

## NEDERLANDSE SAMENVATTING (DUTCH SUMMARY)

### Algemene introductie

Het vormen van succesvolle relaties met leeftijdsgenoten is een belangrijk aspect van de sociale ontwikkeling (Allen & Loeb, 2015; Hartup, 1977). Leeftijdsgenoten kunnen beschreven worden als individuen die vergelijkbare niveaus van complexiteit in hun gedrag laten zien en die ongeveer dezelfde chronologische leeftijd hebben (Hartup, 1977). Adolescenten zijn gemotiveerd om meer afhankelijk te worden van hun familie en om meer tijd door te brengen met leeftijdsgenoten (Lam et al., 2014). Het vormen van positieve en steunende relaties met leeftijdsgenoten heeft meerdere voordelen voor de cognitieve en psychologische aanpassing van adolescenten. Positieve en steunende relaties met leeftijdsgenoten zijn namelijk gerelateerd aan hogere academische prestaties, een beter mentaal welzijn, en vormen een beschermende factor tegen internaliserende psychopathologie (zoals depressie en angst) bij adolescenten (Gallardo et al., 2016; Liem & Martin, 2011; Mitic et al., 2021; Roach, 2018). Een voorbeeld van een positieve relatie met leeftijdsgenoten is vriendschap. Vriendschap kan worden gedefinieerd als een sterke wederkerige emotionele band tussen twee individuen die gekenmerkt wordt door wederkerigheid in gedrag, sympathie en affect (Bukowski et al., 2009; Hartup & Stevens, 1997). Het vormen van vriendschappen is een belangrijke ontwikkelingstaak en vriendschappen worden steeds belangrijker voor sociale steun tijdens de adolescentie (Bagwell et al., 2001; Buhrmester & Furman, 1986; Bukowski et al., 2009; Güroğlu, 2021).

De adolescentie is een overgangperiode van ontwikkeling tussen de kindertijd en volwassenheid die begint bij de start van de puberteit (leeftijd 9-12 jaar) en de hormonale en fysiologische veranderingen die daarbij horen (Crone & Dahl, 2012; Spear, 2011). De adolescentie omvat ongeveer de leeftijd van 9 tot 24 jaar, en het einde van de adolescentie wordt cultureel gedefinieerd door middel van het behalen van volwassen sociale rollen (zoals economische onafhankelijkheid) (Sawyer et al., 2012; Sawyer et al., 2018). Veranderingen in hersenstructuur en hersenactiviteit kenmerken de adolescenten, evenals een piek in beloningsgevoeligheid (Crone & Dahl, 2012; Dumontheil, 2016; Somerville & Casey, 2010). Verder vindt er ook een sociale heroriëntatie naar leeftijdsgenoten en vrienden plaats tijdens de adolescentie (Bagwell et al., 2001; Buhrmester & Furman, 1986; Bukowski et al., 2009; Lam et al., 2014). De toenemende tijd die adolescenten doorbrengen met leeftijdsgenoten kan ook sociale leermogelijkheden creëren (Hofmans & Van den Bos, 2022). Adolescenten kunnen namelijk leren door middel van het observeren van het gedrag en de gerelateerde uitkomsten van leeftijdsgenoten (zoals verkregen beloningen en verliezen), wat de basis vormt van observationeel leren (Bellebaum & Colosio, 2014; Bandura, 1977, 2008).

## Relaties met leeftijdsgenoten en vriendschappen tijdens de adolescentie

### **Definiëren van relaties met leeftijdsgenoten**

Op dyadisch niveau kunnen relaties met leeftijdsgenoten worden gedefinieerd in termen van het soort relatie (zoals vrienden, neutrale leeftijdsgenoten, onbekende leeftijdsgenoten en antipathieën) en de kwaliteit van de relatie (zoals positieve of negatieve vriendschapskwaliteit). Vriendschappen worden complexer tijdens de adolescentie vergeleken met de kindertijd, wat ook gerelateerd is aan de verschillende sociale behoeften tijdens deze specifieke ontwikkelingsfasen (Sullivan, 1953). Tijdens de kindertijd ontstaat de behoefte aan een maatje en kinderen beschrijven hun vriendschappen vaak in termen van samen activiteiten ondernemen en elkaar helpen (McDougall & Hymel, 2007; Poulin & Chan, 2010). Tijdens de adolescentie ontstaat de behoefte aan verbondenheid en emotionele steun (Berndt, 1986; Poulin & Chan, 2010). Onderzoek heeft laten zien dat vriendschapskwaliteit toeneemt met de leeftijd tijdens de adolescentie, wat gefaciliteerd zou kunnen worden door de sterkere behoefte aan verbondenheid en de ontwikkeling van cognitieve en interpersoonlijke vaardigheden tijdens de adolescentie (Irwin, 2013; Way & Greene, 2006). Positieve vriendschapskwaliteit wordt gekenmerkt door positieve eigenschappen zoals veiligheid en intimiteit, terwijl negatieve vriendschapskwaliteit wordt gekenmerkt door negatieve kenmerken zoals conflict en rivaliteit (Berndt, 2002; Bukowski et al., 1994). Vriendschapskwaliteit heeft invloed op het sociale gedrag van adolescenten en hun emotionele aanpassing. Meta-analyses hebben aangetoond dat positieve vriendschapskwaliteit van adolescenten gerelateerd is aan meer prosociaal gedrag, minder agressief gedrag en minder depressieve symptomen, terwijl negatieve vriendschapskwaliteit gerelateerd is aan minder prosociaal gedrag, meer agressief gedrag en meer depressieve symptomen (Dryburgh et al., 2022; Schwartz-Mette et al., 2020).

Relaties met leeftijdsgenoten kunnen ook worden gedefinieerd op groepsniveau, zoals de sociale status van iemand in een groep leeftijdsgenoten/peers (oftewel *peer status*). Netwerk centraliteit metrieken kunnen gebruikt worden om peer status te onderzoeken en verwijzen naar de positie van een individu binnen een gesloten netwerk (zoals een schoolklas). Een veelvoorkomende netwerk centraliteit metriek is *eigenvector centraliteit*, die patronen van directe en indirecte connecties in een netwerk identificeert. Hierbij worden paden verbonden aan centrale individuen met veel connecties in het netwerk zwaarder gewogen (Iacobucci et al., 2017). Onderzoek heeft aangetoond dat *eigenvector centraliteit* gerelateerd is aan het sociale gedrag van adolescenten en hun emotionele en cognitieve aanpassing. Hogere *eigenvector centraliteit* (oftewel peer status) was gerelateerd aan betere academische prestaties, minder depressieve symptomen en hogere niveaus van relationele agressie en prosociaal gedrag tijdens de adolescentie (Ortiz et al., 2004; Ueno, 2005; Van den Bos et al., 2018).

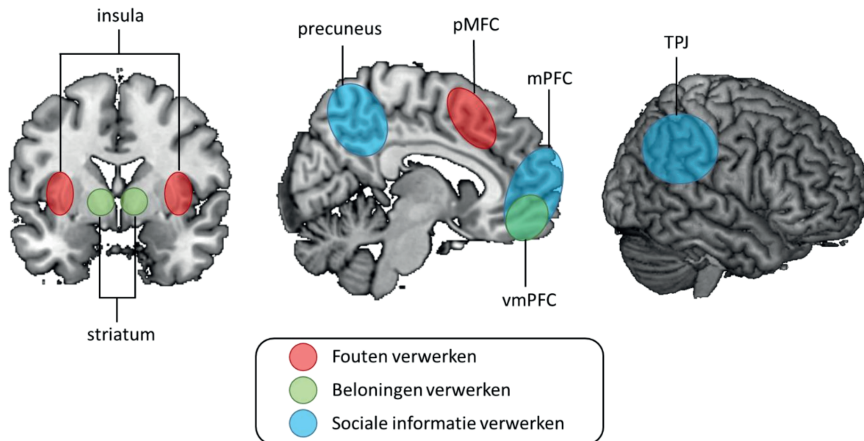
### **Relaties met leeftijdsgenoten bij adolescenten met ADHD**

De ontwikkeling van relaties met leeftijdsgenoten en vriendschappen is anders bij adolescenten met een aandachtsdeficiëntie/hyperactiviteitsstoornis (ADHD). ADHD is de meest voorkomende neurobiologische ontwikkelingsstoornis tijdens de kindertijd die standhoudt tot in de volwassenheid en die impact heeft op sociale, persoonlijke en academische ontwikkeling en functioneren (Cabral et al., 2020). ADHD wordt gekenmerkt door een aanhoudend patroon van onoplettendheid en/of hyperactiviteit/impulsiviteit, met een prevalentie van 5 - 7.2% bij kinderen en adolescenten (DSM-5; APA, 2013; Thomas et al., 2015). Verder is ADHD een heterogene stoornis met een hoge mate van comorbiditeit met andere stoornissen, zoals autisme spectrum stoornis (ASS), oppositioneel-opstandige gedragsstoornis (ODD), stemmingsstoornis en angststoornis (Bélanger et al., 2018; Gnanavel et al., 2019). Kinderen en adolescenten met ADHD ervaren gemiddeld gezien meer problemen met leeftijdsgenoten, zoals afgewezen, genegeerd of gepest worden door leeftijdsgenoten, en ze hebben vaak minder vrienden (Gardner & Gerdes, 2015; Mikami, 2010; Mikami & Normand, 2015). Eerder onderzoek heeft aangetoond dat adolescenten met ADHD een positieve en hechte vriendschap kunnen behouden, wat aangegeven werd door de hoge beoordeling van vriendschapskwaliteit door adolescenten met ADHD (Glass et al., 2012). Recent onderzoek heeft geen groepsverschillen gevonden op het gebied van negatieve vriendschapskwaliteit, maar wel lagere positieve vriendschapskwaliteit bij oudere adolescenten met ADHD vergeleken met typisch ontwikkelende adolescenten (Rokeach & Wiener, 2020; Rokeach & Wiener, 2022). Samengevat kunnen de ervaringen van adolescenten met ADHD in de algemene groep van leeftijdsgenoten verschillen van hun ervaringen met hechte vrienden.

### **Neurale mechanismen van het verwerken van fouten, beloningen en sociale informatie**

Tijdens de afgelopen decennia zijn structurele en functionele *magnetic resonance imaging* (MRI) gebruikt als waardevolle niet-invasieve hulpmiddelen om de neurale mechanismen onderliggende aan affectieve, cognitieve en sociale ontwikkeling te onderzoeken. Eerder MRI onderzoek heeft de structurele hersenontwikkeling onderzocht en aangetoond dat er een lineaire toename is in witte hersenstof (*met myeline bedekte axonen*) gedurende de kindertijd en adolescentie. Verder is er een piek in corticale grijze hersenstofvolume (*neuronal cellchamen*) voor verschillende hersengebieden op verschillende momenten tijdens de midden/late kindertijd, gevolgd door een afname in corticale grijze hersenstofvolume gedurende de adolescentie (Blakemore, 2012; Dumontheil, 2016; Lebel & Beaulieu, 2011). Functionele MRI (fMRI) kan worden ingezet om hersenactiviteit te onderzoeken die ten grondslag ligt aan affectieve, cognitieve en sociale processen die participanten inzetten terwijl ze experimentele taken uitvoeren. Onderzoekers kunnen hersenactiviteit lokaliseren van seconde-tot-seconde met gebruik van fMRI, waarbij veranderingen in niveaus van bloeoxygenatie (zuurstof in bloed) wordt gemeten, snel

volgens op neurale activiteit in een hersengebied (Huettel et al., 2014). Eerder fMRI onderzoek heeft aangetoond dat specifieke groepen van hersengebieden betrokken zijn bij het verwerken van fouten, beloningen en sociale informatie (zie Figuur 1).



**Figuur 1.** Visualisatie van hersengebieden betrokken bij fouten verwerking (gemarkeerd in rood): posterieure mediale frontale cortex (pMFC) en anterieure insula (AI); hersengebieden betrokken bij beloningen verwerking (gemarkeerd in groen): striatum en ventrale mediale prefrontale cortex (vmPFC); hersengebieden betrokken bij sociale informatie verwerking (gemarkeerd in blauw): temporopariëtale junctie (TPJ), mediale prefrontale cortex (mPFC) en precuneus.

### **Fouten verwerken**

De neurale mechanismen onderliggende aan het verwerken van fouten kunnen onderzocht worden in de context van prestatie-monitoring (*performance monitoring*). Prestatie-monitoring verwijst naar het detecteren van afwijkingen in eigen en geobserveerde fouten vergeleken met verwachte fouten en vervolgens het aanpassen en optimaliseren van gedrag om prestaties te verbeteren (Ullsperger et al., 2014). Het is belangrijk om fouten te evalueren door middel van prestatie-monitoring voor een optimale verbetering van effectief doelgericht gedrag. Er is een leeftijds-gerelateerde toename in eigen performance-monitoring gevonden gedurende de kindertijd en adolescentie op gedragsniveau (bijv., afnames in het aantal fouten) (Fitzgerald et al., 2010; Tamnes et al., 2013). Op neuraal niveau heeft eerder onderzoek bij volwassenen hersenactiviteit gevonden in de posterieure mediale frontale cortex (pMFC) en anterieure insula (AI) tijdens het verwerken van eigen en geobserveerde fouten (de Bruijn et al., 2009; Koban & Pourtois, 2014; Radke et al., 2011; Ullsperger et al., 2010). De pMFC en AI zijn hersengebieden die ook onderdeel zijn van het saillantie netwerk, welke betrokken is bij het verwerken van zeer saillante (betekenisvolle)

informatie, zoals fouten (Seeley et al., 2007; Ullsperger et al., 2010). Overeenkomstig met de gedragsresultaten, is er ook een leeftijds-gerelateerde toename in pMFC activiteit gedurende de adolescentie (Fitzgerald et al., 2010). Het is gevonden dat vriendschap neurale activiteit moduleert tijdens het verwerken van geobserveerde fouten. Onderzoek heeft namelijk een toename gevonden in pMFC activiteit terwijl volwassenen fouten van vrienden observeren vergeleken met fouten van anderen (zoals anderen die onbekend zijn of onaardig gevonden worden). (Kang et al., 2010; Newman-Norlund et al., 2009). Er is echter weinig ontwikkelingsonderzoek gedaan naar de neurale activiteit tijdens het observeren van fouten voor leeftijdsgenoten.

### ***Beloningen verwerken***

Het verwerken van beloningen kan onderzocht worden in verschillende fases (anticipatie en verkrijgen) en in de context van verschillende ontvangers (bijv., voor zichzelf, leeftijdsgenoten en vrienden). De anticipatie en het krijgen van beloningen voor zichzelf is bij adolescenten gerelateerd aan hogere activiteit in beloningscentra in de hersenen, zoals de ventrale striatum (VS) en ventrale mediale prefrontale cortex (vmPFC). (Bartra 2013; Clithero & Rangel 2013; Lorenz et al., 2014; Silverman et al., 2015; van Duijvenvoorde et al., 2016). Er is een leeftijds-gerelateerde toename gevonden in striatum activiteit tijdens het verwerken van eigen fouten gedurende de adolescentie, met een piek tijdens de midden-adolescentie (Braams et al., 2014; Peters & Crone, 2017; Schreuders et al., 2018; van Leijenhorst et al., 2010). Eerder onderzoek bij adolescenten en (jong) volwassenen heeft activiteit in de ventrale striatum gevonden tijdens het krijgen van beloningen voor anderen (oftewel plaatsvervangende beloningen), en deze activiteit werd gemoduleerd door hechtheid van de relatie met de ander. Activiteit in de ventrale striatum is sterker tijdens het krijgen van beloningen voor anderen die nabij staan (zoals vrienden of ouders) dan voor anderen die onbekend zijn of niet aardig gevonden worden (Braams et al., 2014; Brandner et al., 2020, 2021; Fareri et al., 2012).

ADHD wordt gekenmerkt door afwijkende beloningsverwerking. Eerder onderzoek vond consistent verminderde activiteit in de ventrale striatum tijdens de anticipatie op beloningen bij adolescenten en volwassenen met ADHD (Hoogman et al., 2011; Plichta & Scheres, 2014; Scheres et al., 2007; Ströhle et al., 2008). Er zijn echter wisselende hersenresultaten met betrekking tot het krijgen van beloningen. Sommige onderzoeken hebben een toename gevonden in activiteit in beloningsgebieden (bijv. striatum) tijdens het krijgen van beloningen bij adolescenten en jongvolwassenen met ADHD (Furukawa et al., 2014; Ma et al., 2016; Von Rhein et al., 2015), terwijl andere onderzoeken geen verschillen vonden tussen individuen met ADHD en typisch ontwikkelende individuen (Scheres et al., 2007; Wilbertz et al., 2012). Er is echter geen tot weinig onderzoek gedaan naar de neurale activiteit tijdens het verwerken van beloningen in de sociale context van leeftijdsgenoten bij adolescenten met ADHD. Gepast reageren op beloningen vóór leeftijdsgenoten kan een

belangrijk aspect zijn van aangepast sociaal gedrag (bijv., samenwerking) en uiteindelijk voor het bereiken van sociale doelen, zoals vriendschap (Bhanji & Delgado, 2014; Tamir & Hughes, 2018).

### **Sociale informatie verwerken**

Als het verwerken van beloningen of fouten plaatsvindt in een sociale context, dan is vaak het sociale brein betrokken. Het sociale brein omvat hersengebieden die betrokken zijn bij het verwerken van sociale informatie, sociale cognitie en mentaliseren, wat verwijst naar het kunnen begrijpen en interpreteren van gedachten, gevoelens, overtuigingen en handelingen van anderen (Andrews et al., 2020; Blakemore, 2008). Neuro-ontwikkelingsmodellen beschrijven de volgende hersengebieden vaak als onderdeel van het sociale brein: temporopariëtale junctie (TPJ), mediale prefrontale cortex (mPFC) en precuneus (Andrews et al., 2020; Blakemore, 2008). Eerder onderzoek heeft hogere activiteit gevonden in de TPJ, mPFC en precuneus terwijl adolescenten beloningen krijgen voor leeftijdsgenoten vergeleken met beloningen voor henzelf (Braams et al., 2014). Vriendschapskwaliteit moduleert deze neurale activiteit in sociale breingebieden tijdens beloningsverwerking. Bij adolescenten die vonden dat hun vriend verdiende om te winnen werd hogere activiteit gezien in de mPFC en precuneus terwijl ze beloningen kregen voor vrienden in vergelijking met wanneer zij zelf beloningen kregen (Braams & Crone, 2016). Het sociale brein is ook betrokken bij het verwerken van geobserveerde fouten. Eerder onderzoek bij volwassenen heeft activiteit gevonden in de mPFC, TPJ en precuneus tijdens het observeren van fouten voor anderen; geobserveerde fouten in coöperatieve contexten (dezelfde doelen voor zichzelf en de ander) activeerden specifiek de precuneus (Jääskeläinen et al., 2016; Koban et al., 2010).

### **Leren en mentale gezondheid in sociale en situationele contexten**

Leren tijdens de adolescentie vindt vaak plaats in de sociale context van leeftijdsgenoten in verschillende sociale omgevingen, zoals op school, sociale media, sport- en hobby clubs. Adolescenten kunnen leren door het observeren van de keuzes die leeftijdsgenoten maken en het observeren van de gevolgen van deze keuzes (bijv., of de keuzes goed/geaccepteerd of fout/afgewezen zijn), wat refereert naar observationeel leren (Bandura, 1977, 2008). Dit is een belangrijke leerstrategie die het faciliteert om voordelig gedrag te leren zonder het maken van dezelfde fouten die anderen daarvoor al gemaakt hebben. Observationeel leren is ingebed in de sociale leertheorie (Bandura, 1977, 2008) en omvat het verkrijgen van denkstijlen en gedrag door het observeren van voorbeelden van andere mensen (oftewel modellen). Volgens de sociale leertheorie van Bandura (1977, 2008) wordt observationeel leren geleid door verschillende sub-functies: aandachtsprocessen; cognitieve geheugenprocessen; reproductie processen; motivatie processen en *reinforcement*. Leeftijdsgenoten kunnen meerdere van deze sub-functies beïnvloeden, bijvoorbeeld door het faciliteren van observationeel leren via motivatie en

aandachtsprocessen. Observationeel leren is onderzocht met behulp van *reinforcement leren* paradigma's. *Reinforcement leren* kan worden beschreven als het leren van actie-uitkomst associaties van beloningen (*reinforcement*) door middel van trial-en-error, met het doel om iemands toekomstige keuzes te verbeteren om beloningen te maximaliseren (Palminteri et al., 2016; Rescorla & Wagner, 1972). Een onderzoek die een observationele leertaak gebruikte heeft laten zien dat kinderen de keuzes van leeftijdsgenoten vaker imiteerden dan de keuzes van volwassenen, wat wijst op het belang van leeftijdsgenoten tijdens observationeel leren (Rodriguez Buritica, 2016).

Eerder onderzoek in jonge adolescenten heeft een effect gevonden van het soort relatie (vriend versus geen-vriend) en de kwaliteit van de relatie op dyadisch leren van computer programmeervaardigheden. Er is namelijk gevonden dat vrienden elkaars leerprestaties (geleerde programmeerkennis) meer beïnvloedden dan adolescenten die niet bevriend waren (DeLay et al., 2014). Verder voorspelde een hogere kwaliteit van de relatie met de leerpartner aan het begin van de programmeerlessen een toename in leerprestaties voor de deelnemers én leerpartners aan het einde van de lessen (Hartl et al., 2015). Deze eerdere onderzoeken vonden echter plaats in dyadische leercontexten, maar er is weinig bekend over de invloed van het soort relatie (bijv., vriend versus geen-vriend) en vriendschapskwaliteit op observationeel (*reinforcement*) leren tijdens de adolescentie. Naast dyadische relaties kan peer status op groepsniveau (bijv., *eigenvector centraliteit*) ook sociaal leren beïnvloeden. Een recent onderzoek die gebruikt maakt van een sociale informatietaak liet zien dat de sociale status van leeftijdsgenoten (*eigenvector centraliteit*) de neiging van adolescenten vergroot om informatie van deze leeftijdsgenoten te gebruiken (Gradassi et al., 2022). Er is echter nog onderzoek nodig naar de invloed van de eigen sociale status van adolescenten zelf en van de sociale status van leeftijdsgenoten op observationeel leren.

Naast de sociale context, kan de situationele context, zoals stressvolle of crisissituaties, ook impact hebben op leren bij adolescenten. Een recente crisis die een grote impact had op het leven van adolescenten is de COVID-19 pandemie. In Nederland vond de eerste COVID-19 besmetting plaats op 27 februari 2020. Deze pandemie veroorzaakte drastische veranderingen in het leven van adolescenten vanwege de lockdowns, sluiting van scholen en de vele maatschappelijke en sociale beperkingen die door de overheid werden ingevoerd (Rijksoverheid, 2020, 2021). Een systemisch review heeft laten zien dat er tijdens de COVID-19 pandemie leerverliezen waren bij kinderen en adolescenten vergeleken met de jaren vóór de pandemie (Panagouli et al., 2021). De meeste van de 42 onderzoeken in het review hebben de data verzameld in 2020 en gebruikten vragenlijsten om academische prestaties te meten. Daarom is er meer onderzoek nodig naar de lange-termijn veranderingen in academische prestaties tijdens de pandemie met objectieve maten, zoals schoolrapporten of schoolbestanden testcores. De pandemie had niet alleen effect op de academische prestaties, maar ook op internaliserende problemen bij adolescenten. Meerdere onderzoeken uitgevoerd aan het begin van de pandemie hebben

laten zien dat adolescenten meer internaliserende problemen ervaarden, zoals gevoelens van depressie of angst (Ellis et al., 2020; Li et al., 2021; Weissman et al., 2021). Meer onderzoek is echter nodig om de mogelijke lange-termijn veranderingen in internaliserende problemen tijdens de pandemie in kaart te brengen.

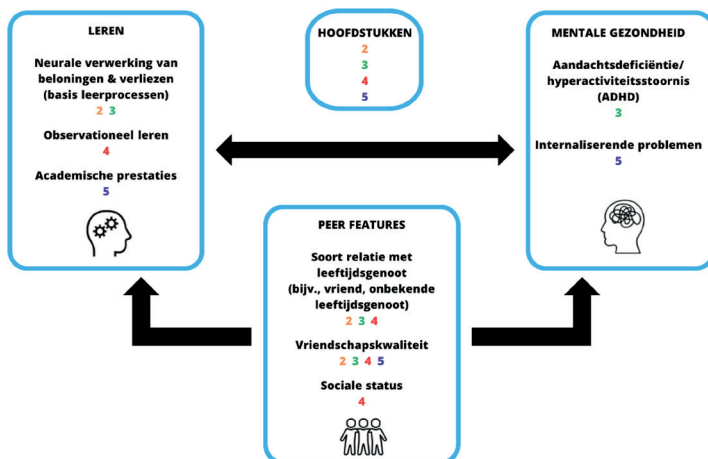
Door de sluiting van scholen en de restricties rondom het afspreken met leeftijdsgenoten en vrienden buiten school, werd het sociale leven van adolescenten tijdens de pandemie beperkt (Rijksoverheid, 2020, 2021). Onderzoek vóór de pandemie heeft een beschermend effect van vriendschapskwaliteit gevonden op academische prestaties en depressieve symptomen bij adolescenten die stressvolle levensgebeurtenissen hadden meegemaakt (bijv., gepest worden door leeftijdsgenoten en emotionele verwaarlozing) (Rothon et al., 2011; Van Harmelen et al., 2016; Zhao et al., 2021). Meerdere studies tijdens de COVID-19 pandemie hebben de invloed van de thuis- en familiecontext (bijv., financiële stress, ouderschap) op academische prestaties en internaliserende problemen bij kinderen en adolescenten onderzocht. Er is echter weinig onderzoek gedaan naar de impact van het steunnetwerk buiten de familie (bijv., vriendschapskwaliteit) op de academische prestaties van adolescenten tijdens de pandemie. Twee eerdere onderzoeken bij adolescenten hebben gevonden dat hogere vriendschapskwaliteit vóór de pandemie was gerelateerd aan minder internaliserende problemen (bijv., minder depressieve symptomen) tijdens de pandemie (Bernasco et al., 2021; Houghton et al., 2022). Deze voorgaande onderzoeken hebben echter maar twee dataverzamelingpunten aan het begin van de pandemie in 2020 gebruikt, en meer onderzoek is nodig naar de lange-termijn resultaten gedurende de pandemie in 2021.

### **Methoden en resultaten van studies in dit proefschrift**

Dit proefschrift focust op twee hoofdonderzoeksvragen met als doel om de neurale en gedragsmechanismen te onderzoeken die ten grondslag liggen aan het leren en de mentale gezondheid van adolescenten in de context van leeftijdsgenoten. De neurale signalen van beloningen en fouten kunnen uiteindelijk gebruikt worden om het gedrag van een individu aan te passen en te verbeteren, wat cruciaal is voor efficiënt leren en dit zal dus worden beschouwd als basis leerprocessen in dit proefschrift. Mijn eerste doel is om onderzoek te doen naar de neurale verwerking van beloningen en (op fouten gebaseerde) verliezen voor leeftijdsgenoten (en zichzelf) bij typisch ontwikkelende adolescenten en adolescenten met ADHD door middel van twee fMRI studies. Mijn tweede doel is om te onderzoeken wat de invloed is van verschillende *peer features*, zoals het soort relatie met leeftijdsgenoten, vriendschapskwaliteit en de status van leeftijdsgenoten, op (observatieel) leren en internaliserende problemen bij adolescenten door middel van een longitudinale gedragsstudie. Zie Figuur 2 voor de verschillende variabelen gerelateerd



aan de hoofdconcepten (leren, mentale gezondheid, en *peer features*) die zijn opgenomen in de empirische hoofdstukken.



**Figuur 2.** Visualisatie van de verschillende variabelen gerelateerd aan de hoofdconcepten (leren, mentale gezondheid, en peer features) die zijn opgenomen in de empirische hoofdstukken.

### Neurale verwerking van uitkomsten voor leeftijdsgenoten tijdens (a) typische ontwikkeling

In **hoofdstuk 2** heb ik met een fMRI studie (PeersProject) onderzoek gedaan naar de hersenactiviteit tijdens het observeren van op prestatie gebaseerde beloningen en verliezen voor vrienden en onbekende leeftijdsgenoten gedurende de adolescentie ( $N = 80$ ; 9-16 jaar). Typisch ontwikkelende adolescenten observeerden hun beste vriend en een onbekende leeftijdsgenoot die een schietspel uitvoerden (Cannonball task; de Buijn et al., 2009) in de MRI scanner. Het doel van deze taak was om een doel te schieten door het stoppen van een bewegende ‘kanon’ wanneer deze kanon precies in lijn was met het doel. Op prestatie gebaseerde treffers (*hits*: raken van het doel) resulteerden in een financiële beloning en op prestatie gebaseerde fouten (missen van het doel) resulteerde in een financieel verlies. De uitkomsten hadden een gelijkwaardig effect op de speler (leeftijdsgenoot) en de observerende participant.

In **hoofdstuk 3** heb ik met een andere fMRI studie (Brainbuzz) onderzoek gedaan naar de hersenactiviteit tijdens de anticipatie en het krijgen van beloningen en verliezen voor zichzelf en de beste vriend bij adolescenten met en zonder ADHD. Mannelijke adolescenten met ADHD ( $N = 42$ ; 14-22 jaar) en typisch ontwikkelende adolescenten ( $N = 56$ ; 13-23 jaar) hebben een beloningsgoktaak uitgevoerd in de MRI scanner. Bij deze taak konden ze geld winnen of verliezen voor zichzelf en hun beste vriend door te gokken of

het gooien van een muntstuk zou resulteren in kop of munt. In de taak werd eerst een beloning *cue* (aanwijzing) of verlies *cue* getoond om anticipatie te signaleren. De beloning *cue* gaf aan dat de participant geld zou winnen na een goede gok en géén geld zou winnen na een foute gok. De verlies *cue* gaf aan dat de participant geld zou verliezen na een foute gok en géén geld zou verliezen na een goede gok. Het ontwerp van de taak maakte het mogelijk om een de neurale verwerking van beloningen en verliezen te vergelijken met een neutrale referentiecategorie (géén-beloning, géén-verlies).

De resultaten toonden aan dat zowel typisch ontwikkelende adolescenten (**hoofdstuk 2**) als adolescenten met ADHD (**hoofdstuk 3**) hersenactiviteit lieten zien tijdens het verwerken van financiële beloningen voor zichzelf en in de context van beste vrienden (en onbekende leeftijdsgenoten) in hersengebieden doorgaans betrokken bij verwerking van beloningen (striatum, vmPFC) en zeer saillante (betekenisvolle) informatie (insula, dACC, IPFC). Deze voorgenoemde hersengebieden werden zowel geactiveerd terwijl adolescenten observeerden dat hun leeftijdsgenoten (beste vriend en onbekende leeftijdsgenoot) beloningen kregen die ook effect hadden op henzelf (**hoofdstuk 2**), én terwijl adolescenten met en zonder ADHD beloningen anticipeerden en kregen voor zichzelf en voor hun beste vriend (**hoofdstuk 3**). Terwijl adolescenten winnen voor zichzelf en vrienden én beloningen van leeftijdsgenoten observeren zijn er dus vergelijkbare hersengebieden betrokken die beloningen en saillante informatie verwerken. Daarentegen vond ik géén activiteit in hersengebieden doorgaans betrokken bij verliesverwerking (*bijv., pMFC, insula, dACC, IPFC*) terwijl adolescenten observeerden dat hun leeftijdsgenoten op fouten gebaseerde verliezen kregen (**hoofdstuk 2**), én terwijl adolescenten met en zonder ADHD verliezen anticipeerden en kregen voor zichzelf en voor hun beste vriend (**hoofdstuk 3**).

Hoewel ik overlappende hersenactiviteit vond in beloningsgebieden tijdens beloningsverwerking in sociale én niet-sociale contexten, vond ik een effect van sociale context in het sociale brein tijdens het verwerken van geobserveerde uitkomsten. In **hoofdstuk 2** vond ik namelijk hogere activiteit in de linker TPJ terwijl typisch ontwikkelende adolescenten uitkomsten observeerden voor een onbekende leeftijdsgenoot vergeleken met uitkomsten voor hun beste vriend. Daarnaast heb ik geen leeftijdseffecten gevonden bij typisch ontwikkelende adolescenten in striatum activiteit tijdens het observeren van beloningen voor leeftijdsgenoten, en tevens geen leeftijdseffecten in TPJ activiteit tijdens het observeren van uitkomsten voor leeftijdsgenoten

In **hoofdstuk 3** heb ik geen groepsverschillen gevonden in hersenactiviteit tijdens de anticipatie op en het krijgen van uitkomsten tussen adolescenten met ADHD en typisch ontwikkelende adolescenten. Daarnaast liet een benadering op symptoom-niveau zien dat meer aandachtstekort symptomen gerelateerd was aan hogere vmPFC activiteit terwijl adolescenten verliezen kregen voor zichzelf vergeleken met verliezen voor hun beste vriend.

## Leren in de context van leeftijdsgenoten: vriendschappen & sociale status

In **hoofdstuk 4** heb ik met behulp van een cross-sectionele gedragsstudie (StudyBuddy) onderzoek gedaan naar de invloed van verschillende *peer features* op observationeel *reinforcement* leren in de vroege tot midden adolescentie. Deze *peer features* omvatten soort relatie met leeftijdsgenoten (vrienden, neutrale klasgenoten, onbekende leeftijdsgenoten), vriendschapskwaliteit en sociale status (*eigenvector centraliteit*). Adolescenten ( $N = 214$ ; 11-15 jaar) hebben een observationele *reinforcement* leertaak uitgevoerd (gebaseerd op Burke et al., 2010; Rodriguez Buritica et al., 2016). In deze taak moesten de adolescenten een keuze maken tussen twee abstracte stimuli met verschillende kansen op beloning (80% versus 20%). Vervolgens ontvingen de participanten een beloning of geen-beloning als uitkomst. Het doel van de taak was om te leren door middel van trial-en-error welke stimulus de hoogste kans op beloning had. In de individuele leerconditie konden de participanten alleen leren van hun eigen keuzes en uitkomsten. In de observationele leercondities konden de participanten ook leren van de keuzes en uitkomsten van een bevriende klasgenoot, een neutrale klasgenoot (niet aardig of onaardig gevonden) of een onbekende leeftijdsgenoot. Deze medespelers voor de taak werden geïdentificeerd door middel van sociometrische nominaties op basis van vriendschap en aardigheid (*liking*). De sociale status van de participanten zelf én sociale status van de leeftijdsgenoten in de klas (*eigenvector centraliteit*) werden berekend met behulp van sociale netwerk analyses.

In **hoofdstuk 5** bespreek ik een prospectieve longitudinale gedragsstudie (StudyBuddy) bestaande uit vier dataverzamelingspunten. Deze studie bouwt voort op hoofdstuk 4 die alleen focust op Tijdstip 1 (T1) van deze longitudinale studie. In hoofdstuk 5 onderzoek ik het effect van vriendschapskwaliteit van adolescenten op mogelijke veranderingen in hun academische prestaties en internaliserende problemen gedurende twee schooljaren tijdens de COVID-19 pandemie. Nederlandse adolescenten ( $N_{T1} = 250$ ; 11-16 jaar) hebben zelfrapportage vragenlijsten ingevuld over positieve vriendschapskwaliteit (Friendship Quality Scale; Bukowski et al., 1994), negatieve vriendschapskwaliteit (Network of Relationship Inventory - Relationship Qualities Version; Buhrmester & Furman, 2008) en internaliserende problemen (Strengths and Difficulties Questionnaire; Van Widenfelt et al., 2003). Verder werden schoolbestanden verkregen van rapportcijfers voor de vakken Nederlands, Engels en Wiskunde over vier dataverzamelingspunten. Tijdstip 1 (T1) van de dataverzameling was een baseline vóór de pandemie (November 2019) en de opvolgende dataverzamelingspunten waren gedurende de COVID-19 pandemie (T2: Mei/Juni 2020, T3: November/December 2020, T4: Mei/Juni 2021).

De resultaten toonden aan dat de leerprestaties van adolescenten profiteerden van het observeren van de keuzes en uitkomsten van leeftijdsgenoten (**hoofdstuk 4**). De bevindingen lieten meer accurate prestaties en snellere verbetering zien in observationeel *reinforcement* leren vergeleken met individueel *reinforcement* leren bij de adolescenten. Ik

vond echter géén effect van vriendschap op observationeel *reinforcement* leren, en tevens vond ik géén modererend effect van positieve en negatieve vriendschapskwaliteit. De leerprestaties van adolescenten profiteerden dus in gelijke mate van het observeren van bevriende klasgenoten, neutrale klasgenoten en onbekende klasgenoten. Verder heb ik géén effect gevonden van de eigen sociale status (*eigenvector centraliteit*) van adolescenten en de sociale status van bevriende klasgenoten en neutrale klasgenoten op observationele leerprestaties van deze adolescenten. Overeenkomstig met deze resultaten omtrent observationeel leren, was de eigen sociale status (*eigenvector centraliteit*) van adolescenten ook niet gerelateerd aan hun academische prestaties (**hoofdstuk 4**).

Verder heb ik gekeken of observationeel leren positief kan bijdragen aan academische prestaties van adolescenten. In **hoofdstuk 4** vond ik géén relatie tussen de observationele leerprestaties van adolescenten tijdens een experimenteel paradigma en hun academische prestaties. Overeenkomstig met de resultaten omtrent observationeel leren, was positieve en negatieve vriendschapskwaliteit niet gerelateerd aan academische prestaties (**hoofdstuk 4**). Voortbouwend op voorgaande resultaten vóór de pandemie, lieten de longitudinale resultaten zien dat er ook géén beschermend effect was van positieve en negatieve vriendschapskwaliteit op (veranderingen in) de academische prestaties van adolescenten gedurende twee schooljaren tijdens de COVID-19 pandemie (**hoofdstuk 5**). Samengevat vond ik géén effect van vriendschapskwaliteit op observationeel leren en academisch leren bij adolescenten.

## Vriendschappen en mentale gezondheid tijdens de adolescentie

De resultaten in **hoofdstuk 5** lieten zien dat adolescenten met een betere (hogere positieve en lagere negatieve) vriendschapskwaliteit minder internaliserende problemen rapporteerden over alle tijdstippen vóór en tijdens de COVID-19 pandemie (2019-2021). Bovendien vond ik dat zowel hogere positieve vriendschapskwaliteit en lagere negatieve vriendschapskwaliteit gerelateerd waren aan minder gerapporteerde internaliserende problemen door adolescenten.

Verder vond ik in **hoofdstuk 3** dat er géén groepsverschillen waren in hechtheid van relaties met vrienden tussen adolescenten met ADHD en typisch ontwikkelende adolescenten. Ik vond namelijk geen groepsverschillen in positieve vriendschapskwaliteit, negatieve vriendschapskwaliteit en nabijheid ten opzichte van de beste vriend.

## Invloed van situationele factoren op leren en mentale gezondheid van adolescenten

Zoals verwacht, vond ik in **hoofdstuk 5** een afname van de academische prestaties van adolescenten over de tijd gedurende twee schooljaren tijdens de COVID-19 pandemie. Ik vond specifiek dat adolescenten lagere academische prestaties hadden tijdens het tweede schooljaar (2020-2021) dan tijdens het eerste schooljaar (2019-2020) van deze

studie. Daarnaast vond ik, zoals verwacht, een toename van internaliserende problemen bij adolescenten over de tijd gedurende twee schooljaren tijdens de COVID-19 pandemie. Ik vond specifiek dat adolescenten meer internaliserende problemen rapporteerden tijdens het tweede schooljaar (2020-2021) dan tijdens het eerste schooljaar (2019-2020) van deze studie.

## Algemene discussie

De onderzoeken uit dit proefschrift laten samen een aantal bevindingen zien die meer inzicht geven in de neurale- en gedragsmechanismen die ten grondslag liggen aan het leren en de mentale gezondheid van adolescenten in de context van vrienden en leeftijdsgenoten.

### Neurale verwerking van uitkomsten voor leeftijdsgenoten tijdens (a) typische ontwikkeling

Resultaten uit **hoofdstuk 2** en **hoofdstuk 3** toonden aan dat zowel typisch ontwikkelende adolescenten als adolescenten met ADHD hersenactiviteit lieten zien tijdens het verwerken van financiële beloningen voor zichzelf en in de context van beste vrienden (en onbekende leeftijdsgenoten) in hersengebieden doorgaans betrokken bij verwerking van beloningen (striatum, vmPFC) en zeer saillante (betekenisvolle) informatie (insula, dACC, IPFC). *Beloningsverwerking voor adolescenten zelf én voor leeftijdsgenoten doet dus een beroep op gemeenschappelijke belonings-gerelateerde hersengebieden.* Deze bevindingen komen overeen met eerder onderzoek die hersenactiviteit in beloningsgebieden liet zien tijdens het verwerken van eigen beloningen en beloningen vóór leeftijdsgenoten (Braams et al., 2014a, 2014b; de Bruijn et al., 2009; Morelli et al., 2015; Overgaauw et al., 2020; Silverman et al., 2015). De huidige bevindingen sluiten aan bij de *common currency* theorie, die verwijst naar het concept dat vergelijkbare hersengebieden beloningen verwerken in niet-sociale contexten én sociale contexten (Lockwood et al., 2020; Wake & Izuma, 2017). De voorgenoemde processen zijn belangrijk voor gedrag en uitkomsten in het dagelijks leven. De verwerking van beloningen voor anderen is bijvoorbeeld gerelateerd aan prosociaal gedrag en vormt de basis van prosociaal leren (leren om te winnen voor anderen) (Contreras-Huerta et al., 2023; Crone et al., 2022; Lockwood et al., 2016). Verder vormt de verwerking van geobserveerde beloningen en verliezen de basis van observationeel leren. De vaardigheid om te leren via het observeren van de uitkomsten van anderen is belangrijk voor het navigeren door onze sociale wereld. Observationeel leren helpt ons om ons gedrag aan te passen zonder alles eerst zelf te hoeven ervaren.

Daarentegen vond ik géén activiteit in hersengebieden doorgaans betrokken bij verliesverwerking terwijl adolescenten observeerden dat hun leeftijdsgenoten op fouten gebaseerde verliezen kregen (**hoofdstuk 2**), én terwijl adolescenten met en zonder ADHD verliezen anticipeerden en kregen voor zichzelf en voor hun beste vriend (**hoofdstuk 3**). De huidige resultaten zijn niet in lijn met eerder onderzoek die activiteit

lieten zien in hersengebieden betrokken bij verliesverwerking (pMFC, insula, dACC, IPFC) tijdens het verwerken van eigen verliezen en verliezen vóór anderen (de Bruijn et al., 2009; Dugré et al., 2018; Monfardini et al., 2013; Peters et al., 2014). De huidige resultaten lieten zien dat sommige van deze hersengebieden (insula, dACC, IPFC) geactiveerd werden tijdens beloningsverwerking. Dit geeft aan dat deze hersengebieden wellicht niet per se beloningsuitkomsten verwerken, maar betrokken zijn in het saillantie netwerk die saillante uitkomsten en zeer relevante informatie representeert (Seeley, 2019; Seeley et al., 2007; Ullsperger et al., 2010). Samengenomen suggereren de huidige bevindingen dat adolescenten met en zonder ADHD het verwerken (krijgen en observeren) van beloningen voor zichzelf, vrienden en leeftijdsgenoten wellicht als saillantier en relevanter beschouwen dan het verwerken van verliezen.

Verder vond ik een effect van sociale context in het sociale brein (**hoofdstuk 2**). Ik vond namelijk hogere activiteit in de linker TPJ terwijl typisch ontwikkelende adolescenten uitkomsten observeerden voor een onbekende leeftijdsgenoot vergeleken met uitkomsten voor hun beste vriend. De richting van dit sociale context effect was niet in lijn met mijn hypothese en sommige eerdere studies die hogere TPJ activiteit lieten zien tijdens sociale beslissingen en interacties met vrienden en bekende leeftijdsgenoten vergeleken met leeftijdsgenoten die onbekend waren en onaardig gevonden werden (Güroğlu et al., 2008; Schreuders et al., 2018b). Andere onderzoeken lieten echter lagere TPJ activiteit zien in (jong) volwassenen tijdens sociale interacties met mensen waar ze meer om gaven en tijdens het kijken van foto's van dierbaren vergeleken met bekende anderen (Bartels & Zeki, 2000; Bartels & Zeki, 2004; Bault et al., 2015). De huidige resultaten laten dus zien dat een sociaal breingebied (TPJ) verhoogde hersenactiviteit laat zien voor uitkomsten van onbekende leeftijdsgenoten vergeleken met vrienden. Dit kan mogelijk gerelateerd zijn aan verhoogde inspanning van mentaliseren (achterhalen van intenties van anderen) tijdens het observeren van uitkomsten voor onbekende leeftijdsgenoten vergeleken met vrienden. Deze verklaring sluit aan bij eerder onderzoek waarbij hogere TPJ activiteit werd gevonden wanneer mentaliseren en het overwegen van de intenties van anderen meer inspanning kostte (Güroğlu et al., 2011; Lemmers-Jansen et al., 2019; Schenk & Colloca, 2020).

Daarnaast vond ik geen groepsverschillen in hersenactiviteit tijdens de anticipatie op en het krijgen van uitkomsten tussen adolescenten met ADHD en typisch ontwikkelende adolescenten (**hoofdstuk 3**). Bij eerder onderzoek zijn echter wel groepsverschillen gevonden in hersenactiviteit, waarbij individuen met ADHD verminderde ventrale striatum activiteit lieten zien tijdens de anticipatie op beloningen (Hoogman et al., 2011; Plichta & Scheres, 2014; Scheres et al., 2007; Ströhle et al., 2008). Deze verschillende resultaten zouden verklaard kunnen worden door ontwikkelingsverschillen, aangezien eerder onderzoek waarbij deze groepsverschillen zijn gevonden voornamelijk bij volwassenen werd uitgevoerd, terwijl eerdere studies bij adolescenten over de anticipatie op beloningen ook géén groepsverschillen in hersenactiviteit lieten zien (Paloyelis et al., 2012; Von Rhein

et al., 2015). Een alternatieve verklaring voor de afwezigheid van groepsverschillen in de huidige studie is dat ADHD een heterogene stoornis is die bestaat uit meerdere subgroepen gebaseerd op klinische gedragsprofielen (zoals aandachtstekort, hyperactief/impulsief of gecombineerde presentatie) en neurobiologische profielen. Bij eerder fMRI onderzoek zijn inderdaad subgroepen geïdentificeerd van kinderen met ADHD gebaseerd op verminderde belonings-gerelateerde hersenactiviteit (Lecei et al., 2019). Daarnaast vond ik met een benadering op symptoom-niveau dat meer aandachtstekort symptomen gerelateerd waren aan hogere vmPFC activiteit terwijl adolescenten verliezen kregen voor zichzelf vergeleken met verliezen voor hun beste vriend (**hoofdstuk 3**). Eerder onderzoek heeft ook de betrokkenheid van de vmPFC aangetoond tijdens het verwerken van eigen uitkomsten en uitkomsten voor anderen (Brandner et al., 2021; Morelli et al., 2015), en tijdens het leren om beloningen te winnen voor anderen (i.e., prosocial leren; Lockwood et al., 2016; Westhoff et al., 2021). De huidige resultaten wijzen er mogelijk op dat adolescenten met meer aandachtstekort symptomen meer focussen op verliezen voor zichzelf dan voor anderen. Deze focus van aandacht op zichzelf versus anderen met toenemende aandachtstekort symptomen is in lijn met eerdere literatuur waarbij tekorten werden gevonden in de aandacht voor sociale aanwijzingen (*cues*) bij individuen met ADHD (Marotta et al., 2014).

### **Leren in de context van leeftijdsgenoten: vriendschappen & sociale status**

De resultaten toonden aan dat de leerprestaties van adolescenten profiteerden van het observeren van de keuzes en uitkomsten van leeftijdsgenoten (**hoofdstuk 4**). Overeenkomstig met eerdere studies bij kinderen en volwassenen (Burke et al., 2010, Rodriguez Buritica et al., 2016, 2018), lieten de huidige bevindingen meer accurate prestaties en snellere verbetering zien in observationeel *reinforcement* leren vergeleken met individueel *reinforcement* leren bij de adolescenten. Ik vond echter géén effect van vriendschap op observationeel *reinforcement* leren, en tevens vond ik géén modererend effect van positieve en negatieve vriendschapskwaliteit. De leerprestaties van adolescenten profiteerden dus in gelijke mate van het observeren van bevriende klasgenoten, neutrale klasgenoten en onbekende klasgenoten. De huidige bevindingen markeren de *adolescentie als een periode van observationele leermogelijkheden van verschillende soorten leeftijdsgenoten*. In tegenstelling tot de huidige bevindingen hebben eerdere dynamische leerstudies laten zien dat adolescenten beter konden leren van bevriende leerpartners dan van niet-vrienden, en in het bijzonder als de adolescenten een hogere vriendschapskwaliteit hadden met deze leerpartners (DeLay et al., 2014; Hartl et al., 2015). Een mogelijke verklaring voor de verschillende bevindingen is dat vrienden, vergeleken met niet-vrienden, mogelijk een sterkere invloed hebben op leerprestaties in meer dynamische leeromgevingen die sociale interacties mogelijk maken tussen vrienden, wat meer vergelijkbaar is met de typische school leeromgeving. De leertaak uit het huidige onderzoek was meer statisch, waarbij de

keuzes van leeftijdsgenoten konden worden geobserveerd, maar waar er geen interactie mogelijk was.

Verder heb ik géén effect gevonden van de eigen sociale status (*eigenvector centraliteit*) van adolescenten en de sociale status van bevriende klasgenoten en neutrale klasgenoten op observationele leerprestaties van deze adolescenten. Overeenkomstig met deze resultaten omtrent observationeel leren, was de eigen sociale status (*eigenvector centraliteit*) van adolescenten ook niet gerelateerd aan hun academische prestaties (**hoofdstuk 4**). Een andere recente studie liet zien dat de neiging van adolescenten om sociale informatie van leeftijdsgenoten te gebruiken niet toeneemt naarmate de eigen sociale status toeneemt, maar deze neiging neemt wel toe naarmate de sociale status van leeftijdsgenoten toeneemt (Gradassi et al., 2022). Dit andere onderzoek heeft conformiteit van besluitvorming (sociale invloed) gemeten, wat wellicht meer prominent gerelateerd is aan sociale status van leeftijdsgenoten dan observationeel leren.

Verder heb ik gekeken of observationeel leren positief kan bijdragen aan academische prestaties van adolescenten. Hierbij vond ik géén relatie tussen de observationele leerprestaties van adolescenten tijdens een experimenteel paradigma en hun academische prestaties (**hoofdstuk 4**). Dit zou kunnen betekenen dat observationeel *reinforcement* leren niet direct voordelig is voor en te vertalen is naar de academische prestaties van adolescenten in de schoolsetting. Overeenkomstig met de resultaten omtrent observationeel leren, waren positieve en negatieve vriendschapskwaliteit niet gerelateerd aan academische prestaties (**hoofdstuk 4**). Voortbouwend op voorgaande resultaten vóór de pandemie, lieten de longitudinale resultaten zien dat er ook géén beschermend effect was van positieve en negatieve vriendschapskwaliteit op (veranderingen in) de academische prestaties van adolescenten gedurende twee schooljaren tijdens de COVID-19 pandemie (**hoofdstuk 5**). Samengevat vond ik géén effect van vriendschapskwaliteit op observationeel leren en academisch leren bij adolescenten. Een mogelijke verklaring voor de huidige resultaten is dat steun van andere sociale relaties dan vriendschappen, zoals ouders, mogelijk een grotere impact heeft op leren. Onderzoek vóór de pandemie heeft inderdaad aangetoond dat alleen betrokkenheid van ouders, maar niet vriendschapskwaliteit, gerelateerd was aan academisch leren (Lynch et al., 2013). Tijdens de pandemie heeft de steun van ouders mogelijk een nog groter effect gehad op leren bij adolescenten vanwege het gebrek aan mogelijkheden om te leren met vrienden door de sociale contactbeperkingen. Een studie heeft inderdaad laten zien dat steun van ouders, maar niet steun van vrienden, een bufferend effect had op de afname in academische motivatie van adolescenten tijdens online schooldagen (Klootwijk et al., 2021).

## Vriendschappen en mentale gezondheid tijdens de adolescentie

De resultaten lieten zien dat adolescenten met een betere (hogere positieve en lagere negatieve) vriendschapskwaliteit minder internaliserende problemen rapporteerden

A



over alle tijdstippen vóór en tijdens de COVID-19 pandemie (**hoofdstuk 5**). De huidige bevindingen sluiten aan bij resultaten uit twee eerdere onderzoeken aan het begin van de pandemie (Bernasco et al., 2021; Houghton et al., 2022) en laten zien dat de significante relatie tussen vriendschapskwaliteit en internaliserende problemen standhoudt over een langere periode van twee schooljaren tijdens de pandemie in 2020 en 2021. Bovendien vond ik dat zowel hogere positieve vriendschapskwaliteit en lagere negatieve vriendschapskwaliteit gerelateerd waren aan minder gerapporteerde internaliserende problemen door adolescenten. Dit suggereert dat het potentieel belangrijk is voor de mentale gezondheid van adolescenten om positieve vriendschapskwaliteit (zoals veiligheid) te behouden en negatieve vriendschapskwaliteit (zoals conflicten) te verminderen. *De adolescentie kan dus dienen als een periode van kansen om mentale gezondheid te verbeteren door middel van het bevorderen van vriendschapskwaliteit.* Er moet echter wel worden opgemerkt dat de analyses van de huidige studie niet causaal zijn, maar correlatieel. De bevindingen kunnen dus suggereren dat betere vriendschapskwaliteit beschermt tegen het ontwikkelen van internaliserende problemen of dat minder internaliserende problemen zorgt voor betere vriendschapskwaliteit. Toekomstige longitudinale onderzoeken of gerandomiseerde onderzoeken met controlegroep zijn nodig om dit mogelijke causale effect verder te onderzoeken.

Verder vond ik dat er géén groepsverschillen waren in hechtheid van relaties met vrienden tussen adolescenten met ADHD en typisch ontwikkelende adolescenten (**hoofdstuk 3**). Ik vond namelijk geen groepsverschillen in positieve vriendschapskwaliteit, negatieve vriendschapskwaliteit en nabijheid ten opzichte van de beste vriend. Deze bevindingen suggereren dat adolescenten met ADHD hun vriendschappen even positief en hecht ervaren als typisch ontwikkelende adolescenten. Mogelijk ervaren jongeren met ADHD met name problemen in de algemene groep van leeftijdsgenoten (bijv., afwijzing, gepest worden), zoals gerapporteerd bij eerdere studie (Gardner & Gerdes, 2015; Mikami, 2010; Mikami & Normand, 2015). Mogelijk ervaren jongeren met ADHD niet dezelfde problemen omtrent vriendschapskwaliteit, wat aansluit bij eerder onderzoek dat heeft laten zien dat adolescenten met ADHD hechte vriendschappen kunnen vormen en behouden (Glass et al., 2012; Rokeach & Wiener, 2020, 2022).

### **Invloed van situationele factoren op leren en mentale gezondheid van adolescenten**

Zoals verwacht, vond ik een afname van de academische prestaties van adolescenten over de tijd gedurende twee schooljaren tijdens de COVID-19 pandemie (**hoofdstuk 5**). Ik observeerde specifiek dat adolescenten lagere academische prestaties hadden tijdens het tweede schooljaar (2020-2021) dan tijdens het eerste schooljaar (2019-2020) van deze studie. De adolescenten hadden de sociale en maatschappelijke pandemie-gerelateerde beperkingen voor langere tijd ervaren tijdens het tweede jaar van de studie, en daarmee

ook het mogelijke negatieve effect van online onderwijs op academische prestaties. De huidige bevindingen zijn in lijn met een systematisch review die leerverliezen aantoonde bij kinderen en adolescenten tijdens de COVID-19 pandemie vergeleken met jaren vóór de pandemie (Panagouli et al., 2021).

Daarnaast vond ik, zoals verwacht, een toename van internaliserende problemen bij adolescenten over de tijd gedurende twee schooljaren tijdens de COVID-19 pandemie (**hoofdstuk 5**). Ik vond specifiek dat adolescenten meer internaliserende problemen rapporteerden tijdens het tweede schooljaar (2020-2021) dan tijdens het eerste schooljaar (2019-2020) van deze studie. De adolescenten hadden de pandemie-gerelateerde beperkingen voor langere tijd ervaren tijdens het tweede jaar van de studie, en daarmee ook het mogelijke negatieve effect van sociale isolatie en sociale afstand maatregelen. De huidige resultaten zijn in lijn met eerdere studies die zijn uitgevoerd aan het begin van de pandemie in 2020 (Ellis et al., 2020; Li et al., 2021; Weissman et al., 2021). Overeenkomsten vonden studies die later zijn uitgevoerd vergeleken met studies die eerder zijn uitgevoerd in het eerste jaar van de pandemie (2020) een hogere prevalentie van angst en depressieve symptomen bij kinderen en adolescenten (zie meta-analyse Racine et al., 2021). De resultaten van het huidige proefschrift breiden deze eerdere resultaten uit door te laten zien dat adolescenten meer internaliserende problemen rapporteerden in een later stadium van de pandemie (November/December 2020, Mei/Juni 2021) vergeleken met het begin van de pandemie (Mei/Juni 2020) en de periode vóór de pandemie (November 2019). Samengevat laten de bevindingen uit het huidige proefschrift dus zien dat de *COVID-19 pandemie een negatieve impact had op de academische uitkomsten en mentale gezondheid van adolescenten*.

De huidige bevindingen hebben implicaties voor wanneer de maatschappij in de toekomst wordt geconfronteerd met een vergelijkbare crisis als de COVID-19 pandemie. Toekomstig overheidsbeleid over maatschappelijke en sociale-contact beperkingen en (school) lockdowns tijdens een vergelijkbare crisis moet overwegen welke nadelige effecten het kan hebben op de academische uitkomsten en mentale gezondheid van adolescenten.

## **Vervolgonderzoek en praktische implicaties**

Op basis van de onderzoeksbevindingen van het huidige proefschrift zal ik verdere aanbevelingen doen voor vervolgonderzoek en implicaties bespreken voor de onderwijs- en klinische praktijk.

### ***Sociale context in experimentele taken***

De experimentele paradigma's beschreven in het huidige proefschrift bevatten allemaal een realistische sociale context van vrienden (en leeftijdsgenoten). Dit werd bereikt door interactie met acteurs, het observeren van vrienden in taken, het creëren van taken met consequenties voor vrienden of het betrekken van klasgenoten in taken door middel van

sociometrische methoden. Tijdens de meeste taken konden de adolescenten afwisselend de taak uitvoeren en hun leeftijdsgenoot observeren die de taak uitvoerde, wat lijkt op interacties met leeftijdsgenoten in het echte leven. Het betrekken van verschillende soorten leeftijdsgenoten in taken die op het echte leven waren gebaseerd (bijv., vrienden, neutrale klasgenoten) heeft de ecologische validiteit van deze taken versterkt, omdat leren op school ook vaak plaatsvindt in de context van leeftijdsgenoten. Voor toekomstig onderzoek kan het voordelig zijn om gebruik te maken van directe sociale interacties met leeftijdsgenoten in interactieve leerparadigma's, wat een nog betere weergave is van leren in de onderwijspraktijk. Toekomstig onderzoek kan verschillende soorten relaties met leeftijdsgenoten meenemen (bijv., onaardig gevonden leeftijdsgenoten, populaire leeftijdsgenoten) en volwassen modellen (bijv., ouders, leerkrachten) om het effect van de brede sociale context op het verwerken van uitkomsten en leren bij adolescenten te onderzoeken.

### ***Symptoom-niveau en longitudinale benaderingen bij onderzoek naar mentale gezondheid***

De resultaten in het huidige proefschrift benadrukken het belang van een benadering op symptoom-niveau, die ook gebruikt is in recente klinische studies en onderbouwd wordt door taxonomieën van dimensionele ADHD symptomen (Coghill & Sonuga-Barke, 2012; Van Hoorn et al., 2022). Een benadering op symptoom-niveau biedt unieke mogelijkheden voor toekomstig onderzoek om de relaties tussen gedrag en neurobiologie te onderzoeken vanuit een transdiagnostisch perspectief. Deze symptoom-niveau benadering kan bijvoorbeeld gebruikt worden om transdiagnostische psychopathologie dimensies te identificeren (bijv., aandachtstekort, sociale onaangepastheid), die gerelateerd kunnen worden aan specifieke sociale uitkomsten, leeruitkomsten en neurale netwerken (Astle et al., 2022; Barch, 2017; Holmes et al., 2021). Daarnaast is een longitudinaal design waardevol voor klinische hersenonderzoeken aangezien dit mogelijke biomarkers kan identificeren voor de ontwikkeling van psychopathologie symptomen (zie bijv. Chen et al., 2022).

### ***Implicaties voor de onderwijs- en klinische praktijk***

De huidige bevindingen markeren de adolescentie als een periode van observationele leermogelijkheden van verschillende soorten leeftijdsgenoten (vrienden, neutrale klasgenoten, en onbekende leeftijdsgenoten). Deze resultaten kunnen worden toegepast in de onderwijspraktijk door het verder aanmoedigen van leren van leeftijdsgenoten in de klas (bijv., buddy systemen, groepsopdrachten, bijles en begeleiding van leeftijdsgenoten) om leerprestaties te verbeteren. Overeenkomstig met deze aanbeveling hebben meta-analyses inderdaad laten zien dat het leren van leeftijdsgenoten in de schoolsetting een positief effect had op academische prestaties van leerlingen, met name op middelbare scholen (Leung, 2015, 2019).

De huidige resultaten lieten ook zien dat de adolescentie kan dienen als een periode van kansen om mentale gezondheid te verbeteren door middel van het bevorderen van vriendschapskwaliteit. De bevindingen benadrukken het potentiële belang van preventie en interventie programma's om positieve vriendschapskwaliteit (bijv., veiligheid) te bevorderen en negatieve vriendschapskwaliteit (bijv., conflicten) te verminderen om uiteindelijk internaliserende problematiek bij adolescenten te verminderen. Sommige bestaande interventieprogramma's bevatten al een sociale vaardigheidstraining om internaliserende symptomen te verminderen (bijv., Mueller & Cogle, 2023; Weiss et al., 2003), en het zou een waardevolle toevoeging zijn om vriendschapskwaliteit te stimuleren bij adolescenten.

## Conclusies

Concluderend, focuste dit proefschrift op de neurale- en gedragsmechanismen die ten grondslag liggen aan het leren en de mentale gezondheid van adolescenten in de context van vrienden en leeftijdsgenoten. De resultaten van het hersenonderzoek toonden aan dat beloningsverwerking voor adolescenten zelf én voor leeftijdsgenoten een beroep doet op gemeenschappelijke belonings-gerelateerde hersengebieden, terwijl een sociaal breingebied (TPJ) sociale specificiteit laat zien voor geobserveerde uitkomsten voor onbekende leeftijdsgenoten vergeleken met vrienden. Verder lieten typisch ontwikkelende adolescenten en adolescenten met ADHD neurale sensitiviteit zien in belonings- en saillantie-gerelateerde hersengebieden voor beloningen voor zichzelf, vrienden en leeftijdsgenoten vergeleken met verliezen. Er waren géén groepsverschillen in de neurale verwerking van uitkomsten (voor anderen) tussen adolescenten met en zonder ADHD, maar een symptoom-niveau benadering liet meer neurale sensitiviteit zien voor eigen verliezen vergeleken met verliezen voor vrienden in adolescenten met meer aandachtstekort symptomen. Mijn gedragsresultaten toonden aan dat de leerprestaties van adolescenten profiteerden van het observeren van de keuzes en uitkomsten van leeftijdsgenoten ongeacht de relatie met deze leeftijdsgenoot. De resultaten lieten géén effecten zien van vriendschap (kwaliteit) en sociale status op observationeel en academisch leren, maar er was wel een beschermend effect van vriendschapskwaliteit op internaliserende problemen bij adolescenten. Samengevat markeren de huidige bevindingen de adolescentie als een periode van observationele leermogelijkheden van verschillende soorten leeftijdsgenoten. De adolescentie kan ook dienen als een periode van kansen om mentale gezondheid te verbeteren door middel van het bevorderen van vriendschapskwaliteit. Toekomstig onderzoek kan voortbouwen op de huidige bevindingen door het meenemen van brede sociale context variabelen in studie designs en een symptoom-niveau benadering om de relatie tussen sociale context variabelen en mentale gezondheid te onderzoeken. Tot slot kunnen de resultaten uiteindelijk bijdragen aan interventies omtrent het leren van leeftijdsgenoten in de onderwijspraktijk en vriendschap interventies om de mentale gezondheid van adolescenten te verbeteren.