



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Single electron transfer processes in frustrated Lewis pairs

van der Zee, L.J.C.

Publication date
2026

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

van der Zee, L. J. C. (2026). *Single electron transfer processes in frustrated Lewis pairs*. [Thesis, fully internal, Universiteit van Amsterdam].

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, P.O. Box 19185, 1000 GD Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Acknowledgements

My time a PhD student has been a wonderful journey. During these years I had the opportunity to work and meet a large number of great people, who all helped me to develop and grow, not only as a chemist, but also as a person. My journey would not be the same without you, thank you all for your contribution!

Allereerst *Chris*, al vanaf het begin heb jij je vertrouwen in mij laten blijken waardoor ik geen spijt heb gehad om het avontuur van mijn PhD aan te gaan. De vrijheid die je me gaf heeft me geholpen om me sterk te ontwikkelen. Ondanks je drukke agenda stond je altijd klaar als het nodig was. Ook je bezoeken aan het lab op de momenten dat er tijd voor was om even face-to-face te overleggen, heb ik altijd erg gewaardeerd. Je hebt me geleerd kritisch te kijken naar mijn resultaten en dit heeft er zeker in geresulteerd dat ik een betere onderzoeker ben geworden en bijzondere resultaten zoals de frustrated Lewis trios heb ontdekt. Ook je manier van schrijven heb ik telkens bewonderd. Bedankt voor het zijn van mijn reisleader tijdens mijn PhD reis!

Andreas, bedankt dat je mijn co-promotor wil zijn. Je altijd kritische houding om het onderzoek te verbeteren heb ik zeer gewaardeerd, evenals je interesse in mijn resultaten. Je kennis van theoretische chemie hebben me zeker geholpen om bijvoorbeeld ook de berekeningen van de zwaardere elementen van groep 15 uit te kunnen voeren. Ook bedankt voor het verzorgen van de NMR-spectrometers.

The committee members, *Prof. Dr. Guillaume Berionni*, *Dr. Marc-Etienne Moret*, *Prof. Dr. Bas de Bruin*, *Prof. Dr. Joost Reek*, *Dr. Tomáš Šolomek* and *Dr. Bettina Baumgartner*, thank you for making time reading my thesis and attending my defence. *Guillaume Berionni*, I had a wonderful time visiting Namur for the first MG-ERC conference, *Bas de Bruin*, ook bedankt voor de inzichten in de eigenschappen van ongepaarde elektronen en het faciliteren om zelf EPR te kunnen meten. *Tomáš*, also thank you for your help and insights regarding the kinetic measurements of the charge transfer band.

Jelle en *Joost* bedankt dat jullie me bij willen staan als paranimfen en ook voor het samenwerken aan het ChemSocRev review. *Jelle*, we zijn samen begonnen in het eerste jaar van de bachelor. Toen ik net twee weken was begonnen aan mijn PhD kwam jij al als master student voor je masterproject en hebben we samen veel kunnen leren en ontdekken over de chemie. Later, toen jij ook je PhD was begonnen werden we ook nog zuurkastburen. Elke keer vond ik het weer fijn om ideeën over het onderzoek met je uit te kunnen wisselen, maar ik vond het ook interessant om het met je over bijvoorbeeld de politiek te hebben. *Joost*, dat we beide in Weesp wonen schepte meteen een band, zeker omdat we ook nog in dezelfde straat wonen. Als we af en toe samen naar huis reizen bespreken we ondertussen van alles, dat waardeer ik ten zeerste. Je altijd directe hulp met de elektrochemische metingen hebben me erg geholpen en ik kijk terug op een fijne samenwerking.

Working together with and supervising students I enjoyed each time again. *Tess*, je deed je totaal andere chemie dan dat ik tijdens mijn PhD heb gedaan Ik bewonder je energie voor het verbeteren van de wereld. *Sven*, tijdens jouw stage zat misschien

niet alles mee en moesten ook nog alle lampen in het lab midden in de winter uit, maar aan jouw motivatie heeft het niet gelegen. Ik ben blij dat je na je stage bent gebleven als PhD student en vond het fijn om met je samen te werken, bijvoorbeeld met het telkens weer sleutelen aan de gloveboxen. *Ilya*, you did a wonderful job attempting to synthesize the cationic borane. Even though there were several struggles, you did not give up (even with the long journey towards Amsterdam each day) and left me with wonderful results, which I sadly could not finish in the time.

For each of the projects I had the opportunity to collaborate with great scientists and learn from them. *Christoph*, when you joined the group I was able to grow significantly as a researcher. You are a great chemist and your crystallization techniques are amazing. Working alongside you gave me the opportunity to gain experience and learn some of your tricks, which helped me a lot during the rest of my PhD.

Felix, bedankt voor de introductie in het meten van EPR. *Demi*, bedankt voor je me altijd vriendelijke hebt geholpen met de EPR-metingen en je suggesties. *Simon*, thank you for your always enthusiastic efforts measuring the crystal structures and discussions on the chemistry. *Hugo*, thank you for your critical eye and help with the fitting of the time resolved UV-vis spectra. *Fred Brouwer*, bedankt voor het tijd vrijmaken voor de TAS metingen en zeker ook bedankt voor de moeite van het interpreteren van de data. *Sanjukta Pahar*, *Emma Richards* and *Rebecca Melen*, thank you all for your contributions to the ChemRev, it turned out amazing. *Martin Nieger*, thank you for the measurement of the crystal structure. *Anne Visser* bedankt voor de geleidbaarheidsmetingen, *Ekkas Brück* bedankt voor de magnetische susceptibiliteitsmetingen, *Kevin Dollberg* and *Carsten von Hänisch*, thank you for providing the arsenic and antimony compounds.

Ik heb het geluk gehad dat ik op een goed georganiseerd lab mijn onderzoek heb mogen uitvoeren. *Bas de Jong*, hartelijk bedankt voor het regelen van alles voor het lab. Ook je chemische en technische labvaardigheden zijn uitmuntend en ik ben blij dat je deze hebt willen delen. Ik weet dat ik af en toe met bijna onmogelijke vragen kwam voor opstellingen, maar elke keer weer heb je het weten te fixen. Zonder jouw bijdrage was het grootste deel van mijn onderzoek niet mogelijk geweest. Ook *Nick* bedankt voor het managen van het lab. Ik vond het fijn dat je altijd met een lach klaarstond om te helpen waar nodig. The other technicians, *Manuella* and *Maria*, thank you both. *Ed*, bedankt voor het meten van de paar massa's en het meedenken om tot goede resultaten te komen. *Michel* en *Tim*, bedankt voor het faciliteren van het gebruik van de apparatuur van photonica en de TAS metingen. Ik voelde me telkens weer welkom.

Eventhough the project was highly academic in nature, during the meetings with *Joost*, *Sander*, *Andrew* and *Baira* I enjoyed discussing the chemistry and I got a bit more the industrial view towards the project, thank you all.

During my time in what became known as the Chris Slootweg collective, I had a group of great colleagues besides me. *Flip*, bedankt voor de introductie in het doen van berekeningen. *Steven*, we deden misschien totaal verschillende chemie. Ik was blij dat het je gelukt is om je PhD eerder dan mij af te ronden ondanks alle tegenslagen die je

had. *Matthew*, ik heb je een fijne collega gevonden. Ik het altijd met je goed kan vinden. *Hannah*, hopefully you do not mind the many fluorines throughout my thesis, perhaps we should redesign a borane that fits your important safe and sustainable checkboxes a bit more. I am happy for you to be more back in the office. *Filipp*, you achieved some great results on the imidazolium project you took over from me. Your interest in and questions regarding my research forced me to really understand the theory. *Said*, thank you for your presence and good luck finishing your PhD. *Anna*, you're so kind and your artistic designs coloured the group. *Pier*, een kleurijker iemand dan jij was er niet in de groep en je bracht altijd veel sfeer, eerst als master student, maar later ook als PhD student. *Caro*, je begon in de groep niet als mijn student, maar ik ben blij dat ik je goed heb kunnen helpen en ik zal het geluid van je rollende bureaustoel niet snel vergeten. Ook tijdens je PhD heb ik telkens weer genoten van de computationele uitdagingen die we samen proberen op te lossen.

Pim, toen ik in de groep kwam was jij net klaar met je PhD en stond je voor mij klaar zodat ik de goede keuzes kon maken. Je vertelt altijd mooie verhalen en het is vaak weer een leuke verrassing als je voor een tv optreden op E2 langskomt. *Cássia*, you are always so nice to everyone and you were a great colleague to have you in the group, but also each time we met after you left the group it was great to talk to you. *Mathias*, you have vast knowledge on electrochemistry and I enjoyed the talks about cheese in the office. *Florenz*, you are a great chemist and I always appreciated your advice. *Valentin*, I amaze myself all the time again about your wide and deep knowledge on chemistry and your helpfulness towards everyone, also during my research. Together with Flo you are a great team.

Besides the Chris Slootweg collective, there are and were others working at E2 who also have been a part of my journey. *Jan*, je bent net niet mijn co-promoter geworden, maar ik vind het fijn dat je deur altijd voor mij (en iedereen) open staat. Vanaf de colleges in het eerste jaar van de bachelor ken ik je als een erg vrolijke chemicus en ik ben blij dat ik onderdeel heb mogen zijn van dezelfde onderzoeksgroep. Ik kijk met plezier terug op de paar keer dat we samen zijn gaan zwemmen tijdens de lunch en de updates over het zwemmen vond ik altijd leuk om te horen. *Steen* and *Tati*, thank you for your contributions during the group meetings. And of course, also *Simone*, *Liu*, *Dong*, *Vivi*, *Soma*, *Kezuan*, *Helena*, *Alen*, *Florian* and *Paola*, thank you all for being part of the SOC group during my PhD.

Ook buiten de scheikunde zijn er velen die hebben bijgedragen aan mijn PhD. Misschien niet met chemische kennis, maar wel met de broodnodige ontspanning. Allereerst iedereen binnen Triton. Het zwemmen tijdens de trainingen heeft me vaak de nodige ontspanning geven. Ook het les en training geven aan vrolijke groepen kinderen hebben zeker geholpen om te relaxen. Ook de wekelijkse ontspannen bezoeken aan het clubhuis op vrijdag avond hebben op hun manier bijgedragen aan mijn PhD.

Nienke en Koen, de inhoud van mijn onderzoek zal niet helemaal duidelijk zijn geweest voor jullie, maar jullie waren er wel altijd. Elke vrijdagavond eten we met het gezin. Dat is een mooie traditie geworden en die mag van mij nog lang zo doorgaan. Daarnaast hoop ik dat we nog lang alle drie fijn kunnen blijven zwemmen en een goede band blijven behouden. *Pap* en *Mam*, jullie hebben me altijd ondersteund tijdens alles wat ik heb gedaan. Jullie hebben er altijd voor gezorgd dat ik me goed voelde en ik kan altijd bij jullie terecht voor wat dan ook en daar ben ik heel blij mee.

Good luck everyone, hopefully I we will meet again!

Lars

List of Publications

1. Insights into Single-Electron-Transfer Processes in Frustrated Lewis Pair Chemistry and Related Donor-Acceptor Systems in Main Group Chemistry
L. J. C. van der Zee,^{1,3,13,†} S. Pahar,^{3,13,†} E. Richards,^{14,15,*} R. L. Melen,^{14,15,*} J. C. Slootweg^{1,14,15,*} *Chem. Rev.* **2023**, *123*, 9653-9675.
 2. Homolytic C–H Bond Activation by Phosphine–Quinone-based Radical Ion Pairs
C. Helling,^{1-5,13,†} L. J. C. van der Zee,^{2-6,14} J. Hofman,^{2,12} F. J. de Zwart,⁶ S. Mathew,¹¹ M. Nieger,¹¹ J. C. Slootweg^{1,3,14,15,*} *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, *62*, e202313397.
 3. Mechanistic Studies on Single-Electron Transfer in Frustrated Lewis Pairs and its Application to Main-Group Chemistry
L. J. C. van der Zee,^{1,3,6,13,†} J. Hofman,^{1,3,4,13,†} J. M. van Gaalen,^{1,3,7,13,†} J. C. Slootweg^{1,14,15,*} *Chem. Soc. Rev.* **2024**, *53*, 4862-4876.
 4. Frustrated Radical Pairs: From Fleeting Intermediates to Isolable Species
L. J. C. van der Zee,^{1-6,13,†} J. Hofman,^{2,4} S. Mathew,¹¹ A. de Visser,⁸ E. Brück,⁹ B. de Bruin,³ J. C. Slootweg^{1,3,14,15,*} *Chem. Eur. J.* **2025**, *31*, e202403885.
-

In Preparation

1. Periodic Control of Charge-Transfer and Radical Ion Pair Formation in Pnictogen-Based Frustrated Lewis Pairs
L. J. C. van der Zee,^{1-6,13,†} S. C. O. Dik,^{2,5,12} J. M. van Gaalen,⁷ D. D. Snabilé,⁶ K. Dollberg,¹² C. von Hänisch,¹² A. W. Ehlers,⁴ A. M. Brouwer,¹⁰ J. C. Slootweg^{1,3,14,15,*} *ChemistryEurope*, submitted.
 2. Enhancing the Lewis Acidity and Electron Affinity of B(C₆F₅)₃ via a Cationic PerfluoroPyridinium Group
L. J. C. van der Zee,^{1-4,13,†} I. Lalzaryan,^{2,4,12} S. Mathew,¹¹ J. C. Slootweg^{1,3,14,15,*}
 3. From Frustrated Lewis Pairs to Frustrated Lewis Trios
L. J. C. van der Zee,^{1-5,13,†} H. Mauer,^{3,12} T. Solomek,³ J. C. Slootweg^{1,3,14,15,*}
-

Outside of this thesis

1. Facile Synthesis of Tuneable Azophosphonium Salts
E. R. M. Habraken, L. J. C. van der Zee, K. N. A. Van de Vrande, A. R. Jupp, M. Nieger, A. W. Ehlers, J. C. Slootweg *Eur. J. Inorg. Chem.* **2019**, *2019*, 1594-1603.
 2. Steric Pruning Unlocks Hierarchical Structuring, Thermochromism, C-H/O Activation and 6-electron Redox Transmetalation in Planar Bismuth Triamides
W. P. Howlett, T. J. Hannah, L. J. C. van der Zee, J. C. Slootweg, J. D. Masuda, S. S. Chitnis *Angew. Chem. Int. Ed.* **2025**, DOI: 10.1002/ange.202518367.
-

Author contributions

1. Conceptual ideas
 2. Investigation & data curation
 3. Formal analysis
 4. Computational studies
 5. Spectroscopy studies
 6. EPR measurements and analysis
 7. Electrochemical measurements
 8. Conductivity measurements
 9. Magnetic susceptibility measurements
 10. Transient absorption spectroscopy
 11. Single crystal XRD structure determination
 12. Supporting role
 13. Writing – original draft
 14. Writing – review & editing
 15. Project supervision
- ‡ First author
* Corresponding author