



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Learning together: behavioral, computational, and neural mechanisms underlying social learning in adolescence

Westhoff, B.

Citation

Westhoff, B. (2022, April 5). *Learning together: behavioral, computational, and neural mechanisms underlying social learning in adolescence*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3281632>

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/1887/3281632>

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

A



Addendum

Nederlandse samenvatting
(Dutch summary)

References

List of publications

About the author

Dankwoord
(acknowledgements)

Nederlandse samenvatting

Als ik je zou vragen om drie dingen te noemen die je als kind of tiener hebt geleerd, welke zouden dat dan zijn? Waarschijnlijk denk je aan bepaalde vaardigheden of aan iets dat je uit schoolboeken hebt geleerd, zoals lezen, rekenen of fietsen. Dit zijn dingen die erg nuttig zijn om te leren, en die je vast al vaak hebt gebruikt. Naast het leren van zulke kennis of vaardigheden, bestaat er ook een ander soort leren: *sociaal leren*. Dat is het soort leren waarbij je *sociale* informatie leert. Je leert dan bijvoorbeeld over de mensen om je heen. Omdat mensen sociale wezens zijn, vormt sociale informatie het overgrote deel van wat we in ons leven leren. Dat wordt vooral duidelijk wanneer we in een hele nieuwe sociale omgeving komen, zoals na een verhuizing, bij een nieuwe baan, of op een nieuwe school. De meeste mensen ken je dan nog niet: wie zijn er aardig, en wie juist niet? Met wie zou je goed samen kunnen werken? Om daar achter te komen, moet je *sociaal leren*.

Er zijn verschillende vormen van sociaal leren. In mijn proefschrift heb ik me gericht op twee vormen: het leren *over* anderen, en het leren *voor* anderen. Bij het leren *over* anderen gaat het bijvoorbeeld om leren of je iemand kunt vertrouwen of niet. Het leren *voor* anderen wordt ook wel *prosociaal leren* genoemd (Lockwood et al., 2016). Hiermee wordt bedoeld dat je moet leren wat je het beste voor iemand kan doen om diegene te kunnen helpen. Bijvoorbeeld, om een verdrietige vriend te troosten, moet je weten hoe je diegene het beste kan opbeuren. Hoewel deze twee vormen van sociaal leren van elkaar verschillen, hebben ze ook overeenkomsten. Over het algemeen omvatten ze namelijk leren over wat we doen (onze acties) en de resultaten daarvan (uitkomst), waarbij andere mensen betrokken zijn.

Het goed kunnen leren in een sociale omgeving is een erg belangrijke sociale vaardigheid (Fareri et al., 2020). Daardoor weet je bijvoorbeeld met wie je kunt samenwerken (zoals in school- of bedrijfsprojecten), aan wie je je geheimen kunt toevertrouwen, en hoe je iemand het beste kunt helpen. Het kunnen leren over en voor anderen helpt je dus om keuzes, waarbij anderen betrokken zijn, goed te maken en om te bepalen hoe je je in de buurt van andere mensen het beste kan gedragen. Zulk adaptief (d.w.z. goed aangepast) gedrag is dus belangrijk om te ontwikkelen. Ook heeft eerder onderzoek laten zien dat goede sociale vaardigheden essentieel zijn voor je gezondheid en (emotioneel) welzijn op de lange termijn (Baumeister & Leary, 1995; House et al., 1988).

De adolescentie als belangrijke fase voor de ontwikkeling van sociale vaardigheden

Een periode in onze ontwikkeling waarvan wordt gedacht dat we deze complexe sociale leervaardigheden ontwikkelen, is de adolescentie. De adolescentie, grofweg tussen de 9 en 24 jaar oud, is namelijk een periode waarin ook veel andere sociale vaardigheden ontwikkelen en waarin er veel veranderingen plaatsvinden in de sociale omgeving. Zo brengen

adolescenten bijvoorbeeld meer tijd door met hun vrienden dan met hun familie, en worden hun vriendschappen intenser en complexer (Brown & Larson, 2009; De Goede et al., 2009; Lam et al., 2014). Van de psychosociale veranderingen in de adolescentie wordt gedacht dat ze het gevolg zijn van de hersenontwikkelingen die plaatsvinden (Blakemore & Mills, 2014; Nelson et al., 2016; Sommerville, 2013). Door deze veranderingen in de sociale omgeving en in het brein, is het aannemelijk dat de adolescentie ook een belangrijke periode is voor het ontwikkelen van sociaal leren. Één hoofddoel van mijn proefschrift is om de ontwikkeling van sociaal leren in de adolescentie te onderzoeken.

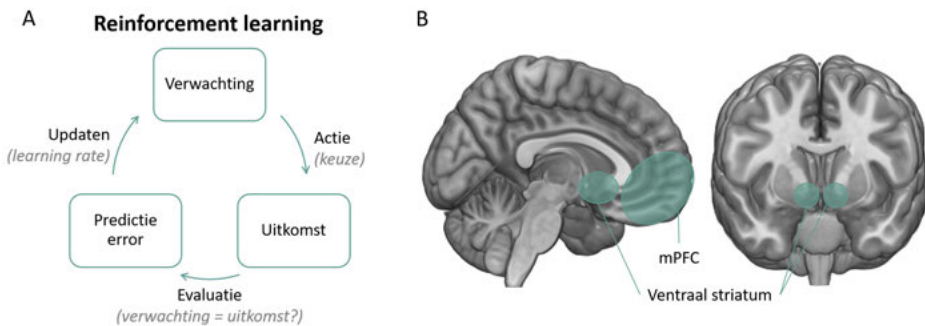
Computationale mechanismen van sociaal leren

Het ander hoofddoel van dit proefschrift is om de onderliggende mechanismen van sociaal leren in de adolescentie te onderzoeken. Zulke onderliggende mechanismen zijn factoren die leeftijdsverschillen en/of individuele verschillen in sociaal leren verklaren.

In mijn proefschrift heb ik onder andere gebruik gemaakt van het theoretisch kader *reinforcement learning* om de onderliggende mechanismen van sociaal leren in kaart te brengen (zie Figuur 1A). Reinforcement learning is het proces dat beschrijft hoe onze verwachtingen en eerdere ervaringen invloed hebben op onze toekomstige acties, en wordt met een wiskundige formule beschreven. Hierbij spelen **predictie errors** – het verschil tussen wat je verwacht en wat er daadwerkelijk gebeurt – een belangrijke rol. Als de uitkomst beter of slechter is dan verwacht, dan is er een predictie error. Hoe groter het verschil, hoe groter de predictie error. Deze predictie errors zorgen voor leren, omdat ze gebruikt worden voor het updaten van je verwachtingen met de nieuwe informatie. Zo zal een uitkomst dat beter is dan je verwacht (positieve predictie error) ervoor zorgen dat je in de toekomst vaker diezelfde actie zal verrichten. Terwijl je bij een uitkomst die slechter is dan je verwacht (negatieve predictie error) dat juist niet zo snel meer zal doen.

De mate waarin je je verwachtingen aanpast nadat er iets anders gebeurt dan verwacht (predictie error), wordt bepaald door je **learning rate**. Als je een hoge learning rate heb, dan zal je drastisch je verwachtingen updaten in het geval van een predictie error. Met een lage learning rate, zullen je verwachtingen maar een beetje bijgesteld worden. Dat laatste kan gunstig zijn in situaties die vrij stabiel zijn, waardoor de informatie van een langere periode wordt gebruikt om verwachtingen te vormen.

Om wiskundige formules zoals die van reinforcement learning toe te passen op gedrag, gebruiken onderzoekers de methode *computationeel modelleren*. Computationeel modelleren houdt in dat wiskundige formules, zoals die van reinforcement learning, gebruikt worden om gedrag te beschrijven. Hierdoor is het mogelijk om factoren te identificeren die je niet direct aan het gedrag kunt zien of meten. Dit maakt computationeel modelleren een waardevolle methode om menselijk gedrag te onderzoeken. In mijn proefschrift heb ik computationeel modelleren toegepast op sociaal leren, om de onderliggende mechanismen van leeftijdsverschillen en/of individuele verschillen van sociaal leren in de adolescentie in kaart te brengen.



Figuur 1. (A) Reinforcement learning. De actie die je uitvoert, is gebaseerd op je verwachting van de uitkomst van die actie. Na je actie wordt er geëvalueerd of de daadwerkelijke uitkomst verschilt van de uitkomst die je had verwacht. Het verschil hier tussen wordt de predictie error genoemd. Als de werkelijke uitkomst afwijkt van je verwachting (predictie error $\neq 0$), wordt dit gebruikt om je verwachtingen voor de volgende actie of keuze bij te werken. De mate waarin je je verwachtingen updatet, wordt bepaald door je *learning rate*. **(B)** Het ventraal striatum en de mediale prefrontale cortex (mPFC) zijn hersengebieden die betrokken zijn bij *reinforcement learning*.

Neurale mechanismen van sociaal leren

Een andere methode om onderliggende mechanismen van sociaal leren te onderzoeken, is *functionele neuroimaging*. Voor hersenonderzoek gebruiken wetenschappers vaak Magnetic Resonance Imaging (MRI) scanners. Dit is een niet-invasieve methode, dat ook geschikt is om bij kinderen en adolescenten toe te passen. Als de MRI scanner wordt gebruikt om hersenactiviteit te meten, wordt dit functionele MRI (fMRI) genoemd. Wanneer deelnemers een taak uitvoeren (bijvoorbeeld een sociale leertaak) tijdens het scannen, worden er om de paar seconden foto's van de hersenen gemaakt. Met deze techniek kunnen onderzoekers bestuderen welke hersengebieden bij welke onderdelen van de taken betrokken zijn.

Voor het onderzoeken van sociaal leren, is het nuttig om computationeel modelleren en fMRI te combineren. Zo kunnen de predictie errors uit de computationele modellen gebruikt worden in de fMRI analyses, zodat deze leersignalen in de hersenen kunnen worden bekeken. Belangrijke hersengebieden die betrokken zijn bij reinforcement learning, zijn het ventrale striatum en de mediale prefrontale cortex (mPFC) (zie Figuur 1B). Het striatum is een gebied in het midden van de hersenen, dat je gebruikt als je keuzes maakt, wanneer je iets leuk vindt, of als iets belonend is. Ook is het ventraal striatum belangrijk voor het berekenen van predictie errors. Het is daarom een belangrijk gebied voor (sociaal) leren (Olsson et al., 2020). Het striatum is verbonden met de mPFC, welke zich voor in het brein bevindt. Van de mPFC wordt gedacht dat het belangrijk is voor het nadenken over wat andere mensen denken, en om beslissingen te maken die te maken hebben met andere mensen. Daarnaast is de mPFC ook betrokken bij reinforcement learning (Joiner et al., 2017). Hoewel meerdere hersengebieden

den betrokken zullen zijn bij (sociaal) leren, wordt verwacht dat het ventraal striatum en de mPFC een sleutelrol spelen bij sociaal leren.

Dit proefschrift

Het doel van dit proefschrift is om de ontwikkeling en onderliggende mechanismen van sociaal leren in de adolescentie te onderzoeken. Ik focus me hierbij op (1) het leren *over* andere mensen, in het bijzonder of ze (on)coöperatief en (on)betrouwbaar zijn, en (2) het leren *voor* andere mensen, oftewel leren welke acties anderen kunnen helpen (prosociaal leren). Om de ontwikkeling van sociaal leren te onderzoeken, heb ik meerdere steekproeven onderzocht die de vroege tot late adolescentie beslaan ($\pm$ 8-10 jaar tot $\pm$ 21-24 jaar). Om de onderliggende mechanismen te onderzoeken, die de leeftijdsverschillen en/of individuele verschillen in sociaal leren kunnen verklaren, heb ik gebruik gemaakt van zelfrapportage vragenlijsten, en van de methoden *computationeel modelleren* en *functionele neuroimaging* (fMRI).

Samenvatting van de resultaten

Leren over het gedrag van anderen in de adolescentie

In **hoofdstuk 2**, heb ik onderzocht hoe adolescenten leren *over* het gedrag van anderen. Aan dit onderzoek deden 244 jongeren tussen de 8 en 23 jaar mee. Deze jongeren hebben een aantal spellen met anonieme leeftijdsgenoten gespeeld. In die spellen konden ze leren welke tegenstanders zich overwegend coöperatief (betrouwbaar, samenwerkend), of overwegend niet-coöperatief (onbetrouwbaar, niet-samenwerkend) gedroegen. Door dat over de tegenstanders te leren en vervolgens hun eigen keuzes daaraan goed aan te passen, konden ze betere scores behalen in het spel. Zo was het in één van de spellen gunstig om de betrouwbare mensen te vertrouwen, terwijl ze de onbetrouwbare mensen beter niet konden vertrouwen. In een ander spel was het gunstig om een voordeel te accepteren van samenwerkende anderen, en om een nadeel te accepteren van niet-samenwerkende anderen.

We vonden dat de sociale leervaardigheden van adolescenten een asymmetrisch ontwikkelingspatroon lieten zien: al vanaf de vroege adolescentie ($\pm$ 8-10 jaar) pasten de jongeren hun gedrag goed aan wanneer het gunstig was om niet-coöperatieve keuzes te maken (zoals iemand *niet* vertrouwen). Daarentegen we vonden een sterke verbetering in de vroeg-midden adolescentie ($\pm$ 12-14 jaar) wanneer ze moesten leren dat het gunstig was om coöperatieve keuzes te maken (zoals iemand *wél* vertrouwen). Met gedragsanalyses en computationeel modelleren hebben we laten zien dat deze verbeteringen in sociaal leren deels verklaard konden worden door leeftijdsverschillen in 'aversie voor ongelijkheid'. Specifiek, vonden jongere adolescenten, vergeleken met de oudere adolescenten, het erger om minder te hebben dan iemand anders, wat er vervolgens voor zorgde dat ze hun gedrag minder goed aanpasten. Daarnaast vonden we met computationeel modelleren dat er ook leeftijdsverschillen in de

learning rates (updaten van verwachtingen) waren. Terwijl de jongere adolescenten van begin tot het einde van het spel hun verwachtingen over de tegenstanders bleven updaten, hadden de oudere adolescenten (midden-adolescentie) halverwege het spel al stabielere verwachtingen. Daardoor waren deze oudere adolescenten beter in staat om meer informatie over de tegenstanders te gebruiken om tot een keuze te komen.

Tezamen suggereren de resultaten van dit hoofdstuk dat de vroeg-midden adolescentie een ontwikkelingsperiode is waarin er een snelle verbetering is in sociale leervaardigheden, en dat de verbeteringen vooral te zien zijn in het coöperatieve domein.

Flexibel leren over de betrouwbaarheid van anderen in de adolescentie

In **hoofdstuk 3**, heb ik voortgebouwd op het onderzoek in hoofdstuk 2. In deze studie gebruikte ik nogmaals het spel waarin de deelnemers konden leren over de betrouwbaarheid van anderen. Daar heb ik een onderdeel aan toegevoegd, waarin het gedrag van de tegenstanders – onaangekondigd - compleet veranderde van betrouwbaar naar onbetrouwbaar, en vice versa. Op die manier kon ik onderzoeken hoe flexibel adolescenten hun gedrag kunnen aanpassen nadat iemands betrouwbaarheid verandert. Ook was er een niet-sociaal onderdeel in het spel toegevoegd, waarin de deelnemers niet met andere jongeren speelden, maar met gokautomaten. Zo was het mogelijk om te onderzoeken of sociaal leren en niet-sociaal leren van elkaar verschillen. Aan dit onderzoek deden 157 adolescenten tussen de 10 en 24 jaar oud mee.

In lijn met de bevindingen van hoofdstuk 2, waren adolescenten van alle leeftijden er beter in om te leren wie ze *niet* konden vertrouwen dan wie ze *wél* konden vertrouwen. Voor beiden vonden we verbeteringen over leeftijd, al waren deze leeftijdsverbeteringen dit keer even sterk. Bij het onderdeel waarin de betrouwbaarheid van de tegenstanders plotseling omkeerde, vonden we wel weer een asymmetrie in de ontwikkelingspatronen: alle leeftijden pasten even snel hun gedrag aan wanneer de tegenstander onbetrouwbaar was geworden. Maar om te leren dat een onbetrouwbaar iemand opeens toch wel betrouwbaar was geworden, leerden de oudere adolescenten beter dan de jongere adolescenten. Deze flexibiliteit was het sterkst vanaf de midden-adolescentie, en was dus ook in dit onderzoek het sterkst in het coöperatieve domein (leren *wél* te vertrouwen). We vonden geen verschillen tussen sociaal en niet-sociaal leren, want lijkt te suggereren dat er een sterke overlap is tussen deze twee vormen van leren, of dat verschillende onderliggende mechanismen tot hetzelfde gedrag hebben geleid (Morton, 2010).

Daarnaast heb ik in deze studie ook onderzocht of iemands opvoeding invloed heeft op sociale leervaardigheden. Hoewel de adolescentie een periode is waarin leeftijdsgenoten een belangrijke rol spelen, kunnen onze kijk op de wereld en onze verwachtingen over anderen ook worden beïnvloed door onze thuisomgeving. Eerder onderzoek heeft bijvoorbeeld aangetoond dat personen die opgroeien in huishoudens met overwegend negatieve opvoedingsstijlen

(zoals het uiten van negatieve emoties), en fysieke en emotionele verwaarlozing, een verhoogde kans hebben op verminderd sociaal functioneren (Gobin & Freyd, 2014; McCrory & Viding, 2015; Overbeek et al., 2020). Het was echter nog niet bekend of omgevingsfactoren zoals de opvoeding ook van invloed zijn op de sociale leervaardigheden van adolescenten. In dit onderzoek heb ik aangetoond dat adolescenten die aangaven meer negatieve opvoedingspraktijken te hebben ervaren (met name slechtere ouderlijke controle) minder flexibel waren in hun sociaal leren. In het bijzonder uitten ze te veel vertrouwen naar tegenstanders die plotseling onbetrouwbaar waren geworden.

Concluderend, wijzen deze resultaten op de adolescentie als een periode waarin sociale leervaardigheden adaptiever worden, en vanaf de midden-adolescentie ook steeds flexibeler worden. Echter kan het sociale leervermogen beïnvloed worden door iemands gezinsomgeving.

Effecten van verwachtingen op vertrouwensgedrag

In **hoofdstuk 4** heb ik de keuzes van adolescenten om te vertrouwen, en de onderliggende cognitieve mechanismen, verder onderzocht. Wanneer we besluiten om iemand te vertrouwen, is er onzekerheid of ons vertrouwen wordt beschaamd. Deze onzekerheid kun je vaak verminderen door informatie te verzamelen over de ander, bijvoorbeeld over hoe betrouwbaar diegene in het verleden is geweest. Het vermogen om onze verwachtingen over de betrouwbaarheid van anderen te updaten met de nieuwe verzamelde informatie, is een essentieel onderdeel van adaptief sociaal gedrag. In dit onderzoek ($N = 157$, 10-24 jaar, dezelfde steekproef als in hoofdstuk 3) heb ik onderzocht hoe en hoeveel informatie adolescenten verzamelen over de betrouwbaarheid van anderen om te beslissen of ze hen al dan niet vertrouwen. Daarnaast heb ik onderzocht hoe ze deze informatie gebruiken om hun verwachtingen over de betrouwbaarheid van deze anderen te updaten.

In lijn met de bevindingen uit hoofdstuk 2 en 3 lieten de gedragsanalyses zien dat oudere adolescenten, vergeleken met jongere adolescenten, adaptiever gedrag lieten zien. Zo vertrouwden ze in vergelijking met de jongere adolescenten vaker als de anderen betrouwbaar waren, en verzamelden ze vooral meer informatie wanneer de informatie uit hun steekproef nogal inconsistent was (zoals 50% van de keren betrouwbaar) dan wanneer hun steekproef consistent was (zoals 100% van de keren betrouwbaar). Met behulp van computationeel modelleren hebben we de onderliggende processen hiervan kunnen onderzoeken. Dit liet zien dat de grootste leeftijdsverschillen zaten in de *onzekerheid over hun verwachtingen*, wat aangeeft hoeveel variatie in betrouwbaarheid ze verwachten tegen te komen. In de vroeg-midden adolescentie nam deze onzekerheid het sterkst toe. Deze toegenomen onzekerheid bij de oudere adolescenten leidde ertoe dat niet zozeer hun verwachtingen maar de verzamelde informatie bepaalde of ze iemand zouden vertrouwen of niet.

Deze bevindingen wijzen dus op de vroege tot midden adolescentie als een ontwikkelingsfase waarin adolescenten meer openstaan voor mogelijke individuele verschillen in de betrouwbaarheid, waardoor ze flexibel kunnen leren dat sommige mensen betrouwbaar zijn en andere niet.

Prosociaal leren in de adolescentie

In hoofdstuk 5 heb ik een andere vorm van sociaal leren onderzocht: prosociaal leren. In deze fMRI studie heb ik de ontwikkeling en onderliggende computationele en neurale mechanismen van prosociaal leren onderzocht in 74 adolescenten tussen de 9 en 21 jaar oud. In een prosociale leertaak kregen de deelnemers telkens de keuze tussen 2 plaatjes. Het ene plaatje was vaak gekoppeld aan een beloning, terwijl het andere plaatje vaak was gekoppeld aan verlies. Na een aantal rondes konden de deelnemers leren met welk plaatje ze de meeste beloningen konden verdienen. Soms speelden ze dit voor zichzelf, en dan was de beloning voor zichzelf. Soms speelden ze voor iemand anders – een onbekende andere deelnemer in het onderzoek – wat prosociaal leren beoogde te meten.

De gedragsanalyses lieten zien dat adolescenten tussen 9 en 21 jaar in staat zijn om te leren om beloningen te verkrijgen voor zichzelf en voor anderen. De oudere adolescenten konden, vergeleken met jongere adolescenten, beter leren voor zowel zichzelf als voor een ander. Echter was het vooral het prosociaal leren dat de sterkste verbetering liet zien over leeftijd. Door middel van computationeel modelleren konden we de learning rates en predictie errors voor prosociaal leren onderzoeken. Ook de learning rates lieten de sterkste verbetering zien wanneer het ging om prosociaal leren versus leren voor zichzelf. De predictie errors hebben we toegepast in de fMRI analyses, zodat we deze leersignalen in het brein konden onderzoeken. De predictie errors voor het leren voor jezelf vonden we terug in het ventraal striatum. Deze leersignalen lieten geen leeftijdsverschillen zien. Daarentegen waren de predictie errors voor prosociaal leren gerelateerd aan activiteit in de ventromediale prefrontale cortex. Deze predictie error activatie tijdens prosociaal leren nam toe over leeftijd, en was daarnaast ook gerelateerd aan individuele verschillen in empathie.

Deze resultaten tonen aan dat ook prosociaal leren verbetert in de vroeg-midden adolescentie, zowel op gedrags-, computationeel-, en neurale niveau. In lijn met de vorige hoofdstukken laat ook dit hoofdstuk zien dat leeftijdsverschillen het sterkst zijn voor gedrag dat met andere mensen te maken heeft.

Discussie en implicaties

Adolescentie als een belangrijke ontwikkelingsperiode voor het ontwikkelen van adaptief sociaal gedrag

In de empirische hoofdstukken van dit proefschrift heb ik onderzocht hoe leren over en leren voor anderen ontwikkelt in de adolescentie. Deze leeftijdsverschillen heb ik bestudeerd in steekproeven met een brede leeftijdsrange, van de vroege adolescentie ($\pm$ 8-10 jaar) tot de late adolescentie ($\pm$ 21-24 jaar). In dit proefschrift heb ik met verschillende studies laten zien dat de vroeg-midden adolescentie een periode is waarin de sociale leervaardigheden verbeteren. Zulke verbeteringen, zeker in het sociale domein, zijn met name relevant in een ontwikkelingsfase zoals de adolescentie. In de adolescentie zijn er namelijk veel veranderingen in sociale relaties, zoals het opbouwen van hechte vriendschappen. Daarnaast komen adolescenten steeds meer in aanraking met sociale situaties op school, sportclubs, en andere sociale gelegenheden (Fuligni, 2009). Adolescenten hebben dus belang bij het vertonen van adaptief sociaal gedrag, waar goede sociale leervaardigheden voor nodig zijn.

Daarnaast heb ik in dit proefschrift laten zien dat de verbeteringen van sociaal gedrag over leeftijd vooral, of het sterkst, plaatsvinden in het *coöperatieve* domein (zoals leren wél te vertrouwen, en prosociaal leren). Dit is in lijn met eerder onderzoek dat aantoont dat gedrag dat op anderen gericht is ('other-oriented behavior') – zoals coöperatief gedrag – verbetert in de adolescentie (Crone & Fuligni, 2020). Er wordt gesuggereerd dat de adolescentie een belangrijke periode is voor het creëren van de juiste balans tussen de behoeften van jezelf en die van anderen. Door die balans ben je in staat om goede sociale banden met anderen te vormen, en om een goede bijdrage te leveren aan de maatschappij (Crone & Fuligni, 2020; Fuligni, 2019). Dit kwam bijvoorbeeld ook terug in hoofdstuk 2 waarin oudere adolescenten het minder erg vonden om wat minder te hebben dan iemand anders, wat vervolgens bevorderlijk was voor het goed aanpassen van hun gedrag aan anderen. Samengevat zijn de bevindingen van dit proefschrift in lijn met de hypothese dat we naarmate we ouder worden minder 'egoïstisch' worden, en dat we beter in staat zijn om met anderen te werken aan collectief welzijn, ook al is dit niet altijd even gunstig voor onszelf als voor een ander.

Hoewel de resultaten van dit proefschrift inzicht geven in de ontwikkelingspatronen van sociaal leren, moet er wel worden opgemerkt dat de resultaten gebaseerd zijn op cross-secti-onele studies. Dat houdt in dat elke proefpersoon slechts op één tijdstip is onderzocht. Om ontwikkelingspatronen goed in kaart te brengen, zijn longitudinale studies echter geschikter. Met longitudinale studies worden proefpersonen op meerdere momenten onderzocht, en kan bijvoorbeeld onderzocht worden of en hoe sterk iemands sociale leervaardigheden verbeteren door de jaren heen. Longitudinaal vervolgonderzoek is dus nodig om de gevonden ontwikkelingspatronen in sociaal leren te bevestigen.

Het toepassen van computationeel modelleren om de ontwikkeling van sociaal gedrag te onderzoeken

In dit proefschrift heb ik computationeel modelleren toegepast om de ontwikkeling van sociaal leren te onderzoeken. Dat is een vrij innovatieve benadering geweest: pas sinds een aantal jaar worden computationele modellen toegepast op niet-sociaal leren in kinderen en adolescenten (Nussenbaum & Hartley, 2019). Het toepassen van computationele modellen op sociaal leren is voornamelijk gedaan bij data van volwassen proefpersonen (Joiner et al., 2017; Lockwood et al., 2020; Olsson et al., 2020). De computationele mechanismen van sociaal leren in de adolescentie zijn dus nog nauwelijks onderzocht.

De computationele modellen in dit proefschrift hebben tot meerdere inzichten geleid. Zo heb ik bijvoorbeeld laten zien dat learning rates voor het leren over anderen (hoofdstuk 2) en het leren voor anderen (hoofdstuk 5) afnamen over leeftijd. Deze afnames in learning rates waren gerelateerd aan verbeteringen in sociale leervaardigheden. De sociale leeromgevingen in dit proefschrift waren echter vrij stabiel; toekomstig onderzoek moet aantonen of zulke patronen er ook zijn in veranderende of onvoorspelbare sociale omgevingen. Ten tweede, hebben de computationele modellen in hoofdstuk 4 inzicht gegeven in onderliggende cognitieve mechanismen van sociaal gedrag. Computationeel modelleren heeft een voordeel ten opzichte van het gebruik van vragenlijsten, aangezien die laatste bijvoorbeeld kunnen leiden tot sociaal-wenselijke antwoorden (Althubaiti, 2016). Tot slot, hebben de computationele modellen ervoor gezorgd dat de leersignalen (predictie errors) in het brein onderzocht konden worden. Dit is een nauwkeurigere methode dan slechts het bekijken van neurale activatie tijdens positieve en negatieve uitkomsten, en geeft nieuwe inzichten in menselijk sociaal gedrag (zie Lockwood & Klein-Flügge (2020) voor een overzicht). Daarom raad ik aan dat toekomstig ontwikkelingsonderzoek naar (sociaal) leren ook streeft naar het gebruik van computationele leerparameters in de fMRI analyses.

Praktische implicaties

De studies in dit proefschrift hebben kennis opgeleverd over hoe sociale leervaardigheden zich manifesteren in de adolescentie. Deze inzichten in de ontwikkeling geven aan welke leeftijden het meest ontvankelijk zijn voor interventies voor het verbeteren van sociale vaardigheden, zoals sociaal leren (Dahl et al., 2018; Yeager et al., 2018). De bevindingen in dit proefschrift hebben aangetoond dat de vroeg-midden adolescentie de sterkste ontwikkeling van sociale leervaardigheden laat zien. Dat maakt deze periode erg geschikt voor interventies die erop gericht zijn om sociale vaardigheden, waaronder sociaal leren, te verbeteren in typisch ontwikkelende jongeren.

Verder zijn de inzichten uit studies in typisch ontwikkelende jongeren zoals in dit proefschrift essentieel voor het begrijpen van ontwikkelingsstoornissen (Karmiloff-Smith, 1998).

Bovendien bieden deze bevindingen belangrijke aanknopingspunten voor interventies voor jongeren met afwijkend sociaal gedrag, zoals jongeren met antisociale gedragsstoornissen of autismespectrumstoornis (Frick & Viding, 2009; Hinterbuchinger et al., 2018; Izuma et al., 2011; Viding et al., 2012; Viding & McCrory, 2019).

Gemis aan sociale interacties tijdens de COVID-19 pandemie

Voor een degelijke sociale ontwikkeling is het cruciaal om in een verrijkte leef- en leeromgeving te leven, met voldoende sociale interacties met leeftijdsgenoten (Baumeister & Leary, 1995). Tijdens de COVID-19-pandemie was de sociale omgeving voor mensen over de hele wereld zeer beperkt, door maatregelen als *social distancing* en het sluiten van scholen en sportclubs. Hoewel de maatregelen van deze pandemie voor sommige jongeren positieve effecten hadden (bijvoorbeeld doordat ouders meer tijd met hun kinderen konden doorbrengen), concludeerden de meeste onderzoeken negatieve effecten op bijvoorbeeld de stemming, emotionele reactiviteit en stressniveaus van kinderen en adolescenten (Achterberg et al., 2021; Branje & Morris, 2021; Green et al., 2021). Bovendien, hoewel veel jongeren veerkrachtig bleken te zijn, werden er meer adolescenten met psychische problemen gerapporteerd (Hollenstein et al., 2021).

De bevindingen die in dit proefschrift worden beschreven, zijn gebaseerd op onderzoeken die zijn uitgevoerd vóór de COVID-19-pandemie. Toekomstig onderzoek is dus nodig om te beoordelen of deze pandemie langetermijneffecten heeft op de sociale ontwikkeling van adolescenten, of dat ze zich bijvoorbeeld even goed ontwikkelen, maar wellicht op latere leeftijd. Vooral longitudinaal onderzoek dat voor de pandemie is gestart, en tijdens en na de pandemie zal worden voortgezet, zal cruciaal zijn voor het detecteren van langdurige effecten van de sociale beperkingen in deze pandemie op de sociale ontwikkeling.

Conclusie

Concluderend, heb ik in dit proefschrift de ontwikkeling en onderliggende mechanismen van sociaal leren in de adolescentie onderzocht. De studies in dit proefschrift laten zien dat de adolescentie een belangrijke periode is voor het ontwikkelen van adaptief sociaal gedrag, en vooral in het coöperatieve domein zijn er duidelijke verbeteringen. Deze studies leveren een belangrijke bijdrage aan de wetenschappelijke kennis over de sociale ontwikkeling en leren. Daarnaast kunnen de bevindingen bijdragen aan interventies die gericht zijn op het bevorderen van adaptief gedrag bij typisch ontwikkelende adolescenten, evenals jongeren met antisociale neigingen.

