

Kennisopslag, vergeten en geheugen

Niels Taatgen, Carnegie Mellon University en Rijksuniversiteit Groningen.

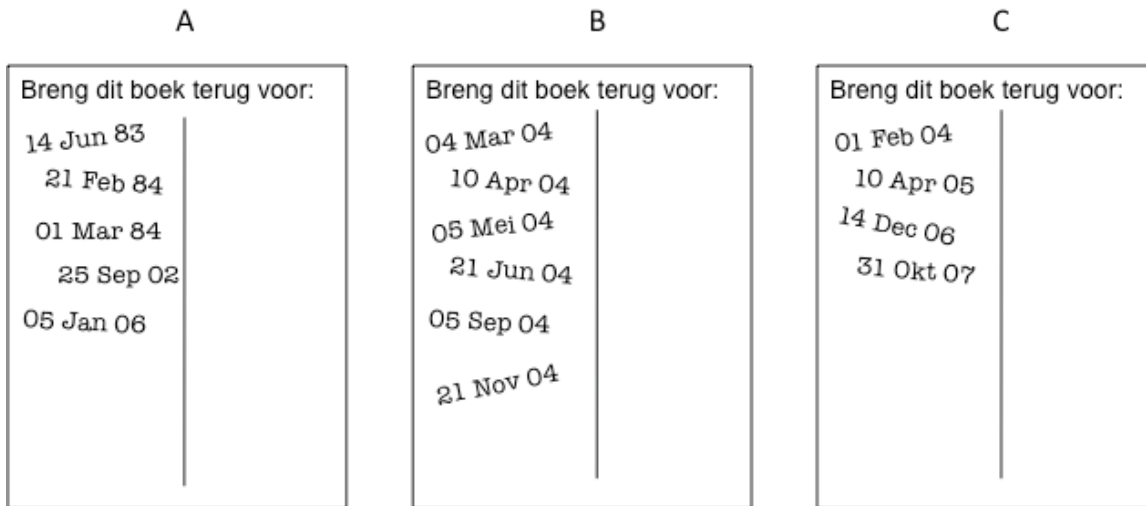
Inleiding

Geheugen wordt normaal gesproken geassocieerd met het onthouden van feiten. In het onderwijs staat het leren van feiten vaak centraal: het leren van tafels van vermenigvuldiging, buitenlandse vertalingen voor woorden, het leren van de landen in de Europese Unie of het leren van de voorzetsels die in het Duits altijd door een Dativ gevolgd worden. In dit hoofdstuk zullen we daarom ingaan op de vraag hoe feiten geleerd worden, en welke factoren bijdragen aan succesvol leren. In de psychologie wordt geheugen echter veel breder gezien dan een opslagplaats van feiten, en leren breder dan het verzamelen van feiten in het geheugen. Leren is grotendeels een onbewust proces, dat continu probeert de inhoud van het geheugen aan te passen aan de eisen van de buitenwereld. Als de eisen van de buitenwereld is dat we een lijstje Franse woorden moeten opsommen op een toets, dan zal het proberen hieraan te voldoen, evenals wanneer de eis is om Frans te spreken. Uiteraard ligt hier niet noodzakelijk dezelfde kennis aan ten grondslag.

Er zijn veel verschillende manieren om kennis in het geheugen te classificeren. Voor de doeleinden van dit hoofdstuk is het nuttig om een tweedeling te maken tussen *declaratieve* en *procedurele* kennis. Declaratieve kennis omvat de eerdergenoemde feitenkennis, maar daarnaast ook alle dagelijkse gebeurtenissen en ervaringen (dit laatste wordt ook wel *episodische* kennis genoemd). Gezamenlijk levert dit een stortvloed van invoer in het geheugen, waar slechts een klein deel daadwerkelijk van onthouden kan worden. Procedurele kennis bestaat uit vaardigheden: *hoe* moet ik een taak uitvoeren? Procedurele kennis is moeilijker te benaderen dan declaratieve kennis, want deze is onbewust, niet direct aan te leren, en vaak moeilijker te toetsen. Waar declaratieve kennis het beheersen van een lijst Franse woorden is, bestaat het daadwerkelijk spreken van de Franse taal grotendeels uit procedurele vaardigheden, en is dus voor veel soorten onderwijs een belangrijker leerdoel.

1. Het leren van feitenkennis

Hoewel ons geheugen oneindig groot lijkt, is dit niet het geval. Een goede metafoor voor het geheugen is een bibliotheek. Een bibliothecaris moet bijvoorbeeld beslissen welke boeken in de bibliotheek staan, en welke naar het magazijn moeten. Uiteraard is het bedoeling dat die boeken naar het magazijn gaan waarvan het onwaarschijnlijk is dat ze in de nabije toekomst uitgeleend gaan worden. Een mogelijke bron van informatie voor dergelijke beslissingen zijn de momenten waarop het boek uitgeleend is geweest. Stel dat 1 september 2008 is, en we drie boeken hebben waarvan er één naar het magazijn moet. Voorin elk boek zit een strook papier met stempels die aangeven wanneer het boek in het verleden uitgeleend is geweest (Figuur 1).



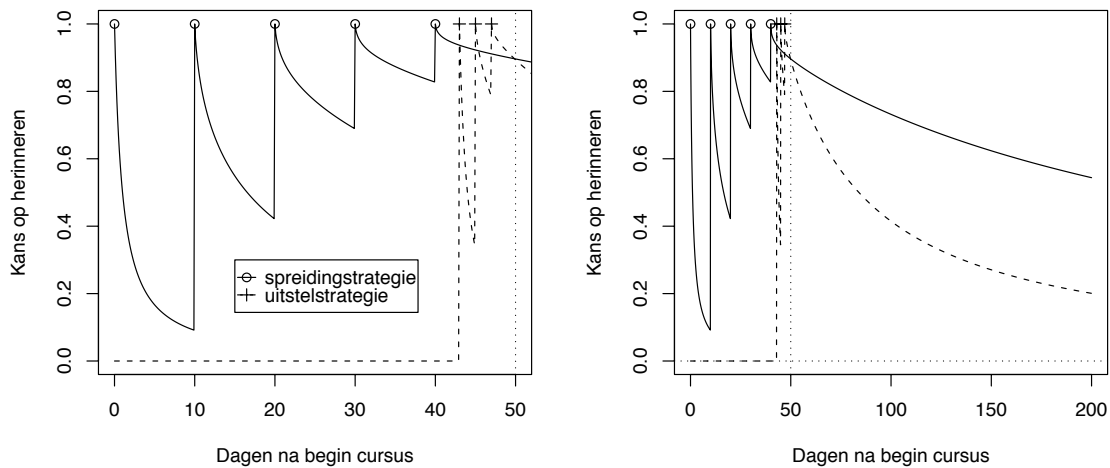
Figuur 1. Voorbeeld van bibliotheekboeken

Een mogelijkheid is om te kijken welk boek het minste stempels heeft, en die naar het magazijn te sturen. In dat geval zou boek C naar het magazijn gaan. Echter, niet alleen het aantal keren dat een boek in het verleden uitgeleend is geweest speelt een rol, maar ook hoe lang geleden een boek is uitgeleend. Boek B is het langst geleden uitgeleend, dus dat is een goede kandidaat om naar het magazijn te sturen volgens dat criterium. Wat tenslotte een rol zou kunnen spelen is het feit dat als het boek een aantal keren kort achter elkaar uitgeleend is geweest (zoals boek B), dit minder gewicht in de schaal legt dan wanneer een boek gespreid over een langere periode uitgeleend is geweest (zoals boek C).

Anderson en Schooler (1991) hebben situaties zoals het bibliotheekvoorbeeld onderzocht, en hebben in al die voorbeelden dezelfde wetmatigheden gevonden. Uit het psychologisch onderzoek dat zij vervolgens deden, bleek het menselijk geheugen aan dezelfde wetten te voldoen, kortom, het menselijk geheugen heeft zich ideaal aangepast aan de eisen van de buitenwereld. De drie factoren die we in het bibliotheekvoorbeeld hebben besproken komen daar terug. De kans dat een feit herinnerd kan worden hangt af van:

1. Frequentie: het aantal keren dat een feit in het verleden hetzij in het geheugen opgeslagen is, hetzij succesvol herinnerd is.
2. Recentheid: hoe lang geleden deze herinneringen waren.
3. Spreiding: hoe veel tijd er tussen de herinneringen zitten, hoe meer herinneringen zijn uitgespreid over de tijd, hoe groter de kans is dat het feit nog in het geheugen zit.

Deze factoren zijn soms in conflict met elkaar. Indien leerlingen leerstof over een bepaalde periode moeten leren, bijvoorbeeld een trimester, dan wordt hen vaak aangeraden om tijdig met het leren te beginnen. Dit is verstandig vanwege het spreidingscriterium. Echter, als de enige toetsing aan het eind van een periode plaatsvindt, dan lijkt de strategie om alles kort van te voren te leren meer efficiënt te zijn vanwege het recentheidscriterium. Figuur 2 illustreert echter het probleem.



Figuur 2. Kans dat een bepaalde feit herinnerd wordt als functie van tijd en leergeschiedenis.

De figuur illustreert een hypothetische onderwijsperiode met op dag 50 een toets. De ononderbroken grafiek representeert de spreidingstrategie waarin elk feit elke tien dagen wordt gerepeteerd, met totaal vijf herhalingen. Elke piek in de grafiek (met cirkel of plus) stemt overeen met een herhaling. De onderbroken grafiek geeft een uitstelstrategie weer waarin alle stof kort van tevoren wordt geleerd. Met deze strategie wordt de stof slechts drie keer herhaald. De y-as geeft aan hoe groot de kans is dat een bepaald feit op een bepaalde dag herinnerd kan worden. Uiteraard gaat die kans sterk omhoog met elke herhaling, en zakt daarna weer in. In dit voorbeeld bereiken beide strategieën hetzelfde kansniveau (ongeveer 90%) op het moment van de toets (dag 50). De uitstelstrategie had hier minder herhalingen voor nodig, en is dus effectiever als het enige doel is om de toets te halen. Echter, als we 150 dagen na de toets kijken (rechter grafiek in Figuur 2), dan is de spreidingstrategie beter: de kennis om een feit te herinneren is ongeveer 60%, terwijl die van de uitstelstrategie is teruggezakt naar 20%.

Deze analyse laat zien dat indien een onderwijsperiode één toets aan het eind heeft, de uitstelstrategie niet dom is, maar juist slim, maar alleen onder de aanname dat het halen van de toets het enige doel is (hetgeen, helaas, voor veel leerlingen het geval is). Dit voorbeeld laat zien dat het leerproces zich aanpast aan de eisen van de omgeving. Als de eis van de omgeving het halen van één toets is, dan zal het daar op optimaliseren. Het werkelijke doel van het leerproces is natuurlijk niet het halen van de toets, maar het voor een langere termijn leren van kennis. Om dit bereiken is het daarom beter om ook de toetsing over een langere termijn uit te smeren, bijvoorbeeld door meerdere toetsmomenten te introduceren in een onderwijsperiode. Deze toetsen moeten sterk overlappen in de stof die ze toetsen, net als de eisen die de buitenwereld later zal stellen aan de kennis. Een dergelijk regime stimuleert het meerdere keren bestuderen van dezelfde stof over de gehele onderwijsperiode, de spreidingstrategie, hetgeen retentie ook lang nadat de cursus is afgelopen bevordert.

1.2 De rol van de context

Behalve het aantal en de momenten van herhalingen speelt een andere factor een rol het leren van feiten: de context. Indien een feit in een context herinnerd moet worden die sterk lijkt op de context waarin het feit geleerd is, dan is de kans op succes groter. Als de context daartegen anders is kan herinneren bemoeilijkt worden. Ook dit is voorbeeld van hoe het leerproces zich probeert aan te passen aan de eisen van de omgeving. Een klassiek voorbeeld uit de psychologie is een experiment waarin duikers onder water een lijst woorden moeten leren, waarna ze beter zijn in herinneren van de woorden wanneer ze later weer onder water zijn, dan wanneer ze op het land zijn (en vice versa).

Le chien	De hond	der Anlaß - de aanleiding
Le boulanger	De bakker	die Anleitung - de (gebruiks)aanwijzing
Le cheval	Het paard	
Le livre	Het boek	die Anspruch - de eis
La table	De tafel	das Eis - het ijs
L'ami	De vriend	wenig Umgang - weinig aanspraak
Le temps	Het weer	

(a) (b)

Figuur 3. Voorbeelden van presentatie met irrelevante of verwarrende context

Een factor die het leren van feiten moeilijk kan maken is irrelevante context. Een methode om leerlingen een aantal Franse woorden te laten leren is om deze in een lijst te zetten, met de vertaling erachter in een aparte kolom (Figuur 3a). De leerling kan dan de kolom met Franse woorden afdekken, en proberen te vertaling te herinneren op grond van de Nederlandse vertalingen. Een nadeel van een deze methode is dat de leercontext irrelevant is. In een dergelijke lijst staat bijvoorbeeld de vertaling van "boek" onder die van "tafel". Dat betekent dat tijdens het leren de vertaling van tafel niet alleen met tafel, maar ook enigszins met boek geassocieerd wordt. Wanneer de vertaling van tafel echter later weer nodig is in een toets, of in een context waarin echt Frans gesproken moet worden, is de "boek" afwezig in de context, en is het dus moeilijker om de vertaling op te halen uit het geheugen.

De ergste vorm van het verschaffen van irrelevante en verwarrende context die ik ken is een leerboek voor moeilijke Duitse woorden. Nederlandse en Duitse woorden lijken vaak op elkaar, wat het leren makkelijk maakt. Echter, er zijn een groot aantal combinaties waarin deze gelijkenis juist niet opgaat, zo is "meer" in het Duits "See". In het betreffende boek werden al deze verwarrende combinaties verzameld, en voorzien van de juiste vertalingen (Figuur 3b). Door echter de woorden met zowel de juiste als de foute vertaling samen te presenteren, werden zowel associaties gelegd met het goede en het foute antwoord. Het geheugen kan geen onderscheid maken tussen "goede" en "foute" associaties, en het is daarom zaak om ervoor te zorgen dat foute associaties niet gelegd worden.

Een betere methode is om woorden zonder context te leren, bijvoorbeeld door de woordjes in een computerprogramma op te slaan, en deze de woorden in willekeurige volgorde te laten presenteren. Een dergelijk programma kan nog meer doen: bijhouden welke woorden de leerling al beheerst, en rekening houden met een optimale tijd tussen presentaties (Pavlik & Anderson, 2005).

Een wellicht nog betere oplossing is om woorden te leren in een context die er wel toe doet. Door woorden niet afzonderlijk te presenteren, maar in een betekenisvolle context kan het leren vergemakkelijkt worden, en is het ook mogelijk om de betekenis af te leiden zonder dat de vertaling expliciet gegeven hoeft te worden (tekst bevat meestal genoeg redundantie om ontbrekende betekenis aan te vullen). De "Delftse methode" maakt gebruik van dit idee (Sciarone & Montens, 1984). In een van de oefeningen in deze methode worden uit een stuk tekst in de te leren taal woorden verwijderd. De taak van de leerling is om de ontbrekende woorden in te vullen. In deze oefening moet een woord puur op basis van de context gekozen worden.

The first miles of the race were ___ steeply downhill. Unfortunately, the only thing to ___ at this point is to run with ___ rest of the crowd, because overtaking is ___ impossible, unless you want to expend energy ___ need later. Almost immediately after the start ___ was a small patch of trees with ___ of runners in them that had miscalculated ___ water management. The first three miles was ___ matter of running with the crowd, and ___ the atmosphere.

Figuur 3. Voorbeeld van de Delftse methode. Elk achtste woord moet ingevuld worden.

Figuur 3 laat een voorbeeld zien van een dergelijke oefening. Het voordeel is niet alleen dat context nu een positieve invloed heeft op het leerproces, maar dat de oefening veel dichter staat bij hoe een vreemde taal in praktijk gebruikt moet worden. We willen immers dat leerlingen zelf de vreemde taal kunnen genereren in een bepaalde context, in plaats van dat ze een taaluiting eerst in het Nederlands formuleren, en deze vervolgens in de vreemde taal opzetten.

1.3 Impliciete kennis

Discussies over het leren van feiten geven eigenlijk een verkeerd beeld van leren: de indruk wordt gewekt dat leren vooral bestaat uit het expliciet stampen van kennis. In werkelijkheid is leren een proces dat continu in werking is, en dat feiten en regelmatigigheden in de omgeving zoekt en opslaat. De meest duidelijke voorbeelden van dit soort leren zijn onderzoeken naar impliciet of onbewust leren. In een klassiek experiment liet Reber (1967) proefpersonen kunstmatige woordjes zien die geconstrueerd waren aan de hand van een verzameling regels (een z.g. kunstmatige grammatica). Aan de proefpersonen werd verteld dat ze moesten proberen de woordjes te onthouden. Na het bestuderen van de woordjes werden nieuwe woordjes getoond. Sommige van deze nieuwe woordjes voldeden aan de grammatica, terwijl anderen er net niet aan voldeden. Aan proefpersonen werd gevraagd te beoordelen of de nieuwe woorden in dezelfde groep horen als de bestudeerde woorden of niet. Het bleek dat proefpersonen redelijk goed in staat waren deze indeling te maken, ondanks het feit dat ze niet in staat waren om hun

kennis te verwoorden. Reber's conclusie was dat de proefpersonen impliciete of onbewuste kennis hebben opgedaan in het experiment die ze niet kunnen verwoorden, maar wel kunnen gebruiken.

Impliciete kennis lijkt ook ten grondslag te liggen aan kennis van categorieën. Een oude filosofische discussie is hoe objecten gedefinieerd kunnen worden: wat maakt een stoel een stoel? Bijna elke poging om regels te formuleren (b.v., moet vier poten en een zitvlak hebben) lijkt te mislukken, omdat er altijd uitzonderingen op te vinden zijn. Niettemin is het indelen van objecten in categorieën iets wat mensen moeiteloos kunnen, ondanks het feit dat het bijna onmogelijk is om de kennis die er ten grondslag aan ligt te verwoorden. De categorisatie theorie van Nosofsky en Palmeri (1997) stelt dat mensen categorieën met name aan de hand van voorbeelden leren. Dus in plaats van een definitie van een stoel hebben we een rijke verzameling van voorbeelden van stoelen in ons hoofd. Als we vervolgens van een onbekend object moeten bepalen wat het is, bepalen onze hersenen op welk bekend voorbeeld het nieuwe object het meeste lijkt. Als de gelijkennis voldoende is, dan besluiten we dat het nieuwe object tot die categorie behoort, en als de gelijkennis onvoldoende is, dan besluiten we dat er sprake is van een nieuwe categorie. Deze methode lijkt ook gebruikt te kunnen worden om het leren van kunstmatige grammatica's te kunnen verklaren, en andere verschijnselen die met impliciet leren te maken hebben. Een andere vorm van onbewuste kennis is procedurele kennis, die met name nodig is voor het representeren van vaardigheden.

2. Vaardigheden

Hoewel het leren van vaardigheden waarschijnlijk veel belangrijker is dan het leren van feiten, zijn veel aspecten van vaardigheden lastig te onderzoeken. Een eerste probleem is dat vaardigheden niet direct te verbaliseren zijn. Zo is het wel mogelijk om uit te zeggen wat de Franse vertaling van *tafel* is, maar niet zo makkelijk om uit te leggen hoe een Franse zin gemaakt moet worden. De toetsing van vaardigheden is dan ook lastiger dan die van feitenkennis. Het toetsen van een vaardigheid behelst meestal het aanbieden van nieuwe problemen die de leerling nog niet eerder gezien heeft.

De best bestudeerde voorbeelden van vaardigheden in het onderwijs komen uit rekenen en wiskunde. In tegenstelling tot les in taal worden bij rekenen en wiskunde vaardigheden vaak expliciet aangeleerd. Een veel bekend voorbeeld is het maken van kolomoptellingen en -aftreksommen. Om een kolomaftreksom te maken moet een procedure gevolgd worden, die niet direct intuïtief is: kolommen worden van rechts naar links een voor een uitgerekend. Een complicerende factor is het *lenen*, waarbij informatie van de ene naar de andere kolom moet worden meegenomen. Omdat de hele procedure tamelijk gecompliceerd is, wordt deze vaak in stappen aangeleerd. Eerst moet een leerling in staat zijn om enkelvoudige aftreksommen te doen. De eerste stap is om een aftreksom te doen waarin niet geleend hoeft te worden. Als leerlingen dit eenmaal beheersen, kan het lenen worden toegevoegd. Young en O'Shea (1981) hebben de kennis die nodig is voor aftreksommen geformaliseerd in een verzameling regels (Figuur 4).

ALS je nog geen kolom hebt DAN begin met de meest rechtse kolom	ALS je een kolom gekozen hebt DAN lees de getallen in deze kolom en noem de bovenste B en de onderste O
ALS B groter is dan of gelijk is aan O DAN is ANTWOORD het verschil tussen B en O	ALS ANTWOORD bekend is DAN schrijf ANTWOORD onder de huidige kolom
ALS ANTWOORD is opgeschreven en de huidige kolom is de meest linkse kolom DAN ben je klaar	ALS ANTWOORD is opgeschreven en de huidige kolom is niet de meest linkse kolom DAN ga verder met de kolom links van de huidige kolom
ALS B kleiner is dan O DAN moet er geleend worden	ALS er geleend moet worden DAN trek één af van de bovenste rij links van de huidige kolom en tel 10 op bij B

Figuur 4. Procedurele kennis voor kolomaftreksommen

Het aantrekkelijk van de regelrepresentatie is dat deze kan verklaren waarom het gefaseerd aanleren van een vaardigheid werkt. Voor aftreksommen zonder lenen zijn alleen de eerste zes regels nodig uit Figuur 4. Deze kunnen dus afzonderlijk worden aangeleerd. Om de uitbreiding naar lenen te maken is het dan alleen nog nodig om de laatste twee regels uit de tabel te leren. Daarnaast bleek dit regelsysteem nuttig te zijn om bepaald foutpatronen te kunnen verklaren. Een veelgemaakte fout is om het verschil tussen het bovenste en onderste getal als antwoord voor een kolom te geven, zelfs als het onderste getal groter is dan het bovenste. Dit duidt erop dat de regel dit het antwoord bepaalt te algemeen is, en niet test of B wel groter is dan O.

Kenmerkend voor vaardigheidskennis is dat deze algemeen is: het recept voor aftreksommen is toepasbaar op willekeurige aftreksommen van willekeurige lengte. Verder is kenmerkend voor vaardigheidskennis dat deze de vorm aanneemt van koppelingen tussen bepaalde *condities* (zoals "B is kleiner dan O") en *acties* ("schrijf ANTWOORD onder de huidige kolom"). Bij het aanleren van vaardigheden ligt meestal de nadruk op de sequentie van acties, en minder op de condities die moeten gelden voor een actie genomen kan worden. Daarom komt de fout bij aftreksommen waarbij niet gecontroleerd wordt of B groter is dan O zo vaak voor.

Een opdeling van een vaardigheid in regels kan vaak een vruchtbare basis vormen voor een *cognitive tutor*. Cognitive tutors zijn computerprogramma's die een model hebben van de kennis die de leerling moet leren (het *expert model*). Maar daarnaast houden ze ook een studentmodel bij, waarin bijgehouden wordt welk deel van het expert model al door de leerling beheerst wordt, en in welke mate. Het studentmodel wordt gebruikt om opgaven te selecteren, namelijk opdrachten die aspecten van het probleem oefenen die de leerling nog niet voldoende beheerst. Daarnaast kan het studentmodel gebruikt worden om op maat gesneden hulp te bieden. Een probleem bij het beoordelen van vaardighedenkennis is dat deze niet direct getoetst kan worden, je kunt niet, zoals bij feitenkennis, direct naar de kennis vragen. De kennis kan echter indirect getoetst worden door een leerling opgaven te laten maken, en daarbij nauwkeurig alle handelingen te beoordelen. Terwijl de leerling opgaven maakt, wordt het studentmodel aangepast: als een leerling een fout maakt in een bepaalde stap is dit evidentie dat hij die specifieke

vaardigheid nog onvoldoende beheerst, terwijl een juiste oplossing evidentie is dat de deelvaardigheid tot op zekere hoogte beheerst wordt.

Dit systeem van cognitive tutors is buitengewoon succesvol gebleken in het aanleren van Algebra (en andere vaardigheden) in de Verenigde Staten. Leerlingen die gebruik maakten van de tutor scoorden 50-100% beter op de toets, en later 15-20% hoger op de SAT Math test (Koedinger, Anderson, Hadley & Mark, 1997).

2.1 Hoe worden vaardigheden geleerd?

Hoewel er verschillende theorieën zijn over het aanleren van vaardigheden, is een van de dominante theorieën dat een vaardigheid geleerd wordt uit declaratieve kennis (Anderson, 1982; Taatgen & Anderson, 2002). Deze declaratieve kennis kan op verschillende manieren verworven zijn. Een eerste mogelijkheid is dat de nieuwe procedurele regel gebaseerd is op een aantal ervaringen die als impliciete kennis in declaratief geheugen zijn opgeslagen. Neem als voorbeeld het rechtsaf slaan op een fiets. De meeste mensen zullen zich er niet van bewust zijn dat ze, bij het maken van de bocht, eerst naar links sturen, en vervolgens pas naar rechts. Deze vaardigheid is waarschijnlijk ontstaan op basis van een serie ervaringen met een bocht naar rechts nemen, waarbij de eerst-naar-links-dan-naar-rechts ervaringen tot een betere bocht leidden. Deze ervaringen hebben vervolgens samen geleid tot het ontwikkelen van de stuurvaardigheid.

Het direct leren van een vaardigheid uit ervaringen is met name efficiënt als er een vrij directe koppeling is tussen de actie en de feedback op die actie. Dit wordt lastiger als een vaardigheid uit een serie van acties bestaat, waarbij alleen na de laatste actie feedback verkregen wordt. Zo is het vrij onwaarschijnlijk dat de vaardigheid van het maken van aftreksommen door de leerling zelf ontdekt wordt. In plaats daarvan worden veel vaardigheden aangeleerd door middel van instructie, hetzij letterlijke instructie, hetzij door imitatie. Recepten zijn een vorm van instructie, bijvoorbeeld het volgende recept voor een cake:

1. Breng de eiwitten op kamertemperatuur in ongeveer 1 uur
2. Zeef de bloem, poedersuiker en de kaneel drie keer
3. Klop de eiwitten met een mixer tot er zich pieken vormen
4. Voeg met twee eetlepels tegelijk de suiker toe aan de eiwitten, en klop telkens tot er pieken ontstaan.
5. Voeg voorzichtig 1/4 van de bloem toe aan de eiwitten en schep dit er voorzichtig door. Herhaal tot alle bloem is toegevoegd.
6. Giet het mengsel in een cakevorm van 25 cm. Bak 40-45 minuten met een temperatuur van 280 graden of tot de bovenkant terugspringt wanneer je deze indrukt.

Kenmerkend voor dit recept, en allerlei vormen van instructie, is dat het bestaat uit een lijst van acties. De lijstvorm geeft aan in welke volgorde de acties moeten worden uitgevoerd. Soms is deze volgorde noodzakelijk, bijvoorbeeld stap 4 moet na stap 3 gedaan worden, maar niet altijd: stap 2 kan ook na stap 4 gedaan worden. Op zich is dit niet zo erg, want de goede verstaander kan dit bij het lezen van het recept wel afleiden. Een sterkere beperking komt uit het feit dat het in het recept niet duidelijk is waarom een bepaalde actie nodig is. Waarom moeten eiwitten kamertemperatuur hebben, en hoe erg is het als dit niet het geval is? Waarom moeten de bloem, poedersuiker en kaneel drie

keer gezeefd worden? Is het mogelijk om een variatie op de cake te maken, bijvoorbeeld, door rozijnen toe te voegen, een ander vorm te gebruiken? Biochemica en kookboekenschrijfster Shirley Corriher (2008) onderzocht bijvoorbeeld de noodzaak van zeven, en kwam erachter dat dit nergens voor nodig is: het is bij bloem uit de supermarkt niet nodig om onregelmatigheden uit de bloem te verwijderen, en als het om het mengen van de ingrediënten gaat is doorroeren veel efficiënter dan zeven.

Een fundamentele tekortkoming van recepten is dat ze je meestal nauwelijks helpen om een betere kok te worden. Recepten bevatten onvoldoende informatie om nieuwe bouwstenen te leveren voor nieuwe recepten (althans, niet zonder trial-and-error en daardoor veel platte cakes). Wat ontbreekt is informatie over onder welke omstandigheden een bepaalde actie moet worden genomen, en wat het verwachte effect van een actie is.

Taatgen, Huss, Dickson en Anderson (2008) hebben een experiment gedaan waar in het leren van instructies werd bestudeerd. Het domein van studie betrof *Flight Management Systems* in moderne commerciële vliegtuigen. Flight Management Systems (FMS) zijn geavanceerde automatische-pilootsystemen die een piloot in staat stellen om een complete route in te voeren, waarna het vliegtuig deze kan vliegen zonder verdere interventie. Tijdens de vlucht moeten er echter vaak correcties uitgevoerd worden, zoals een omweg vanwege slecht weer, of een wachtpatroon als een vliegveld te druk is. Deze correcties moeten ingevoerd worden door een serie van acties die piloten leren in de vorm van zogenaamde procedures. Gevorderde piloten leren deze procedures tijdig een half-jarig onderwijstraject. De training bestaat uit het hoofd leren van een serie zogenaamde procedures. Elke procedure bestaat uit een lijst van acties, vergelijkbaar aan het recept: de acties moeten in volgorde worden uitgevoerd, maar het is niet duidelijk wat de functie is van individuele acties, noch onder welke omstandigheden die moeten worden uitgevoerd. Als alle procedures geleerd zijn, moeten piloten deze oefenen in (dure) simulatoren. Simulatorinstructoren klagen er echter over dat de procedures die piloten geleerd hebben nauwelijks nut hebben: zodra ze in de simulator beginnen lijkt het alsof ze nog niets weten. Uit onderzoek naar de kwaliteit van dit trainingsprogramma is gebleken dat piloten moeite hebben met het onthouden van de abstracte instructies, en ook slecht in staat zijn geleerde kennis generaliseren naar andere situaties. Verder vergeten ze procedures die niet vaak gebruikt worden (Sherry, Polson, Fennel & Feary, 2002).

In het experiment met de FMS om het leerprogramma te onderzoeken kregen twee groepen proefpersonen twee soorten instructies, de klassieke lijstinstructies, en instructies waarin bij elke actie werd aangegeven wanneer deze toegepast moest worden, en wat het resultaat van de actie was, de z.g. context instructies. Na de instructie moesten de proefpersonen in een FMS simulatie het geleerde in praktijk brengen. De problemen die proefpersonen moesten oplossen bestonden uit problemen die opgelost konden worden met de geleerde procedures, maar ook uit problemen waarbij proefpersonen enige creativiteit moesten vertonen, door de geleerde kennis te generaliseren naar een nieuwe situatie. Daarnaast kregen de proefpersonen problemen die al gedeeltelijk opgelost waren. Ze konden daarom niet gewoon bij het begin van een instructie beginnen, maar moesten eerst de toestand van een probleem herkennen. Als laatste kregen proefpersonen gedeeltelijk opgeloste problemen waarbij een fout was geïntroduceerd. Bij de problemen moest dus eerst de fout hersteld worden voordat de procedure voltooid kon worden.

De resultaten wezen uit dat context instructies tot betere resultaten leidden, zowel wat betreft correct opgeloste problemen, als wat betreft de tijd die nodig was om de oplossing te bereiken. Dit verschil was met name groot voor problemen die niet met de standaard instructies opgelost konden worden, maar wat meer creativiteit vergden.

Wat het cake voorbeeld demonstreert en het FMS onderzoek aantoont is dat een lijst acties leidt tot zeer beperkte vaardigheden. Door instructies uit te breiden met de context waarin ze uitgevoerd moeten worden en het doel dat bereikt kan worden, worden de geleerde vaardigheden flexibeler en meer robuust. Ook het voorbeeld van aftreksommen uit Figuur 4 laat zien dat een vaardigheid niet alleen bestaat uit een sequentie van acties, maar ook uit kenniselementen die de context aangeven waarin een actie moet worden uitgevoerd: in de ene context moet een antwoord worden uitgerekend, terwijl in een andere context er eerst geleend moet worden.

Het uitbreiden van instructies kan een aantrekkelijk alternatief zijn in de discussie tussen probleemgestuurd onderwijs en klassieke instructie. Het nadeel van klassieke instructie is, zoals we gezien hebben, dat het kan leiden tot niet-robuste vaardigheden, en weinig begrip. Probleemgestuurd onderwijs probeert dit nadeel te ondervangen door leerlingen de kennis zelf te laten ontdekken door ze geschikt gekozen problemen te laten oplossen. Leerlingen construeren daardoor zelf hun kennisstructuren, waarbij het waarschijnlijker is dat ze het doel van de acties ontdekken, en ook de condities waaronder deze moeten worden uitgevoerd. Er zijn echter ook twee mogelijke nadelen. Een eerste nadeel is dat de methode het wel aannemelijker maakt dat de juiste kennis geleerd wordt, maar het niet garandeert. Met name zwakkere leerlingen kunnen hier onder lijden. Een tweede nadeel is dat probleemgestuurd onderwijs arbeidsintensief is, en dat het leren relatief langzaam is omdat veel tijd gependend wordt aan het exploreren van mogelijke oplossingen.

3. Conclusies

Hoewel mensen over meerdere leerprocessen en geheugensystemen beschikken, loopt er toch een rode draad door het onderzoek naar hoe leren zo succesvol mogelijk kan zijn, en dat is dat de omstandigheden waaronder geleerd wordt zoveel mogelijk moeten overeenkomen met de omstandigheden waaronder de kennis zal worden toegepast. Het meerdere keren toetsen van (dezelfde) kennis gedurende een onderwijsperiode voldoet hieraan, omdat de aangeleerde kennis over een langere periode nodig zal zijn. Het bij elkaar zetten van verwarrende Duitse woorden schendt dit principe, omdat in werkelijkheid deze woorden nooit samen gebruikt worden, maar juist uit elkaar gehouden moeten worden. De Delftse Methode voldoet juist weer aan het principe, omdat het invullen van ontbrekende woorden sterk lijkt op een situatie waarin zelf taal geproduceerd moet worden.

Ook onderzoek naar het leren van vaardigheden is hier consistent mee: als we een vaardigheid leren als een lijst van acties, dan kunnen we alleen die specifieke sequentie uitvoeren. Als het leerproces het daartegen al noodzakelijk maakt om kennis te generaliseren, hetzij door uitgebreide instructie, hetzij door probleemgestuurd onderwijs, dan zal de resulterende vaardigheid ook meer robuust en flexibeler zijn.

Een geruststellende gedachte is dat onze leercapaciteit er altijd op gericht zal zijn datgene te leren wat we nodig hebben. Als tijdens onderwijs kennis suboptimaal geleerd wordt, en we hebben deze kennis daadwerkelijk later weer nodig, dan zal het leerproces dit later zelf corrigeren. Uiteraard is het efficiënter om het de eerste keer meteen goed te leren.

Referenties

- Anderson, J. R. & Schooler, L. J. (1991). Reflections of the environment in memory. *Psychological Science*, 2, 396-408.
- Corriher, S. O. (2008). *Bakewise, the hows and whys of successful baking with over 200 magnificent recipes*. New York: Scribner.
- Koedinger, K. R., Anderson, J.R., Hadley, W.H., & Mark, M. A. (1997). Intelligent tutoring goes to school in the big city. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 8, 30-43.
- Nosofsky, R. M. & Palmeri, T. J. (1997). An exemplar-based random-walk model of speeded classification. *Psychological Review*, 101, 608-631.
- Pavlik, P. I., Jr., & Anderson, J. R. (2005). Practice and forgetting effects on vocabulary memory: An activation-based model of the spacing effect. *Cognitive Science*, 29, 559-586.
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 855-863.
- Sciarone, A. G. & Montens, F. (1984). *Hoe leer je een taal? De Delftse methode*. Meppel: Boom.
- Sherry, L., Polson, P., Fennell, L., & Feary, M. (2002). *Drinking from the fire hose: Why the FMC/MCDU can be hard to learn and difficult to use* (Honeywell Publication No. C69-5370-022). Morristown, NJ: Honeywell.
- Taatgen, N. A., Huss, D., Dickison, D. & Anderson, J. R. (2008). The acquisition of robust and flexible cognitive skills. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(3), 548-565.
- Young, R. M. & O'Shea, T. (1983). Errors in children's subtraction. *Cognitive Science*, 5, 153-177.