

# Computational thinking:

## van het klaslokaal naar het curriculum van de lerarenopleiding

De rol van technologie in de maatschappij groeit en mede daardoor vindt technologie steeds vaker haar weg naar het klaslokaal. Als gevolg hiervan ontstaat in het basisonderwijs aandacht voor robotica, programmeren en 21e-eeuwse vaardigheden als probleemoplossend vermogen, analytisch denken en digitale geletterdheid. Een onderwijskundig fenomeen dat raakvlakken heeft met zowel digitale geletterdheid en technologie als redeneervermogen en denkvaardigheid is computational thinking (CT).

**Rosanne Hebing, Anna Hotze en Ronald Keijzer,**  
Iselinge Hogeschool  
en Hogeschool IPABO  
Amsterdam/Alkmaar

Hebing, R., Hotze, A., & Keijzer, R. (2022). Computational thinking: van het klaslokaal naar het curriculum van de lerarenopleiding. *Volgens Bartjens – ontwikkeling en onderzoek*, 41(5), 41-47

Onderzoek naar CT is veelal gericht op de aard van CT-onderwijs, de effecten ervan op vaardigheden van leerlingen en de eisen die het stelt aan leerkrachten. Echter, aandacht voor CT in de curricula van lerarenopleidingen blijft achter. Dit artikel levert een bijdrage aan de kennis over CT op de lerarenopleiding door de theoretische achtergrond van CT te verkennen. Eerst wordt het opkomst van CT als onderwijskundig fenomeen onder de loep genomen, gevolgd door een verkenning van de raakvlakken tussen CT en rekenen-wiskunde. Tot slot wordt literatuur gepresenteerd over leerkrachtvaardigheden die nodig zijn om CT te onderwijzen op de basisschool. Dit alles mondt uit in aandachtspunten voor CT op de lerarenopleiding basisonderwijs. In een volgend artikel zullen de resultaten gepresenteerd worden van mixed-methodsonderzoek naar de kennis, vaardigheid, didactische vaardigheid en houding van Nederlandse pabo-studenten ten opzichte van CT.

### Inleiding

In de uitwerking van het leergebied rekenen-wiskunde door Curriculum.nu (2020) is, naast kennis van en vaardigheid in de wiskundige domeinen, een rol weggelegd voor de verwerving van wiskundige denk- en werkwijzen. Hiertoe behoren vaardigheden als logisch redeneren, abstraheren en modelleren. Deze vaardigheden komen tevens onder de noemer 'computational thinking' (CT)

terug in de leerlijnen van de 21e-eeuwse vaardigheden die SLO (2018) in concept heeft opgesteld. Ook in de bouwstenen die Curriculum.nu heeft geformuleerd voor het leergebied 'digitale geletterdheid' wordt CT genoemd. SLO (2020) beschrijft CT als "het procesmatig (her)formuleren van problemen op een zodanige manier dat het mogelijk wordt om met computertechnologie het probleem op te lossen". Dat men aanvoelt dat CT een steeds meer vastomlijnde plek in het basisschoolcurriculum krijgt, wordt bevestigd door het ontstaan van leerlijnen, maar ook door de komst van leerkrachthandleidingen als Hello Ruby (Liukas, 2016), programmeertools als Scratch en Code.org en technologische onderwijsmiddelen als de BeeBot. Vaak wordt CT geïnterpreteerd als programmeeronderwijs (Thijs, Fisser, & Van der Hoeven, 2014), maar CT kent meer onderwijsmogelijkheden dan programmeren alleen. Het is echter de vraag hoe aanstaande basisschoolleerkrachten op de lerarenopleiding worden voorbereid op het toepassen van CT in hun eigen onderwijspraktijk. Hoewel CT genoemd wordt in de in 2018 herijkte kennisbases generiek en wetenschap en technologie voor de lerarenopleiding basisonderwijs, is CT nog maar mondjesmaat aanwezig in het curriculum van lerarenopleidingen. In dit artikel wordt het concept CT eerst onder de loep genomen. Vervolgens wordt beschreven hoe CT haar weg heeft gevonden naar het basisonderwijs en wat het onderwijzen van CT vraagt van leerkrachten. Deze beschrijving mondt uit in een aantal aandachtspunten voor het pabo-curriculum.

### ***Definities van computational thinking***

Er bestaan verschillende definities van CT die – zoals de term doet vermoeden – gemeen hebben dat ze de verbinding zoeken tussen denkvaardigheid enerzijds en 'computing', al dan niet met behulp van technologie, anderzijds. De definitie die SLO geeft van CT is hiervan een voorbeeld en beschrijft CT als "het procesmatig (her)formuleren van problemen op een zodanige manier dat het mogelijk wordt om met computertechnologie het probleem op te lossen". Zowel nationaal als internationaal bestaat consensus over het feit dat CT behoort tot de 21e-eeuwse vaardigheden (Bower et al., 2017; Haseski, Ilic, & Tuğtekin, 2018). In de weergave van de 21e-eeuwse vaardigheden door SLO en Kennisnet is CT, passend bij de definitie door SLO, gepositioneerd tussen de denkvaardigheden kritisch, creatief en probleemoplossend denken en de digitale vaardigheden mediawijsheid, ICT-basisvaardigheden en informatievaardigheid. De operationalisatie van CT laat een brede scope zien: naast stapsgewijs denken en automatisering worden bijvoorbeeld abstractie, creatief denken, patroonherkenning, decompositie, modelleren, dataverwerking en probleemoplossend vermogen genoemd als aspecten van CT. Deze interpretatie van CT is wel erg breed: iedere situatie waarin een opeenvolging van handelingen wordt doordacht of doorlopen zou al onder de noemer CT vallen. Dit maakt dat CT in de praktijk gezien zou kunnen worden als 'oude wijn in nieuwe zakken' – stapsgewijs werken zit immers vaak al in het curriculum – of als een paraplueterm voor allerlei vaardigheden die maar moeizaam naar concreet onderwijs vertaald kunnen worden. Voegt, Fisser, Good, Mishra en Yadav (2015) waarschuwen al dat CT het risico liep verdund of vervuild te raken, onder andere door het gebruiken van CT als label voor een relatief grote, niet vastomlijnde set vaardigheden. Deze waarschuwing is terecht gebleken: niet alleen de theorie, maar ook de praktijk laat zien dat het niet eenvoudig is het concept CT te vertalen naar de concrete onderwijscontext. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in de koppeling van CT aan zowel de wiskundige denk- en werkwijzen als digitale geletterdheid door Curriculum.nu. Een ander voorbeeld is de overlap tussen de leerlijn die SLO heeft opgesteld voor CT met de leerlijn voor probleemoplossend denken en handelen. Bovendien zorgt de tweedeling tussen 'plugged' CT – onderwijsactiviteiten waarbij technologie wordt gebruikt om algoritmisch denken te oefenen – en 'unplugged' CT – onderwijsactiviteiten die hetzelfde doen zonder gebruik van technologie – ervoor dat leerkrachten CT in sommige gevallen ervaren als 'oude wijn in nieuwe zakken' en de conclusie trekken dat CT niets meer is dan logisch redeneren.

Wing was de eerste die de term computational thinking gebruikte in haar huidige betekenis. Zij beschouwde CT vanuit haar eigen vakgebied – computerwetenschappen – en beschreef het als een fundamentele vaardigheid voor iedereen, gefaciliteerd door de opmars van computers in de maatschappij. Hoewel haar publicaties uit 2006 en 2008 verdere verkenning van CT inluiden, bijvoorbeeld door Denning in 2009, Hemmendinger in 2010 en Barr, Harrison en Conery in 2011, bleef een eensluidende definitie van het concept uit. Doordat onderzoekers vanuit de algemene onderwijskunde zich ook al snel interesseerden voor CT en doordat informatici als Wing CT expliciet presenteren als transfereerbare vaardigheid, verschenen in publicaties steeds vaker voorbeelden die de scope van CT verder lieten reiken dan de informatica (bijvoorbeeld Bundy, 2007; Wing, 2017).

Dergelijke voorbeelden benadrukken de relevantie en laagdrempeligheid van CT voor het onderwijs, maar zijn er wellicht mede debet aan dat gaandeweg onduidelijk is geworden wat precies het onderscheid is tussen het onderwijzen van CT en het onderwijzen van logisch redeneren. Hierdoor is het niet alleen lastig voor onderzoekers om voort te bouwen op een gedeeld fundament, maar ook voor leerkrachten om te bepalen welke vaardigheden ze kunnen oefenen met leerlingen en in hoeverre technologie daarbij een noodzakelijkheid is. In dit artikel wordt de definitie van CT door SLO – zoals hierboven gegeven – gevolgd en wordt CT beschouwd als een verzameling van denkvaardigheden die te maken hebben met het ontrafelen van processen en het stapsgewijs ontwerpen van oplossingen voor problemen met behulp van technologie. Deze definitie laat zien dat met CT bedoeld wordt op denkvaardigheden die door leerkrachten breder toepasbaar zijn dan alleen in de informatica, maar respecteert tevens de verbinding tussen die denkvaardigheden enerzijds en technologie als middel om ze aan te leren anderzijds.

### ***Historisch perspectief***

CT is tegenwoordig onlosmakelijk verbonden met technologie als logische aanleiding van en middel voor het (aan)leren van de vaardigheden die in het voorgaande zijn beschreven. Natuurlijk ontstond het stapsgewijs, ofwel algoritmisch, denken niet pas met de komst van de computer. De naamgever van het woord ‘algoritme’ is Perzische wiskundige Al-Chwarizmi, die aan het begin van de negende eeuw aan de wieg stond van de algebra (Van der Waerden, 1985). Sinds de achttiende eeuw wordt het woord ‘algoritme’ gebruikt om computatie aan te duiden. Computatie en het probleemoplossend vermogen dat daaraan ten grondslag ligt is van oorsprong dan ook niet-technologisch (Caeli & Yadav, 2020). Toen in de jaren ‘70 en ‘80 van de vorige eeuw computers steeds meer in gebruik werden genomen als machines die complexe berekeningen van mensen konden overnemen, kwam al snel de roep om aandacht te besteden aan computergebruik in het onderwijs. Natuurlijk waren de interfaces destijds lang niet zo gebruiksvriendelijk als nu en vroegen ze meer van hun gebruikers in termen van programmeertaal. Volgens Katz (1960) was het dan ook niet nodig dat iedereen ging programmeren, maar was het wel van belang dat men in het onderwijs aandacht besteedde aan de basale vaardigheden die voorafgaan aan programmeren, zodat iedereen leerde computers te gebruiken als tools voor probleemoplossen. Het kunnen formuleren van een algoritme was daarbij volgens Katz (1960) essentieel. Naur (1965) was zelfs van mening dat informatica als basisvaardigheid onderwezen moest worden, net als rekenen en taal, om kinderen te leren logisch te redeneren.

De beweegredenen om CT – het programmeren én de onderliggende denkvaardigheden – een plek te geven in het onderwijs zijn eigenlijk maar weinig veranderd. In twee publicaties van Kennisnet (2016; 2019) wordt gesteld dat het gebruik van technologie in het onderwijs en het aanleren van programmeren horen bij authentiek leren: hoewel de effecten van onderwijs in CT in het algemeen en programmeren in het bijzonder op de denkvaardigheid van leerlingen niet zijn bewezen, is het idee dat CT en programmeren een onmisbaar onderdeel zijn van toekomstgericht onderwijs wijdverbreid. Technologie is immers ondertussen niet meer weg te denken uit de maatschappij; de denkvaardigheden die onder de noemer CT vallen, zijn nodig om die technologie te begrijpen en gebruiken. Door in het onderwijs aandacht te besteden aan de denkvaardigheden die nodig zijn om technologie te beheersen, zal de volgende generatie nog beter in staat zijn technologie te creëren die het dagelijks leven van mensen gemakkelijker, efficiënter of leuker maakt (Grover & Pea, 2018). Hoe eerder leerlingen hiermee in aanraking komen, hoe meer deze denkvaardigheden vanzelfsprekend worden voor hen en hoe sterker hun innovatieve vermogen zal zijn, volgens Wing (2008). Lezen, schrijven en rekenen vindt nu plaats in de maatschappelijke context van technologisering, die maakt dat kinderen moeten leren omgaan met technologie (Drot-Delange, Pellet, Delmas-Rigoutsos, & Bruillard, 2019) en het procedurele denken moeten leren beheersen dat we kennen vanuit rekenen-wiskunde.

### ***Computational thinking als wiskundige denk- en werkwijze***

In zijn boek *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas* legt Papert in 1980 al de relatie tussen wiskundig denken en het gebruik van technologie. Hoewel hij de term CT afwisselt met termen als mathematisch denken en procedureel denken, is duidelijk dat hij hiermee het wiskundige denken bedoelt dat nodig is om te programmeren. De relatie tussen wiskunde en informatica binnen CT zit voornamelijk in het woord ‘computational’ en de betekenis van computatie. Compu-

tatie betekent simpelweg 'bepalen door berekening.' Berekening door een computer impliceert het modelmatig bewerken van input in de vorm van data naar output in de vorm van een antwoord, oplossing of suggestie middels een algoritme. Dit algoritme moet zo helder geformuleerd zijn dat een informatieverwerker – dit kan een machine of een mens zijn – het foutloos kan uitvoeren. Het helder formuleren van een kloppend algoritme vereist creatief en logisch denken. Vaak wordt een recept genoemd als voorbeeld van een algoritme om aan te geven dat mensen in ontelbare contexten procedureel data moeten verwerken om tot een gewenste output te komen. Algoritmes zijn dus niet altijd abstract. In die zin is computatie een transfereerbare vaardigheid die zijn oorsprong vindt in de wiskunde, maar ook ver daarbuiten toepasbaar is (Guzdial, 2008). De valkuil die Denning (2017) in deze context echter benoemt, is dat iedere opeenvolging van stappen wordt gezien als een algoritme. Volgens Denning is een algoritme altijd onderdeel van een rekenkundig model. Een voorbeeld van een simpel getalsmatig algoritme is de stelling van Pythagoras. Papert ontwikkelde zelf de computertaal LOGO die kinderen in staat stelde om te interacteren met de robot Turtle. Hij was, net als Katz (1960) en Naur (1965), van mening dat interactie met computers kinderen zou voorbereiden op een toekomst waarin zij machines zouden kunnen instrueren om complex rekenwerk voor ze te doen, bijvoorbeeld in de vorm van simulaties.

In de plannen van Curriculum.nu voor de herziening van het basisschoolcurriculum is zichtbaar dat de samenhang tussen CT en rekenen-wiskunde aan bod komt in de vorm van de wiskundige denk- en werkwijzen (Drijvers, 2015). Hoewel deze denk- en werkwijzen eerder niet zo expliciet verankerd waren in het curriculum, zijn ze geenszins nieuwkomers in het reken-wiskunde-onderwijs. Zoals Hotze en Keijzer (2018) aangeven, komen in vrijwel iedere rekenen-wiskundeles elementen van CT terug. Leerlingen leren procedures – al dan niet algemeen toepasbaar – bijvoorbeeld bij het tellen, cijferen, opstellen van (woord)formules en ordenen van gegevens. Door vragen te stellen die niet zozeer over de antwoorden van de leerlingen gaan, maar over de procedures die zij hebben toegepast om tot de antwoorden te komen, kunnen leerkrachten stimuleren dat leerlingen zich bewust worden van het feit dat ze bezig zijn met procedureel denken.

### ***Leerkrachtvaardigheden***

Hoewel bestuurders, leerkrachten, leerlingen en ouders over het algemeen enthousiast zijn over technologie in het onderwijs en het ontwikkelen van de digitale en denkvaardigheden die hierbij horen, staan leerkrachten ook sceptisch tegenover deze ontwikkeling en voelen zij zich niet zelden handelingsverlegen (Snijders, 2018). Zittende en aanstaande leerkrachten twijfelen over hun eigen vaardigheid in met name het programmeren en weten niet altijd hoe ze CT concreet een plek kunnen geven in hun onderwijs. Dit geldt niet alleen voor Nederlandse leerkrachten en leerkrachten in opleiding: uit een Turks onderzoek onder bijna vierhonderd aanstaande leerkrachten blijkt dat de meerderheid van hen laag scoort op eigen vaardigheid in CT (Ata & Çevik, 2020). Hetzelfde onderzoek toont aan dat leerkrachten die minder vaardig zijn in CT ook relatief laag scoren op 'STEM-bewustzijn', wat de auteurs beschrijven als het (er)kennen van de relatie tussen STEM-onderwijs – dat wil zeggen: onderwijs in Science (natuurwetenschap), Technology (technologie), Engineering (bouw/techniek) en Mathematics (rekenen-wiskunde) – en de denkvaardigheden en ICT-vaardigheden die in onderwijssituaties maar ook in het dagelijks leven nodig zijn. Met andere woorden: het belang dat een leerkracht hecht aan CT en met CT geassocieerde vakgebieden als rekenen-wiskunde en wetenschap en technologie correleert met zijn CT-vaardigheid. In het algemeen is te zien dat eigen vaardigheid van (aanstaande) leerkrachten en hun didactische vaardigheid samenhangen. Zo laten Gardebroek-van der Linde, Van Doornik-Beemer, Keijzer en Van Bruggen (2018) zien dat leerkrachten die zelf sterke rekenaars zijn rijkere rekenlessen geven, minder instructiefouten maken, minder afhankelijk zijn van de methodehandleiding en de denkwijzen van leerlingen beter doorzien dan zwakkere rekenaars.

Als het gaat over de wisselwerking tussen leerkrachthouding en -vaardigheid in het onderwijzen van CT zijn genderverschillen te verwachten. Lishinski, Yadav, Good en Enbody (2016) hebben gevonden dat vrouwelijke aanstaande leerkrachten minder affiniteit hebben met technologie en programmeren dan hun mannelijke collega's. Zij schrijven dit toe aan het gebrek aan vrouwelijke rolmodellen en aan een verschil tussen vrouwen en mannen in self-efficacy op het gebied van omgaan met technologie. Vrouwelijke aanstaande leerkrachten blijken sneller dan hun mannelijke medestudenten zelfvertrouwen te verliezen als zij negatieve prestatiefeedback krijgen. Als ze

niet vroeg in het proces een succeservaring hebben, haken ze sneller af dan mannen. Bovendien hebben vrouwelijke aanstaande leerkrachten een langere periode nodig om zich zeker te voelen over hun eigen vaardigheid. Deze bevindingen stroken met die van Esteve-Mon, Angeles Llopis en Adell-Segura (2020), die concludeerden dat vrouwelijke aanstaande leerkrachten lager scoorden op CT-vaardigheid dan mannen en zichzelf minder digitaal vaardig vinden. Dit lijkt vooral te wijten aan hun gebrek aan zelfvertrouwen in technologiegebruik. Schrumpf, Hotze en Keijzer (2019) vonden hetzelfde verschil tussen mannelijke en vrouwelijke aanstaande leerkrachten als het gaat om het onderwijzen van wetenschap en technologie. Naar aanleiding van deze bevinding gaven vrouwelijke aanstaande leerkrachten die aan het onderzoek hadden deelgenomen aan dat ze vooral behoefte hadden aan succeservaringen en inhoudelijke lessen om meer zelfvertrouwen te krijgen.

De vraag is nu wat op lerarenopleidingen wordt gedaan om de eigen vaardigheid en didactische vaardigheid van aanstaande leerkrachten op het gebied van CT te vergroten. Yadav, Stephenson en Hong (2017) stellen dat CT nog maar weinig voorkomt in de curricula van lerarenopleidingen. Internationaal onderzoek lijkt hier de laatste jaren op in te spelen. Zo beweren zowel Gabriele et al. (2019) als Bower et al. (2017) dat het vergroten van leerkrachtvaardigheid – zowel eigen vaardigheid als didactische vaardigheid – relatief laagdrempelig kan zijn. Het opdoen van praktijkervaringen die het nut van CT duidelijk maken als het gaat om voortgang en plezier van leerlingen en het kunnen samenwerken aan onderwijsontwerp met collega's (vgl. Siero, 2017; Yadav, Mayfield, Zhou, Hambrusch, & Korb, 2014) zijn hierbij met name van belang. Yadav, Gretter, Good en McLean (2017) benadrukken dat aandacht voor CT en het onderwijzen van CT al op de lerarenopleiding aanwezig moet zijn om CT op de langere termijn te kunnen verankeren in het basisschoolcurriculum. Bovendien zijn aanstaande leerkrachten bij uitstek de 'boundary crossers' die nieuwe ontwikkelingen de scholen in brengen.

#### ***Aandachtspunten voor CT in het pabo-curriculum***

Internationaal is de opleiding van leerkrachten een van de grote struikelblokken op het pad naar voldoende aandacht voor CT op de basisschool (Caeli & Yadav, 2020). Door aanstaande leerkrachten te laten kennismaken met de kernconcepten en theorie achter CT, door hen zowel op de hogeschool als in de stage ervaring te laten opdoen met plugged en unplugged CT en zo vaardiger en zekerder te worden en door hen in de gelegenheid te stellen expliciet aan de slag te gaan met het beredeneerd ontwerpen van CT-activiteiten, liefst in samenwerking met collega's en wellicht ook met computerwetenschappers (Yadav, Stephenson, & Hong, 2017), kunnen lerarenopleiders aanstaande leerkrachten toerusten om CT vorm te geven in hun eigen onderwijspraktijk. Om hen zo toe te rusten dat ze CT doelmatig kunnen implementeren in hun eigen onderwijspraktijk – in verschillende vakgebieden, met én zonder technologie – is het bovendien van belang dat lerarenopleidingen basisonderwijs in gezamenlijkheid uitgangspunten definiëren voor het opnemen van CT in hun curricula. In die uitgangspunten moet expliciet doelgroepenbeleid worden gevoerd en wellicht zelfs worden samengewerkt met computerwetenschappers.

We zagen wat in de literatuur wordt beschreven over het belang van het onderwijzen van CT; dit geeft tentatieve aanknopingspunten voor het 'hoe'. Het is nu zaak dat lerarenopleiders concrete handvatten krijgen om CT in hun eigen onderwijs te kunnen incorporeren. Belangrijke vraag hierbij is hoe het op dit moment gesteld is met de kennis, vaardigheid en houding van aanstaande leerkrachten basisonderwijs: wat weten zij al van CT? In hoeverre zijn zij zelf CT-vaardig en zijn zij in staat CT te didactiseren? Hoeveel zelfvertrouwen hebben zij als het gaat om het onderwijzen van CT? In een volgend artikel worden de resultaten van mixed-methodsonderzoek naar de kennis, eigen en didactische vaardigheid en houding ten opzichte van CT onder aanstaande basisschoolleerkrachten besproken en worden ontwerpprincipes gepresenteerd – afgezet tegen de in dit artikel besproken literatuur – die hieruit voortkomen voor het integreren van CT in het curriculum van lerarenopleidingen basisonderwijs.

## Literatuur

- Ata, R., & Çevik, M. (2020). Understanding predictor effects of computational thinking skills and media and technology use and attitudes of pre-service teachers for STEM awareness. *KJEP*, 17(1), 99-121.
- Barr, D., Harrison, J., & Conery, L. (2011). Computational Thinking: A Digital Skill for Everyone. *Learning & Leading with Technology*, 38(6), 20-23.
- Bower, M., Wood, L.N., Lai, J.W., Howe, C., Lister, R., Mason, R., Highfield, K., & Veal, J. (2017). Improving the Computational Thinking Pedagogical Capabilities of School Teachers. *Australian Journal of Teacher Education*, 42(3), 53-72.
- Bundy, A. (2007). Computational Thinking is Pervasive. *Journal of Scientific and Practical Computing*, 1(2), 67-69.
- Caeli, E.N., & Yadav, A. (2020). Unplugged Approaches to Computational Thinking: a Historical Perspective. *TechTrends*, 64, 29-36.
- Curriculum.nu. (2020). *Uitwerking Rekenen & Wiskunde*. Geraadpleegd op 1 november 2020, van <https://www.curriculum.nu/voorstellen/rekenen-wiskunde/uitwerking-rekenen-wiskunde/>
- Denning, P.J. (2009). Beyond Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 52(6), 28-30.
- Denning, P.J. (2017). Remaining Trouble Spots with Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 60(6), 33-39.
- Drijvers, P. (2015). Kernaspecten van wiskundig denken. *Euclides*, 90, 4-8.
- Drot-Delange, B., Pellet, J.-P., Delmas-Rigoutsos, Y., & Bruillard, E. (2019). Pensée informatique: points de vue contrastés. *Sticef*, 26(1), 1-24.
- Esteve-Mon, F.M., Ángeles Llopis, M., & Adell-Segura, J. (2020). Digital Competence and Computational Thinking of Student Teachers. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(2), 29-41.
- Gabriele, L., Bertacchini, F., Tavernise, A., Vaca-Cárdenas, L., Pantano, P., & Bilotta, E. (2019). Lesson Planning by Computational Thinking Skills in Italian Pre-service Teachers. *Informatics in Education*, 18(1), 69-104.
- Gardebroek-van der Linde, J., Van Doornik-Beemer, H., Keijzer, R., & Van Bruggen, J. (2018). De kennisbasis rekenen-wiskunde en de kwaliteit van reken-wiskunde-instructie op de basisschool. *Tijdschrift voor Lerarenopleiders*, 39(1), 65-76.
- Grover, S., & Pea, R.D. (2018). Computational Thinking: A Competency Whose Time Has Come. In S. Sentance, E. Barendsen, & S. Carsten (Red.), *Computer Science Education: Perspectives on teaching and learning* (pp. 19-38). Bloomsbury Academic.
- Guzdial, M. (2008). Paving the Way for Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 51(8), 25-27.
- Haseski, H.I., Ilic, U., & Tuğtekin, U. (2018). Publication Trends Over 10 Years of Computational Thinking Research. *Contemporary Educational Technology*, 9(2), 131-153.
- Hemmendinger, D. (2010). A plea for modesty. *ACM Inroads*, 1(2), 4-7.
- Hotze, A., & Keijzer, R. (2018). Kan dit altijd zo? Computational thinking in elke reken-wiskundeles. *Volgens Bartjens*, 27(4), 28-31.
- Katz, D.L. (1960). The Use of Computers in Engineering Classroom Instruction. *Communications of the ACM*, 3(10), 522-527.
- Kennisnet. (2016). *Computational thinking in het Nederlandse onderwijs*. Geraadpleegd op 1 oktober 2020, van [https://www.kennisnet.nl/fileadmin/kennisnet/publicatie/Computational\\_Thinking\\_in\\_het\\_Nederlandse\\_onderwijs.pdf](https://www.kennisnet.nl/fileadmin/kennisnet/publicatie/Computational_Thinking_in_het_Nederlandse_onderwijs.pdf)
- Kennisnet. (2019). *Onderwijsvernieuwing met technologie*. Geraadpleegd op 1 oktober 2020, van <https://www.kennisnet.nl/artikel/onderwijsvernieuwing-met-technologie-een-internationale-blik/>
- Lishinski, A., Yadav, A., Good, J., & Enbody, R.J. (2016). Learning to Program: Gender Differences and Interactive Effects of Students' Motivation, Goals, and Self-Efficacy on Performance. In *ICER '16: Proceedings of the 2016 ACM Conference on International Computing Education Research* (pp. 211-220). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.
- Liukas, L. (2016). *Hello Ruby. Een avontuurlijk sprookje over programmeren*. Nieuwezijds.
- Naur, P. (1965). The Place of Programming in a World of Problems, Tools, and People. *Proc. IFIP Congress*, 65, 165-199.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books.
- Schrumpf, J., Hotze, A., & Keijzer, R. (2019). De houding van studenten ten aanzien van wetenschap & technologie op de lerarenopleiding basisonderwijs. *Tijdschrift voor Lerarenopleiders*, 40(2), 101-115.
- Siero, N.B. (2017). *Guidelines for Supporting Teachers in Teaching Digital Literacy* [Masterscriptie, Universiteit Twente]. Scriptierepository UTWente. Geraadpleegd op 6 maart 2022, van <https://essay.utwente.nl/73163/>
- SLO. (2018). *21<sup>e</sup>-eeuwse vaardigheden*. Geraadpleegd op 6 maart 2022, van <https://www.slo.nl/thema/meer/21e-eeuwsevaardigheden/>
- SLO. (2020). *Computational thinking*. Geraadpleegd op 23 oktober 2020, van <https://www.slo.nl/vakportalen/vakportaal-digitale-geletterdheid/computational-thinking/>
- Snijders, D. (2018). *Het eeuwige leren: Over Leren, Technologie en de Toekomst*. Stichting Toekomstbeeld der Techniek.
- Thijs, A., Fisser, P., & Van der Hoeven, M. (2014). *21e eeuwse vaardigheden in het curriculum van het funderend onderwijs*. SLO.
- Van der Waerden, B.L. (1985). *A History of Algebra: From al-Kwarizmi to Emmy Noether*. Springer-Verlag.
- Voogt, J., Fisser, P., Good, J., Mishra, P., & Yadav, A. (2015). Computational thinking in compulsory education: Towards an agenda for research and practice. *Education and Information Technologies*, 20(4), 715-728.
- Wing, J.M. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Wing, J.M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 366, 3717-3725.
- Wing, J.M. (2017). Computational thinking's influence on research and education for all. *Italian*

*Journal of Educational Technology*, 25(2), 7-14.

- Yadav, A., Gretter, S., Good, J., & McLean, T. (2017). Computational thinking in teacher education. In P.J. Rich, & C.B. Hodges (Eds.), *Emerging research, practice, and policy on computational thinking* (pp. 205-220). Springer.
- Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambrusch, S., & Korb, J.T. (2014). Computational Thinking in Elementary and Secondary Teacher Education. *ACM Transactions on Computing Education*, 14(1), 5:1-5:16.
- Yadav, A., Stephenson, C., & Hong, H. (2017). Computational Thinking for Teacher Education, *Communications of the ACM*, 60(4), 55-62.

*Technology has become an integral part of society and, as a result, increasingly finds its way into the classroom. This has led to growing attention in primary education for robotics, programming, and 21st-century skills such as problem solving, analytic thinking, and digital literacy. One particular educational phenomenon that appears to encompass skills and practices pertaining to technology and digital literacy as well as those pertaining to logic and analytic thinking is computational thinking (CT). Although research has focussed on the nature of CT education, its effects on students' skills, and what it requires from teachers, attention for CT in primary teacher education lags behind. This article aims to remedy that by shedding light on the theoretical background of CT. First, the emergence of CT as an educational phenomenon is examined, followed by an exploration of the interfaces between CT and mathematics. Finally, literature on teacher skills required for teaching CT in primary education is presented, culminating in points of interest for CT in teacher training curricula. A subsequent article will present the findings of a mixed-methods study of the knowledge, skill, didactic skill, and attitude of Dutch pre-service teachers towards CT.*