

Hersenontwikkeling en ongevalsrisico van jonge bestuurders

Een literatuurstudie

R-2014-26



Hersenontwikkeling en ongevalsrisico van jonge bestuurders

Een literatuurstudie

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2014-26
Titel:	Hersenontwikkeling en ongevalsrisico van jonge bestuurders
Ondertitel:	Een literatuurstudie
Auteur(s):	Dr. W.P. Vlakveld
Projectleider:	Dr. W.P. Vlakveld
Projectnummer SWOV:	C07.18
Trefwoord(en):	Driver; driving (veh); adolescent; age; recently qualified driver; brain; development; accident; accident rate; risk; traffic; safety; Netherlands; SWOV.
Projectinhoud:	Jonge beginnende bestuurders van motorvoertuigen hebben een hoger ongevalsrisico dan oudere, meer ervaren bestuurders. Dit rapport gaat na wat hersenonderzoek ons leert over de oorzaak van dit hogere risico. Deze verkennende literatuurstudie is bedoeld om mensen die zich bezig houden met verkeersveiligheid en verkeersveiligheidsbeleid te informeren over relevante uitkomsten van hersenonderzoek.
Aantal pagina's:	47
Uitgave:	SWOV, Den Haag, 2014

De informatie in deze publicatie is openbaar.
Overname is echter alleen toegestaan met bronvermelding.

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 93113
2509 AC Den Haag
Telefoon 070 317 33 33
Telefax 070 320 12 61
E-mail info@swov.nl
Internet www.swov.nl

Samenvatting

Jonge beginnende bestuurders van motorvoertuigen hebben een hoger ongevalsrisico dan oudere, meer ervaren bestuurders. Ruwweg zijn daarvoor twee mogelijk oorzaken aan te wijzen: 1) een gebrek aan ervaring, en 2) 'de wilde haren' behorend bij de leeftijd en de ontwikkelingsfase van de hersenen. De vraag in dit rapport is in hoeverre deze tweede oorzaak een rol speelt en wat hersenonderzoek ons daarover leert. Vervolgens gaan we in op de vraag wat dit zou kunnen betekenen voor:

- de leeftijdsgrenzen waarop iemand voor het eerst gemotoriseerd aan het verkeer mag deelnemen;
- de wijze waarop rijles gegeven wordt; en
- de voorwaarden waaronder jongeren gemotoriseerd aan het verkeer mogen deelnemen.

Deze verkennende literatuurstudie is niet geschreven om een definitief antwoord te geven op deze vragen, maar is bedoeld om mensen die zich bezig houden met verkeersveiligheid en verkeersveiligheidsbeleid, maar geen neurowetenschapper zijn, te informeren over relevante uitkomsten van hersenonderzoek.

Er ontstond behoefte aan een dergelijk overzicht toen deskundigen die betrokken waren bij de invoering van het zogenoemde trekrijbewijs, zich afvroegen of 16-jarigen, gelet op hun nog niet volgroeide brein, wel veilig aan het verkeer kunnen deelnemen op grote landbouwvoertuigen. Dit overzicht gaat overigens niet alleen over het rijden op landbouwvoertuigen, maar gemotoriseerde deelname aan het verkeer van jongeren op alle soorten van voertuigen.

Er zijn redenen om aan te nemen dat 'de wilde haren' van jongeren een rol spelen bij ongevalsbetrokkenheid. Uit analyse van ongevallen is echter gebleken dat jongeren die gemotoriseerd aan het verkeer deelnemen, niet uitsluitend ongevallen krijgen doordat ze zich roekeloos gedragen. Waarschijnlijk zijn er meer ongevallen doordat ze nog onervaren zijn, dan door roekeloos rijgedrag als gevolg van het feit dat hun hersenen nog niet volgroeid zijn.

Rond een jaar of twaalf raken jongeren in de puberteit. Hierdoor verandert hun hormoonhuishouding. Die verandering heeft ook invloed op structuren in de hersenen die betrokken zijn bij emoties, motivatie en genot. Dit is het zogenoemde limbische systeem. In feite gaat dit limbische systeem op ongeveer twaalfjarige leeftijd al werken als bij volwassenen. Het systeem dat voorkomt dat we niet overhaast handelen en dat ervoor zorgt dat we rekening houden met de (sociale) omgeving, komt echter pas laat tot volledige ontwikkeling. Rond een jaar of 25 is dat systeem, dat zich in de prefrontale cortex (PFC) bevindt, pas volledig volgroeid. Doordat de rijping van het limbische systeem snel verloopt en de rijping van de PFC langzaam verloopt, zijn jongeren als groep wat meer geneigd om te kiezen voor snelle beloning en genot en zijn de gevoelens van gevaar minder sterk ontwikkeld. Dat risicogedrag wordt overigens niet alleen geuit in het verkeer. Jongeren bedrijven meer dan gemiddeld onveilige seks en experimenteren als groep meer dan gemiddeld met drugs. Ook houden jongeren meer dan gemiddeld

van extreme sporten. Er zijn echter individuele verschillen; sommige jongeren vertonen nauwelijks een verhoogd risicogedrag.

Ook de meest recente onderzoeken over het risicogedrag van jongeren en hersenontwikkeling tonen aan dat ze niet altijd risicogedrag vertonen. Dit blijkt af te hangen van de omstandigheden waaronder ze rijden, van de motieven waarmee ze rijden, en van de emotionele staat waarin ze tijdens het rijden verkeren. Zo zijn jongeren als ze rustig de tijd hebben om over risico's na te denken, niet minder risicobewust dan volwassenen. Jongeren zijn ook geneigd minder risico's te nemen wanneer ze alleen rijden dan wanneer ze met vrienden rijden. Het maakt eveneens uit met welke motief jongeren rijden. Als jongeren serieus met hun werk bezig zijn, zijn ze minder geneigd om risico's te nemen dan wanneer ze een vrijetijdsrit maken. Dit is mogelijk gunstig voor jongeren die op landbouwvoertuigen rijden. Daar mag men al op 16-jarige leeftijd op rijden en op die leeftijd zijn met name bij jongens de 'wilde haren' volop aanwezig. Echter, wanneer jongeren op een landbouwvoertuig rijden dan rijden ze daar doorgaans alleen op en zijn ze meestal serieus met hun werk bezig. Ongunstig is weer dat het voornamelijk jongens zijn die op landbouwvoertuigen rijden en dat landbouwvoertuigen soms oneigenlijk gebruikt worden: 'met de trekker' naar school gaan, bijvoorbeeld.

Voor 16-jarigen is het geen probleem om te leren rijden op grote voertuigen, zoals landbouwvoertuigen en vrachtauto's. Dat wil zeggen als het om voertuigbeheersing en het toepassen van de verkeersregels gaat. Hun hersenen zijn zelfs beter in staat om complexe motorische vaardigheden aan te leren dan de hersenen van volwassenen. Een probleem wordt het echter als het om gevaarherkenning, risicobewustzijn en zelfinschatting gaat. Daar is men feitelijk pas goed in wanneer de hersenen volledig volgroeid zijn.

Hersenonderzoek heeft nog weinig inzichten opgeleverd die direct toepasbaar zijn voor de rijopleiding. Wel is al gebleken dat door een gevaarherkennings-training die deels gebaseerd is op inzichten uit het hersenonderzoek, het kijkgedrag van jonge beginnende bestuurders sterk verbetert. Het gaat om een training waarbij beginnende bestuurders in een rijimulator worden blootgesteld aan gevaarlijke verkeerssituaties. Of dit kijkgedrag door deze training ook blijvend verbetert is nog niet onderzocht.

De huidige kennis over de hersenontwikkeling van jongeren biedt aanknopingspunten voor de volgende aanbevelingen:

- Zorg ervoor dat jongeren gemotiveerd zijn om veilig te rijden. Ze zijn eerder serieus met veilig rijden bezig wanneer ze dat in het kader van werk doen dan wanneer het om plezierritten gaat.
- Zorg voor betrokkenheid en coaching van ouder(s).
- Zorg ervoor dat jonge bestuurders voldoende rust en slaap krijgen.
- Laat vooral de jongste groep bestuurders zo min mogelijk samen met leeftijdsgenoten rijden.
- Zoek naar effectieve opleiding en training van hogereordevaardigheden, zoals trainingen in gevaarherkenning, risicobewustzijn en risico-acceptatie.

Hoeveel risicogedrag jongeren op landbouwvoertuigen per saldo nu vertonen in het verkeer, kan op basis van dit literatuuronderzoek niet worden beantwoord. Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar:

- De omstandigheden waaronder jongeren op landbouwvoertuigen rijden en de motieven waarmee ze rijden. Meer inzicht hierin plus de huidige kennis over hersenontwikkeling en gedrag, maken het mogelijk om aanbevelingen te doen over de leeftijd waarop men het beste kan beginnen met het rijden op een landbouwvoertuig, en over de opleiding voor het rijden op landbouwvoertuigen.
- Het effect van leeftijdsgenoten op het rijgedrag bij bestuurders van 18 en 19 jaar. Er is alleen buitenlands onderzoek op dit gebied beschikbaar en dat onderzoek gaat over 16- en 17-jarige bestuurders. Wat voor 16- en 17-jarige bestuurders geldt, hoeft namelijk niet te gelden voor 18- en 19-jarige bestuurders.
- De bestendigheid van de effecten van een in Nederland ontwikkelde gevaarherkenningstraining die gebaseerd is op bevindingen uit het hersenonderzoek. Pas als ook aangetoond is dat door de training vaardigheden blijvend zijn aangeleerd en worden toegepast in de praktijk, is het nuttig om een dergelijke training op te nemen in de rijopleiding.

Summary

Brain development and crash risk of young novice drivers; A literature study

Young novice motor vehicle drivers have a higher risk of crashes than older, more experienced drivers. Broadly speaking two possible causes may be given: 1) lack of experience, and 2) 'sowing one's wild oats' related to the age and stage of development of the brain. The question in this report is the extent to which this second cause plays a role and what brain research teaches us. Then we will address the question of what this could mean for:

- the age limits for the first active participation in motorized traffic;
- the way in which driving lessons are given; and
- the conditions under which young people may participate in traffic with a motor vehicle.

This exploratory literature study has not been written to provide definitive answers to these questions, but is intended to inform those who engage in road safety and road safety policy, but are no neuroscientists, of relevant outcomes of brain research.

The need of such a review occurred when experts who were involved in the introduction of the so-called tractor driver's licence, wondered whether 16-year-olds, taking into account their immature brain, could safely participate in traffic on large agricultural vehicles. This review is not only about driving agricultural vehicles, but on traffic participation by young people on all types of motorized vehicles.

There are reasons to believe that 'sowing one's wild oats' plays a role in the crash involvement of young people. However, crash analyses have shown that young people who participate in traffic with motor vehicles are not only involved in crashes due to reckless behaviour. Probably more crashes can be attributed to their inexperience, rather than to reckless driving as a result of their brain not yet being fully grown.

Around the age of twelve young people reach puberty. This changes their hormone systems. That change also affects brain structures involved in emotions, motivation and enjoyment. This is known as the limbic system. In fact, at about the age of twelve this limbic system already works as in adults. The system that prevents hasty acts and that ensures us taking the (social) environment into account, however, does not come to full development until much later. Not until the age of about 25 is this system, which is located in the prefrontal cortex (PFC), fully mature. As the maturation of the limbic system is rapid and the maturation of the PFC is slow, young people as a group are more inclined to opt for fast rewards and pleasure; the feelings of danger are less highly developed. That risk behaviour is not only expressed in traffic. More than average young people participate in unsafe sex and as a group they experiment with drugs more than average. They also enjoy extreme sports more than average. However, there are individual differences; some young people hardly exhibit increased risk behaviour.

The most recent studies into the brain development and risk behaviour of young people indicate that they do not always display risk behaviour. This is found to depend on the circumstances in which they drive, the motives with which they drive, and of their emotional state while driving. In fact young people are not less risk aware than adults when they have the time to quietly think about the risks. Young people are also less inclined to take risks when they drive alone rather than with friends. Their motive for driving is also important in young people. If they are seriously occupied with their work they are less inclined to take risks than when they drive in their leisure time. This may be positive for young people who drive agricultural vehicles. This is already allowed at the age of 16 and at that age 'sowing wild oats' abounds, especially in boys. However, when young people drive an agricultural vehicle, they typically drive alone and generally are seriously occupied with their work. Unfavourable, however, is that it is mainly boys who drive agricultural vehicles and that improper use sometimes occurs: going to school by tractor, for instance.

Learning to drive big vehicles such as agricultural vehicles and trucks is no problem for 16-year-olds. That is, when it comes to vehicle control and applying the traffic rules. Their brains are even better capable of learning complex motor skills than the adult brains. However, problems occur when hazard perception, risk awareness and self-assessment are involved. These skills can in fact only be mastered when the brain is fully mature.

As yet, brain research has yielded few insights that are directly applicable for the driver training. However, it has already been found that a hazard perception training which is partly based on insights from brain research considerably improves visual scanning for possible hazards of young novice drivers. In this training novice drivers in a driving simulator are exposed to dangerous traffic situations. It has not yet been studied whether this is a lasting improvement of viewing behaviour.

The current knowledge about brain development of young people offers a basis for the following recommendations:

- Make sure that young people are motivated to drive safely. They will sooner driver safely when they drive in the context of work, rather than when they drive for leisure.
- Ensure involvement and coaching by parent(s).
- Make sure that young novice drivers get sufficient rest and sleep.
- Especially the youngest group of drivers should be discouraged to drive with age peers.
- Search for effective education and training of higher order skills such as hazard perception, risk awareness and risk acceptance.

To what extent young people driving agricultural vehicles display risk behaviour in traffic cannot be answered on the basis of this literature review. It is recommended to investigate:

- The conditions under which young people drive agricultural vehicles and their motives for driving. More insight in this combined with the current knowledge about brain development and behaviour, allows making recommendations about the best age to start driving an agricultural vehicle, and about the driver training for agricultural vehicles.

- The effect of age peers on driving behaviour of 18 and 19 year-olds. Only international studies are available on this topic and these studies focus on 16- and 17-year-old drivers. What applies for 16-and 17-year-old drivers, need not apply for 18-and 19-year-old drivers.
- The permanence of the effects of a hazard perception training that was developed in the Netherlands based on findings from brain research. Not until it has been proven that the training skills are permanent and are applied in practice, it is useful to incorporate such training in the driver training.

Inhoud

1. Inleiding	11
1.1. Doel van het rapport	11
1.2. Enkele zaken om rekening mee te houden tijdens het lezen	11
1.3. Indeling van dit rapport	13
2. Leeftijd of ervaring?	14
2.1. Ongevalsrisico, leeftijd en ervaring	14
2.2. Oorzaken van ongevallen	16
2.3. Conclusie	17
3. Hersenontwikkeling en risicogedrag	18
3.1. Basiskennis over het brein	18
3.2. Hersenscans	20
3.3. Ontwikkelingen in kennis over risicogedrag bij jongeren door gebruik van hersenscans	20
3.4. Sociale interacties, risicogedrag en hersenontwikkeling	24
3.5. Individuele verschillen ongeacht de omstandigheden	26
3.6. Verschillen die samenhangen met geslacht	27
3.7. Beperkingen van het hersenonderzoek	28
3.8. Conclusie	28
4. Hersenontwikkeling, leeftijdsgrenzen, de rijopleiding en het rijexamen	29
4.1. Leeftijdslimieten	29
4.2. Educatie en voorlichting	30
4.2.1. De fuzzy-trace-theorie	31
4.2.2. De hypothese van het somatische stempel	32
4.3. Het rijexamen	34
4.3.1. Het trekkerrijbewijs	35
4.4. Omgevingsfactoren	35
4.5. Conclusies	36
5. Conclusies en aanbevelingen	38
5.1. Conclusies	38
5.2. Aanbevelingen	40

1. Inleiding

1.1. Doel van het rapport

Dit rapport is bedoeld om inzicht te geven wat recent hersenonderzoek ons leert over het risicogedrag van jongeren in het verkeer op gemotoriseerde voertuigen en wat dit betekent voor rijopleidingen, rijexamens en leeftijds-limieten. In dit rapport zijn adolescenten tussen de 12 en 21 jaar oud en zijn jongvolwassenen personen tussen de 21 en 25 jaar. Wanneer in dit rapport over 'jongeren' gesproken wordt, wordt daarmee de hele groep van 12-25 jaar bedoeld en zijn 'volwassenen' mensen van 25 jaar en ouder. Iemand van 12 jaar verschilt veel van iemand van 24 jaar. Wat ze beiden gemeen hebben zijn hun 'wilde haren'. Rond een jaar of 12 komen de eerste 'wilde haren' op en wanneer men 24 is, zijn ze bijna allemaal weer verdwenen. Jongeren vertonen als groep meer risicogedrag dan kinderen en volwassenen (Casey, Getz & Galvan, 2008; Rivers, Reyna & Mills, 2008; Steinberg, 2008). Dat risicogedrag vertonen ze niet alleen in het verkeer, maar ook op andere levensterreinen. Zo houden jongeren meer dan gemiddeld van extreme sporten, experimenteren ze relatief vaak met drugs en hebben ze vaker dan gemiddeld onveilige seks. Dit rapport gaat over de vraag waarom dit zo is.

Op leeftijden dat de 'wilde haren' volop aanwezig zijn, mag men, als men tenminste is geslaagd voor zijn rijbewijs, met een gemotoriseerd voertuig deelnemen aan het verkeer. In Nederland mag je op een brom- of snorfiets rijden vanaf je 16^e en autorijden vanaf je 17^e. Hoewel je vanaf je 17^e mag autorijden, mag je tot aan het moment dat je 18 jaar wordt, alleen met een begeleider rijden (2toDrive). Op landbouwvoertuigen mogen jongeren vanaf 16 jaar rijden. Ze moeten dan wel over een zogenoemd 'trekkercertificaat' beschikken. Het is de bedoeling dat vanaf 2015 iedereen die 16 jaar is geworden, alleen nog maar op een landbouwvoertuig mag rijden, nadat men is geslaagd voor het trekker-rijexamen. Dit examen zal gaan bestaan uit een theorie-test en een praktijktest. In dit rapport wordt ook nader ingegaan op de betekenis van deze leeftijdsgrenzen gelet op de hersenontwikkeling.

1.2. Enkele zaken om rekening mee te houden tijdens het lezen

Vroeger konden de hersenen alleen onderzocht worden nadat iemand was overleden. Sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw is het ook mogelijk om waarnemingen te doen in de hersenen bij levende mensen, zonder dat dit die mensen schaadt (de zogenoemde non-invasieve technieken). Hiervoor wordt onder andere de techniek van 'Magnetic Resonance Imaging' (MRI) gebruikt (zie *Paragraaf 3.2*). Door die scantechnieken is veel bekend geworden over de ontwikkeling van de hersenen vanaf de geboorte tot aan de volwassenheid. In Nederland is deze kennis door Eveline Crone voor een breed publiek inzichtelijk gemaakt in haar boek 'Het puberende brein' uit 2008. Dit rapport gaat – anders dan dat boek – specifiek over de betekenis van dit hersenonderzoek voor het verkeersgedrag van jongeren op gemotoriseerde voertuigen. Bij het lezen van dit rapport is het belangrijk om een paar zaken in het achterhoofd te houden.

Ten eerste heeft het recente hersenonderzoek ons veel geleerd over de biologische kant van het volwassen worden, maar heeft het ons vrij weinig

nieuws gebracht over hoe jongeren zich *gedragen*. Dat was al veel langer bekend (zie kader).

Aristoteles schreef rond 350 jaar voor Christus al dat jongeren “gepassioneerd en opvliegend van aard zijn en zich gemakkelijk laten meevoeren door hun impulsen” (geciteerd door Larson & Lampman-Petratis, 1989).

Shakespeare laat in 1610 een herder in ‘Een Wintervertelling’ (The Winter’s Tale) vrij vertaald zeggen: “Ik zou willen dat de leeftijd tussen 16 en 23 niet bestond, of dat jongeren deze leeftijdsfase alleen maar slapend zouden doorbrengen, want er is in deze fase niets anders dan het ongewenst zwanger maken van vrouwen, het onheus behandelen van ouderen, stelen en vechten. Wel allemachtig, wie gaat er met dit weer nu anders op uit dan die 19- tot 22-jarigen met hun op hol geslagen hersenen?”¹

En in Nederland merkte de dichter en politicus Jacob Cats in 1632 op dat men eerst “een paar narrenschonen moet verslijten, eer men recht wijs wort”.

In de psychologie was ook al veel bekend over het risicogedrag van jonge beginnende bestuurders voordat het moderne hersenonderzoek een vlucht nam. Zo concludeerde Arnett in 2002 op basis van alleen psychologische onderzoeken dat met name de jongste groep bestuurders van gemotoriseerde voertuigen (bestuurders in de leeftijd van 16-18 jaar) meer dan gemiddeld risicogedrag vertoont door drie factoren. Deze factoren waren volgens hem:

- de invloed van vrienden;
- de vooringenomen optimistische kijk dat ongevallen alleen anderen overkomen, en
- het ervaren van sterke emoties die tot impulsief gedrag kunnen leiden.

Arnett (2002) constateerde bovendien dat deze factoren meer invloed hebben op jonge mannen dan op jonge vrouwen. De nieuwe inzichten die verkregen zijn op basis van hersenonderzoek hebben daar weinig aan toegevoegd. Alleen over het overschatten van de eigen vaardigheden en het onderschatten van de risico’s die met de optimistische kijk samenhangen, wordt nu anders gedacht. Het is namelijk gebleken dat jongeren al vanaf 12 jaar in grote lijnen weten wat de gevaren van bepaald risicogedrag zijn en dat ze die risico’s niet onderschatten. Daar geven ze tenminste blijk van als naar die gevaren gevraagd wordt en ze de tijd hebben om over hun antwoorden na te denken. Het is echter wel zo dat – hoewel ze weten dat het gevaarlijk is – ze soms toch risicogedrag vertonen. Dat geldt in het bijzonder wanneer ze geëmotioneerd zijn (Reyna & Farley, 2006). Ook is gebleken dat niet alleen jonge bestuurders hun eigen vaardigheden overschatten, maar dat oudere bestuurders dat ook doen (Horswill, Tofield & Waylen, 2004).

Ten tweede is het belangrijk te beseffen dat niet alle ongevallen van jonge beginnende bestuurders het gevolg zijn van roekeloos rijgedrag. De onderzoekers McKnight en McKnight (2003) hebben in de Verenigde Staten meer dan 2000 uitgebreide analyses van ongevallen gemaakt waarbij jonge beginnende bestuurders betrokken waren. De titel van hun onderzoeksverslag luidde: *Young drivers: careless or clueless?* (‘Jonge bestuurders: kan het ze niet schelen of begrijpen ze het niet?’). Hun conclusie is dat jonge bestuurders

¹ “I would there were no age between sixteen and three-and-twenty, or that youth would sleep out the rest; for there is nothing in the between but getting wenches with child, wronging the ancientry, stealing, fighting—Hark you now! Would any but these boiled brains of nineteen and two-and-twenty hunt this weather?”

beide zijn, maar dat het vaker *clueless* dan *careless* is. Dit wil zeggen dat jonge bestuurders vaker ongevallen hebben doordat ze verrast worden door gevaren die ze niet hebben zien aankomen, dan dat ze ongevallen hebben door bewust roekeloos rijgedrag. In *Hoofdstuk 2* wordt nader op dit onderwerp ingegaan.

Ten derde moet bedacht worden dat jongeren als groep meer risicogedrag vertonen dan kinderen en volwassenen, maar dat er binnen de groep van jongeren grote individuele verschillen zijn (zie *Paragraaf 3.5*). Er zijn jongeren die niet of nauwelijks meer risicogedrag vertonen en er zijn jongeren die vaak risicogedrag vertonen.

Ten vierde moet bedacht worden dat biologische verschillen tussen jongeren en volwassenen die een mogelijke verklaring bieden voor verschillen in risicogedrag, niet automatisch betekenen dat jongeren hun gedrag niet zouden kunnen aanpassen. De ervaringen die men opdoet, hebben invloed op de biologische ontwikkeling. Bij de ontwikkeling van de hersenen na de geboorte gaat het niet alleen om een 'groei vanbinnen uit' die volledig erfelijk bepaald is, maar gaat het om een rijping waarbij de ervaring die men opdoet (bijvoorbeeld door te leren) mede bepalend is voor de uiteindelijke ontwikkeling van de hersenen. 'Nature' en 'nurture' gaan samen. Dit betekent dat mensen noch volledig maakbaar zijn noch dat vanwege de biologische oorsprong van dat gedrag, helemaal niets aan risicogedrag van jongeren gedaan zou kunnen worden.

1.3. Indeling van dit rapport

In *Hoofdstuk 2* wordt nader ingegaan op het feit dat jonge bestuurders per gereden afstand meer ongevallen hebben dan oudere bestuurders. Komt dit vooral doordat ze onervaren zijn of komt dit vooral door gedrag dat voortvloeit uit hun jeugdige leeftijd (de 'wilde haren')? *Hoofdstuk 3* gaat over de hersenontwikkeling zelf. Welke kennis heeft het hersenonderzoek opgeleverd en welke trends zijn er waar te nemen in dit onderzoeksveld? In *Hoofdstuk 4* wordt ingegaan op de betekenis van het hersenonderzoek voor de verkeersveiligheid en de rijopleiding. Vragen die aan de orde komen, zijn: Wat zijn realistische leeftijdslimieten gelet op de hersenontwikkeling? Wat betekent de hersenontwikkeling voor de rijopleiding? En kan in het rijexamen getoetst worden op 'aanleg' voor risicogedrag? De conclusies en aanbevelingen staan ten slotte in *Hoofdstuk 5*.

2. Leeftijd of ervaring?

In Nederland hebben jonge beginnende automobilisten (18-24 jaar) per gereden afstand aanzienlijk meer ongevallen dan automobilisten die tussen de 30 en 60 jaar oud zijn (SWOV, 2012). Ook van jonge beginnende snor- en bromfietzers is bekend dat ze een hoger ongevalsrisico hebben dan gemiddeld (SWOV, 2014). Van jonge bestuurders van landbouwvoertuigen is het ongevalsrisico niet bekend, omdat niet duidelijk is hoeveel kilometer jonge tractorbestuurders op de openbare weg afleggen. Ruwweg zijn er twee mogelijke oorzaken waardoor jonge beginnende bestuurders meer dan gemiddeld betrokken zijn bij ongevallen:

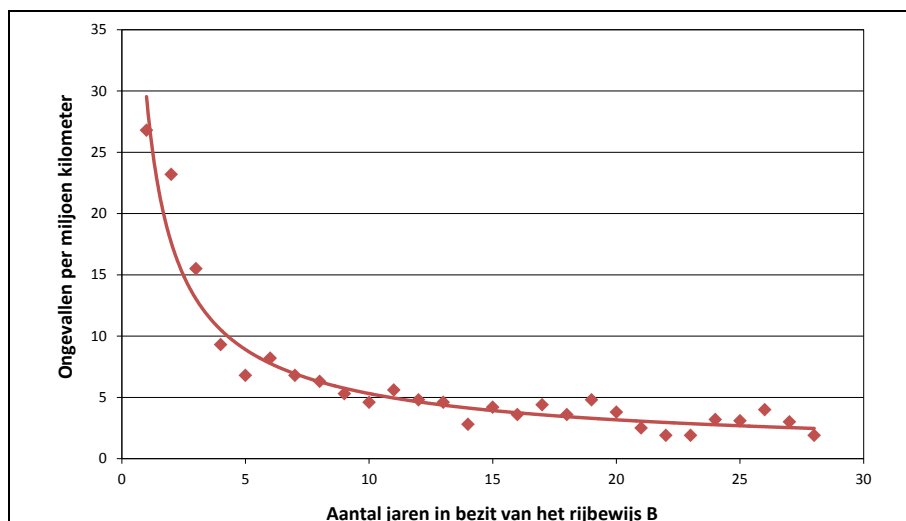
1. Ze zijn nog onvoldoende vaardig, omdat ze nog te weinig rijervaring hebben.
2. Ze vertonen veel risicogedrag doordat ze nog jong zijn (de 'wilde haren').

De twee oorzaken zijn soms moeilijk van elkaar te scheiden. Als een jonge bestuurder bijvoorbeeld bij regenachtig weer uit de bocht vliegt, dan zal vaak de eerste gedachte zijn dat die bestuurder te veel risico heeft genomen. Het kan echter zo zijn dat die bestuurder de snelheidslimiet helemaal niet heeft overschreden. De toegestane maximumsnelheid was dan bijvoorbeeld mogelijk te hoog voor die bocht bij die weersgesteldheid. Men kan dan stellen dat die jonge bestuurder niet geweten heeft bij welke omstandigheden hij de controle verliest door gebrek aan rijervaring.

In dit hoofdstuk wordt nagegaan in hoeverre ongevallen van jonge beginnende bestuurders zouden kunnen duiden op risicogedrag dat mede veroorzaakt wordt door het feit dat de hersenen nog niet volledig volgroeid zijn. De onderzoeken waar in dit hoofdstuk gerefereerd wordt, hebben uitsluitend betrekking op automobilisten. Helaas zijn er nauwelijks onderzoeken die gaan over de specifieke samenhang tussen ongevalsrisico, leeftijd en ervaring met betrekking tot gemotoriseerde tweewielers en landbouwvoertuigen.

2.1. Ongevalsrisico, leeftijd en ervaring

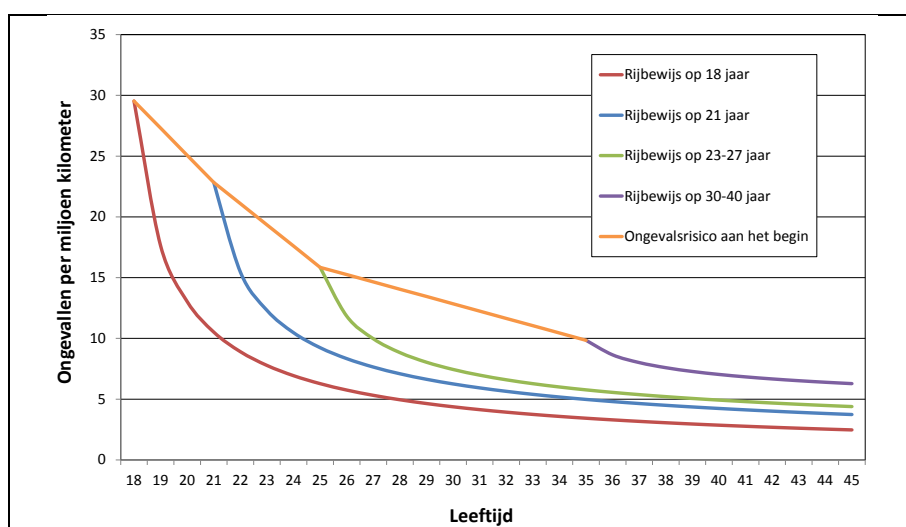
Direct na het behalen van het rijbewijs is het ongevalsrisico het hoogst (Maycock, Lockwood & Lester, 1991; McCartt, Shabanova & Leaf, 2003; Vlakveld, 2011). Dat geldt voor alle ontwikkelde landen waarin veel jongeren gaan rijden zodra ze de leeftijdslimiet hebben bereikt en dus ook voor Nederland. In de eerste maanden na het behalen van het rijbewijs daalt het ongevalsrisico snel (Foss et al., 2011; Sagberg, 1998). Het duurt echter een jaar of zeven totdat het ongevalsrisico niet meer substantieel daalt (Vlakveld, 2011). *Afbeelding 2.1* geeft het verloop van het jaarlijks aantal zelf gerapporteerde ongevallen weer per miljoen gereden kilometers van jongeren die op 18-jarige leeftijd het rijbewijs hebben gehaald.



Afbeelding 2.1. Het jaarlijks ongevalsrisico (zelf gerapporteerde ongevallen gedeeld door zelf gerapporteerd jaarkilometrage) van bestuurders die op 18-jarige leeftijd het rijbewijs hebben gehaald met het oplopen van de leeftijd (Vlakveld, 2011).

Te zien is dat voor personen die op 18-jarige leeftijd het rijbewijs hebben behaald, het ongevalsrisico direct na het behalen van het rijbewijs het hoogst is. In de eerste jaren van het rijbewijsbezit daalt het ongevalsrisico snel, maar het duurt een aantal jaren voordat de curve van het ongevalsrisico niet meer substantieel daalt.

Niet iedereen begint auto te rijden zodra de leeftijd om dit te mogen doen wordt bereikt. Er zijn ook mensen die wachten totdat ze bijvoorbeeld voor hun werk een rijbewijs nodig hebben. Afbeelding 2.2 geeft dezelfde trendlijn weer als in Afbeelding 2.1 te zien is, maar ook de trendlijnen voor mensen die het op 21-jarige leeftijd het rijbewijs hebben behaald, voor mensen die tussen de 23 jaar en 28 jaar oud waren toen ze slaagden, en voor mensen die tussen de 30 en 40 jaar oud waren toen ze hun rijbewijs haalden.



Afbeelding 2.2. Verloop van het ongevalsrisico met de jaren van bestuurders die op jonge leeftijd beginnen met rijden en bestuurders die op latere leeftijd beginnen met rijden (Vlakveld, 2011).

Afbeelding 2.2 laat zien dat ook wanneer men op latere leeftijd begint met zijn rijcarrière, het ongevalsrisico aan het begin het hoogst is en in de eerste jaren sterk daalt. Dit duidt erop dat men door het opdoen van rijervaring, veiliger leert rijden. Uit de grafiek blijkt echter ook dat het ongevalsrisico bij aanvang van de rijcarrière lager is naarmate men op latere leeftijd begint met rijden. Dit duidt op een leeftijdseffect dat waarschijnlijk verband houdt met de hersenontwikkeling.

Voor mensen die op 18-jarige leeftijd beginnen te rijden, hangt het ongevalsrisico voor ongeveer 60% samen met een gebrek aan ervaring en voor ongeveer 40% met leeftijdsgebonden zaken (Vlakveld, 2011). Uit buitenlandse onderzoeken is ongeveer hetzelfde gebleken (zie voor een overzicht: McCartt et al., 2009). Opvallend is dat mensen die vroeg in hun leven met rijden zijn begonnen, uiteindelijk veiliger chauffeurs worden dan mensen die laat in hun leven zijn begonnen. In *Afbeelding 2.2* eindigen de trendlijnen aan de rechterkant van de grafiek bij de groepen die later zijn begonnen immers boven de groepen die eerder zijn begonnen.

Bedacht moet worden dat de trendlijnen slechts ruwe indicaties zijn. De ondervraagde bestuurders in het hier gepresenteerde Nederlandse onderzoek – maar ook in gelijksoortige onderzoeken in het buitenland – hebben namelijk zelf bepaald wanneer ze met rijden zijn begonnen. Het zou kunnen dat mensen die op latere leeftijd beginnen met rijden ‘van huis uit’ al voorzichtiger van aard zijn en dat dus ook al op jonge leeftijd waren. Ook zou het kunnen dat mensen die laat in hun leven beginnen met rijden dit meer uit noodzaak doen en eigenlijk niet zo van autorijden houden. Dit zou een reden kunnen zijn dat ze minder rijden, waardoor ze te weinig ervaring opdoen om een goed chauffeur te worden. Zou dit zo zijn, dan is bij personen die op latere leeftijd zijn gaan rijden het niet zozeer de leeftijd, maar het karakter dat zorgt voor het lagere ongevalsrisico aan het begin en het hogere ongevalsrisico aan het einde van hun rijcarrière.

2.2. Oorzaken van ongevallen

De rol van leeftijd en ervaring zou ook kunnen blijken uit de achterliggende oorzaken van ongevallen waarbij jonge bestuurders betrokken zijn. In Nederland is niet uitgebreid onderzocht – volgens de methode van diepte-onderzoek (Davidse, 2007) – waardoor ongevallen met jonge beginnende bestuurders ontstaan. In het buitenland is dit wel gebeurd. Zo vonden McKnight en McKnight (2003) in de VS dat 16-19-jarige autobestuurders maar weinig ongevallen hadden door gebrek aan voertuigbeheersing en het niet goed kennen en kunnen toepassen van de verkeersregels: de meeste ongevallen ontstonden doordat de jonge bestuurder het opdoemende gevaar niet tijdig had opgemerkt. Dit zijn bijvoorbeeld ongevallen waarbij de jonge bestuurder achteraf opmerkt: “Plotseling kwam die auto de zijstraat uit.”

Een tweede belangrijke oorzaak werd gevormd door afleiding. Direct vooraf aan het ongeval waren jongeren met andere zaken bezig, waardoor niet meer goed op het verkeer werd gelet.

De derde hoofdoorzaak was het te hard rijden voor de omstandigheden. De jonge bestuurders reden niet vaak buitensporig hard, maar reden bijvoorbeeld wel vaak te hard door een bocht. Bij de jonge bestuurders (16-19 jaar) in dit

onderzoek kwam puur risicogedrag zoals veel te hard rijden en rijden onder invloed, weinig voor.

Dit onderzoek is enkele jaren later herhaald (Curry et al., 2011). De resultaten waren vrijwel hetzelfde. De twee onderzoeken doen vermoeden dat het bij de jongste beginnende bestuurders (van 16 tot en met 19 jaar) niet zo zeer om een gebrek aan voertuigbeheersing gaat, maar vooral om een gebrek aan zogenoemde hogereordevaardigheden, zoals gevaarherkenning en het inschatten van de eigen vermogens, en doordat ze zich makkelijk laten afleiden. Het min of meer bewust vertonen van risicogedrag (veel te hard rijden en rijden onder invloed) lijkt een minder grote rol te spelen.

In Engeland is ook uitvoerig onderzoek gedaan naar de achterliggende oorzaken van ongevallen waarbij jonge beginnende bestuurders betrokken zijn (Clarke, Ward & Truman, 2005). Uit dit onderzoek bleek dat naast gebrek aan rijervaring, bewust risicogedrag (zoals 'lekker hard rijden') wel een belangrijke rol speelde bij het ontstaan van ongevallen. Bedacht moet worden dat het in dit Engelse onderzoek om 17-25-jarige bestuurders ging, terwijl het in de Amerikaanse onderzoeken om 16-19-jarige bestuurders ging. Het zou kunnen dat men in de eerste periode na het behalen van het rijbewijs nog tamelijk braaf is en pas wanneer wat meer ervaring is opgedaan, meer risico durft te nemen.

2.3. Conclusie

Zowel het risicogedrag dat kenmerkend is voor jongeren als gebrek aan ervaring is er de oorzaak van dat jonge beginnende bestuurders een beduidend hoger ongevalsrisico hebben dan oudere, meer ervaren bestuurders. Welk deel van dat hoge ongevalsrisico nu precies veroorzaakt wordt door gedrag dat samenhangt met de leeftijd (en dus ook de hersenontwikkeling) en welk deel van dat ongevalsrisico nu veroorzaakt wordt door een gebrek aan rijervaring, is op basis van eerder onderzoek niet met zekerheid te zeggen. Het lijkt er echter op dat het meer gebrek aan rijervaring is, dan leeftijdsgebonden risicogedrag (de 'wilde haren').

3. Hersenontwikkeling en risicogedrag

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op wat bekend is over risicogedrag van jongeren en hersenontwikkeling. Het brein is een uiterst complex orgaan en pas sinds een jaar of dertig begint de wetenschap iets meer van de werking ervan te begrijpen door nieuwe scantechnieken zoals 'Magnetic Resonance Imaging' (MRI), 'Positron Emission Tomography' (PET-scans) en 'Magneto-Encephalo-Graphy' (MEG). Door deze nieuwe technieken ontwikkelt de kennis over de werking van het brein zich snel. Hierdoor kan het weinige wat we er nu van weten morgen weer zijn achterhaald. De houdbaarheid van de kennis die in dit hoofdstuk vermeld wordt, is daarom beperkt. Die kennis is algemeen gehouden zodat ook mensen zonder een neuropsychologische achtergrond deze kunnen begrijpen.

Wat gebeurt er in het brein en hoe hangt dat samen met risicogedrag? Om dit te kunnen begrijpen is inzicht in de werking van het brein noodzakelijk. Daarom begint dit hoofdstuk met de algemene werking van het brein in *Paragraaf 3.1*. Daarna volgt een korte beschrijving van de onderzoeksmethoden (*Paragraaf 3.2*). Welke ontwikkelingen er zijn geweest en wat de huidige stand van zaken is, wordt in *Paragraaf 3.3* besproken. Er zijn twee nieuwe trends te onderscheiden op het gebied van onderzoek naar hersenontwikkeling en risicogedrag bij jongeren. De ene trend houdt verband met de invloed van omgevingsfactoren op risicogedrag en hersenontwikkeling, zoals de invloed van vrienden. De andere trend houdt verband met individuele verschillen. Zien de hersenen van jongeren die veel risicogedrag vertonen er anders uit dan de hersenen van jongeren die niet of nauwelijks risicogedrag vertonen? De twee trends worden respectievelijk in *Paragraaf 3.4 en 3.5* besproken. Apart wordt daarna ingegaan op geslacht en risicogedrag (*Paragraaf 3.6*). Dit hoofdstuk eindigt met conclusies.

3.1. Basiskennis over het brein

De hersenen zijn het waarnemende, aansturende, controlerende en informatie verwerkend orgaan in levende wezens met een centraal zenuwstel, inclusief de mens. Evolutionair gezien bestaan de menselijke hersenen uit drie delen.

Het eerste deel is de hersenstam. Dit deel van de hersenen hebben mensen gemeen met alle organismen met een centraal zenuwstelsel. Het regelt zaken als temperatuur, hartslag, ademhaling en bloeddruk.

Het tweede deel, het zogenoemde limbische systeem, hebben mensen gemeen met vogels en zoogdieren. Dit limbische systeem heeft zich ontwikkeld uit de noodzaak dat dieren (en mensen) direct moeten begrijpen of ze beter kunnen vluchten of dat ze beter in de aanval kunnen gaan. Dit is de 'vecht-of-vlucht reactie' (fight-flight response). Bij mensen wordt het limbische systeem gevormd door een groep van hersenstructuren die zich in het midden van het brein bevinden. Die structuren zijn betrokken bij bijvoorbeeld negatieve emoties, zoals het gevoel van gevaar (de amygdala), gevoelens van vooruitzicht op genot en beloning, en het verlangen om iets nieuws uit te proberen (ventrale striatum, inclusief de nucleus accubens). De gyrus cinguli anterior speelt een rol bij motivatie. Dit gebied in de hersen bevindt zich op het grensgebied van het limbische systeem en de neocortex.

De neocortex is evolutionaire gezien het derde deel van onze hersenen. Naast de mens hebben ook andere zoogdieren een neocortex, maar bij de mens is die cortex verder ontwikkeld. Dit geldt vooral voor de prefrontale cortex (PFC). Dit is het gebied dat zich direct achter het voorhoofd bevindt. De PFC is betrokken bij planning en regulatie van sociaal gedrag en de integratie van informatie. Dit worden de executieve functies genoemd. De PFC doet zijn werk in samenhang met het limbische systeem. De primaire impuls op bijvoorbeeld gevaar vormt zich in het limbische systeem en gebieden in de PFC kunnen die primaire impuls bewerken voordat een uiteindelijke reactie gegeven wordt. Bij een primaire impuls als reactie op gevaar vanuit het limbische systeem, kan de PFC zich afvragen of we ons niet even moeten inhouden. Is het wel gevaar? Wat zullen anderen ervan denken als ik er nu op los sla? Et cetera.

In alle delen van de hersenen bevinden zich hersencellen, ook wel neuronen genoemd. Er zijn miljarden hersencellen. Elke hersencel staat met een aantal andere hersencellen in verbinding. Die hersencellen bevinden zich in twee soorten van hersenweefsel: grijze stof en witte stof. Grijze stof bestaat voornamelijk uit de kernen van hersencellen. Afname van grijze stof in bepaalde hersengebieden duidt op het zogenoemde synaptische snoeien. Door het opdoen van ervaring en leren worden overbodige verbindingen tussen hersencellen gekapt en worden de overgebleven verbindingen versterkt. Afname van grijze stof in de adolescentie duidt op verdere rijping, omdat door het snoeien de hersenen effectiever gaan werken. Tijdens de adolescentie en de fase van de jonge volwassenheid neemt de grijze stof eerst toe en daarna af. De piek in grijze stof wordt in elk deel van het brein op een ander moment bereikt.

Witte stof bestaat voornamelijk uit verbindingen tussen hersencellen, de zogenoemde axonen. Die axonen zijn omgeven door een vettig laagje waardoor hersencellen sneller met elkaar kunnen communiceren. Die vettige stof wordt myeline genoemd en is wit van kleur. Hoe meer witte stof des te efficiënter werkt het brein. De witte stof blijft gestaag toenemen gedurende de adolescentie en de fase van de jongvolwassenheid.

Hersencellen zijn via hun uitlopers (de axonen) uiteindelijk niet direct met elkaar verbonden. Er zit een kleine ruimte tussen. De overdracht van informatie van de ene hersencel naar de andere hersencel loopt in die tussenruimte via biochemische stoffen. Die stoffen die neurotransmitter worden genoemd, kunnen de signalen tussen hersencellen versterken of dempen. Neurotransmitters zijn een soort hormonen. Het verschil met hormonen is dat neurotransmitters direct werken op de plaats waar ze door klieren worden afgescheiden, terwijl hormonen via de bloedbanen in het hele lichaam actief kunnen zijn. Neurotransmitters en hormonen kunnen elkaar wel beïnvloeden. Hoe meer er bijvoorbeeld van de neurotransmitter dopamine in het brein is, hoe minder de productie van het mannelijke geslachtshormoon testosteron wordt geremd. Er zijn tientallen verschillende neurotransmitters. Bekende neurotransmitters die actief zijn in het limbische systeem en de PFC zijn serotonine en de al genoemde neurotransmitter dopamine. Serotonine speelt een rol bij de regulatie van stemmingen en emoties, waaronder angstgevoelens. Daarnaast speelt serotonine een rol bij geheugenprocessen en leren. Meer dopamine in het hersengebied van de nucleus accumbens, dat een onderdeel van het limbische systeem is, betekent een sterker verlangen naar genot en beloning. Behalve bij

geluksgevoel, speelt dopamine ook een rol bij het functioneren van het bewegingsapparaat en het plannen en denken.

3.2. Hersenscans

Voordat ingegaan kan worden op wat in de afgelopen drie decennia gevonden is over de hersenontwikkeling bij jongeren, is het goed om iets te weten over de manier waarop die inzichten zijn verworven. In deze paragraaf wordt alleen de methode van Magnetic Resonance Imaging (MRI) besproken, omdat deze methode veruit het meest wordt toegepast. Een MRI-apparaat wekt sterke magnetische velden op. Door die velden gaan atomen zich 'richten'. Sommige atomen keren sneller terug in hun oorspronkelijke staat dan anderen. Door van dit verschil gebruik te maken kan hersenweefsel in kaart gebracht worden. Wanneer bij mensen in zogenoemd longitudinaal onderzoek om de zoveel tijd een hersenscan wordt gemaakt, kan de groei of afname van de grijze stof en witte stof per hersengebied in de tijd worden vastgesteld.

Er is nog een andere methode. Deze methode wordt functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) genoemd. Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van het feit dat de magnetische eigenschap van bloed verandert met de hoeveelheid zuurstof die in het bloed aanwezig is. Hersencellen die actief zijn, verbruiken meer zuurstof dan hersencellen die niet actief zijn. Hierdoor stroomt naar actieve hersencellen meer bloed met een hoog zuurstofgehalte dan naar niet-actieve of minder actieve hersencellen. Dit kan met behulp van een MRI-apparaat zichtbaar worden gemaakt. Als iemand in een MRI-apparaat ligt en een bepaalde taak verricht, kan men met de methode van fMRI zien welke delen van de hersenen actief zijn bij het uitvoeren van die taak.

MRI-scanners zijn grote apparaten waar men in moet liggen. Het hoofd mag absoluut niet bewegen. Autorijden terwijl er een MRI-scan wordt gemaakt, kan dus niet. Wel kan men aan iemand die in een MRI-scanner ligt filmpjes tonen die zijn genomen vanuit het perspectief van een bestuurder. Met zijn vingers kan die persoon dan enkele beslissingen kenbaar maken. Dat kan bijvoorbeeld zijn: ik rem, of ik sla nu linksaf, et cetera. Dit 'rijden' terwijl men in een scanner ligt, wijkt dus aanzienlijk af van rijden in de werkelijkheid. Er zijn op deze manier wereldwijd niet meer dan een tiental onderzoeken uitgevoerd. Slechts één daarvan gaat specifiek over het risicogedrag van jonge beginnende bestuurders (Chein et al., 2011). Dit onderzoek wordt besproken in *Paragraaf 3.4*. Het meeste inzicht in het risicogedrag van jongeren is niet verkregen door ze te laten 'rijden' terwijl ze in een MRI-scanner liggen. Gewoonlijk laat men jongeren een uitgekiend taak verrichten (bijvoorbeeld een gokspelletje) terwijl ze in de MRI-scanner liggen om te kijken welke gebieden er in de hersenen oplichten bij het nemen van risico's en meet men daarna het risicogedrag in het verkeer tijdens een simulatorrit.

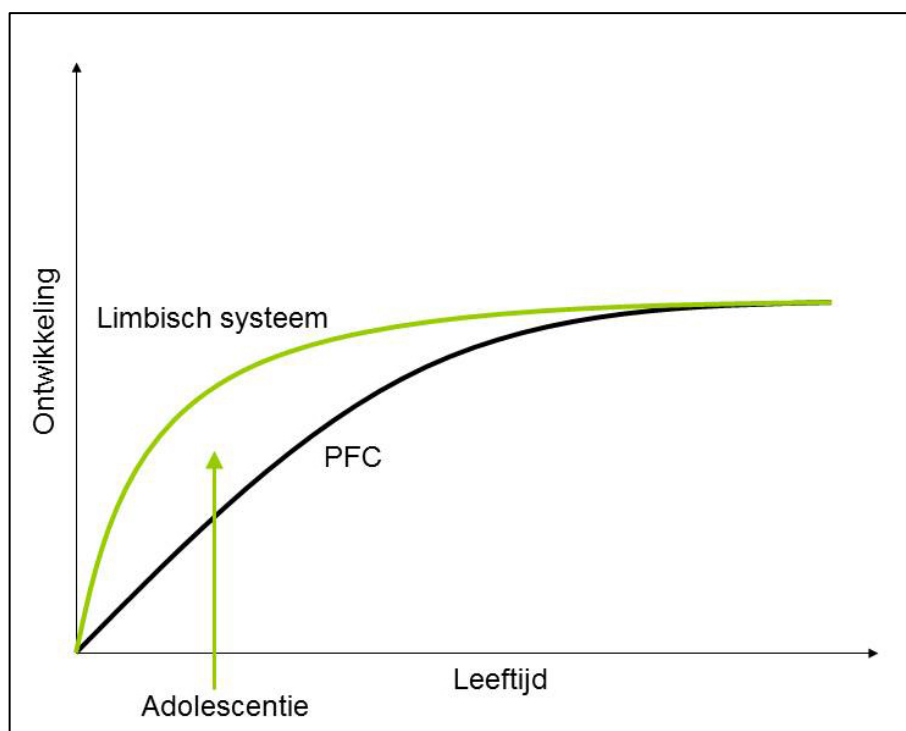
3.3. Ontwikkelingen in kennis over risicogedrag bij jongeren door gebruik van hersenscans

Voordat dat de techniek van hersenscans zijn opmars maakte, dacht men dat de hersenen al volgroeid waren bij een jaar of negen. Men nam toen nog aan dat het risicogedrag van jongeren vooral werd veroorzaakt door het feit dat jongeren slecht zijn in het inschatten van de kans dat hen iets kan

overkomen (Piaget & Inhelder, 1975). Jongeren kunnen niet goed probabilistisch denken, zo was de gedachte. Het besef van risico (kans maal ernst) komt inderdaad pas laat tot ontwikkeling. Rond een jaar of 16 is het probabilistisch denken van jongeren echter even goed als dat van volwassenen. Wel moeten jongeren dan niet opgewonden zijn en de tijd krijgen om over de risico's na te denken (Reyna & Farley, 2006). Juist op 16-jarige leeftijd zijn de 'wilde haren' – het leeftijdsgebonden risicogedrag – volop aanwezig. Gebrekkig probabilistisch denken kan dus niet dit risicogedrag van jongeren van 16 jaar en ouder verklaren.

De kentering in het denken over het risicogedrag van jongeren kwam toen uit een aantal longitudinale onderzoeken bleek dat de toename van witte stof en de afname van grijze stof in bepaalde hersengebieden tot ongeveer een jaar of 25 doorgaat (Giedd, 2004; Gogtay et al., 2004; Lenroot & Giedd, 2006). Vooral de afname van grijze stof in de dorsolaterale prefrontale cortex (DLPFC) komt pas laat op gang en eindigt pas zo rond het 25^e levensjaar. De DLPFC is een gebied van de PFC dat actief is wanneer men even nadenkt voordat men iets doet (impulscontrole) en dat actief is bij het plannen en het vormen van oordelen. Dat de PFC van jongeren (althans bepaalde delen daarvan) nog niet volledig rijpt is, en jongeren daarmee onvoldoende controle hebben over de primaire impuls vanuit het limbische systeem, zou kunnen verklaren dat jongeren risico's nemen (o.a. Blakemore & Choudhury, 2006).

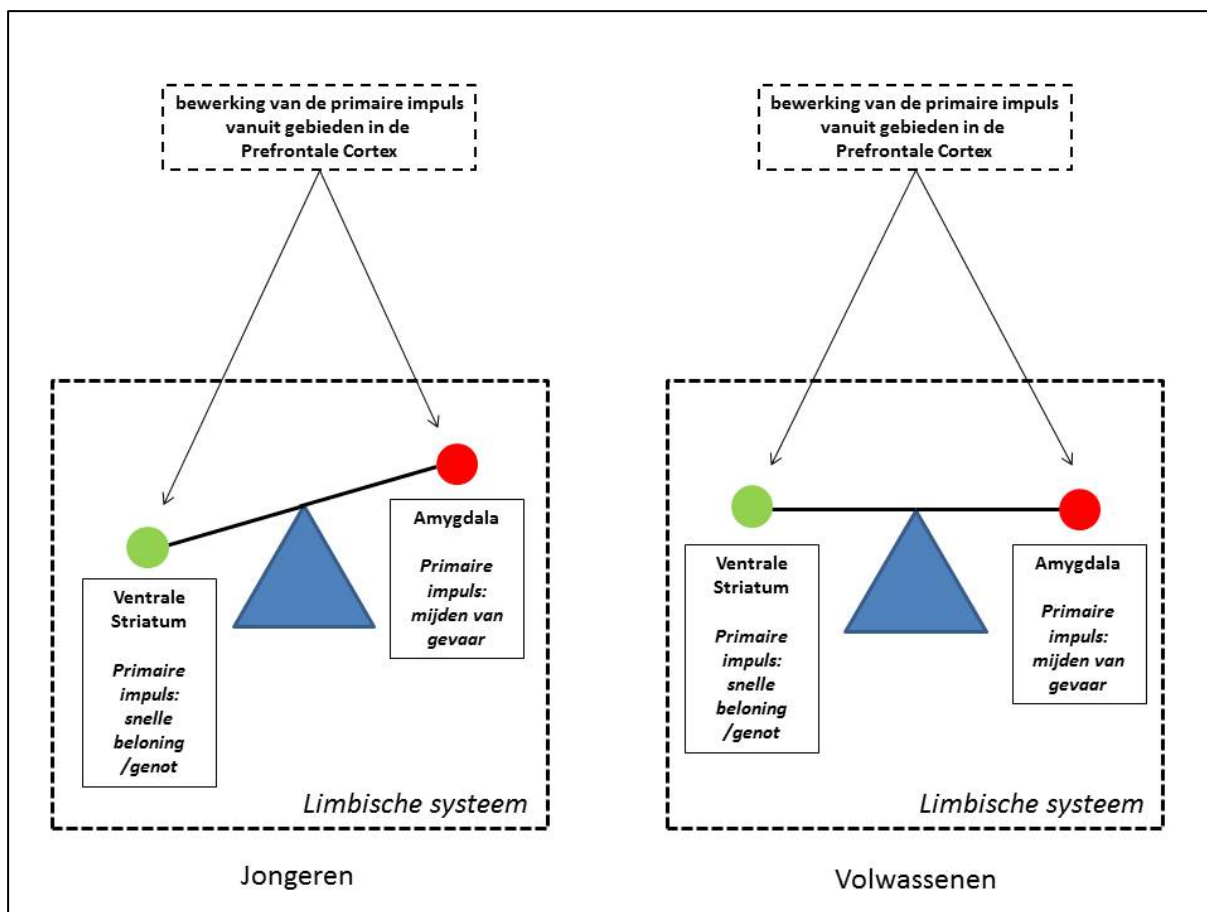
Als het om alleen de rijping van de PFC zou gaan, is echter niet te begrijpen dat kinderen minder risicogedrag vertonen dan jongeren. Kinderen zouden dan juist meer risicogedrag moeten vertonen dan jongeren. Dat kinderen voorzichtiger van aard zijn dan jongeren, komt doordat ze tot aan ongeveer hun 12^e levensjaar nog niet in de pubertijd zijn geraakt (Susman & Dorn, 2009). Als men een jaar of 12 is komen er hormonale processen op gang die ook van invloed zijn op het functioneren van het limbische systeem (Ernst, Romeo & Andersen, 2009; McCormick & Mathews, 2007). Hierdoor gaat het limbische systeem al functioneren als bij een volwassene. Dat wil zeggen dat de primaire affectieve verlangens en emoties al zijn als die van volwassenen. De PFC is aan het begin van de adolescentie echter nog niet volledig ontwikkeld en is in feite nog die van een kind. De langzame ontwikkeling van de PFC blijft doorgaan tot aan ongeveer het 25^e levensjaar. De ervaren emoties zijn dus bij jongeren minstens zo sterk als bij volwassenen, maar de controle daarop vanuit de PFC ontbreekt deels nog. Casey, Getz en Galvan (2008) hebben om dit duidelijk te maken een grafisch model ontwikkeld (zie *Afbeelding 3.1*).



Afbeelding 3.1. De asynchrone ontwikkeling van het limbische systeem en de prefrontale cortex (PFC) waardoor risicogedrag ontstaat in de adolescentie en de fase van de jong volwassenheid (Casey et al. 2008).

Wat in Afbeelding 3.1 niet te zien is, is dat er bij risicogedrag twee impulsen zijn: (1) de aantrekkelijkheid van het risicogedrag en (2) de angst voor de slechte afloop van dat risicogedrag. Hard rijden kan bijvoorbeeld een lekker gevoel geven. Dat lekkere gevoel is dan de beloning. Hard rijden kan echter ook angstgevoelens oproepen. Bijvoorbeeld de angst om de controle over het voertuig te verliezen en de angst voor een ongeval. Bij jongeren slaat de balans wat meer richting directe beloning uit en wat minder richting gevoelens van gevaar. Dat jonge beginnende bestuurders wat minder angst voelen is gebleken in een onderzoek van Kinnear et al. (2013). In dat onderzoek keken jonge beginnende bestuurders en oudere ervaren bestuurders naar filmpjes die genomen waren vanuit het perspectief van een bestuurder. In die filmpjes begonnen gevaren heel onschuldig en ontwikkelden ze zich tot acuut gevaarlijke situaties waarin een ongeval nog amper kon worden voorkomen. Bij de deelnemers aan dit onderzoek werd gemeten hoeveel angst ze voelden door hun 'angstzweet' te meten op hun huid (Skin Conductance Responses). Het bleek dat de oudere meer ervaren bestuurders vaker gevoelens van angst hadden dan de jonge beginnende bestuurders.

Om duidelijk te maken dat er bij risicogedrag twee factoren zijn (beloning en angst) en dat de relatie tussen die twee anders is bij jongeren dan bij volwassenen, is het zogenoemde 'triadisch model' ontwikkeld (Ernst, Pine & Hardin, 2006). Dit model is in Afbeelding 3.2 weergegeven.



Afbeelding 3.2. Het triadisch model van risicogedrag (Ernst et al., 2009).

In vele tientallen onderzoeken is aangetoond dat de in *Afbeelding 3.2* weergegeven balans bij jongeren niet in evenwicht is. Jongeren zijn meer gericht op directe beloning en zijn minder gevaarbewust dan oudere personen. Het blijkt dus dat jongeren een biologische aanleg hebben voor het nemen van risico's.

Op het eerste gezicht is dat vreemd. Wat kan het nut ervan zijn dat mensen in de bloei van hun leven een natuurlijke aanleg hebben om zichzelf en anderen schade te berokkenen? Uit het oogpunt van de overleving van de soort, is die aanleg echter niet zo vreemd. In het dierenrijk zijn het vooral de jonge mannetjes die de groep verlaten en op avontuur gaan. Dit is onder andere van belang om inteelt te voorkomen (Spear, 2000). Ook is het van belang dat jongeren ter voorbereiding op de volwassenheid, loskomen uit het gezin waarin men is grootgebracht, nieuwe uitdagingen aangaan en creatief zijn. De menselijke soort heeft zich gedurende miljoenen jaren ontwikkeld door mutaties in het DNA en natuurlijke selectie. In die lange periode van de ontwikkeling van de soort waren de condities waarin men leefde anders dan nu. Toen waren er bijvoorbeeld nog geen gemotoriseerde voertuigen waarmee men bij verkeerd gebruik zichzelf en anderen kan doden.

De laatste jaren is er steeds meer kritiek gekomen op de theorie van de snelle ontwikkeling van het limbische systeem en de langzame ontwikkeling

van de PFC. De kritiek is niet zozeer dat de theorie in algemene zin onjuist zou zijn, maar wel dat deze tekortschiet in bepaalde situaties. Zo houdt de theorie geen rekening met de omstandigheden waarin risicogedrag vertoond wordt. Tijdens de adolescentie ontstaan er ook veranderingen in de sociaal-affectieve relaties. Voor jongeren is de band met leeftijdsgenoten erg belangrijk en dat is terug te zien in de hersenen (Crone & Dahl, 2012). Jongeren vertonen het meeste risicogedrag wanneer ze met leeftijdsgenoten samen zijn (Arnett, 1992). Het model van de vroege ontwikkeling van het limbische systeem en de late ontwikkeling van de PFC biedt hiervoor geen directe verklaring. Ook maken de in *Afbeelding 3.1* en *Afbeelding 3.2* weergegeven modellen geen onderscheid tussen verschillende groepen jongeren. Is de balans bij meisjes bijvoorbeeld anders dan bij jongens? In de volgende paragraaf wordt nader ingegaan op de omstandigheden waarin risicogedrag vertoond wordt en in de paragraaf daarna wordt nader ingegaan op individuele verschillen.

3.4. Sociale interacties, risicogedrag en hersenontwikkeling

In een onderzoek van Chein et al. (2011; reeds genoemd in *Paragraaf 3.2*), 'reden' proefpersonen terwijl ze in een MRI-scanner lagen. De snelheid van de auto konden ze niet beïnvloeden en ze konden ook niet sturen. Wel konden ze door op een knop te drukken hun auto tot stilstand brengen en weer opgang brengen. Van die simulatorrit werd een soort spel gemaakt.

Tijdens de rit passeerde men veel kruispunten met verkeerslichten. Hoe sneller de rit werd afgelegd, des te groter was de beloning aan het einde. Het loonde dus om bij een verkeerslicht dat op oranje staat, het kruispunt nog net te 'halen'. Wanneer men in zo'n situatie doorreed en het net niet haalde, omdat het licht vlak voordat men het kruispunt opreed op rood was gesprongen, trok onmiddellijk een auto van rechts op die groen licht had gekregen. Dit leidde tot een botsing. In het spel kostte een botsing zoveel straf tijd dat aan het eind van de rit geen beloning meer over was. Het spel werd gespeeld door een groep jonge automobilisten van 16 jaar en een groep wat oudere automobilisten van 26 jaar. Alle proefpersonen reden de rit één keer alleen en één keer terwijl een vriend van hetzelfde geslacht en dezelfde leeftijd hun verrichtingen op een monitor volgde. De proefpersonen wisten dat hun vriend of vriendin meekeek, maar de vrienden konden de proefpersonen niet aanmoedigen om risico's te nemen of aanmoedigen om het risicogedrag juist te temperen.

Terwijl men alleen reed, vertoonde de jongere groep niet meer risicogedrag dan de oudere groep. Dat was echter wel het geval wanneer een vriend meekeek. Bij de jongste groep leidde het meekijken tot meer risicogedrag, maar bij de oudste groep niet. De gebieden in de hersenen die actief zijn bij (een verlangen naar) beloning zijn het ventraal striatum in het limbische systeem (primaire impuls) en de orbitoprefrontale cortex in de PFC (reflectie op de primaire impuls). Er was alleen verhoogde activiteit in deze hersengebieden te zien bij de jongste groep wanneer de proefpersonen wisten dat een vriend meekeek. In alle andere gevallen was er geen verhoogde activiteit te zien in deze hersengebieden. Dit onderzoek laat zien dat louter de aanwezigheid van een vriend invloed heeft op het risicogedrag van 16-jarige bestuurders, maar niet op dat van 26-jarige bestuurders en dat dit tevens te zien is in de hersenen. De sociale context doet er dus toe of al dan

niet risicogedrag wordt vertoond en dit houdt verband met de mate waarin de hersenen volgroeid zijn.

Het nadeel van het onderzoek van Chein et al. (2011) is dat het rijden in een MRI-scanner niet erg lijkt op rijden in de praktijk. Cascio et al. (2014) hebben het daarom anders aangepakt. Zij hebben proefpersonen die net hun rijbewijs hadden gehaald, eerst een standaardtaak laten uitvoeren terwijl ze in een MRI-scanner lagen. Alle proefpersonen waren mannen van 16 of 17 jaar oud. Met die standaardtaak kon gemeten worden hoe goed mensen zijn in het onderdrukken van hun primaire impuls. Gelijktijdig met de uitvoering van de taak keek men naar de gebieden in de hersenen die te maken hebben met het onderdrukken van impulsen en beloning. Een week later reden de proefpersonen in een geavanceerde rijnsimulator waarin het rijden sterk lijkt op het rijden in de werkelijkheid. Ze maakten drie ritten: een rit alleen, een rit met een willekeurige persoon naast zich die ze niet kenden en een rit met een leeftijdsgenoot naast zich waarmee ze vooraf kennis hadden gemaakt. Die leeftijdsgenoot hoorde bij het experiment, maar dat wisten de proefpersonen niet.

Bij de helft van de proefpersonen moedigde die leeftijdsgenoot de bestuurder aan om risico's te nemen en bij de andere helft probeerde die leeftijdsgenoot juist het risicogedrag te temperen tijdens de rit. Gemeten werd hoeveel risico de proefpersonen namen in het verkeer. Bij de neutrale passagier die de proefpersonen niet eerder ontmoet hadden, namen alle proefpersonen meer risico dan wanneer ze alleen reden. Bij de leeftijdsgenoot die risicogedrag probeerde te temperen, namen alleen die proefpersonen minder risico die tijdens het MRI-experiment over een sterke impulscontrole bleken te beschikken. Wanneer echter bij proefpersonen met een sterke impulscontrole een leeftijdsgenoot meereed in de simulator die risicogedrag aanmoedigde, dan lieten ook die proefpersonen zich verleiden tot het nemen van risico's. Op proefpersonen die weinig impulscontrole bleken te hebben tijdens het MRI-experiment, maakte de rol van de leeftijdsgenoot niet uit en werd in alle gevallen meer risico genomen dan wanneer alleen gereden werd.

Ook dit experiment laat zien dat de sociale context ertoe doet en dat meer risicogedrag vertoond wordt bij aanwezigheid van passagiers. De enige uitzondering hierop zijn de jonge mannelijke bestuurders die beter in staat zijn om hun impulsen te onderdrukken en de passagier van gelijke leeftijd die hen aanspoort voorzichtiger te rijden. Dit onderzoek toont dus tevens aan dat er individuele verschillen zijn en dat niet alle jonge bestuurders over één kam geschoren kunnen worden.

Wat door iedereen, maar zeker door jongeren, erg vervelend wordt gevonden, is uitgesloten te worden. Falk et al. (2014) deden een experiment waarbij jonge mannen van 16 en 17 jaar die net over hun rijbewijs beschikten een groepsspelletje speelden terwijl ze in een MRI-scanner lagen. Dat computerspel speelden ze met twee leeftijdsgenoten van hetzelfde geslacht waarmee ze even daarvoor kennis hadden gemaakt. Die twee leeftijdsgenoten zaten in het 'complot' van het experiment. Eerst speelden die twee leeftijdsgenoten samen met de proefpersoon, maar later in het spel werd de proefpersoon steeds meer genegeerd. Nagegaan werd in welke mate in hersengebieden die sensitief zijn voor sociale uitsluiting in zowel de PFC als het limbische systeem, activiteit te zien was. Op deze wijze werd een onderscheid

gemaakt tussen proefpersonen die sterk gevoelig zijn voor sociale uitsluiting en proefpersonen die daar minder gevoelig voor zijn.

Een week later reden de proefpersonen in een rijnsimulator. Evenals in het hiervoor beschreven experiment van Cascio et al. (2014) reden ze een rit alleen en een rit met een mannelijke leeftijdsgenoot naast zich waar ze van tevoren kennis mee hadden gemaakt. Bij de helft van de proefpersonen moedigde die leeftijdsgenoot die in het complot zat, de proefpersoon aan om risico's te nemen en bij de andere helft van de proefpersonen spoorde de leeftijdsgenoot de proefpersoon aan om risico's te mijden.

Het bleek dat ongeacht de rol die de passagier speelde, proefpersonen met een grotere gevoeligheid voor uitsluiting, meer risicogedrag vertoonden in het bijzijn van een passagier dan wanneer ze alleen reden. Ook dit onderzoek toont aan dat er individuele verschillen zijn en dat jonge mannelijke bestuurders die sensitief zijn voor sociale uitsluiting, meer risico's nemen in het verkeer in het bijzijn van een leeftijdsgenoot, ongeacht of die leeftijdsgenoot nu het nemen van risico's aanmoedigt of risicogedrag juist probeert te temperen.

3.5. Individuele verschillen ongeacht de omstandigheden

In *Paragraaf 3.4* zijn onderzoeken besproken die gingen over omstandigheden waarin individuele verschillen in de hersenontwikkeling tot uiting komen in het verkeer. Deze paragraaf gaat over individuele verschillen in het algemeen. Al in de jaren zeventig van de vorige eeuw is een vragenlijst ontwikkeld die meet hoeveel spanningsbehoefte iemand heeft (Zuckerman, Eysenck & Eysenck, 1978). Dit is de 'sensation seeking' vragenlijst. Deze vragenlijst meet de mate waarin men behoefte heeft aan spanning en avontuur, de mate waarin men behoefte heeft om nieuwe dingen uit te proberen, de mate waarin men bereid is gevaarlijke dingen te doen om de sleur tegen te gaan en de mate waarin men zich laat leiden door impulsen. Er zijn veel onderzoeken gehouden waarin is nagegaan of er een verband is tussen de scores op deze vragenlijst en ongevalsbetrokkenheid in het verkeer. Jonah (1997) heeft 42 van die onderzoeken samengevat.

Het bleek dat in bijna alle onderzoeken er een tamelijk sterk verband was tussen sensation seeking en ongevalsbetrokkenheid in het verkeer. Hoe groter de spanningsbehoefte des te hoger was de ongevalsbetrokkenheid. Zuckerman en Kuhlman (2000) vermoeden dat scores op de sensation seeking vragenlijst samenhangen met het functioneren van het brein. Zij vermoeden dat er een verband is tussen sensation seeking en de circuits in het brein waarbij dopamine een rol speelt. Die circuits zijn actiever bij jongeren dan bij kinderen en volwassenen. Jongeren verschillen onderling sterk in zowel hun scores op de spanningsbehoefte vragenlijst als betreft dopamine (McCormick & Mathews, 2007).

Een ander individueel verschil dat te maken heeft met het functioneren van de hersenen, zijn scores op een zogenoemde Stroop-taak. Bij de Stroop-taak laat men aan personen één voor één woorden van kleuren zien. Men moet het woord uitspreken dat op dat moment op het scherm staat. Bijvoorbeeld het woord 'rood'. Dit is gemakkelijk als het woord rood met de kleur rood is geschreven, maar is het woord rood met een andere kleur geschreven dan moet men een eerste impuls onderdrukken voordat men het

correcte antwoord geeft. Uit onderzoek waarin mensen de Stroop-taak of een soortgelijke taak deden terwijl ze in een MRI-scanner lagen, is gebleken dat dan vooral de gyrus cinguli anterior actief is en dat deze actiever is bij mensen die de taak goed maken (o.a. Leung et al., 2000). De gyrus cinguli anterior houdt verband met onder andere het functioneren van het werkgeheugen en motivatie. Gebleken is dat jonge bestuurders die de Stroop-taak goed uitvoeren, minder risico's nemen tijdens ritten in een rijnsimulator dan jonge bestuurders die slecht op de Stroop-taak scoren (Jongen et al., 2011). Ook is gebleken dat jonge bestuurders die een boete voor een snelheidsovertreding hebben gekregen, slechter presteren op de Stroop-taak dan jonge bestuurders die niet beboet zijn voor een snelheidsovertreding (O'Brien & Gormley, 2013).

3.6. Verschillen die samenhangen met geslacht

Er is een groot verschil in het ongevalsrisico van jonge vrouwelijke bestuurders en jonge mannelijke bestuurders. Jonge vrouwen rijden nog altijd wat minder dan jonge mannen. Wanneer gecontroleerd wordt voor het verschil in gereden afstand, dan is de ongevalsbetrokkenheid van 18- en 19-jarige vrouwelijke automobilisten de helft van die van 18- en 19-jarige mannelijke automobilisten (Vlakveld, 2011).

Zijn voor dat grote verschil aanwijzingen te zien in het brein? Als naar de ontwikkeling van de structuur van de hersenen gekeken wordt, zijn die aanwijzingen gering. Er zijn maar kleine verschillen te zien tussen het rijpingsproces van de hersenen van jongens en die van meisjes (Lenroot et al., 2007). De rijping verloopt iets sneller bij meisjes dan bij jongens. Dit is vooral het geval voor het 16^e jaar, dus nog voor men gaat rijden. De verschillen die er zijn, zijn met name te zien in het limbische systeem (Lenroot & Giedd, 2010). Waarschijnlijk houdt dit verband met verschillen in de productie van geslachtshormonen tussen jongens en meisjes en de invloed van die geslachtshormonen op neurotransmitters in het limbische systeem (McCormick & Mathews, 2007). Dit wordt bevestigd uit fMRI-onderzoek wanneer het niet om beloning, maar om gevaar gaat. Zo zijn er tamelijk grote verschillen tussen meisjes en jongens bij dreiging van gevaar te zien op de fMRI-scans (o.a. Dreyfuss et al., 2014). Jongens en jonge mannen reageren vaak impulsief en meisjes denken eerst even na en kiezen dan vaker voor een 'flight' dan voor een 'fight' reactie. Dit is terug te zien in de werking van de amygdala en de orbitofrontale cortex.

Een andere mogelijke verklaring voor het grote verschil in ongevalsrisico tussen jonge vrouwelijke bestuurders en jonge mannelijke bestuurders is het verschil in sensation seeking. Jonge vrouwen scoren het hoogst op sensation seeking wanneer ze ongeveer 16 jaar zijn en bij jonge mannen ligt de piek bij ongeveer 18-jarige leeftijd. De piek bij jonge vrouwen is, behalve eerder, ook aanmerkelijk lager dan bij jonge mannen (Romer & Hennessy, 2007). Zoals reeds vermeld, houdt sensation seeking mogelijk verband met dopamine en dopamine houdt weer verband met de productie van geslachtshormonen (testosteron bij mannen en oestrogeen bij vrouwen). Vanaf het begin van de puberteit zijn er duidelijke verschillen in de productie van geslachtshormonen tussen jongens en meisjes. Ook dit is een mogelijke verklaring voor verschillen in risicogedrag tussen jongens en meisjes.

3.7. Beperkingen van het hersenonderzoek

Het hersenonderzoek bij jongeren heeft zich sterk gericht op risicogedrag en de invloed van vrienden op dat risicogedrag. Jonge bestuurders hebben echter niet alleen ongevallen doordat ze zich roekeloos gedragen. Ze hebben bijvoorbeeld ook een hoger dan gemiddeld ongevalsrisico door afleiding (bijvoorbeeld door gebruik van de smartphone onder het rijden) (Klauer et al., 2014). Hersenonderzoek naar afleiding is nog zeer schaars en voor zover het er is, gaat het niet over jonge bestuurders. Schweizer et al. (2013) vonden dat er bij ervaren bestuurders tijdens het rijden weinig activiteit te zien is in de PFC. Dit was overigens ook al in een aantal andere onderzoeken gevonden. Het betekent dat ervaren bestuurders het grootste deel van de tijd min of meer 'op de automatische piloot' rijden. In het deel van de hersenen waar visuele informatie verwerkt wordt en gebieden die verband houden met de ruimtelijke oriëntatie, was tijdens het rijden wel veel activiteit te zien. Als bestuurders tijdens het rijden een telefoongesprek voerden dan verschoof de hersenactiviteit zich naar de PFC en nam de activiteit in de gebieden voor ruimtelijke oriëntatie en visuele informatieverwerking af. Dit zou kunnen verklaren dat bij afleiding soms nog wel op de weg gekeken wordt (bijvoorbeeld tijdens een telefoongesprek), maar dat ondanks dat kijken, zaken niet meer opgemerkt worden. Hoe dat zit bij jonge bestuurders, is niet bekend, omdat er nog geen onderzoek naar gedaan is.

Een andere oorzaak van verkeersongevallen bij jonge bestuurders is dat ze de gevaren gewoon niet zien (Vlakveld, 2011). Het gaat dan niet om roekeloos rijgedrag doordat men de eigen vaardigheden overschat en de risico's onderschat. Het is nog niet onderzocht of door training in gevaarherkenning er veranderingen in hersenactiviteit optreden tijdens het rijden. Is er als gevolg van een training in gevaarherkenning bijvoorbeeld meer hersenactiviteit te zien in gebieden die verband houden met het waarnemen van opmerkelijke zaken (de cortex cingularis anterior en de insula) (Menon & Uddin, 2010)?

3.8. Conclusie

Het deel van de hersenen dat direct achter het voorhoofd zit, de prefrontale cortex (PFC), is pas volledig ontwikkeld rond het 25^e levensjaar. Die PFC heeft onder andere te maken met het kunnen onderdrukken van eerste impulsen, het wegeven van risico's en het vermogen om te plannen. De gebieden in de hersenen waar het om de primaire emotionele reacties op gevaar gaat en de primaire emotionele reacties op het verlangen naar een snelle beloning, rijpen snel wanneer men in de puberteit komt. Deze gebieden zijn veel eerder 'volwassen' dan de PFC. Het verschil in ontwikkelingssnelheid van de twee hersengebieden zorgt ervoor dat jongeren biologisch gezien wat meer geneigd zijn tot het nemen van risico's dan kinderen en volwassenen. Niet alle jongeren vertonen echter een duidelijk verhoogd risicogedrag. Jongeren verschillen bijvoorbeeld in de mate waarin ze behoefte hebben aan spannende dingen en als ze daaraan minder behoefte hebben, vertonen ze ook minder onveilig gedrag in het verkeer. De omstandigheden doen er ook veel toe. Vooral de aanwezigheid van vrienden en of die vrienden risicogedrag stimuleren of juist niet, maakt uit hoe jongeren zich gedragen in het verkeer.

4. Hersenontwikkeling, leeftijdsgrenzen, de rijopleiding en het rijexamen

Het recente hersenonderzoek heeft ons veel geleerd over de biologische oorsprong van het risicogedrag van jonge bestuurders. Over wat je eraan zou kunnen doen heeft dit onderzoek veel minder opgeleverd. Elvik (2010) concludeert dat ondanks de vele maatregelen die wereldwijd genomen zijn, het verschil in ongevalsrisico tussen ervaren volwassen bestuurders en jonge beginnende bestuurders niet kleiner wordt. Het probleem moet volgens hem daarom wel door risicogedrag als gevolg van de ontwikkeling van de hersenen worden veroorzaakt, anders had door de maatregelen het verschil in ongevalsrisico moeten afnemen. Dit is waarschijnlijk een wat al te sombere conclusie. Ongevallen waarbij jongeren betrokken zijn, ontstaan voor een belangrijk deel niet door bewust risicogedrag, maar door gebrek aan rijervaring (zie *Hoofdstuk 2*). En voor het deel dat de ongevals-betrokkenheid wel samenhangt met risicogedrag als gevolg van de hersenontwikkeling, betekent dat niet dat er dan ook niets meer aan te doen valt. Dit hoofdstuk gaat over nieuwe inzichten om er toch wat aan te doen.

Leeftijdsgrenzen waarna men pas gemotoriseerd aan het verkeer mag deelnemen, waren er al lang voordat men tot ontdekking kwam dat hersenen bij jongeren nog niet volledig zijn ontwikkeld. De vraag is of het hersenonderzoek aanleiding geeft om de leeftijdslimieten te veranderen. In *Paragraaf 4.1* wordt nader op dit onderwerp ingegaan. In *Paragraaf 4.2* worden besproken of het hersenonderzoek aanleiding geeft om de educatie, inclusief de rijopleiding, aan te passen. De uitkomsten van het hersenonderzoek zouden ook consequenties kunnen hebben voor wat er op het rijexamen getest wordt. Is het bijvoorbeeld mogelijk om op het rijexamen jongeren op hun neiging tot risicogedrag te testen? *Paragraaf 4.3* gaat over het rijexamen. In *Paragraaf 4.4* worden de mogelijkheden besproken om het risicogedrag te beperken die geen verband houden met de rijopleiding. Welke rol kunnen bijvoorbeeld ouders spelen om het risicogedrag in het verkeer terug te dringen? In *Paragraaf 4.5* staan ten slotte de conclusies van dit hoofdstuk.

4.1. Leeftijdslimieten

Veilig in een gemotoriseerd voertuig kunnen deelnemen aan het verkeer is één van de meest complexe taken die men in zijn leven leert (Groeger, 2000). Hoewel het een uiterst complexe taak is, kost de uitvoering van deze taak ervaren bestuurders maar weinig moeite. Doordat zij al veel rijervaring hebben opgedaan, kunnen zij die complexe taak voor een groot deel van de tijd op de 'automatische piloot' uitvoeren (Vlakveld, 2011).

Jongeren hebben geen moeite om gemotoriseerde voertuigen te leren besturen. In feite zijn hun hersenen beter geschikt om complexe motorische vaardigheden aan te leren dan de hersenen van volwassenen. Wanneer men een muziekinstrument goed wil leren spelen of goed wil leren turnen, dan is het zaak dat men vroeg begint een veel oefent. Op jonge leeftijd zijn de ongebruikte hersenverbindingen nog niet weggesnoeid en hierdoor leert men makkelijker complexe motorische vaardigheden aan. Dit geldt ook voor autorijden en motorrijden. Als men coureur wil worden, dan kan men het

beste zo vroeg mogelijk beginnen. Hoe ouder mensen zijn hoe meer rijlessen ze nodig hebben om te slagen voor het rijexamen (Maycock & Forsyth, 1997). Voertuigbeheersing en de toepassing van de verkeersregels in standaard situaties, kan zeker al aangeleerd worden wanneer men 16 jaar is.

Als echter niet naar rijvaardigheid gekeken wordt, maar naar de neiging om meer dan gemiddeld risico te nemen in het verkeer doordat de hersenen nog niet volledig volgroeid zijn, dan kan men beter veel ouder zijn voordat men begint met rijden. Meisjes zouden dan beter niet voor een jaar of 21 kunnen beginnen met rijden en jongens zouden dat pas beter kunnen gaan doen als een jaar of 24 zijn (Lenroot & Giedd, 2010). Elvik et al. (2009) hebben alle internationale onderzoeken die ze konden vinden naar effecten van verhoging van de leeftijdslimiet om auto te mogen rijden, geanalyseerd. Zij schatten op basis van die al wat oudere studies dat wanneer jongeren op 17-jarige leeftijd gaan autorijden, in plaats van op 16-jarige leeftijd, zij in het eerste jaar van hun rijbewijsbezit 10% minder ongevallen zullen hebben. Gaat het om een verhoging van de limiet van 17 naar 18 jaar, dan zullen die 18-jarigen volgens Elvik et al. in het eerste jaar van hun rijbewijsbezit 7% minder ongevallen hebben dan in het eerste jaar als ze op 17-jarige leeftijd waren begonnen. Bij een verhoging van 18 naar 19 jaar gaat het om 6% minder ongevallen.

Bedacht moet worden dat verhoging van de limiet voor het ene voertuig wel eens zou kunnen betekenen dat men gaat rijden op een ander voertuig. Zou bijvoorbeeld in Nederland de limiet om zelfstandig auto te mogen rijden (dus zonder begeleider), van 18 naar 19 jaar gaan, dan zullen waarschijnlijk jongeren langer door blijven rijden op een bromfiets. Het ongevalsrisico van een bromfiets is aanmerkelijk hoger dan het ongevalsrisico van een auto (SWOV, 2014). Dit zou kunnen betekenen dat de daling van het ongevalsrisico bij jonge automobilisten door de verhoging van de limiet, ten koste kan gaan van een stijging van het aantal ongevallen bij een andere gemotoriseerde vervoerswijzen (Twisk et al., 2013). Bedacht moet ook worden dat er aanwijzingen zijn dat mensen die op latere leeftijd beginnen met rijden, uiteindelijk een wat minder goede chauffeur worden dan mensen die op jonge leeftijd beginnen te rijden (zie *Afbeelding 2.2*).

Geconcludeerd kan worden dat gelet op de hersenontwikkeling, het niet verstandig is om bestaande leeftijdslimieten te verlagen. Verhoging van de leeftijdslimiet kan zin hebben, maar dan dient wel voorkomen te worden dat daardoor jongeren niet meer ritten gaan maken op een voertuig dat een hoger ongevalsrisico heeft.

4.2. **Educatie en voorlichting**

Het aanleren van de basisrijvaardigheid is geen probleem voor de meeste jongeren. Mensen die jonger zijn dan 16 jaar kunnen leren een auto te besturen. Ook kan men als men jonger is dan 16 jaar leren hoe je de verkeersregels moet toepassen. Problematisch wordt het als het om de zogenoemde hogereordevaardigheden gaat. Hierbij kan gedacht worden aan zaken als gevaarherkenning, risicoperceptie, risicoacceptatie, zelfinschatting en het vermogen om impulsen te onderdrukken. In feite kan men die vaardigheden op 16-jarige leeftijd al wel aanleren, maar die vaardigheden toepassen in situaties waarbij men emoties ervaart, is voor veel jongeren lastig (Reyna & Farley, 2006).

In Nieuw Zeeland is een speciale rijopleiding ontwikkeld waarbij expliciet is uitgegaan van de hersenontwikkeling. Dit was het zogenoemde 'frontal lobe project' (Isler, Starkey & Drew, 2008). Frontal lobe (frontaalkwab) is een ander woord voor de PFC. Een groep kreeg een rijopleiding waar het nauwelijks ging om rijvaardigheid, maar waar het accent laag op gevaarherkenning, risicoperceptie en zelfinzicht. Ook werden er spelletjes gedaan waarmee getracht werd de executieve functies te verbeteren. Een andere groep kreeg klassieke rijvaardigheidstraining waarbij het vooral ging om voertuigbeheersing en het toepassen van de verkeersregels. Daar bovenop kreeg deze groep ook nog een soort slipcursus. Na afloop werden de cursisten beoordeeld door een rijexaminator die niet wist welke training de cursisten doorlopen hadden. De groep die de rijvaardigheidstraining had gevolgd, reed wat voertuigbeheersing betreft iets beter, maar was slechter in gevaarherkenning en nam meer risico's in het verkeer (bijvoorbeeld bij inhalen) dan de groep die de 'inzicht training' had doorlopen (Isler, Starkey & Sheppard, 2011). Of de 'inzicht training' ook tot veiliger rijgedrag heeft geleid, zonder dat er een examiner aanwezig was en ook tot minder ongevallen heeft geleid, is niet onderzocht.

Al in het begin van dit rapport is gemeld, dat jongeren als groep niet alleen meer risicogedrag vertonen in het verkeer, maar dat ook doen op andere levensterreinen. Er bestaan trainingen om jongeren bewust te maken van alleen de gevaren in het verkeer en hoe daar goed mee om te gaan. Er zijn ook zogenoemde 'resilience trainingen' waarbij men jongeren bewust probeert te maken van risico's op allerlei levensterreinen, waaronder het verkeer en hoe je je tegen die risico's kunt weren. Senserrick et al. (2009) zijn in Australië nagegaan wat het effect op verkeersongevallen was van een cursus die alleen over het verkeer ging en een cursus die over allerlei gevaren voor jongeren ging. Door de brede cursus nam het aantal verkeersongevallen wel af, maar door de cursus die alleen gericht was op risico's in het verkeer, niet. Helaas, is er maar één studie waarin dit is aangetoond en er zijn meer studies nodig om definitief te kunnen stellen dat wat betreft het omgaan met risico's brede cursussen beter zijn dan cursussen die alleen gericht zijn op verkeersdeelname.

4.2.1. *De fuzzy-trace-theorie*

Twee theorieën die deels gebaseerd zijn op de nieuwe neuropsychologische inzichten en waarbij leren centraal staat, bieden aanknopingspunten voor de rijopleiding. Dit zijn de 'fuzzy-trace theory' (Reyna, 2004; Reyna & Farley, 2006; Rivers, Reyna & Mills, 2008) en de hypothese van het somatische stempel ('somatic marker hypothesis') (Bechara et al., 1997; Damasio, 1994; Damasio, Everitt & Bishop, 1996). Bij de fuzzy-trace-theorie gaat men ervan uit dat jongeren in zekere zin juist rationeler zijn dan volwassenen. Als bijvoorbeeld aan jongeren en volwassenen, terwijl ze in een MRI-scanner liggen, gevraagd wordt: "Zou je het leuk vinden om tussen haaien te zwemmen?", dan zeggen zowel volwassen als jongeren 'nee'. Bij jongeren duurt het alleen wel langer voordat ze dat antwoord geven. Daarnaast is er bij jongeren wel activiteit in de PFC te zien in gebieden die verband houden met het onderdrukken van impulsen en bij volwassenen niet (Baird & Fugelsang, 2004). Volgens de fuzzy-trace-theorie is het verschil tussen jongeren en volwassenen, dat jongeren in tegenstelling tot volwassenen serieus op de vraag ingaan. Jongeren denken vermoedelijk eerst 'dat zou spannend zijn', maar komen daarna door rationele overwegingen tot de

conclusie dat het toch te gevaarlijk is. Hun uiteindelijke antwoord is dan 'nee'. Volwassenen vinden zwemmen met haaien direct al te gevaarlijk. Zij komen onmiddellijk tot de kern zonder na te hoeven denken. In de fuzzy-trace-theorie heet het dat volwassen met betrekking tot risico's op basis van 'gist'. Gist wil zeggen dat je direct tot de kern komt, zonder eerst de voors en tegens tegen elkaar afweegt. Zouden jongeren ook geleerd kunnen worden beslissingen op basis van 'gist' te nemen? Volgens Rivers, Reyna en Mills (2008) kunnen vanuit de fuzzy-trace-theorie de volgende acties ondernomen worden om risicogedrag bij jongeren tegen te gaan:

- Help jongeren snel tot een waardeoordeel te komen (bijvoorbeeld 'dat is goed en dat andere is slecht') en leer ze dit waardeoordeel te scheiden van gevoelens (bijvoorbeeld het gevoel dat iets lekker spannend is, zoals het zwemmen met haaien).
- Leer jongeren waardeoordelen automatisch te koppelen aan risicomijdende handelingen.
- Leer jongeren de situaties te herkennen waar de waardeoordelen van toepassing zijn. Voor verkeer betekent dit: leer jongeren potentiële gevaren te herkennen in het verkeer.
- Blijf er altijd van bewust dat omstandigheden die emoties kunnen oproepen, bij jongeren tegen beter weten in altijd nog tot impulsief genomen risicovolle acties kunnen leiden. Jongeren kunnen daarom bijvoorbeeld beter niet met vrienden van gelijke leeftijd gaan rijden.
- Houd rekening met de fase waarin jongeren verkeren. Als de wilde haren afnemen, dienen jongeren aan meer risico's blootgesteld te worden, zodat ze ook geleidelijk aan leren om met risico's om te gaan.

Deze acties zijn nog weinig concreet. Hoe help je bijvoorbeeld jongeren om snel tot de juiste waardeoordelen te komen? Wellicht is dit mogelijk via de methode van 'social norms'. Bij deze methode gaat men ervan uit dat met name jongeren niet graag uitgesloten willen worden van de groep waar ze denken bij te horen. Meestal begint men bij deze methode door op een school van een voortgezette opleiding (universiteit, hbo-opleiding, mbo-opleiding) een enquête te gehouden. De uitkomsten worden daarvan in het school- of universiteitsblad geplaatst. De kop van dat artikel kan dan zijn: "Wist je dat bij ons op school 80% nooit onder invloed rijdt?" Er wordt in die artikelen niet vermeld hoe gevaarlijk rijden onder invloed is en er wordt ook niet vermeld hoeveel slachtoffers er door rijden onder invloed vallen. Een ander uitgangspunt is dat de enquête zich beperkt tot de eigen school of universiteit. In het artikel worden wel weer tips gegeven hoe je kunt voorkomen dat je op feestjes drinkt en toch gaat rijden (door bijvoorbeeld een Bob aan te stellen) (Haines, 1996). Overtuigend bewijs dat de methode van social norms werkt, is er niet (Borsari & Carey, 2003).

4.2.2. *De hypothese van het somatische stempel*

De neurowetenschapper Damasio ontdekte dat mensen met een beschadiging aan de ventromediale prefrontale cortex (vmPFC), doorgaan met het nemen van risico's bij kansspelen en geen lering trekken uit geleden verliezen. De vmPFC is onderdeel van de PFC en bevindt zich direct boven de oogkassen. Naast het feit dat mensen met een beschadigde vmPFC niet kunnen stoppen met gokken en risico's blijven nemen, kunnen deze mensen zich ook moeilijk inleven in hoe anderen zich voelen. Bot en onaangenaam gevonden te worden doet deze mensen niets. Met hun verstandelijke vermogens is echter niets mis. Op basis van dit verschijnsel heeft Damasio

zijn hypothese van het somatische stempel ('somatic marker hypothesis') ontwikkeld (Damasio, 1994). Volgens deze theorie worden in complexe en onzekere situaties onze beslissingen deels geleid door signalen die diep vanuit ons lichaam komen. Dit zijn de zogenoemde somatische stempels. Ze zorgen ervoor dat we in situaties die kritiek kunnen worden, snel kunnen beslissen en snel kunnen handelen. Mensen waarvan de vmPFC is beschadigd, leren niet van gevaarlijke situaties en blijven risico's nemen (Damasio, Everitt & Bishop, 1996). Volgens de hypothese van het somatische stempel komt dit doordat ze door die beschadiging die stempels niet kunnen ontwikkelen. Gelukkig kunnen mensen zonder die beschadiging dat wel. Als we in het verkeer een ongeval of een bijna-ongeval meemaken, dan ervaren we daarbij sterke emoties. Wanneer we later in een verkeerssituatie komen die erop lijkt, krijgen we heel licht die emotie weer terug, zonder dat we ons daar overigens van bewust hoeven te zijn. Dat beetje terugkomen van die emotie is het somatische stempel. Door die emotie kunnen we zonder uitgebreid na te hoeven denken, automatisch de juiste handelingsschema's uit ons geheugen naar boven halen en snel beslissingen nemen.

Hoewel onderzoeken deze theorie bevestigd hebben (Bechara et al., 1994), zijn er ook onderzoeken geweest waarvan de uitkomsten tegenstrijdig waren met de theorie (Dunn, Dalgleish & Lawrence, 2006). In grote lijnen is de hypothese van het somatische stempel correct gebleken, maar hoe precies het biologische proces in de hersenen en het psychologische proces met elkaar in verband staan, blijft onduidelijk.

Vlakveld et al. (2011) hebben een gevaarherkenningstraining ontwikkeld die deels gebaseerd is op de hypothese van het somatische stempel. Deze training werd gegeven met behulp van een rijsimulator. In een rijsimulator kunnen leerlingen aan 'gevaaren' worden blootgesteld, zonder dat letsel wordt opgelopen.

Deze training bestond uit een aantal korte ritten. In elke rit zat een verborgen gevaar. Er waren drie scenario's van elke rit. In de variant die leerlingen het eerst reden, bleef het gevaar verborgen. In één van die scenario's zat bijvoorbeeld een vrachtauto die het zicht afschermdde op een auto die achter de vrachtauto zou kunnen zitten en waarmee men in botsing zou kunnen komen. Dit is een voorbeeld van een zogenoemde afdeksituatie. In die eerste variant kwam er geen auto achter die vrachtauto vandaan. Aan het einde van de rit werd de leerling gevraagd of hij tijdens de rit ergens het gevoel kreeg 'als dat nu maar niet gebeurt' en zo ja, waarom dat dan was. In de proef noemde bijna geen enkele leerling de afdeksituatie. De antwoorden van de leerling werden ter kennisgeving aangenomen en er werd niet inhoudelijk op hun antwoorden ingegaan.

Daarna reden ze dezelfde rit nog een keer, maar nu werd het verborgen gevaar wel manifest. Dit was de tweede variant. In het gegeven voorbeeld kwam er in deze tweede variant wel een auto op botskoers achter die vrachtauto vandaan. Vrijwel altijd eindigde deze rit in een botsing of een bijna-botsing. Hoewel het om een simulator ging, schrokken de leerlingen flink van dat ongeval of bijna-ongeval. Direct na dit voorval verscheen op het middelste scherm van de simulator de plattegrond van de verkeerssituatie. Leerlingen moesten aan zichzelf en de experimentator uitleggen waardoor de situatie was ontstaan en of het ongeval ook was ontstaan als het zicht niet door een vrachtauto, maar door bijvoorbeeld geparkeerde auto's was

afgeschermd. Instructie werd niet gegeven. De leerlingen moesten zelf ontdekken hoe het gebeurd was en hoe ze het ongeval hadden kunnen voorkomen. De gedachte was dat door de schrik en de uitleg aan zichzelf, zich een somatisch stempel zou kunnen vormen.

Om de leerling niet met de 'kater' van het ongeval te laten zitten, maakte de leerling de rit nog een keer. Dit was de derde variant. In deze variant werd het gevaar ook manifest, maar iets minder agressief dan in de tweede variant. Zo goed als altijd wist de leerling bij deze derde variant een botsing te voorkomen.

Na de trainingen van ongeveer een uur, gingen de leerlingen naar een geavanceerde simulator. Dit was een lange rit met zo nu en dan verborgen gevaren die verborgen bleven. Terwijl ze reden hadden de leerlingen een soort bril op hun hoofd die registreerde waar ze naar keken. Zo'n apparaat wordt een eyetracker genoemd. Het bleek dat leerlingen die de training hadden gevolgd bijna alle verborgen gevaren wisten te ontdekken, terwijl ongetrainde leerlingen maar iets meer dan de helft van die verborgen gevaren wisten te ontdekken. Er is nog niet onderzocht of de effecten van deze training bekijken.

4.3. Het rijexamen

De taakbekwaamheid van bestuurders wordt bepaald door hun rijvaardigheid en hun rijgeschiktheid. Iemand wordt rijvaardig door rijles te nemen en door rijervaring op te doen. Rijgeschiktheid is de predispositie om rijvaardig te kunnen worden en rijvaardig te kunnen zijn. Zijn om te kunnen rijden de ogen wel goed genoeg? Functioneren de hersenen wel goed genoeg om verkeerssituaties snel te kunnen begrijpen? Et cetera.

Op het rijexamen wordt de rijvaardigheid getoetst en niet de rijgeschiktheid. Wel moet men vooraf aan het rijexamen vragen beantwoorden over de medische rijgeschiktheid. Of iemands hersenen al geschikt zijn voor gemotoriseerde verkeersdeelname wordt niet vooraf aan het rijexamen getoetst. Dit kan ook niet. Men kan niet iedere rijexamenkandidaat in een MRI-scanner plaats laten nemen en bepaalde taken laten verrichten. Bovendien zijn er geen gevalideerde taken en bestaan er geen normen voor rijgeschiktheidstests in MRI-scanners. Testen in MRI-scanners zouden het rijexamen ook veel te kostbaar maken.

Psychologische testen zouden een alternatief kunnen zijn. In *Paragraaf 3.5* is de Stroop-test al genoemd. Deze test meet hoe goed bepaalde executieve functies zijn en de kwaliteit van de executieve functies houden verband met de biologische rijpheid van de PFC. Er is een verband gevonden tussen scores op deze test en ongevalsbetrokkenheid. Daarmee is de Stroop-test, evenals andere tests die executieve functies meten, echter nog niet bruikbaar om op individueel niveau rijgeschiktheid te testen. Daarvoor zijn deze testen nog te weinig nauwkeurig. De kans is dan groot dat er leerlingen zullen zijn waarvan ten onrechte het rijbewijs onthouden wordt en de kans is ook groot dat er leerlingen zullen blijven die ten onrechte rijgeschikt worden verklaard.

Naast de Stroop-test en andere tests die executieve functies meten, zijn er de persoonlijkheidsvragenlijsten. In *Paragraaf 3.5* is al gemeld dat er een

vrij sterk verband bestaat tussen scores op de spanningsbehoefte-vragenlijst ('sensation seeking test') en ongevalsbetrokkenheid in het verkeer. Zou de spanningsbehoefte-vragenlijst tot onderdeel worden gemaakt van het rijexamen, dan zal wat je op de vragen uit deze vragenlijst moet antwoorden al heel snel uitlekken en zal iedereen voor dat onderdeel slagen.

Geconcludeerd moet worden dat het rijexamen waarop in feite alleen rijvaardigheid wordt getoetst, niet geschikt is om biologische en psychologische rijgeschiktheid te testen. In de toekomst zal wellicht een deel van het rijexamen op een rij simulator afgelegd kunnen worden. Het is in principe mogelijk om simulator testen te ontwikkelen om psychische rijgeschiktheid te meten. De ontwikkeling hiervan is nog niet goed op gang gekomen. Om tot valide, betrouwbare en goed genormeerde rij simulator testen te komen zal nog veel onderzoek moeten worden gedaan.

4.3.1. *Het trekkerrijbewijs*

In 2015 wordt het 'trekkerrijbewijs' ingevoerd. Wanneer iemand 16 jaar is geworden moet hij eerst zijn geslaagd voor zowel een theorie-examen als een praktijkexamen voordat hij op de openbare weg op een landbouwvoertuig mag rijden. Dit rijexamen zal evenals alle andere rijexamens, kandidaten nog niet kunnen selecteren op de neiging tot risicogedrag.

Uit de recentste onderzoeken op het gebied van hersenontwikkeling en risicogedrag van jongeren blijkt dat de omstandigheden ertoe doen (zie *Paragraaf 3.5*). Als er geen vrienden in het voertuig zitten en de jonge bestuurder bovendien gemotiveerd is om veilig te rijden, is de kans op risicogedrag in het verkeer vrij klein, ondanks het feit dat de hersenen nog niet volgroeid zijn. Op landbouwvoertuigen rijdt men meestal alleen en is men wanneer men rijdt, serieus met zijn werk bezig. Dit is dus gunstig voor de verkeersveiligheid.

Er zijn echter ook ongunstige kanten. Meestal zijn die jonge bestuurders namelijk jongens, en jonge mannen nemen meer risico dan jonge vrouwen. Een andere ongunstige factor is dat in de oogstperiode tot diep in de nacht kan worden doorgewerkt. Groeger (2006) denkt dat slaaptkort bij jongeren een vergeten probleem is in het verkeersveiligheidsonderzoek. Mede vanwege hun hersenontwikkeling hebben jongeren meer slaap nodig dan volwassenen, maar ze gaan vaak laat naar bed en hebben 's ochtends problemen bij het opstaan. Ten slotte wordt er soms ook om andere redenen op een trekker gereden. Er zijn landelijke gebieden waar een aantal jongeren het stoer vinden om met de trekker naar school te gaan. Of de omstandigheden uiteindelijk gunstig of ongunstig zijn, zal uit verder onderzoek moeten blijken.

4.4. **Omgevingsfactoren**

Een bepalende omgevingsfactor zijn de ouders. Hoewel jongeren zich losmaken van hun ouders, hebben zeker bij jonge adolescenten de ouders nog veel invloed. Er is een verband tussen de rijstijl van ouders en de rijstijl van hun kinderen (bijvoorbeeld: Taubman - Ben-Ari et al., 2014). In Noord-Amerika en Australië, waar jongeren meestal rond hun 16^e jaar hun rijbewijs behalen, hebben ouders een actievere rol bij de rijopleiding dan in Nederland. In tegenstelling tot in Nederland, mogen jongeren in deze landen

al onder begeleiding van hun ouders rijervaring opdoen voordat die jongeren in het bezit zijn van het rijbewijs. Ouders zijn daar niet louter de begeleider die er alleen maar naast zit, maar zijn ook coach. Om die rol van coach te verbeteren zijn er programma's ontwikkeld.

Een bekend programma in de VS is 'Checkpoints'. Bij Checkpoints maken ouders en kinderen onder andere vooraf afspraken over het begeleid rijden. Die afspraken hebben betrekking over hoe vaak er per week onder begeleiding gereden zal worden en welke zaken er dan geoefend zullen worden. Er worden ook afspraken gemaakt over het autogebruik als de kinderen al wel zelfstandig mogen rijden. Bijvoorbeeld in het begin dat men zelfstandig mag rijden, nog niet in het donker mogen rijden en nog niet met leeftijdsgenoten mogen rijden. Die afspraken worden in een contract vastgelegd. In dat contract staat ook wat de sancties zijn als men zich niet aan de afspraken houdt. Het doel van Checkpoints is om via de ouders het risicogedrag van jonge bestuurders te verminderen door de houding van ouders tegenover hun kinderen en verkeersdeelname te verbeteren. Uit een meta-analyse van programma's als Checkpoints is gebleken dat alleen de intensieve programma's voor een lichte daling van de ongevalsbetrokkenheid bij jonge beginnende bestuurders zorgen. Programma's die alleen de ouders adviseerden, hadden geen effect (Curry et al., 2014).

4.5. Conclusies

Het hoge ongevalsrisico van jonge, vaak mannelijke bestuurders is een taai verkeersveiligheidsprobleem. Ondanks de vele maatregelen die wereldwijd zijn genomen, neemt dat ongevalsrisico van jonge bestuurders niet af ten opzichte van het ongevalsrisico van oudere, meer ervaren bestuurders. Het ligt dan voor de hand om de oorzaak van het probleem in de ontwikkelingsfase van de hersenen te zoeken. Dit mag dan op zich wel een juiste conclusie zijn, maar het betekent niet dat aan het probleem van de jonge bestuurders van gemotoriseerde voertuigen helemaal niets te doen valt.

Het is op zich gunstig dat Europa hogere leeftijdsgrenzen kent om gemotoriseerd aan het verkeer mee te mogen doen dan Noord-Amerika en Australië. Verdere verhoging van de leeftijdslimieten om auto te mogen rijden kan verkeersveiligheidswinst opleveren, maar bedacht moet worden dat jongeren dan wellicht weer vaker en langer op een bromfiets zullen blijven rijden. Daar het ongevalsrisico van bromfietsen hoger is dan dat van auto's, is het langer op bromfietsen blijven rijden juist weer ongunstig voor de verkeersveiligheid.

Er zijn onderwijs- en voorlichtingsmethoden ontwikkeld waarbij rekening wordt gehouden met de hersenontwikkeling. Deze methoden staan nog in hun kinderschoenen en veel bewijs over hun effectiviteit is er nog niet. Deze methoden zijn ook toe te passen in de rijopleiding. Het gaat dan vooral om training van gevaarherkenning en risicobewustzijn.

Het rijexamen filtert niet op de neiging tot risicogedrag in het verkeer en dit is ook niet het middel om dit te doen. Op het rijexamen wordt de rijvaardigheid beoordeeld en niet de rijgeschiktheid. De neiging tot het nemen van risico's zou getest kunnen worden met behulp van psychologische tests, maar de bestaande testen zijn daar nog onvoldoende geschikt voor. Het is in principe mogelijk om de neiging tot risicogedrag te toetsen in een rijimulator. Om tot

betrouwbare, valide en goed genormeerde simulatortesten te komen, zal nog veel onderzoek moeten worden verricht.

Jongeren zijn meer geneigd tot het nemen van risico's in het bijzijn van andere jongeren en ook het motief waarom men rijdt speelt een rol bij het al dan niet vertonen van risicogedrag in het verkeer. Dit is zelfs te zien in de hersenen, zo blijkt uit recent onderzoek.

Al op 16-jarige leeftijd mag men rijden op een landbouwvoertuig. Wel zal men in de nabije toekomst eerst het trekkerrijbewijs moeten hebben gehaald. Met dit rijexamen kan echter niet goed op de neiging tot risicogedrag geselecteerd worden (zie de alinea hierboven). Gelet op de hersenontwikkeling is het geen goed idee om al op 16-jarige leeftijd te mogen rijden op een voertuig waarmee men veel schade kan toebrengen. Hier staat tegenover dat de omstandigheden juist wel weer gunstig zijn waardoor men ondanks het feit dat de hersenen nog niet volledig gerijpt zijn, toch geneigd is om geen risico's te nemen. Op landbouwvoertuigen rijdt men namelijk meestal alleen en rijdt men ten behoeve van het werk en gaat het dus niet om vrijetijdsritten. Hierdoor zou theoretisch gezien de ongevalsbetrokkenheid 16-jarige jongeren op landbouwvoertuigen wel eens mee kunnen vallen. Er zijn echter ook omstandigheden die nadelig zijn. Het zijn overwegend jongens die op landbouwvoertuigen rijden en jongens zijn meer geneigd tot het nemen van risico's dan meisjes. Ook is het zo dat landbouwvoertuigen soms niet voor het werk worden gebruikt, maar bijvoorbeeld om naar school te rijden: 'met de trekker'. Onderzoek zal moeten uitwijzen welke factoren overheersen.

Er zijn programma's ontwikkeld om ouders meer te betrekken bij de rijopleiding en het autogebruik van hun kinderen. Uit Amerikaans en Australisch onderzoek is gebleken dat ouders inderdaad een positieve invloed kunnen hebben op het rijgedrag van hun kinderen. Programma's die de coachende rol van de ouders proberen te versterken, hebben echter alleen zin als die programma's intensief zijn.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1. Conclusies

De vraag die in dit rapport centraal staat is wat het recent hersenonderzoek ons leert over het risicogedrag van jongeren wanneer zij in gemotoriseerde voertuigen deelnemen aan het verkeer. Biedt die nieuwe kennis mogelijkheden om het hoge ongevalsrisico van jonge bestuurders te verlagen via bijvoorbeeld rijopleidingen, rijexamens en leeftijdslimieten?

Het hoge ongevalsrisico van jonge beginnende bestuurders is inderdaad deels toe te schrijven aan het feit dat hun hersenen nog niet volgroeid zijn. Naast de 'wilde haren' – leeftijdsgebonden risicogedrag – als gevolg van de nog niet helemaal volgroeide hersenen, speelt echter ook gebrek aan rijervaring een grote rol. Vermoedelijk is die rol groter dan die van de 'wilde haren' als gevolg van de leeftijd. Alleen op het gebied van risicogedrag bij jonge bestuurders is hersenonderzoek verricht, maar er is nog geen hersenonderzoek verricht bij jonge bestuurders naar het opdoen van ervaring door bijvoorbeeld training.

Door nieuwe onderzoekstechnieken waarbij 'plaatjes' gemaakt kunnen worden van hersenen in actie, is men vanaf de jaren tachtig van de vorige eeuw veel te weten gekomen over de processen die zich in de hersenen afspelen wanneer jongeren risico's nemen. Dat jongeren risicogedrag vertonen is echter al lang bekend. Waarschijnlijk ontstaat risicogedrag bij jongeren doordat het deel in de hersenen dat betrokken is bij emoties, motivatie en genot – het zogenoemde limbische systeem – al functioneert als dat van een volwassene wanneer men een jaar of 12 is. De prefrontale cortex (PFC), het systeem in de hersenen waarmee we afwegen voordat we iets doen, waarmee we rekening houden met de (sociale) omgeving waarin we handelen, waarmee we impulsen onderdrukken en plannen maken, komt pas laat tot ontwikkeling. De PFC is pas volgroeid als mensen rond een jaar of 25 zijn. Bij meisjes is dat wat eerder dan bij jongens. Doordat bij jongeren de controle vanuit de PFC nog niet goed functioneert en het emotionele systeem al wel volwassen is, hebben jongeren meer dan volwassenen bij keuzes waarbij risico genomen wordt, de neiging te kiezen voor de directe beloning en boezemt gevaar hen wat minder angst in.

Er zijn echter grote individuele verschillen en lang niet alle jongeren vertonen een verhoogd risicogedrag. Bij meisjes is dat risicogedrag onder invloed van andere hormonale processen dan bij jongens, duidelijk minder groot. Ook is gebleken dat onafhankelijk van geslacht, jongeren verschillen in hun spanningsbehoefte en die spanningsbehoefte hangt weer samen met de werking van de hersenen. Jongeren met meer spanningsbehoefte hebben meer verkeersongevallen dan jongeren met weinig spanningsbehoefte.

Uit de meest recente onderzoeken naar risicogedrag bij jongeren en hersenontwikkeling is gebleken dat de theorie van 'het uit fase zijn' van het limbische systeem (gevoel) en de PFC (controle) te beperkt is en dat de omstandigheden en de motivatie er veel toe doen of jongeren al dan niet risicogedrag vertonen. Zo blijkt dat de invloed van leeftijdsgenoten sterk bepalend is of al dan niet risicogedrag vertoond wordt. Ook blijkt dat als

jongeren de tijd hebben en rustig zijn, ze even rationeel over risico's kunnen nadenken als volwassenen en gevaren niet onderschatten.

Hoewel het moderne hersenonderzoek veel inzicht heeft verschaft over het waarom van het risicogedrag, biedt deze nieuwe kennis nog maar weinig handvatten voor het tegengaan van het risicogedrag. Er zijn twee theorieën die gebaseerd zijn op de nieuwe neuropsychologische inzichten, die wél aanknopingspunten bieden om jongeren te leren minder risico's te nemen in het verkeer. Dit zijn de fuzzy-trace-theorie en de hypothese van het somatische stempel. Bij de fuzzy-trace theorie wordt aangenomen dat jongeren risico's niet onderschatten en rationele afwegingen kunnen maken als ze tenminste rustig kunnen nadenken. In feite zijn jongeren zelfs rationeler dan volwassenen. Wat jongeren niet goed kunnen is beslissingen nemen op basis van 'gist'. Dat is het onmiddellijk inzien dat iets gevaarlijk is en waar je dus helemaal niet meer over hoeft na te denken. Methoden om jongeren te leren beslissingen te nemen op basis van 'gist' staan nog in hun kinderschoenen en het is nog niet duidelijk of die methoden ook kunnen worden toegepast in de rijopleiding.

Op basis van de andere theorie, de hypothese van het somatische stempel (somatic marker hypothesis), zijn al wel succesvolle pogingen ondernomen om een training te ontwikkelen die kan worden toegepast in de rijopleiding. Bij de hypothese van het somatische stempel wordt aangenomen dat emoties een rol spelen bij beslissingen die snel moeten worden genomen, zoals bij opdoemend gevaar in het verkeer. In het kader van deze theorie is het belangrijk dat jongeren op een veilige manier worden blootgesteld aan gevaren in het verkeer en dat ze zelf conclusies moeten leren trekken over het ontstaan van gevaarlijke situaties en wat ze er aan kunnen doen om die situaties te voorkomen. Dergelijke trainingen kunnen gegeven worden in een rijimulator.

Zou alleen met de hersenontwikkeling rekening gehouden worden, dan zouden jonge vrouwen beter niet eerder dan rond een jaar of 21 moeten beginnen met rijden en zouden jonge mannen bij voorkeur pas rond hun 24^e moeten starten met hun rijcarrière. Dit is niet realistisch en het is ook niet zeker of zulke hoge leeftijdslimieten uiteindelijk gunstig zijn voor de verkeersveiligheid. Als men later begint met autorijden, zou dit wel eens kunnen betekenen dat men langer doorgaat met bijvoorbeeld scooter rijden. Het ongevalsrisico van gemotoriseerde tweewielers is aanzienlijk hoger dan dat van auto's.

In Nederland en in vele andere landen, mogen jongeren al op hun 16^e jaar de weg op in soms enorm grote landbouwvoertuigen. Het leren rijden in een landbouwvoertuig is voor 16-jarigen geen probleem. Gebrek aan gevaarherkenning, onvoldoende risicobewustzijn en beperkte zelfinschatting vormen mogelijk wel een probleem bij mensen van 16 jaar, met name bij jongens. De meest recente hersenonderzoeken tonen echter aan dat de neiging tot het nemen van risico's gering is wanneer men niet samen met andere jongeren in het voertuig zit en gemotiveerd is om veilig te rijden. In landbouwvoertuigen rijdt men doorgaans alleen en is men meestal serieus bezig met zijn werk. Hierdoor zou het risicogedrag van jongeren in landbouwvoertuigen wel eens mee kunnen vallen. Daar staat tegenover dat het meestal jongens zijn die op landbouwvoertuigen rijden en dat ze soms

ook oneigenlijk worden gebruikt, bijvoorbeeld om mee naar school te rijden. Onderzoek zal duidelijk moeten maken welke factoren overheersen.

Of jongeren geneigd zijn tot het nemen van risico's in het verkeer, is moeilijk te toetsen op een rijexamen. Men zou psychologische tests kunnen afnemen, maar dan toets men eerder rijgeschiktheid dan rijvaardigheid. Bovendien zijn dergelijke toetsen meestal nog niet goed genoeg om individuele kandidaten te kunnen beoordelen. In de toekomst kan de neiging tot risicogedrag wellicht getoetst kunnen worden in een rijimulator.

Ten slotte zijn er programma's ontwikkeld om ouders meer te betrekken bij de rijopleiding en het autogebruik van hun kinderen. Gebleken is dat alleen met intensieve begeleiding van ouder en kind het rijgedrag van kinderen verbetert.

5.2. Aanbevelingen

Op basis van wat bekend is over de hersenontwikkeling van jongeren kunnen de volgende aanbevelingen gedaan worden voor de praktijk:

- Zorg ervoor dat jongeren gemotiveerd zijn om veilig te rijden. Ze zijn eerder serieus met veilig rijden bezig wanneer ze in het kader van werk rijden dan wanneer ze plezierritten maken.
- Zorg voor betrokkenheid en coaching van ouder(s).
- Zorg ervoor dat jonge bestuurders voldoende rust en slaap krijgen.
- Laat vooral de jongste groep bestuurders zo min mogelijk samen met leeftijdsgenoten rijden.
- Zoek naar effectieve opleiding en training van hogereordevaardigheden, zoals trainingen in gevaarherkenning, risicobewustzijn en risico-acceptatie.

Voorts is nog veel onbekend. Weliswaar wordt er in Nederland veel onderzoek gedaan naar hersenontwikkeling en gedrag (bijvoorbeeld aan de universiteit van Leiden), maar er wordt in Nederland nog geen onderzoek gedaan naar de werking van het brein bij jongeren en verkeersgedrag. Vrijwel al het onderzoek naar de werking van het brein bij jongeren en verkeersgedrag komt uit de VS. Dat onderzoek gaat uitsluitend over autorijden. De nadruk in het recente onderzoek uit de VS ligt op hersenontwikkeling en de invloed die passagiers van gelijke leeftijd op het rijgedrag hebben. In de VS mag men in de meeste staten al op 16-jarige leeftijd zonder begeleiding rijden. In Nederland mag men dat pas na zijn 18^e jaar. De invloed van passagiers van gelijke leeftijd op bestuurders zou wel eens anders kunnen zijn op 16-jarige leeftijd dan op 18-jarige leeftijd. Nederlands hersenonderzoek bij 18- en 19-jarige beginnende bestuurders is daarom gewenst.

Trainingsprogramma's die gebaseerd zijn op kennis uit het hersenonderzoek zijn wereldwijd nog zeer schaars. In Nederland is al wel een gevaarherkenningstraining ontwikkeld die deels gebaseerd is op de hypothese van het somatische stempel (zie *Paragraaf 4.2.2*). Van deze training is aangetoond dat jonge beginnende bestuurders direct nadat ze die simulatortraining gevolgd te hebben, beter weten te anticiperen op potentiële gevaren in het verkeer. Er is nog niet aangetoond of die vaardigheid ook beklijft. Onderzoek hiernaar zou kunnen aantonen dat een dergelijke training werkelijk effectief is.

We weten in Nederland nog vrij weinig af van de omstandigheden waaronder jongeren op landbouwvoertuigen rijden. Is er veel oneigenlijk gebruik (bijvoorbeeld met de trekker naar school rijden)? Rijdt men meestal alleen? Rijdt men in de oogstperiode niet tot diep in de nacht? Wanneer hierin inzicht is verkregen door onderzoek plus de kennis die er al is over hersenontwikkeling en gedrag, kunnen aanbevelingen gedaan worden over de leeftijd waarop men het beste kan beginnen met het rijden op landbouwvoertuigen en de rijopleiding voor landbouwvoertuigen.

Literatuur

- Arnett, J.J. (1992). *Socialization and adolescent reckless behavior: A reply to Jessor*. In: *Developmental Review*, vol. 12, nr. 4, p. 391-409.
- Arnett, J.J. (2002). *Developmental sources of crash risk in young drivers*. In: *Injury Prevention*, vol. 8, nr. suppl 2, p. ii17-ii23.
- Baird, A.A. & Fugelsang, J.A. (2004). *The emergence of consequential thought: evidence from neuroscience*. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, vol. 359, p. 1797-1804.
- Bechara, A., Damasio, A.R., Damasio, H. & Anderson, S.W. (1994). *Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex*. In: *Cognition*, vol. 50, nr. 1-3, p. 7-15.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Damasio, A.R. (1997). *Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy*. In: *Science*, vol. 275, p. 1293-1295.
- Blakemore, S.J. & Choudhury, S. (2006). *Development of the adolescent brain: implications for executive function and social cognition*. In: *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 47, nr. 3-4, p. 296-312.
- Borsari, B. & Carey, K.B. (2003). *Descriptive and injunctive norms in college drinking: A meta-analytic integration*. In: *Journal of Studies on Alcohol*, vol. 64, nr. 3, p. 331-341.
- Cascio, C.N., Carp, J., O'Donnell, M.B., Tinney, F.J., et al. (2014). *Buffering social influence: Neural correlates of response inhibition predict driving safety in the presence of a peer*. In: *Journal of Cognitive Neuroscience*. [Elektronische voorpublicatie]
- Casey, B.J., Getz, S. & Galvan, A. (2008). *The adolescent brain*. In: *Developmental Review*, vol. 28, nr. 1, p. 62-77.
- Cats, J. (1632). *Spiegel van den ouden en nieuwen tyt*. Den Haag.
- Chein, J., Albert, D., O'Brien, L., Uckert, K., et al. (2011). *Peers increase adolescent risk taking by enhancing activity in the brain's reward circuitry*. In: *Developmental Science*, vol. 14, nr. 2, p. F1-F10.
- Clarke, D.D., Ward, P. & Truman, W. (2005). *Voluntary risk taking and skill deficits in young driver accidents in the UK*. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 37, nr. 3, p. 523-529.
- Crone, E.A. (2008). *Het puberende brein: Over de ontwikkeling van de hersenen in de unieke periode van de adolescentie*. Uitgeverij Bert Bakker/Prometheus, Amsterdam

Crone, E.A. & Dahl, R.E. (2012). *Understanding adolescence as a period of social-affective engagement and goal flexibility*. In: Nature Reviews Neuroscience, vol. 13, nr. 9, p. 636-650.

Curry, A.E., Hafetz, J., Kallan, M.J., Winston, F.K., et al. (2011). *Prevalence of teen driver errors leading to serious motor vehicle crashes*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 43, nr. 4, p. 1285-1290.

Curry, A.E., Peek-Asa, C., Hamann, C.J. & Mirman, J.H. (2014). *Effectiveness of parent-focused interventions to increase novice drivers safety: a critical review*. Transportation Research Board TRB, Washington DC.

Damasio, A.R. (1994). *Descartes' error: emotion, reason, and the human brain*. Grosset/Putnam, New York.

Damasio, A.R., Everitt, B.J. & Bishop, D. (1996). *The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex [and discussion]*. In: Philosophical Transactions: Biological Sciences, vol. 351, nr. 1346, p. 1413-1420.

Davidse, R.J. (2007). *Diepteonderzoek naar invloedsfactoren van verkeersongevallen: een voorstudie*. D-2007-1. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dreyfuss, M., Caudle, K., Drysdale, A.T., Johnston, N.E., et al. (2014). *Teens impulsively react rather than retreat from threat*. In: Developmental Neuroscience, vol. 36, nr. 3-4, p. 220-227.

Dunn, B.D., Dalgleish, T. & Lawrence, A.D. (2006). *The somatic marker hypothesis: A critical evaluation*. In: Neuroscience & Biobehavioral Reviews, vol. 30, nr. 2, p. 239-271.

Elvik, R. (2010). *Why some road safety problems are more difficult to solve than others*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 42, nr. 4, p. 1089-1096.

Elvik, R., Høy, A., Vaa, T. & Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures*. 2 ed. Emerald Group Publishing Limited, Bingley, UK.

Ernst, M., Pine, D.S. & Hardin, M. (2006). *Triadic model of the neurobiology of motivated behavior in adolescence*. In: Psychological Medicine, vol. 36, nr. 3, p. 299-312.

Ernst, M., Romeo, R.D. & Andersen, S.L. (2009). *Neurobiology of the development of motivated behaviors in adolescence: A window into a neural systems model*. In: Pharmacology Biochemistry and Behavior, vol. 93, nr. 3, p. 199-211.

Falk, E.B., Cascio, C.N., Brook O'Donnell, M., Carp, J., et al. (2014). *Neural responses to exclusion predict susceptibility to social influence*. In: Journal of Adolescent Health, vol. 54, nr. 5, Supplement, p. S22-S31.

Foss, R.D., Martell, C.A., Goodwin, A.H. & O'Brien, N.P. (2011). *Measuring changes in teenage driver crash characteristics during the early months of driving*. AAA Foundation for Traffic Safety, Washington DC.

Giedd, J.N. (2004). *Structural magnetic resonance imaging of the adolescent brain*. In: Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 1021, Adolescent Brain Development: Vulnerabilities and Opportunities, p. 77-85.

Gogtay, N., Giedd, J.N., Lusk, L., Hayashi, K.M., et al. (2004). *Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood*. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 101, nr. 21, p. 8174-8179.

Groeger, J.A. (2006). *Youthfulness, inexperience, and sleep loss: the problems young drivers face and those they pose for us*. In: Injury Prevention, vol. 12, nr. suppl 1, p. i19-i24.

Groeger, J.A. (red.) (2000). *Understanding driving : applying cognitive psychology to a complex everyday task*. Routledge, Psychology Press, Hove, East Sussex, UK.

Haines, M.P. (1996). *A social norms approach to preventing binge drinking at colleges and universities*. The Higher Education Center for Alcohol and Other Drug Prevention, Newton, MA.

Horswill, M.S., Tofield, M.I. & Waylen, A.E. (2004). *Drivers' ratings of different components of their own driving skill: a greater illusion of superiority for skills that relate to accident involvement*. In: Journal of Applied Social Psychology, vol. 34, nr. 1, p. 177-195.

Isler, R.B., Starkey, N.J. & Drew, M. (2008). *The 'frontal lobe' project: a double-blind, randomized controlled study of the effectiveness of higher level driving skills training to improve frontal lobe (executive) function related driving performance in young drivers*. University of Waikato, Hamilton, New Zealand.

Isler, R.B., Starkey, N.J. & Sheppard, P. (2011). *Effects of higher-order driving skill training on young, inexperienced drivers' on-road driving performance*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 43, nr. 5, p. 1818-1827.

Jonah, B.A. (1997). *Sensation seeking and risky driving: a review and synthesis of the literature*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 29, nr. 5, p. 651-665.

Jongen, E.M.M., Brijs, K., Komlos, M., Brijs, T., et al. (2011). *Inhibitory control and reward predict risky driving in young novice drivers – a simulator study*. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 20, p. 604-612.

Kinnear, N., Kelly, S.W., Stradling, S. & Thomson, J. (2013). *Understanding how drivers learn to anticipate risk on the road: A laboratory experiment of affective anticipation of road hazards*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 50, p. 1025-1033.

- Klauer, S.G., Guo, F., Simons-Morton, B.G., Ouimet, M.C., et al. (2014). *Distracted driving and risk of road crashes among novice and experienced drivers*. In: *New England Journal of Medicine*, vol. 370, nr. 1, p. 54-59.
- Larson, R. & Lampman-Petratis, C. (1989). *Daily emotional states as reported by children and adolescents*. In: *Child Development*, vol. 60, nr. 5, p. 1250.
- Lenroot, R.K. & Giedd, J.N. (2006). *Brain development in children and adolescents: Insights from anatomical magnetic resonance imaging*. In: *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 30, nr. 6, p. 718-729.
- Lenroot, R.K. & Giedd, J.N. (2010). *Sex differences in the adolescent brain*. In: *Brain and Cognition*, vol. 72, nr. 1, p. 46-55.
- Lenroot, R.K., Gogtay, N., Greenstein, D.K., Wells, E.M., et al. (2007). *Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence*. In: *NeuroImage*, vol. 36, nr. 4, p. 1065-1073.
- Leung, H.-C., Skudlarski, P., Gatenby, J.C., Peterson, B.S., et al. (2000). *An Event-related Functional MRI Study of the Stroop Color Word Interference Task*. In: *Cerebral Cortex*, vol. 10, nr. 6, p. 552-560.
- Maycock, G. & Forsyth, E. (1997). *Cohort study of learner and novice drivers Part 4: Novice driver accidents in relation to methods of learning to drive, performance in the driving test and self assessed driving ability behaviour*. TRL Report 275. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire, UK.
- Maycock, G., Lockwood, C.R. & Lester, J.F. (1991). *The accident liability of car drivers*. Research Report 315. Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne, Berkshire, UK.
- McCartt, A.T., Mayhew, D.R., Braitman, K.A., Ferguson, S.A., et al. (2009). *Effects of age and experience on young driver crashes: Review of recent literature*. In: *Traffic Injury Prevention*, vol. 10, nr. 3, p. 209-219.
- McCartt, A.T., Shabanova, V.I. & Leaf, W.A. (2003). *Driving experience, crashes and traffic citations of teenage beginning drivers*. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 35, nr. 3, p. 311-320.
- McCormick, C.M. & Mathews, I.Z. (2007). *HPA function in adolescence: Role of sex hormones in its regulation and the enduring consequences of exposure to stressors*. In: *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, vol. 86, nr. 2, p. 220-233.
- McKnight, A.J. & McKnight, A.S. (2003). *Young novice drivers: careless or clueless?* In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 35, nr. 6, p. 921-925.
- Menon, V. & Uddin, L. (2010). *Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function*. In: *Brain Structure and Function*, vol. 214, nr. 5, p. 655-667.

O'Brien, F. & Gormley, M. (2013). *The contribution of inhibitory deficits to dangerous driving among young people*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 51, p. 238-242.

Piaget, J. & Inhelder, B. (1975). *The origin of the idea of chance in children*. Norton, Oxford.

Reyna, V.F. (2004). *How people make decisions that involve risk, a dual-processes approach*. In: Current directions in psychological science, vol. 13, nr. 2, p. 60-67.

Reyna, V.F. & Farley, F. (2006). *Risk and rationality in adolescent decision making: implications for theory, practice, and public policy*. In: Psychological science in the public interest, vol. 7, nr. 1, p. 1-44.

Rivers, S.E., Reyna, V.F. & Mills, B. (2008). *Risk taking under the influence: A fuzzy-trace theory of emotion in adolescence*. In: Developmental Review, vol. 28, nr. 1, p. 107-144.

Romer, D. & Hennessy, M. (2007). *A biosocial-affect model of adolescent sensation seeking: the role of affect evaluation and peer-group influence in adolescent drug use*. In: Prevention Science, vol. 8, p. 89-101.

Sagberg, F. (1998). *Month-by-month changes in accident risk among novice drivers*. In: Proceedings of 24th International Conference of Applied Psychology. August 9-14, San Francisco.

Schweizer, T.A., Kan, K., Hung, Y., Tam, F., et al. (2013). *Brain activity during driving with distraction: an immersive fMRI study*. In: Frontiers in Human Neuroscience, vol. 7. doi: 10.3389/fnhum.2013.00053

Senserrick, T., Ivers, R.Q., Boufous, S., Chen, H.Y., et al. (2009). *Young driver education programs that build resilience have potential to reduce road crashes*. In: Pediatrics, vol. 124, nr. 5, p. 1287-1292.

Spear, L.P. (2000). *The adolescent brain and age-related behavioral manifestations*. In: Neuroscience & Biobehavioral Reviews, vol. 24, nr. 4, p. 417-463.

Steinberg, L. (2008). *A social neuroscience perspective on adolescent risk-taking*. In: Developmental Review, vol. 28, nr. 1, p. 78-106.

Susman, E.J. & Dorn, L.D. (2009). *Puberty; Its role in development*. In: Lerner, R.M. & Steinberg, L. (red.), Handbook of adolescent psychology. 3 ed., Volume 1. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

SWOV (2014). *Brom- en snorfietzers*. SWOV-factsheet, oktober 2014. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Den Haag.

SWOV (2012). *Jonge beginnende automobilisten*. SWOV-Factsheet, november 2012. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Taubman - Ben-Ari, O., Musicant, O., Lotan, T. & Farah, H. (2014). *The contribution of parents' driving behavior, family climate for road safety, and parent-targeted intervention to young male driving behavior*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 72, nr. 0, p. 296-301.

Twisk, D., Bos, N., Shope, J. & Kok, G. (2013). *Changing mobility patterns and road mortality among pre-license teens in a late licensing country: an epidemiological study*. In: BMC Public Health, vol. 13, nr. 1, p. 333.

Vlakveld, W.P. (2011). *Hazard anticipation of young novice drivers*. Volume PhD thesis, University of Groningen. SWOV Institute of Road Safety Research, Leidschendam, the Netherlands.

Vlakveld, W.P., Romoser, M., Mehranian, H., Diete, F., et al. (2011). *Do crashes and near crashes in simulator-based training enhance novice drivers' visual search for latent hazards?* In: Transportation Research Record, vol. 2265, p. 154-160.

Zuckerman, M., Eysenck, S.B. & Eysenck, H.J. (1978). *Sensation seeking in England and America: Cross-cultural, age, and sex comparisons*. In: Journal of Consulting and Clinical Psychology, vol. 46, nr. 1, p. 139-149.

Zuckerman, M. & Kuhlman, D.M. (2000). *Personality and risk-taking: Common biosocial factors*. In: Journal of Personality, vol. 68, nr. 6, p. 999-1029.