrument met betrekking tot NO<sub>2</sub>-pluimen van schepen, weten we hoe het TROPOMI-sigitaal moet worden verwerkt teneinde automatisch informatie te verkrijgen over de uitstoot van schepen, en hoe we automatisch schepen kunnen selecteren met een potentieel abnormale uitstoot. De door ons beschreven vooruitgang legt een solide basis voor toekomstige toepassing van satelliet-gebaseerde technologie in het wereldwijd en continue monitoren van antropogene uitstoot.

## Samenvatting

---