



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Environmental sustainability of NdFeB magnet recycling: foresight study on recycling systems and technologies

Nielen S.S. van

Citation

Environmental sustainability of NdFeB magnet recycling: foresight study on recycling systems and technologies. (2024, November 1). *Environmental sustainability of NdFeB magnet recycling: foresight study on recycling systems and technologies.* Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4107092>

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/1887/4107092>

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

Acknowledgements

I have enjoyed working on my PhD research for four years. I would like to thank everyone who contributed to this enjoyable time. Starting with Benjamin Sprecher and René Kleijn, who designed a sound research agenda as part of the SUSMAGPRO project plan. R, thank you for giving me plenty of room for my own input and responsibility as a day-to-day supervisor. The various groups you recommended and set up provided a useful context and support, especially during the COVID pandemic. I felt at home in these groups, from the *magnets update* to the ex-ante LCA meetings and the Future Resources Hub. I also enjoyed playing an organisational role in the latter. Of course, these groups would have been nothing without the input of many colleagues, to whom I am very grateful for their feedback and inspiration. In short, the CML has provided an environment in which research can flourish.

Furthermore, I would like to thank the partners of the SUSMAGPRO project for their fruitful collaboration. An industrial ecologist cannot succeed without data, so it was great that the SUSMAGPRO partners were able to provide it – as far as the information was available. Visiting several partners greatly enhanced my understanding of magnet recycling, and provided memorable experiences abroad. Special thanks to Brenda. We complemented each other well during the work for SUSMAGPRO and we succeeded in producing six informative deliverables. Standing in front of the whiteboard together, we managed to find our way in the world of magnets and LCAs.

The fifth and final year of the research was a tough time for me. It is thanks to the moral and practical support of several people that this thesis was finally completed. For that support, I am grateful to several colleagues, especially Brenda, Chen, Janneke, Kai, Maarten, Tales, Teun, and Yanan. As fellow PhDs, we could share frustrations about publishing and also celebrate successes. As a change from my 'own' research, it was refreshing to work on collaborative papers with Brenda, Carina, Chen, Gloria, Marc, Maarten and even Jessie from TU Delft. Family and friends provided the necessary distraction and perspective, occasionally pulling me out of my proverbial cave. Training with triathletes from ZVL-1886 was also a good way to clear my head and make room for new ideas.

I would especially like to thank my supervisors. René, thank you for your optimism and your unwavering belief in a good outcome. I appreciate the many suggestions and tips you gave me, without them being mandatory requirements. You facilitated exchanges, solved practical problems and answered many of my questions, which made this doctoral journey inspiring and successful. Arnold, without your sharp eye and attention to detail, this dissertation might never have been completed. Sometimes you were better able to grasp the core of my research than me, even *on top of* all your other ongoing research matters.

Dankwoord

Vier jaar lang heb ik met plezier aan mijn promotieonderzoek gewerkt. Ik wil iedereen bedanken die heeft bijgedragen aan dat werkgenot. Te beginnen met Benjamin Sprecher en René Kleijn, die een goede opzet van de onderzoeksagenda hadden gemaakt als onderdeel van het SUSMAGPRO projectplan. René, bedankt dat je mij als dagelijks begeleider veel ruimte gaf voor eigen inbreng en eigen verantwoordelijkheid. De verschillende groepen die je aanraadde en opzette vormden een nuttige context en houvast, vooral tijdens de COVID-pandemie. Ik voelde me thuis binnen die groepen, van de *magnets update* tot de ex-ante LCA meetings en de Future Resources Hub. In die laatste heb ik dan ook met veel plezier een organisatorische rol vervuld. Deze groepen waren natuurlijk niks zonder de inbreng van vele collega's, wie ik zeer dankbaar ben voor hun feedback en inspiratie. Kortom, het CML bood een stimulerende en inspirerende omgeving.

Verder wil ik de partners van het SUSMAGPRO project bedanken voor de goede samenwerking. Een Industrieel Ecoloog komt niet ver zonder data, dus was het geweldig dat de SUSMAGPRO-partners die konden aanleveren – voor zover de informatie beschikbaar was. Het bezoek aan verschillende partners heeft bijgedragen aan een beter begrip van magneetrecycling én memorabele ervaringen in het buitenland. In het bijzonder bedank ik Brenda. Wij konden elkaar goed aanvullen tijdens het werk voor SUSMAGPRO, en konden zo zes informatieve rapporten opleveren. Staand voor het whiteboard lukte het samen om de weg te vinden in de wereld van magneten en LCA's.

Het vijfde en laatste jaar van het onderzoek was een zware tijd voor mij. Het is dan ook te danken aan de mentale en inhoudelijke steun van diverse mensen dat dit proefschrift er toch gekomen is. Dat waren diverse collega's, in het bijzonder Brenda, Chen, Janneke, Kai, Maarten, Tales, Teun, and Yanan. Als PhD's konden we frustraties over publiceren delen, en ook successen vieren. Ter afwisseling van het 'eigen' onderzoek was het verfrissend om aan gezamenlijke papers te werken, met Brenda, Carina, Chen, Gloria, Marc, Maarten, en zelfs Jessie van de TU Delft. Familie en vrienden zorgend voor de nodige afleiding en relativering, door mij af en toe uit mijn spreekwoordelijke schrijfhol te trekken. Ook de trainingen met triatleten van ZVL-1886 waren een goede manier om mijn hoofd leeg te maken, zodat er weer ruimte kwam voor nieuwe ideeën.

In het bijzonder dank ik mijn promotoren. René, bedankt voor je optimisme en het rotsvaste vertrouwen in een goede afloop. Ik waardeer de vele suggesties en tips die je hebt gegeven, zonder dat het dwingende eisen waren. Je hebt uitwisselingen gefaciliteerd, praktische problemen opgelost en vele vragen van mijn kant beantwoord, wat dit promotietraject inspirerend en succesvol maakte. Arnold, zonder jouw scherpe blik en oog voor details was dit proefschrift misschien wel nooit afgerond. Soms wist jij beter de kern te vatten van mijn onderzoek dan ik, en dat *naast* alle andere lopende onderzoekszaken.

Curriculum Vitae

Experience

Sander van Nielen was born on February 11th, 1993, in Gouda, the Netherlands. After attending Waldorf school, he pursued his interest in quantitative sciences and sustainability, and chose to study in Leiden. Here, he studied *Molecular Science & Technology*, followed by a master's in *Industrial Ecology*. He graduated in 2016, with a thesis on the role of solid oxide fuel cells in future energy systems. Both his bachelor's and master's degrees were joint programs offered by Leiden University and TU Delft.

From 2017 to 2019, Sander worked as a sustainability advisor at the Engineering department of *Gemeente Rotterdam*, a job focused on Green Public Procurement and renewable energy systems. At the same time, he participated in a traineeship programme to develop essential professional skills.

In 2019, he was accepted as a Ph.D. candidate at the *Institute of Environmental Science* (CML) at Leiden University. He subsequently returned to Leiden, where he applied analytical Industrial Ecology methods to investigate the recycling of magnets. The Ph.D. research was supervised by Prof. Dr. Arnold Tukker and Prof. Dr. René Kleijn. His research contributed to the SUSMAGPRO project in several ways, including presentations at project meetings, workshops and reports. In addition, in 2024 he worked on the *Getting the Data Right* project.

List of publications

Scientific publications

- Van Nielen, S. S., Kleijn, R., Sprecher, B., Miranda Xicotencatl, B., & Tukker, A. (2022). Early-stage assessment of minor metal recyclability. *Resources, Conservation and Recycling*, 176, 105881. doi:10.1016/J.ResConRec.2021.105881
- Van Nielen, S. S., Sprecher, B., Verhagen, T. J., & Kleijn, R. (2023). Towards neodymium recycling: Analysis of the availability and recyclability of European waste flows. *Journal of Cleaner Production*, 394, 136252. doi:10.1016/J.JClePro.2023.136252
- Hool, A., Schrijvers, D., van Nielen, S., Clifton, A., Ganzeboom, S., Hagelueken, C., Harada, Y., Kim, H., Y. Ku, A., Meese-Marktscheffel, J., & Nemoto, T. (2022). How companies improve critical raw material circularity: 5 use cases. *Mineral Economics*, 35(2), 325–335. doi:10.1007/s13563-022-00315-5
- Miranda Xicotencatl, B., Kleijn, R., van Nielen, S., Donati, F., Sprecher, B., & Tukker, A. (2023). Data implementation matters: Effect of software choice and LCI database evolution on a comparative LCA study of permanent magnets. *Journal of Industrial Ecology*. doi:10.1111/jiec.13410
- Harpprecht, C., Miranda Xicotencatl, B., van Nielen, S., van der Meide, M., Li, C., Li, Z., Tukker, A., & Steubing B. (2024). Future environmental impacts of metals: a systematic

review of impact trends, modelling approaches, and challenges, *Resources, Conservation and Recycling*.

Van Nielen, S. S., Miranda Xicotencatl, B., Tukker, A., & Kleijn, R. (2024). Ex-ante LCA of magnet recycling: advancements towards low-impact industrial-scale technology, *Journal of Cleaner Production*.

Van Nielen, S. S., Tukker, A., & Kleijn, R. (in preparation). Accounting for technological learning in ex-ante LCA.

Koese, M., van Nielen, S., Bradley, J. & Kleijn R. (under review) The emergence of rare earth permanent magnet recycling from an innovation systems perspective, *Applied Energy*.

Reports

Van Nielen, S., Schrijvers, D., & Hool, A. (2021). How companies improve critical raw materials circularity. *EU Raw Materials Week 2021*.

Miranda Xicotencatl, B., van Nielen, S., & Kleijn, R. (2021). *SUSMAGPRO D7.1: Baseline LCA of virgin magnet production*. doi:10.5281/zenodo.7521125

Van Nielen, S. S., Miranda Xicotencatl, B., & Kleijn, R. (2022). *SUSMAGPRO D7.2: LCA of novel magnet recycling technologies at small scale*.

Van Nielen, S. S., Miranda Xicotencatl, B., & Kleijn, R. (2023). *SUSMAGPRO D7.3: Ex-ante LCA of large-scale magnet recycling*.

Miranda Xicotencatl, B., van Nielen, S. S., & Kleijn, R. (2023). *SUSMAGPRO D7.4: Social impacts of magnet recycling*.

Van Nielen, S. S., Miranda Xicotencatl, B., & Kleijn, R. (2023). *SUSMAGPRO D7.5: Techno-economic assessment of magnet recycling (confidential)*.