Nederlandstalige samenvatting van Gesa S.E. van den Broek (2017). Benefits of memory retrieval: A neurocognitive perspective. Proefschrift ter verkrijging van de graad van doctor aan de Radboud Universiteit. In het openbaar te verdedigen op maandag 2 october, 2017, om 14:30. © Gesa van den Broek. Alle rechten voorbehouden.

SAMENVATTING[1]

Veel mensen denken dat het menselijk geheugen werkt als een camera die herinneringen opneemt, opslaat en later weer afspeelt. Deze vergelijking is echter niet correct: het menselijke geheugen is in werkelijkheid een systeem dat beduidend complexer en dynamischer is. Een belangrijke eigenschap van het geheugen is dat het oproepen van een herinnering de inhoud en de latere toegankelijkheid van de herinnering beïnvloedt.

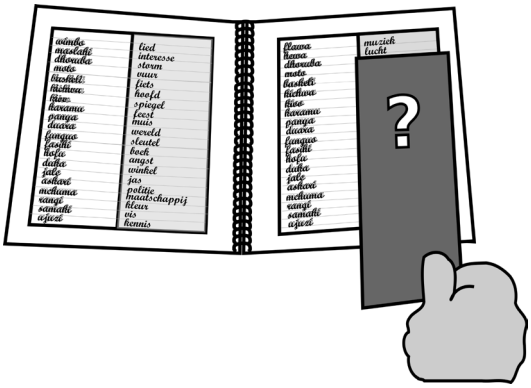
Voor leerlingen is het relevant dat **het oproepen van informatie uit het geheugen geoefend kan worden:** elke oproep van een herinnering uit het geheugen (in het vervolg *retrieval* genoemd) maakt het makkelijker om dezelfde herinnering later opnieuw op te roepen. Dit is bijzonder interessant voor iedereen die een grote hoeveelheid informatie wil onthouden, bijvoorbeeld om een woordenschat in een vreemde taal op te bouwen (zie figuur A.5). Het oefenen van retrieval (*retrieval practice*) is een effectieve techniek om woorden op lange termijn te onthouden. Retrieval practice is daarnaast duidelijk effectiever dan oefenmethoden waarbij volledige informatie bestudeerd wordt, bijvoorbeeld het herhaaldelijk doorlezen van nieuwe woorden samen met de vertaling. Deze voordelen van retrieval practice vergeleken met herbestuderen[2] worden in de literatuur **testeffect** genoemd.

Het eerste gedeelte van **dit proefschrift** behandelt de cognitieve en neurale mechanismen die ten grondslag liggen aan testeffecten. Hoewel veel wetenschappelijke studies testeffecten hebben aangetoond, is tot nu toe weinig bekend over de onderliggende denkprocessen. Ik beschrijf reactietijden en hersenactiviteit gemeten tijdens retrieval en restudy om te verklaren waarom retrieval practice ervoor zorgt dat woorden op lange termijn beter onthouden worden.

Het tweede gedeelte van dit proefschrift is gericht op de integratie van retrieval in oefeningen voor woordenschatverwerving. Hoofdstuk 5 bevat een rapportage van drie experimenten waarin ik heb onderzocht welk effect verschillende soorten feedback en tips tijdens retrieval practice hebben op het woordleren van middelbare scholieren. Vervolgens bespreek ik in Hoofdstuk 6 het effect van contextuele

1 Deze samenvatting geeft een compact overzicht van de belangrijkste bevindingen van het proefschrift. De samenvatting is bedoeld voor een breed publiek. Een uitgebreidere samenvatting in het Engels is opgenomen in hoofdstuk 7, sectie 7.1.

2 Het oefenen van het reproduceren van informatie uit het geheugen (*retrieval*) wordt in deze samenvatting *retrieval practice* genoemd (van het Engelse woord *memory retrieval)*. De leerresultaten na retrieval practice worden vaak vergeleken met een controleconditie van herhaaldelijk doorlezen; deze wordt *herbestuderen* of *restudy* genoemd.



Figuur A.5 Een leerling vertaalt woorden uit het geheugen. Dit maakt het later herinneren van de woorden makkelijker. Het herhaaldelijk oproepen van informatie uit het geheugen (*retrieval practice*), bijvoorbeeld tijdens het overhoren, leidt tot betere langetermijnresultaten dan andere oefenmethoden zoals het herhaaldelijk doorlezen van informatie (*restudy*). Dit fenomeen wordt in de literatuur *testeffect* genoemd.

informatie tijdens retrieval op het woordleren aan de hand van drie experimenten met volwassen proefpersonen. Het proefschrift en deze samenvatting sluiten af met praktische aanbevelingen voor het gebruik van retrieval tijdens het woordleren.

DEEL I. *WAAROM* ZORGT RETRIEVAL PRACTICE ERVOOR DAT WOORDEN BETER WORDEN ONTHOUDEN?

REACTIETIJDMETINGEN

In Hoofdstuk 2 en 3 laat ik zien dat mensen die retrieval practice toepassen later niet alleen *meer* woorden uit het geheugen kunnen reproduceren (vergeleken met herhaling door restudy), maar deze woorden ook *sneller* reproduceren. Dit betekent dat een testeffect niet alleen de kans verhoogt op een correcte reproductie maar ook de snelheid van de reproductie. Ditbevestigt hypothesen uit de literatuur die stellen dat **retrieval door oefenen efficiënter** wordt. Mogelijk gaat elke keer wanneer een woord succesvol uit het geheugen gereproduceerd wordt, het vinden van dat woord in het geheugen makkelijker en sneller. De studies in dit proefschrift laten verder zien dat een voorwaarde voor het testeffect is, dat de retrieval tijdens het oefenen succesvol is. **Alleen wanneer de proefpersonen de woorden tijdens het oefenen uit het geheugen konden reproduceren, was retrieval practice voordelig voor het onthouden van woorden.**

METINGEN VAN HERSENACTIVITEIT

In hoofdstuk 3 en 4 worden neuro-imaging-data gepresenteerd die verzameld zijn terwijl proefpersonen in een scanner nieuwe woorden oefenden. Verschillen in hersenactiviteit tijdens retrieval en restudy practice werden met behulp van *fMRI* (functional magnetic resonance imaging) gemeten (zie figuur A.6). fMRI is gebaseerd op het verband tussen lokale neurale activiteit en veranderingen in de doorbloeding van de hersenen. De doorbloeding wordt hierbij gemeten op basis van de verschillende magnetische eigenschappen van zuurstofarm en zuurstofrijk bloed. De vergelijking van hersenactiviteit tijdens retrieval en restudy leidde tot twee hoofdresultaten:

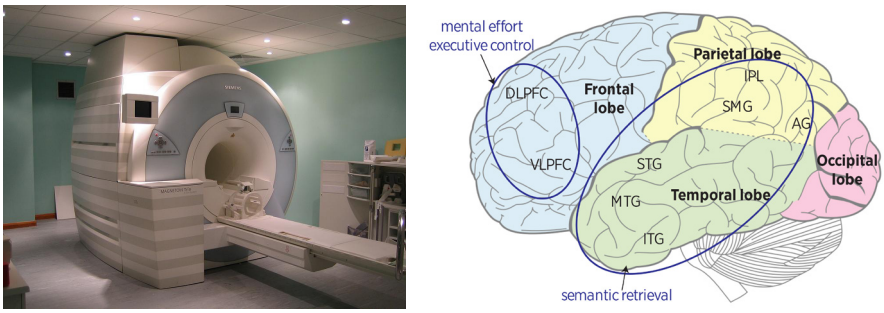
1. Retrieval vereist waarschijnlijk meer mentale inspanning dan restudy practice, wat gepaard gaat met hogere activatie in frontale hersengebieden. De inspanning neemt met herhaalde retrieval af evenals de frontale activatie.

Gebieden in het voorste gedeelte van het brein, in de ventrolaterale prefrontale cortex (kort: VLPFC, zie figuur A.6), vertoonden in de studies beschreven in hoofdstuk 3 en 4 een hogere activatie tijdens retrieval practice dan tijdens restudying. Deze gebieden zijn vaak actief wanneer taken mentale controle vereisen, dat wil zeggen concentratie en het bewust richten van aandacht. Dergelijke controle maakt het bijvoorbeeld mogelijk om relevante informatie te selecteren en afleidende, irrelevante informatie te negeren. **Hogere activatie in de VLPFC tijdens retrieval practice – vergeleken met restudying – duidt op een sterkere rol van mentale controle tijdens retrieval practice.** Over het algemeen leiden inspanning en gecontroleerde verwerking van informatie tot betere langetermijnresultaten dan verwerking zonder inspanning. Daarom zou de verhoogde inspanning tijdens retrieval een verklaring kunnen zijn voor testeffecten. Tegelijkertijd laten studies in hoofdstuk 4 zien dat tijdens herhaalde retrieval practice en na retrieval practice (vergeleken met restudy practice) de activatie van de VLPFC afneemt. Alles bij elkaar genomen suggereren deze resultaten dat **retrieval inspanning en gecontroleerde verwerking van informatie vereist maar door herhaaldelijk oefenen steeds minder moeite kost.**

2. Activatie in hersengebieden die belangrijk zijn voor semantische (betekenisvolle) verwerking duiden erop dat retrieval practice leidt tot een focus van aandacht op relevante informatie en hierdoor associaties versterkt die later het herinneren makkelijker maken.

Tijdens retrieval practice waren gebieden in de parietale en temporale cortex (inferior parietal lobe met SMG en AG, en middle temporal gyrus, zie figuur A.6) actiever wanneer de proefpersonen woorden oefenden die ze op een test na het oefenen nog bleken te kennen dan wanneer de proefpersonen woorden oefenden

die ze op de test vergeten bleken te zijn. De activiteit in deze hersengebieden was dus voorspellend voor het leerresultaat. Tijdens restudy was er daarentegen geen verschil tussen de onthouden en vergeten woorden; de hersenactiviteit tijdens het herhaaldelijk doorlezen was dus niet voorspellend voor het leerresultaat. Mogelijk komt dit door verschillen in de kwaliteit van de semantische (op betekenis gerichte) verwerking van de woorden tijdens retrieval en restudy, aangezien in de literatuur wordt aangenomen dat de betrokken hersengebieden een belangrijke rol spelen bij semantische verwerking. **Retrieval practice zou de aandacht tijdens het oefenen kunnen richten op relevante informatie die de retrieval mogelijk maakt,** zoals bijvoorbeeld ezelsbruggen die een link leggen tussen de spelling van nieuwe woorden en de woordbetekenis. Daarentegen was semantische verwerking tijdens restudy niet voorspellend voor het leerresultaat. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat meer irrelevante informatie geactiveerd wordt tijdens restudy omdat er sprake is van afleiding en minder doelgerichte verwerking.



Figuur A.6 Links: Foto van een MRI scanner. In hoofdstuk 3 en 4 worden resultaten gepresenteerd van neuro-imaging-studies waarin volwassenen nieuwe woorden oefenden door middel van retrieval of restudy practice in een MRI scanner (foto: Image Editor, 2006). De activatie van verschillende delen van de hersenen werd gemeten door middel van functional magnetic resonance imaging (fMRI), een techniek die gebaseerd is op de koppeling tussen neurale activiteit en veranderingen in de doorbloeding. Rechts: De illustratie laat de menselijke hersenen zien vanaf de linkerkant (gebaseerd op Carter, 1918). De meest belangrijke hersengebieden die in hoofdstuk 3 en 4 behandeld worden zijn hier gemarkeerd. Zie figuur 4.2 voor meer informatie.

DEEL II. HOE KAN RETRIEVAL PRACTICE GEBRUIKT WORDEN TIJDENS HET LEREN VAN NIEUWE WOORDEN?

FEEDBACK EN TIPS TIJDENS RETRIEVAL PRACTICE

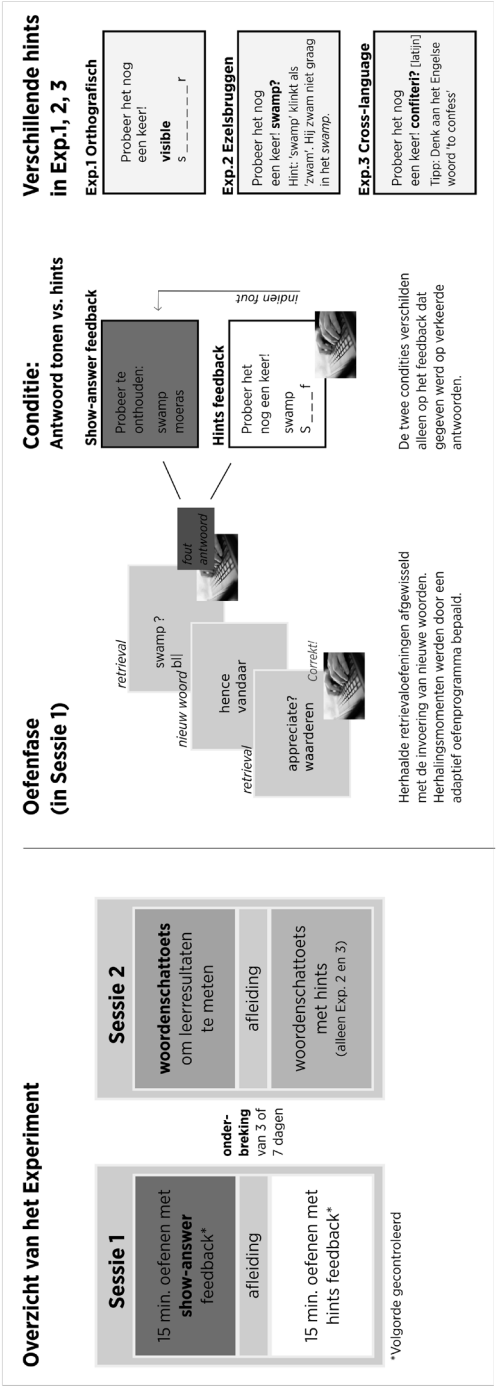
In het tweede gedeelte van het proefschrift heb ik het effect van retrieval tijdens woordenschatoefeningen onderzocht. In hoofdstuk 5 beschrijf ik hiervoor drie experimenten met middelbare scholieren die nieuwe woorden oefenden met behulp van een computerprogramma met retrieval practice. Verschillende soorten feedback werden vergeleken om te bepalen of tussentijdse tips het leerresultaat verbeteren.

Feedback verhoogt het positieve effect van retrieval practice omdat leerlingen hun fouten kunnen corrigeren en zekerder worden van hun antwoorden. Wanneer daarentegen een leerling een woord niet uit het geheugen kan oproepen en er geen feedback gegeven wordt, hebben retrieval-pogingen weinig nut. De meeste studies van retrieval practice bevatten daarom feedback waarin het correcte antwoord wordt vertoond. In hoofdstuk 5 onderzoek ik of feedback effectiever wordt wanneer de leerlingen eerst een tip krijgen waarmee ze zelf hun antwoord kunnen verbeteren (zie figuur A.7). Dit was in onze experimenten niet het geval.

De experimenten in hoofdstuk 5 lieten geen bewijs zien dat tips tijdens het oefenen nuttig zijn. Tips verminderden (herhaalde) fouten tijdens het oefenen niet en hadden ook geen positief effect op het leerresultaat op een latere toets. Integendeel, omdat het de leerlingen extra tijd kostte om de tips te verwerken, bleef minder tijd over om woorden te herhalen zodat de leerlingen in totaal minder woorden konden oefenen. Opvallend was dat leerlingen wel beter presteerden na het oefenen met tips (vergeleken met oefenen zonder tips) op een toets waarop dezelfde tips opnieuw beschikbaar waren. Dit duidt erop dat de leerlingen er wel beter in werden om de woorden met tips op te roepen uit het geheugen, maar hierdoor niet beter werden op een toets zonder tips. Mogelijk wordt de **woordkennis door het oefenen met tips deels afhankelijk van de latere beschikbaarheid van dezelfde tips.** Verder bleek dat oefenen met tips de leerresultaten niet verbeterde.

CONTEXTUELE INFORMATIE EN RETRIEVAL

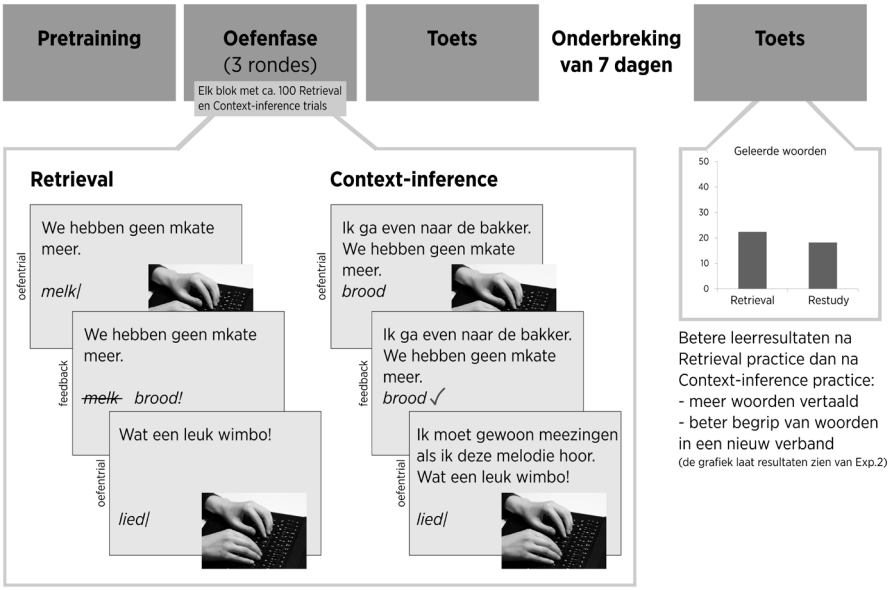
In hoofdstuk 6 beargumenteer ik dat **nieuwe woorden beter onthouden worden wanneer proefpersonen oefenen om de woorden uit het geheugen op te roepen (retrieval) dan wanneer ze de woorden uit een relevante, informatieve context afleiden.** De proefpersonen leerden nieuwe woorden (bijvoorbeeld het woord *funguo*) en oefenden deze woorden vervolgens óf in een niet-informatieve zin („Waar is de *funguo*?“) óf in een informatieve zin („Ik wil graag de deur op slot doen. Waar is de *funguo*?“). De proefpersonen moesten de woordbetekenis uit het geheugen oproepen wanneer woorden in de niet-informatieve zinnen aangeboden werden maar konden



Figuur A.7 In de experimenten die in hoofdstuk 5 beschreven worden, oefenden middelbare scholieren Engelse of Latijnse woorden met verschillende versies van een adaptief computerprogramma. Dit programma gebruikte een algoritme om de herhalingen van de woorden te baseren op gemiddelde vergeetcurves en vergrootte de tijd tussen herhalingen van hetzelfde woord geleidelijk. Wanneer leerlingen een fout maakten tijdens het oefenen, ontvingen zij óf feedback waarbij het antwoord getoond werd, óf feedback met tips. Deze tips verschilden in de drie experimenten. Geen van de tips verbeterde prestaties tijdens het oefenen of op een latere toets, behalve wanneer de test dezelfde tips bevatte die tijdens het oefenen aangeboden werden. Bovendien verminderden de tips de tijd die beschikbaar was voor verdere herhalingen.

de woordbetekenis uit de informatieve zinnen afleiden (hier: *funguo* = sleutel). De informatieve zinnen vergrootten dus de kans dat de proefpersonen de woorden tijdens het oefenen begrepen. Een test enkele dagen later liet echter zien dat de proefpersonen meer woorden onthielden na het oefenen met de niet-informatieve zinnen die retrieval uitlokten (zie ook figuur A.8).

De bevinding dat een niet-informatieve context leidt tot meer woordleren dan een informatieve context is tegen-intuïtief omdat contextuele informatie over het algemeen een nuttige bron van informatie is waarmee leerlingen nieuwe woorden kunnen begrijpen. Het is echter belangrijk om onderscheid te maken tussen begrip en leren: **wanneer een leerling een woord in context begrijpt, betekent dit niet automatisch dat de leerling het woord ook over de tijd heen onthoudt.** Hierop aansluitend liet hoofdstuk 6 zien dat een manipulatie die het makkelijker maakte



Figuur A.8 In de experimenten die in Hoofdstuk 6 besproken worden, bestudeerden de proefpersonen nieuwe woorden (bijvoorbeeld het woord *wimbo* = lied) en oefenden deze woorden vervolgens óf in een niet-informatieve retrieval zin („Wat een leuk wimbo!“) óf in een informatieve context-inference zin („Ik moet gewoon meezingen als ik deze melodie hoor. Wat een leuk wimbo!“). De proefpersonen moesten de woordbetekenis uit het geheugen oproepen wanneer ze met niet-informatieve zinnen oefenden, maar konden de woordbetekenis uit de informatieve zinnen afleiden. Het oefenen met de niet-informatieve zinnen leidde tot betere resultaten op toetsen onmiddellijk en meerdere dagen na het leren. De grafiek rechts vertoont exemplarisch de verschillen die in Experiment 2 gevonden werden.

om sleutelwoorden te begrijpen (namelijk de toevoeging van contextuele informatie tijdens het oefenen), het *minder* waarschijnlijk maakte dat de woorden over de tijd heen onthouden werden. De niet-informatieve context die retrieval vereiste, leidde tot betere langetermijnresultaten dan de informatieve context waaruit de betekenis afgeleid kon worden. Deze experimenten laten zien dat **testeffecten uitgelokt kunnen worden door de context waarin een woord verschijnt. Het verminderen van contextuele informatie kan retrieval nodig maken en hierdoor het leerresultaat verbeteren.**

CONCLUSIE EN PRAKTISCHE AANBEVELINGEN

Het ophalen van informatie uit het geheugen is geen simpel afspeelproces; elke retrieval verhoogt de toegankelijkheid van de opgehaalde informatie. Dit maakt retrieval een effectieve techniek om informatie op lange termijn te onthouden.

Dit proefschrift rapporteert data van gedragsstudies en neuro-imaging-studies naar de cognitieve mechanismen die ten grondslag liggen aan de positieve effecten van retrieval practice op het leren en onthouden van woorden. De resultaten wijzen erop dat retrieval inspanning vereist, maar toenemend makkelijker en sneller gaat met oefening. De reden hiervoor zou kunnen zijn dat retrieval de aandacht richt op informatie die relevant is om woorden uit het geheugen op te roepen, zoals het verband tussen de schrijfwijze en betekenis van nieuwe woorden.

De studies in dit proefschrift laten ook een aantal voorwaarden zien voor het succesvolle gebruik van retrieval practice in oefeningen voor vocabulaireverwerving, waaruit praktische aanbevelingen afgeleid kunnen worden voor het ontwerp van leersituaties.

Praktische aanbevelingen

- **Het oproepen van informatie uit het geheugen, bijvoorbeeld tijdens het overhoren, is een effectieve leerstrategie.** Bied belangrijke informatie niet alleen aan tijdens het oefenen maar laat leerlingen de informatie ook uit het geheugen reproduceren!
- **Combineer retrieval met feedback.** Feedback maakt het mogelijk voor leerlingen om informatie te bestuderen die ze nog niet uit het geheugen kunnen reproduceren. Zonder feedback hebben mislukte retrievalpogingen nauwelijks positieve effecten en kunnen fouten blijven bestaan.
- **Bied herhaaldelijk gelegenheid voor retrieval.** Zo kunnen oproepprocessen steeds gemakkelijker worden. Herhaling creëert ook nieuwe kansen tot succesvolle retrieval na een eerdere fout.
- **Pas de retrievaloefeningen aan op de vaardigheden van leerlingen! Idealiter is retrieval practice haalbaar maar inspannend.** Condities die de retrieval makkelijk maken leiden tijdens het oefenen tot goede prestaties en een (te) hoge inschatting van het eigen leerresultaat, maar op lange termijn tot slechtere resultaten. Zorg er bijvoorbeeld voor dat er voldoende tijd tussen herhalingen ligt zodat elke retrieval uitdagend blijft.
- **Pas de retrieval-situatie aan op het gewenste leerresultaat.** Zo verbetert het oefenen zonder tips de latere reproductie zonder tips. Daarentegen is de waarde van meerkeuzevragen voor het verbeteren van vrije reproductie beperkt. Zorg er daarom voor dat de manier van oefenen aansluit op de manier waarop leerlingen hun kennis later moeten kunnen gebruiken.
- **Maak onderscheid tussen de snelheid en het gemak van antwoorden tijdens het oefenen en de effecten van het oefenen op het leerresultaat.** Snelle antwoorden tijdens het oefenen zijn geen goede voorspellers van langetermijnresultaten wanneer de oefensituatie de retrieval makkelijk maakt, bijvoorbeeld door snelle herhaling van dezelfde woorden. Juist retrieval die inspanning vereist tijdens het oefenen zorgt voor een beter leerresultaat.
- **Creëer gelegenheid voor retrieval in verschillende leersituaties.** Een kleine aanpassing van een oefening kan al retrievalprocessen uitlokken, bijvoorbeeld wanneer een sleutelwoord eerst in een onduidelijke samenhang wordt aangeboden en de woordbetekenis pas later wordt uitgelegd.

BEELDRECHTEN

Figuur A.5:

Image Editor. (2006). *01 Siemens MAGNETOM Trio* [Digital image]. Retrieved from Flickr: https://www.flickr.com/photos/11304375@N07/3081315619/sizes/o/. Creative Commons Attribution License.

Carter, H.V. (1918). Principal fissures and lobes of the cerebrum viewed laterally. Figure 728 from H. Gray (Ed.), *Anatomy of the human body* (20th edition, revised by Warren H. Lewis). Philadelphia: Lea & Febiger. Image edited by O. Räisänen for wikimedia [Public domain]. Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lobes_of_the_brain_NL.svg