

GI PEDAGOGY: BRUIKBARE PEDAGOGIE VOOR HET LESGEVEN MET GIS

Een docentenmodel voor het sensibiliseren van duurzame ontwikkeling met gebruikmaking van geo-informatie.

Luc Zwartjes¹, Miguel Ángel Puertas-Aguilar², Brendan Conway³,
María-Luisa de Lázaro-Torres⁴, Rafael de Miguel González⁵, Karl Donert⁶,
Michaela Lindner-Fally⁷, Alan Parkinson⁸, Diana Prodan⁹, Sophie Wilson¹⁰

1. Universiteit Gent, België

2. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, Spanje.

3. St Mary's University, Twickenham, Verenigd Koninkrijk

4. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, Spanje

5. Universidad de Zaragoza, Spanje

6. EUROGEO, België

7. BORG Oberndorf, Oostenrijk

8. King's Ely School, Verenigd Koninkrijk

9. Dimitrie Cantemir High School, Iași, Roemenië

10. St Mary's University, Twickenham, Verenigd Koninkrijk

1. Inleiding

De revolutie op het gebied van geografische informatie en “cloud computing” heeft nieuwe leermethoden in het klaslokaal mogelijk gemaakt. Georuimtelijke vaardigheden kunnen worden verbeterd door gebruik te maken van webGIS. De toenemende hoeveelheid vrij beschikbare geo-informatie (GI) onderstreept de noodzaak om geotechnologieën in het onderwijs op middelbare scholen te integreren. Tegelijk heeft ESRI de ArcGIS Online-familie van apps, zoals Survey123, Field Maps of StoryMaps, gratis ter beschikking gesteld van alle scholen wereldwijd, zodat het mogelijk is om er gemakkelijk toegang toe te krijgen. Het is dus essentieel om zowel ‘ervaren’ leerkrachten als beginnende leerkrachten op te leiden in het onderwijzen en leren met behulp van GIS-technologieën op een innovatieve pedagogische manier om Krachtig Geografisch Denken (Powerful Geographical Thin-

king) te ondersteunen en te voldoen aan de behoeften van de Sustainable Development Goals (SDG's).

GIS is een krachtig instrument dat kan worden gebruikt om de wereld te onderzoeken en te verkennen, maar mag niet alleen “iets anders zijn om te onderwijzen”, aangezien het een duidelijker instructie over de inhoud van een vak mogelijk maakt en het onderwijs doeltreffender maakt. GIS is het perfecte instrument voor het onderwijzen en bereiken van ‘krachtige kennis’ (Young et al. 2013) en het toepassen van cognitieve wetenschap in projecten zoals het GeoCapabilities project (Solem et al, 2013; Biddulph et al., 2020) dat de ontwikkeling van dergelijke kennis binnen de geografie heeft onderzocht. GIS moet in het gehele curriculum en in alle vakken worden geïntegreerd, en moet gefaseerd bij de leerlingen worden geïntroduceerd, om cognitieve overbelasting te voorkomen. Zonder regelmatige mogelijkheden om GIS te

gebruiken, zullen de leerlingen er in occasionele lessen mee in aanraking komen, maar zullen zij het waarschijnlijk binnen korte tijd vergeten. Periodieke herziening en de gestage verwerving van leerblokken (schema's) zijn belangrijk. Al deze vragen houden verband met pedagogie.

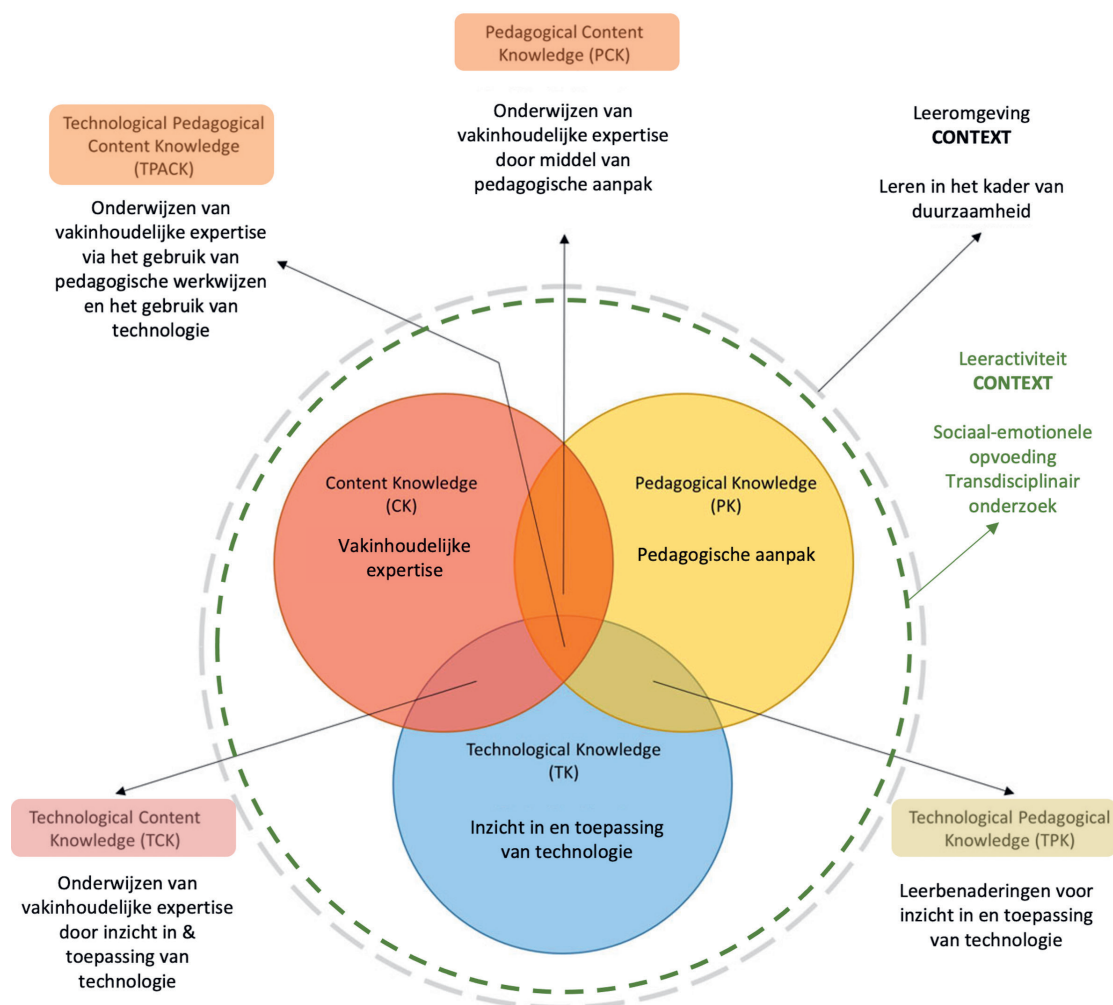
Voor de periodieke herziening van de vaardigheden met GIS heeft het in 2018 beëindigde GI Learner project – gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek – een leerlijn gecreëerd met 10 essentiële competenties die aan bod moeten komen in het secundair onderwijs. Elke competentie heeft verschillende niveaus van complexiteit. Voor de 6 jaren van het secundair onderwijs werden voorbeelden uitgewerkt, alsook de mogelijkheid om via zelfevaluatie bij de leerlingen de evolutie in de competenties te evalueren. Al dit materiaal is beschikbaar op de website van het GI Learner project: www.gilearner.eu.

Een beperking van GI Learner was dat het ontwikkelde materiaal eerder gericht is naar zelfstandig werken door de leerlingen, waarbij de leraar de rol van coach vervult maar waarbij controle op wat inhoudelijk is blijven hangen ontbreekt. Toegepast op het bekende TPACK model: GI Learner focust

vooral op Content Knowledge (thema's die aan bod komen) en Technological Knowledge (gebruik van GI tools zoals GIS), de Pedagogical knowledge komt veel minder aan bod.

Het GI Pedagogy project is hierop een antwoord. Het wil leerders ondersteunen bij het identificeren van de beste manieren om les te geven met en over GIS, met een focus op de pedagogie: hoe pak je de les aan, welke lesfasen, welke methodieken om vooruitgang bij de leerling vast te stellen ...

Er wordt in GI Pedagogy ook een focus gelegd op onderwijs voor duurzaamheid, niet simpelweg als een 'toevoeging' aan bestaande structuren en curricula, maar als een verandering die gebaseerd is op het vermogen om te reageren op de huidige crisis en gebruik te maken van kansen (Sterling, 2004). Affectieve aspecten in de onderwijspraktijk zijn belangrijk, omdat veel van wat de leraar weet en doet samenhangt met zijn eigen emotionele toestand en motivatie, en dit beïnvloedt direct het leren van de leerlingen. Bewustwording van het belang van het affectieve domein in emoties in relatie tot de inhoud die wordt onderwezen, verandert dus attitudes en verbetert de effectiviteit van het lesgeven (Puertas et al., 2021, Figuur 1).



Figuur 1: Aangepast TPACK-model gebaseerd op Rickles et al. (2017), Mirsha (2019) en Puertas et al. (2021)

2. Het belang om de doelstellingen inzake duurzame ontwikkeling te bereiken.

De educatieve waarde van aardrijkskunde om leerinhouden te ontwerpen en te ontwikkelen die het begrip van de huidige wereld en de Duurzame Ontwikkelingsdoelen (SDG's) vergemakkelijken, vereist dat studenten vaardigheden ontwikkelen zoals kritische analyse; systemische reflectie, bijvoorbeeld over de onderlinge relaties tussen grondgebied, landschap en samenleving, in de echte en virtuele wereld; verantwoordelijkheid ten opzichte van toekomstige generaties om in te grijpen in de opbouw van een duurzame toekomst en om de basiscomponenten van burgerschap en leven in de samenleving te vergemakkelijken; en het vermogen om reflectieve, goed geïnformeerde en samenwerkende beslissingen te nemen (Murga-Menoyo, 2015). Op deze manier moet het onderwijs ervoor zorgen dat alle studenten de theoretische en praktische kennis verwerven die nodig is om duurzame ontwikkeling te bevorderen en duurzame levensstijlen aan te nemen, met een onderwijs dat zich richt op de vorming van de hele persoon, begrepen als lid van de levensgemeenschap die de biosfeer vormt; tegelijkertijd eco-afhankelijk en met morele verantwoordelijkheid voor het leven op de planeet (Murga-Menoyo, 2020).

In die zin is overheidsbeleid om onderwijs voor duurzame ontwikkeling (Educatie voor Duurzame Ontwikkeling - EDO) in alle formele, niet-formele en informele leercontexten te integreren, een sleutelfactor. Het leerplan kan een middel tot verandering zijn in niet-universitaire onderwijssystemen, en dus ook in de lerarenopleiding. Maar het is ook van essentieel belang dat ze in de leerplannen en de nationale kwaliteitsnormen worden geïntegreerd, dat er indicatoren komen die normen voor de leerresultaten vastleggen en dat er bij de universiteiten een politieke wil bestaat om in deze richting te werken. De integratie van EDO in competenties, lerarennormen, certificering en accreditatie van leraren en lerarenopleidingen zou de toepassing ervan in de klas stimuleren. Passende pedagogische benaderingen moeten leerlinggericht, actiegericht en transformatief zijn. Het is daarom van vitaal belang om niet alleen SDG-gerelateerde inhoud op te nemen in curricula, maar ook om transformatieve, actiegerichte pedagogie te gebruiken (Murga-Menoyo, 2021). Dit proces van onderwijs voor duurzame ontwikkeling staat bekend als curriculaire duurzaamheid.

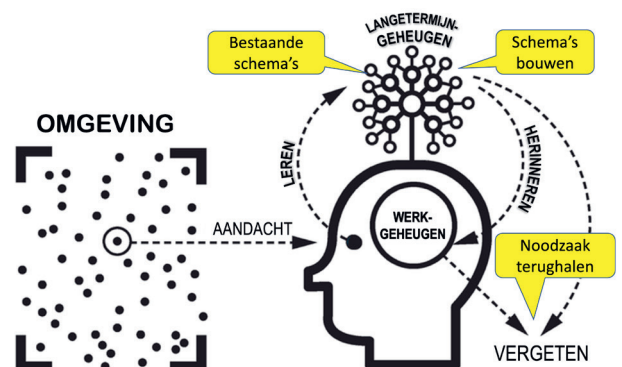
3. Cognitieve load theory & Rosenshine's principes van instructie

Het project GI Pedagogy begon met het doornemen en distilleren van de conclusies van meer dan 100 relevante onderzoekspapers, waaronder die over cognitieve wetenschap en GIS. Daarbij werd een overzicht, analyse en evaluatie gemaakt van bestaande, gangbare onderwijspraktijken waar-

in GIS op scholen is geïntegreerd, gekoppeld aan een verkenning van wetenschappelijk bewijs met betrekking tot alternatieve, innovatieve, pedagogische benaderingen van onderwijs met GIS.

Uit dit onderzoek werden twee – aaneensluitende – theorieën gehaald als meest efficiënt: Cognitive Load Theory & Rosenshine's principes van instructie.

Cognitive Load Theory richt zich op verbeteringen in het langetermijngeheugen om het werkgeheugen vrij te maken. Het werd in de jaren 1980 ontwikkeld door een Australische onderwijspsycholoog, John Sweller. Volgens hem bestaat de inhoud van het langetermijngeheugen uit zogenoemde 'gesofisticeerde' structuren, bekend als 'schema's', wat ons in staat stelt om het grote geheel als losse onderdelen te behandelen. Schema's worden voortdurend gemaakt in de hersenen. Deze schema's zijn belangrijk bij het leren. Tijdens het leren treedt er namelijk een verandering op in de schematische structuren van het lange termijn geheugen. Naarmate iemand oefent en repeteert en daardoor steeds vertrouwer raakt met de (nieuwe) informatie, is hij in staat steeds gemakkelijker de cognitieve kenmerken met het materiaal te associëren en zo nieuwe schema's te bouwen of bestaande schema's aan te passen (Figuur 2).



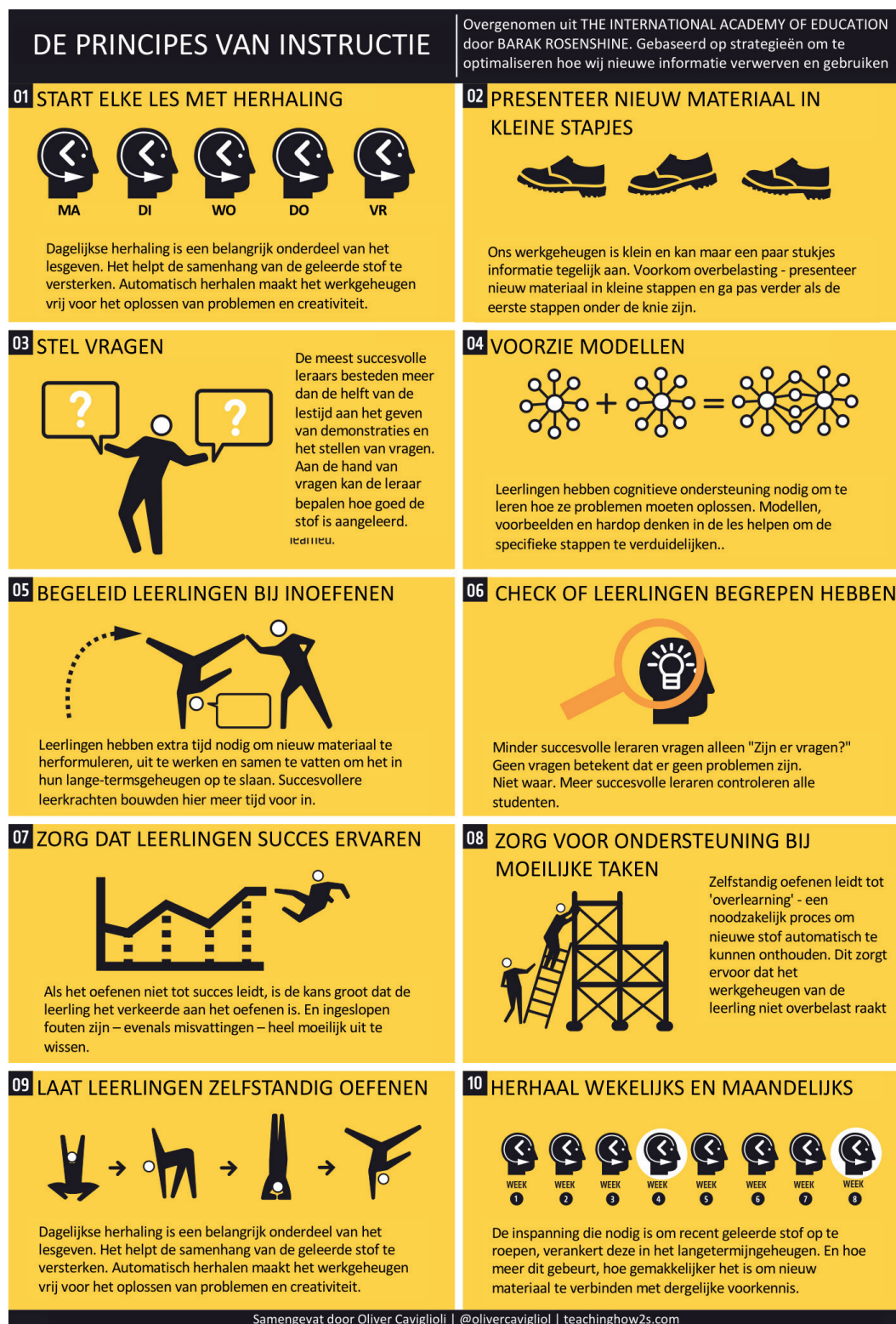
Figuur 2: Cognitive load theory (Sherrington, 2020)

Helaas, maar volkomen normaal, vergeten we soms ook dingen. Dus moeten we dingen terughalen. Dit is een sleutelidee in de cognitieve belastingstheorie – het belang van terughalen.

Het werkgeheugen kan ongeveer zeven stukjes informatie bevatten, maar kan er maar aan 4 of 5 tegelijk werken. Als we leren, proberen we nieuwe informatie uit ons werkgeheugen te halen om op een of andere manier op te nemen in ons langetermijngeheugen in bestaande of nieuwe schema's. Als leraren proberen we ervoor te zorgen dat leerlingen sterke robuuste correcte schema's hebben. Het probleem hiermee is dat het werkgeheugen, vanwege zijn beperkingen kan lijden tot wat we 'overbelasting' noemen, ook wel 'extraneous load' genoemd. Dit betekent dat het werkgeheugen te veel informatie tegelijk binnenkrijgt en moeite heeft om het aan te kunnen. Leren zal niet erg effectief zijn als dat gebeurt.

Onze rol als leraar is om te proberen die belasting te optimaliseren om ervoor te zorgen dat we de informatie die studenten nodig hebben op zo'n manier produceren dat ze niet overbelast raken. Maar ook dat ze de juiste hoeveelheid uitdaging krijgen om ervoor te zorgen dat ze hun werkgeheugen kunnen gebruiken om dingen op te slaan in het langetermijngeheugen in robuuste schema's.

Een van de meest populaire manieren om Cognitive Load Theory in de praktijk te brengen zijn Rosenshine's Principles van Instructie. Barack Rosenshine kwam zo jaren geleden met deze principes om enkele kernpunten van de Cognitieve Belastingstheorie te distilleren en te koppelen aan wat zou zijn waargenomen als de meest effectieve manier van lesgeven (Figuur 3). De 10 principes in de tabel



Figuur 3: Rosenshine's principes van instructie (uitgewerkt door Oliver Caviglioli, <https://teachinghow2s.com>)

zijn verbonden met pictogrammen zodat ze kunnen worden overgenomen en gebruikt in de lesplanning en ook in schema's van het werk. Het idee is niet dat je al deze dingen in al je lessen zou proberen te doen – het heeft geen zin dit te beschouwen als een soort slaafs model dat we moeten volgen, maar het is erg belangrijk dat we overwegen hoe we deze elementen gebruiken voor een groot deel van de tijd van verschillende stadia van het leerproces. Dus, bijvoorbeeld wanneer we nieuw materiaal delen, delen we het in veel kleine stukjes of stappen? Stellen we veel vragen om er zeker van te zijn dat de leerlingen echt begrijpen wat ze hebben geleerd? Geven we coherente modellen die ze kunnen volgen?

Een soortgelijke verwerking van CLT vinden we ook terug in 'Wijze Lessen' door Tim Surma.

De 10 principes van Barak Rosenshine (2012) zijn niet specifiek voor GIS, maar hij pionierde met een innovatieve aanpak die rekening hield met pedagogische intentie en het mogelijk maakte om het begrip van studenten te controleren. GI Pedagogy heeft deze principes toegepast op GIS-onderwijs, aangezien GIS moet worden ingebed in dagelijkse activiteiten als leerkrachten en leerlingen het automatisme willen krijgen dat ontstaat door leren, herhaling en oefening. Het is niet de bedoeling dat leerkrachten GIS-experts worden; onze ervaring leert ons dat het het beste is veel vragen te stellen en in elke fase met de leerlingen te interageren om hun leerresultaten te controleren. De stapsgewijze benadering van leren beperkt zich niet tot

de leerlingen: leerkrachten moeten deze benadering ook volgen bij het ontwikkelen van hun eigen competentie, volgens het TPACK-model, en dit moet deel uitmaken van de leerplanontwikkeling. Leerkrachten moeten beslissingen nemen over hoe het werk het best kan worden gedaan binnen de tijdsbeperkingen en de specifieke behoeften van elke leerling.

Tom Sherrington (2019) verkende het idee om de principes van Rosenshine te combineren tot vier strengen om een mogelijke workflow voor leraren te bieden, die later werd aangepast door het GI Pedagogy team. Het gaat er niet om de principes samen te voegen, maar te erkennen dat sommige complementair zijn. Het gaat hier niet om een checklist, maar om een kader voor de invoering van nieuwe kennis.

Wanneer Rosenshine het heeft over toetsing van leerstof (en vorderingen van leerlingen), dan denken we daarbij zowel aan GIS-vaardigheden en -kennis als aan vakinhoud. De term "dagelijkse evaluatie" zal voor vele onderwerpen eerder verwijzen naar korte termijn en periodieke evaluaties dan naar letterlijke evaluaties die elke dag plaatsvinden. Voor alle nieuwe leerlingen, ook voor leerkrachten, is ondersteuning nodig om het leren te vergemakkelijken.

In deze context moet elke GIS-taak eerst worden gemodelleerd, met behulp van een reeks stappen waarlangs studenten en docenten werken om hun begrip te ontwikkelen. Er kunnen video's worden gebruikt om de studenten vertrouwd te maken met de verschillende stappen.



Het is gemakkelijk zich te verliezen in de technische en praktische aspecten van het gebruik van een GIS-instrument, en het kan veel tijd vergen om een taak uit te pluizen. Daarom moeten deze stappen zorgvuldig worden overwogen bij het plannen van een lessenreeks, en docenten moeten erop kunnen vertrouwen dat ze deze voor een klas kunnen voltooien.

De leerkrachten moeten ook een “eigenaarschap” ontwikkelen in hun gebruik van technologie door hun eigen vertrouwen op te bouwen. GIS moet dus deel gaan uitmaken van het “meubilair” in klaslokalen en collegezalen. Kaarten worden vaak gebruikt, maar – in plaats van papieren kaarten, Google Earth of atlassen te gebruiken om digitale kaarten te verkrijgen – moet GIS altijd worden gebruikt om studenten interactieve digitale kaarten te bieden.

Leerlingen zullen wat tijd en introductie nodig hebben om van deze instrumenten te kunnen profiteren. Ze moeten iets begrijpen van het doel van GIS voor ze hun eigen kaarten beginnen te maken, willen die van hoge kwaliteit zijn en het potentieel van het instrument ten volle benutten. Dit kan inhouden dat ze moeten nadenken over de manier waarop gegevens het best worden gevisualiseerd. Leerlingen kunnen gegevens visualiseren zonder een diepgaande analyse uit te voeren, en technisch gezien is dit nog steeds “een kaart maken”, maar we hopen dat de leerlingen een punt bereiken waarop ze GIS kunnen gebruiken en begrijpen hoe ze de beste kaart kunnen maken met de juiste symbologie en analyse-instrumenten.

Wanneer de vaardigheden en kennis zijn verworven, moet de verantwoordelijkheid worden overgedragen op de leerling, naarmate het vertrouwen van zowel leraren als leerlingen groeit. Dit kan geo-geletterdheid worden genoemd, en het doel is leerkrachten en leerlingen te begeleiden in hun gebruik van cartografie en geografische informatie.

Het stellen van vragen en het aanpakken van misvattingen zijn van vitaal belang voor het succes van deze manier van leren. Geconcludeerd kan worden dat cloud computing en het gebruik van GIS een essentieel hulpmiddel zijn in de 21ste-eeuwse klaslokalen.

4. Het leermodel voor leraren

Het GI Pedagogy-model is bedoeld om de kloof te overbruggen tussen “early adopters” die vertrouwd zijn met de technologie, en degenen die nog nooit met GIS hebben gewerkt en willen beginnen. Hoewel de principes van Rosenshine geen model zijn, kunnen zij als basis worden gebruikt om een reeks gestructureerde stappen te creëren. Deze stappen – die hele lessen kunnen zijn, of activiteiten binnen lessen – staan bekend als 'schema's' zodra ze verworven zijn en klaar voor gebruik. Generatief leren sluit aan bij het gebruik van GIS, omdat het inhoudt dat lerenden nieuwe kennis integreren met bestaande schema's. Deze aanpak voor-

komt cognitieve overbelasting, zorgt ervoor dat nieuw materiaal in het langetermijngeheugen wordt opgenomen met behulp van schema's, en zorgt ervoor dat het hele proces effectief is.

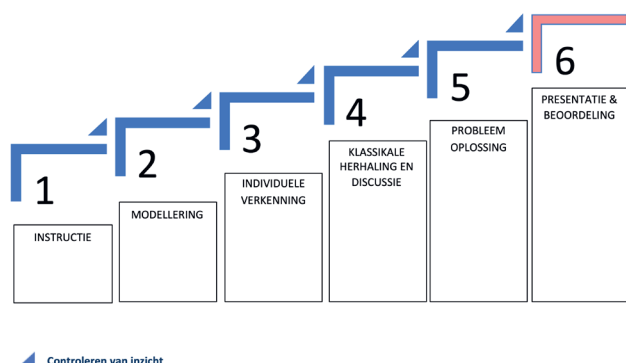
Alvorens de stappen in termen van GIS te specificeren, is het de moeite waard Tom Sherrington's (2019) 'sleutelementen' in herinnering te brengen die zich voordoen wanneer een leerling (of leraar) iets leert:

- Conceptuele informatie komt het werkgeheugen binnen vanuit de klasomgeving: via een bron of een leraar.
- Het werkgeheugen is eindig en vrij klein; daarom kunnen wij slechts een beperkte hoeveelheid van deze informatie tegelijk opnemen.
- Het langetermijngeheugen is van essentieel belang voor ons vroegere en toekomstige leerschema, aangezien wij informatie verwerken die in ons langetermijngeheugen wordt opgeslagen.
- Wij halen relevante informatie uit ons langetermijngeheugen en gebruiken die in ons werkgeheugen wanneer dat nodig is.
- Wij ordenen al deze informatie in schema's en bouwen schema's op in ons langetermijngeheugen. Nieuwe informatie wordt gewoonlijk alleen opgeslagen als we die kunnen verbinden met kennis die we al hebben; daarom beïnvloedt voorkennis ons leervermogen aanzienlijk.
- Hoe beter onze schema's op elkaar aansluiten, hoe gemakkelijker het voor ons is om nieuwe informatie te begrijpen en te ordenen, omdat ze verband houdt met onze bestaande schema's, en we beginnen onze kennis te verkennen en gemakkelijker terug te vinden.
- Informatie die wij niet met succes in een zinvol schema opslaan wanneer wij er voor het eerst kennis mee maken, of als wij ze niet vaak genoeg opvragen, zullen wij vergeten.
- Als een schema onjuiste informatie bevat, kunnen we het niet eenvoudig “overschrijven” maar moeten we het juiste schema uitpluizen en volledig opnieuw aanleren. De leraar is hier nog steeds nodig.

Deze elementen zullen nu worden opgenomen in onze specifieke GIS-stappen. Het is aan te bevelen op de laagste trede te beginnen en zich daar op zijn gemak te voelen alvorens de volgende trede te nemen. Met elke trede neemt de complexiteit van het gebruik van GIS toe, en het is mogelijk om een tijdje een stapje terug te doen als het allemaal wat te moeilijk wordt. Zodra elke stap hoger is gezet, kunnen leerkrachten beginnen met het verkennen van alternatieve pedagogische methoden.

Het volledige stappenmodel kan in een diagram worden weergegeven (Figuur 5). Nog voor we beginnen met het model op te klimmen kan er een controle van de voorkennis gebeuren (stap 0) maar dit wordt niet in het diagram weergegeven. De vijf stappen die leiden naar de mogelijkheid van een zesde – die de vorm kan aannemen van een presentatie door de leerling of een soort evaluatie – worden in het lesplan het best voorgesteld met behulp van vragen.

- Stap 1: Directe instructie/door de leerkracht geleide fase – dit is waar de schematische opbouw begint. Presenteer nieuw materiaal.
- Stap 2: Modellen/Ondersteuning, met herziening en vragen – welke gegevens zijn nodig?
- Stap 3: Individuele verkenning
- Stap 4: Evaluatie – discussie
- Stap 5: Probleemoplossing
- Stap 6: Presentatie/beoordeling (beoordeling door collega's is ook mogelijk) en delen van de resultaten. Dit is ook het stadium waarin de leerlingen zich zeker genoeg voelen om hun eigen verkenningstocht te beginnen



Figuur 5: De stappen van het ontwikkelde GI Pedagogy-model (GI Pedagogy)

De controle (▲) tussen elke stap biedt de mogelijkheid om na te gaan of men de stap begrepen heeft voor men verder gaat, en ook de mogelijkheid om terug te gaan naar beneden indien nodig. Stappen kunnen worden overgeslagen door groepen die al schema's hebben verworven of kunnen tijdens een lesreeks verschillende keren worden bezocht. Het is niet de bedoeling dat de stappen eindigen bij nummer 6.

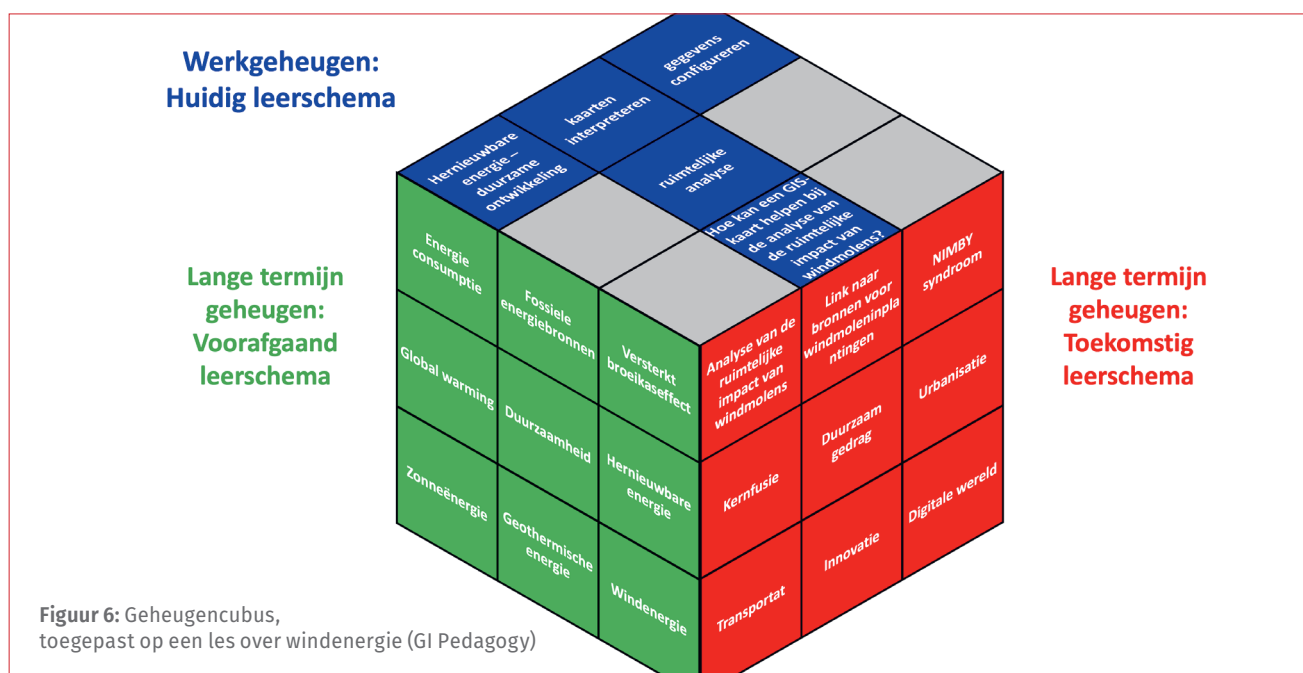
Om te helpen bij het denken over het model is door ervaren leerkrachten een “blanco casus” ontwikkeld om enkele werkvoorbeelden te geven in de vorm van vignetten. Deze zijn beschikbaar op de website: <https://www.gilearner.ugent.be/gi-pedagogy/>.

Samen met het werkblad is er ook een actieve geheugencubus ontwikkeld (Figuur 6), met 3 zijden in te vullen:

- Blauwe tabel – Werkgeheugen: huidig leerschema, hier vul je tot vijf kernideeën voor de les op (niet meer, denk aan CLT). Voeg naast het hoofdconcept drie of vier andere kernideeën toe die naar het hoofdconcept toe bouwen.
- Groene tabel – Langetermijngeheugen: voorafgaand leerschema, hier voeg je tot negen items van eerdere leerervaringen toe die al deel moeten uitmaken van het schema in het langetermijngeheugen van de leerlingen.
- Rode tabel – Langetermijngeheugen: toekomstig leerschema, hier voeg je tot negen items toe die in de toekomst zullen worden onderwezen en die deel zullen gaan uitmaken van het schema in het langetermijngeheugen van de leerlingen.

5. Conclusies

Het GI-Pedagogy onderzoeksteam heeft een methodiek uitgewerkt die voordelen en belemmeringen van het gebruik van GIS in de klas van middelbare scholen onderzoekt na onderzoek van de onderwijspraktijk in het middelbaar en hoger onderwijs. De methodiek stelt ook voor hoe de obstakels bij het gebruik ervan kunnen worden overwonnen. De structuur is zo eenvoudig mogelijk gehouden, en wordt ondersteund door onderzoeksgegevens.



Figuur 6: Geheugencubus, toegepast op een les over windenergie (GI Pedagogy)

Er zij ook op gewezen dat GIS niet altijd een hoogtechnologische benadering van het leren hoeft te impliceren. GIS kan worden gebruikt voor directe instructie en modellering in de klas en vereist niet noodzakelijk een ICT-afdeling.

REFERENTIES

- Biddulph, M., Bèneker, T., Mitchell, D., Hanus, M., Leininger-Frézal, C., Zwartjes, L., & Donert, K. (2020). Teaching powerful geographical knowledge—a matter of social justice: initial findings from the GeoCapabilities 3 project. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 29(3), pp.260–274. <https://doi.org/10.1080/10382046.2020.1749756>
- Donert, K., Desmidt, F., De Lázaro y Torres, M. L., De Miguel González, R. P., Lindner-Fally, M., Parkinson, A., Prodan, D., and Woloszynska-Wisniewska, E., and Zwartjes, L. (2016). The GI-learner approach: Learning lines for geospatial thinking in secondary schools. *GI Forum 2016*, 4(2), 134–146 (No. ART-2016-102447). https://doi.org/10.1553/giscience2016_02_s134
- Fargher, M. (2018). WebGIS for Geography Education: Towards a GeoCapabilities Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7 (3), 111. <https://doi.org/10.3390/ijgi703011>
- Mishra, P. (2019). Considering Contextual Knowledge: The TPACK Diagram Gets an Upgrade, *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 35(2), 76–78, <https://doi.org/10.1080/21532974.2019.1588611>
- Murga-Menoyo, M. Á. (2015). Competencias para el desarrollo sostenible: las capacidades, actitudes y valores meta de la educación en el marco de la Agenda global post-2015. *Foro de Educación*, 13(19). <http://www.redalyc.org/html/4475/447544537005/>
- Murga-Menoyo, M. Á. (2020). El camino hacia los ODS: conformar una ciudadanía planetaria mediante la educación. *Comillas Tijdschrift voor Internationale Betrekkingen*, 191, 1–11. <https://doi.org/10.14422/cir.i19.y2020.001>
- Murga-Menoyo, M. Á. (2021). La educación en el Antropoceno. Posibilismo versus utopía. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 33(2), 107–128. <https://doi.org/10.14201/teri.25375>
- Puertas-Aguilar, M.Á., Álvarez-Otero, J., & de Lázaro-Torres, M.L. (2021). The Challenge of Teacher Training in the 2030 Agenda Framework Using Geotechnologies. *Education Sciences*, 11(8), 381. <http://dx.doi.org/10.3390/educsci11080381>
- Rickles, P., Ellul, C., & Haklay, M. (2017). A suggested framework and guidelines for learning GIS in interdisciplinary research. *Geo: Geography and Environment*, 4(2), e00046. <https://doi.org/10.1002/geo2.46>
- Sherrington, T. (2019). *Rosenshine's Principles in Action*. John Catt Educational
- Sherrington, T. (2020). A model for the learning process. And why it helps to have one. <https://teacherhead.com/2020/03/10/a-model-for-the-learning-process-and-why-it-helps-to-have-one/>
- Solem, M., Lambert, D., & Tani, S. (2013). Geocapabilities: Toward an international framework for researching the purposes and values of geography education. *Review of International Geographical Education Online*, 3(3), 214–229. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1158077.pdf>
- Sterling, S. (2004). Higher Education, Sustainability and the Role of Systemic Learning. In *Higher Education and the Challenge of Sustainability: Problematics, Promise and Practice*; (pp. 49–70). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-48515-X_5
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review* 31(2), 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Young, M., (2013). Powerful knowledge: An analytically useful concept or just a 'sexy sounding term'? A response to John Beck's 'Powerful knowledge, esoteric knowledge, curriculum knowledge'. *Cambridge Journal of Education*, 43(2), 195–198. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2013.776356>
- Zwartjes, L., de Lázaro y Torres, M. L., Donert, K., Buzo Sanchez, I., de Miguel Gonzalez, R., & Woloszynska-Wisniewska, E. (2017). Literature review on spatial thinking. <https://www.gilearner.ugent.be/wp-content/uploads/GI-Learner-SpatialThinkingReview-3.pdf>
- Zwartjes, L., & De Lázaro Torres, M. L. D. (2019). Geospatial Thinking Learning Lines in Secondary Education: The GI Learner Project. In *Geospatial Technologies in Geography Education* (pp. 41–61). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17783-6_3