Is expliciete aandacht voor CrossCutting Concepts (CCCs) binnen een bètavak in de vo-bovenbouw effectief voor de prestaties van leerlingen binnen dat vak?

Beantwoord door Christa Teurlings (Kennismakelaar Kennisrotonde) en Martin Vos (antwoordspecialist)

8 april 2024

KR. 2006

Kort antwoord

Wetenschappers nemen aan dat expliciete aandacht voor denkwijzen in de bètalessen belangrijk is. Deze aandacht voor zogeheten crosscutting concepts (CCC) zou het leren van vakinhoud en van hogere orde denkvaardigheden kunnen versterken. De CCCs zouden daarbij in combinatie met vakinhoudelijke kennisdoelen en werkwijzen in een praktijkcontext aan bod moeten komen.
Er is echter maar weinig gedegen onderzoek beschikbaar dat het effect laat zien van het expliciteren van CCCs. Wel laten enkele kleinschalige onderzoeken naar het effect van het expliciteren van denkwijzen in algemene zin of van één specifieke denkwijze (bijvoorbeeld systeemdenken) enkele bemoedigende resultaten zien.

Antwoord

Crosscutting concepts zijn karakteristieke denkwijzen binnen een vakgebied

Crosscutting concepts (CCCs) zijn karakteristieke denkwijzen binnen een wetenschappelijke discipline. Het zijn manieren om naar de werkelijkheid te kijken, daarmee om te gaan en er vragen over te stellen. Ze komen voort uit literatuur over het leren van wetenschappelijke werkmethoden en over het leren wetenschappelijk te redeneren (Osborne, 2013; Osborne et al., 2018).

Crosscutting concepts komen onder meer voor in de bètavakken. In Nederland onderscheidt de SLO er negen in de kennisbasis Natuur en Techniek. Deze dient als handreiking voor kerndoelen van de onderbouw van het voortgezet onderwijs. Voorbeelden van de denkwijzen zijn (Ottevanger et al., 2016): systeem(denken), patronen, oorzaak en gevolg, en stabiliteit en verandering. In Nederlandse examenprogramma's havo-vwo van scheikunde en biologie zie je enkele van de CCCs terugkomen, zoals vorm-functie-denken (subdomein A11 van het examenprogramma biologie) en redeneren over systemen, verandering en energie (subdomein A13 van het examenprogramma scheikunde).

CCCs vinden hun oorsprong in de Next Generation Science Standards (NGSS) in de Verenigde Staten. Ze vormen volgens die standaarden één geheel met kennisdoelen van een vak (de vakinhoud) en werkwijzen in praktijken (Cooper, 2020; Fick & Arias, 2022; Nordine & Lee, 2023). Leerlingen zouden daarom de CCCs

ook niet als losstaande feiten moeten leren, maar altijd in combinatie met vakinhoudelijke kennisdoelen en met werkwijzen in een praktijkcontext (Fick, 2018; Fick et al., 2021). Hierdoor verwacht de SLO

1) dat leerlingen de kennis uit het ene vak beter met andere kennis uit dat vak en met kennis uit een ander vak kunnen verbinden,
2) dat leerlingen denkwijzen verwerven die ze bewust in andere situaties kunnen gaan inzetten, en
3) dat docenten bij de voorbereiding van lessen voor zichzelf een breed beeld van het onderwerp krijgen en zich daarmee beter kunnen voorbereiden op de lessen.

Docenten kunnen crosscutting concepts expliciet aan de orde stellen

Wetenschappers en docenten hanteren de genoemde denkwijzen in het algemeen onbewust en impliciet. Toch kunnen ze op verschillende manieren geëxpliciteerd worden, ook in de bètalessen. Hierdoor worden CCC's op enig moment in de lessen zichtbaar gemaakt, aansluitend bij de aanwezige concepten en denkwijzen van leerlingen (bijvoorbeeld Fick & Arias, 2022; Osborne et al., 2018; Stammes et al., 2021; Talanquer & Kelly, 2023; Talanquer et al., 2024; York et al., 2018).

De wijze waarop docenten CCCs kunnen expliciteren hangt samen met de functie van een CCC. Voorbeelden hiervan zijn (Cooper, 2020; Fick & Arias, 2022; Nordine & Lee, 2023):

- Het expliciteren van denk- of analysestappen (CCCs hebben dan de functie van denkgereedschap). Voorbeelden: het expliciet formuleren van een redenatie in de als-dan vorm, of het ordenen van gegevens in tabellen of grafieken om trends te gaan zien.
- Het expliciteren van verschillende manieren van kijken naar een bepaald fenomeen (CCC als lens). Bijvoorbeeld door met een vraag hier aandacht op te vestigen: 'Wat is anders als je observeert op kleiner of groter schaalniveau'.
- Het expliciteren van samenhang tussen concepten binnen een vak en/of tussen verschillende vakgebieden (CCC als brug). Voorbeeld: laten zien en laten herkennen dat materie- en energietransport in verschillende opdrachten of bij vakken hetzelfde werken. Overigens gaat onderhavige Kennisrotonde-vraag louter om de brugfunctie binnen één vak.
- Het expliciteren van een spelregel, die de lerende laat kennismaken met de normen en waarden binnen de wetenschap (CCC als spelregel). Voorbeeld: 'correlatie is niet gelijk aan causaliteit'.

CCCs zijn met name gericht op prestaties die hogere denkvaardigheden vereisen

CCCs zijn met name gericht op hogere denkvaardigheden van leerlingen (Osborne, 2013). Voor dit hogere orde denken moeten leerlingen niet alleen meer, bredere of diepere vakinhoudelijke kennis en vaardigheden opdoen. Ze moeten de verschillende vakinhoudelijke kenniseenheden ook gaan verbinden met andere kenniseenheden binnen het vak, om daarmee nieuwe problemen te kunnen oplossen. Juist dàt typeert het hogere denken.

Er is nog weinig gedegen effectonderzoek beschikbaar

Wetenschappers nemen in het algemeen wel aan dat expliciete aandacht voor CCCs effectief is om hogere orde denkvaardigheden bij leerlingen te ontwikkelen. Deze aanname ligt in het verlengde van de bredere

principes van de effectief gebleken methode van expliciete directe Instructie EDI (Hollingsworth & Ybarra, 2021; Kennisrotonde, 2020). Ook voor de bètavakken wordt aangenomen dat dit werkt.

Toch is er in het algemeen maar weinig gedegen effectonderzoek (met bijvoorbeeld controlegroepen en voor- en nametingen) beschikbaar, waarbij CCCs in bètavakken in de bovenbouw geëxpliciteerd worden (Cooper, 2020; Fick & Arias, 2022; York et al., 2019).

Onderzoek dat wél gaat over CCCs in het onderwijs, is vaak kleinschalig, kwalitatief en praktijkgericht, en betreft veelal de onderbouw (Fick & Arias, 2022). Deze onderzoeken maken echter niet altijd duidelijk of en hoe CCCs expliciet zijn gemaakt in de lessen (bijvoorbeeld Chessnett e.a, 2019; Kohn et al., 201; Sevian & Talanquer, 2014).

Andere artikelen gaan weer over de wijze waarop de CCCs vastgesteld (bijvoorbeeld Roemmele et al., 2020) of geëxpliciteerd (kunnen) worden en aldus in het curriculum (kunnen) worden geïmplementeerd (Barth-Cohen & Wittman, 2020; Etkina et al., 2022; Fick & Arias, 2022; Marckwordt et al, 2022; Osborne et al, 2018; Den Otter et al., 2022, 2023; York et al., 2019). Hierbij ontbreekt veelal effectonderzoek dat empirisch onderbouwde uitspraken mogelijk maakt over de ontwikkeling van leerlingen.

Overigens blijken leerlingen het doorgaans moeilijk te vinden om CCC's te gebruiken (Fick & Arias, 2022). Dit zou mogelijk kunnen samenhangen met hun leeftijd en ontwikkeling, hun cognitieve en ruimtelijke vermogens, en hun vakinhoudelijke kennis (York et al., 2019). Ook docenten blijken het moeilijk vinden om expliciet aandacht te besteden aan CCCs (Marckwordt et al., 2021). Veelal is nog niet helder hoe en wanneer CCCs het best in de les geëxpliciteerd kunnen worden. Docenten ervaren daarbij een grotere complexiteit en taakverzwaring, als zij ook aandacht moeten gaan besteden aan de denkwijzen van het vak (vergelijk Pieters et al., 2020; Wilschut & Pijls, 2018).

Er is groeiend aantal bemoedigende aanwijzingen dat CCCs expliciet aandacht behoeven

We hebben wel enkele kleinschalige empirische uitspraken gevonden over het effect van het expliciteren van denkwijzen in het algemeen. CCCs moeten dan wel gekoppeld worden aan vakinhoudelijke concepten en/of werkwijzen in praktijkcontexten (Fick & Arias, 2022). Leerlingen moeten CCCs dus leren tijdens het *toepassen* ervan in een bepaalde context. Zo zorgen de CCCs -gekoppeld aan de werkwijze `modelleren' voor diepgaander gebruik van de modellen (Fick & Arias, 2022). Veel onderzoek heeft betrekking op het basisonderwijs en de onderbouw voortgezet onderwijs of juist voor het hoger onderwijs.

CCCs blijken met name in de onderbouw te helpen om kennis te organiseren of om te begrijpen hoe deze kennis tot stand is gekomen. Het expliciteren van denk- of analysestappen (CCC als gereedschap) is daarbij helpend gebleken. Dit blijkt uit enkele artikelen die hierop focusten en die besproken zijn in de breder gerichte reviewstudie van Fick en Arias (2022).

Andere onderzoeken richten zich op een *specifieke* crosscutting concept, bijvoorbeeld het systeemdenken binnen de STEM-vakken. Grote effecten worden echter niet vastgesteld. Wel is inmiddels duidelijk geworden, dat het niet noodzakelijk is om al vanaf het begin van de lessen expliciete aandacht aan deze concepten te besteden (Samon & Levy, 2019). Het kan ook gunstig zijn om het CCC `systeemdenken' gedurende de les aan de orde te stellen door middel van ondersteunende vragen. Dit werd duidelijk uit onderzoek dat de prestaties van 47 onderbouwleerlingen vergeleek met die van een groep van 45

leerlingen. De ondersteunende vragen hielpen de leerlingen om de hogere orde denkvaardigheden daadwerkelijk te gaan inzetten (Samon & Levy, 2019).

Voorts bleek dat expliciete aandacht voor chemisch redeneren met de CCC `structuur-eigenschapsrelaties' voor meer diepgaande kennis op moleculair niveau en voor uitgebreider kennisnetwerk van aanverwante relevante chemische concepten zorgde. Dit kwam voort uit een kleinschalige effectstudie (Den Otter et al., 2021, 2022, 2023) binnen scheikundelessen in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Eerder onderzoek van Meijer et al. (2013) toonde al aan dat expliciete aandacht voor de CCC `structuur-eigenschapsrelaties' leerlingen helpt op systematische wijze te schakelen tussen verschillende schaalniveaus. Dit bleek bij kwalitatief ontwerponderzoek van een lessenserie Scheikunde in de bovenbouw bij twee vwo-scholen.

Gillissen en collega's (zie Gilissen, 2021; Gilissen et al., 2019; Gilissen et al., 2020) voerden in Nederland een kleinschalige kwalitatieve studie (met Lesson Study) uit in twee biologieklassen met 15- en 16-jarigen. De meeste van deze leerlingen konden na afloop de behandelde CCC (t.w. systeemdenken, bestaande uit zeven aspecten) benoemen en toepassen. Concluderend lijkt het belangrijk om in de lessen de zeven aspecten te introduceren, de CCC in een brede variatie aan contexten te gebruiken, en de systeem-taal expliciet te gebruiken.

Geraadpleegde bronnen

Barth-Cohen, L., & Wittmann, M. (2020). *Learning about crosscutting concepts as concepts*. ICLS 2020 Proceedings.

Chesnutt, K., Gail Jones, M., Corin, E. N., Hite, R., Childers, G., Perez, M. P., Clayton, E. & Ennes, M. (2019). Crosscutting concepts and achievement: Is a sense of size and scale related to achievement in science and mathematics? *Journal of Research in Science Teaching*, *56*(3), 302-321.

Cooper, M. M. (2020). The crosscutting concepts: Critical component or "third wheel" of three-dimensional learning?. *Journal of Chemical Education*, *97*(4), 903-909.

Duschl, R. A. (2012). The second dimension—crosscutting concepts. *The Science Teacher*, *9*(2), 34-38.

Etkina, E., Owen, J., Planinsic, G., & Seeley, L. (2023). How Crosscutting Is the Energy Concept within Physics Teaching and Learning. *Education Sciences*, *13*(9), 857.

Fick, S. J. (2018). What does three-dimensional teaching and learning look like?: Examining the potential for crosscutting concepts to support the development of science knowledge. *Science Education*, *102*(1), 5-35.

Fick, S. J., McAlister, A. M., Chiu, J. L., & McElhaney, K. W. (2021). Using students' conceptual models to represent understanding of crosscutting concepts in an NGSS-aligned curriculum unit about urban water runoff. *Journal of Science Education and Technology*, *30*, 678-691.

Fick, S. J., & Arias, A. M. (2022). A review of literature that uses the lens of the next generation science crosscutting concepts: 2012–2019. *Journal of Research in Science Teaching*, *59*(6), 883-929.

Gilissen, M. G. R. (2021). *Fostering students' systems thinking in secondary biology education* (Doctoral dissertation, Utrecht University).

Gilissen, M. G., Knippels, M. C. P., & Van Joolingen, W. R. (2020). Bringing systems thinking into the classroom. *International Journal of Science Education*, *42*(8), 1253-1280.

Gilissen, M. G., Knippels, M. C. P., Verhoeff, R. P., & Van Joolingen, W. R. (2019). Teachers' and educators' perspectives on systems thinking and its implementation in Dutch biology education. *Journal of Biological Education*.

Hollingsworth, J., & Ybarra, S. (2021). *Expliciete Directe Instructie 2.0, Tips en Technieken voor een goede les.* Pica.

Kennisrotonde. (2020). *Wat is de effectiviteit van het directe instructiemodel op de leervorderingen van leerlingen in het bijzonder in het voortgezet onderwijs.* (KR 266).

Kohn, K. P., Underwood, S. M., & Cooper, M. M. (2018). Connecting structure–property and structure–function relationships across the disciplines of chemistry and biology: Exploring student perceptions. *CBE—Life Sciences Education*, *17*(2), ar33.

Marckwordt, J., Nguyen, K., Boxerman, J. Z., & Iveland, A. (2022). Teacher enactment of the crosscutting concepts in next generation science classrooms. *Science Education*, *106*(2), 257-284.

Meijer, M. R., Bulte, A. M., & Pilot, A. (2013). Macro–micro thinking with structure–property relations: Integrating 'meso-levels' in secondary education. In: Tsaparlis, G., Sevia, H. (eds)*Concepts of matter in science education* (pp. 419-436). Springer Netherlands.

Nordine, J. C., & Lee, O. (2023). On the Nature and Utility of Crosscutting Concepts. *Education Sciences*, *13*(7), 640.

Osborne, J. (2013). The 21st century challenge for science education: Assessing scientific reasoning. *Thinking skills and creativity*, *10*, 265-279.

Osborne, J., Rafanelli, S., & Kind, P. (2018). Toward a more coherent model for science education than the crosscutting concepts of the next generation science standards: The affordances of styles of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, *55*(7), 962-981.

Den Otter, M. J., Dam, M., Juurlink, L. B., & Janssen, F. (2021). Two design principles for the design of demonstrations to enhance structure–property reasoning. *Education sciences*, *11*(9), 504.

Den Otter, M. J., Juurlink, L. B., & Janssen, F. J. (2022). How to Assess Students' Structure–Property Reasoning?. *Journal of Chemical Education*, *99*(10), 3396-3405.

Den Otter, M. J., Kuijpers, A., Dam, M., Juurlink, L., & Janssen, F. (2023). A Perspective for Structure–Property Reasoning to Explicate and Scaffold Thinking like a Chemist. *Research in Science Education*, 1-15.

Ottevanger, W., Spek, W., & Oorschot, F. (2016). Vakinhouden in combinatie met werk- en denkwijzen: De kennisbasis natuurwetenschappen en technologie. *NVOX*, *39*(8), 416-418.

Pieters, M., De Kleijn, M., & Schalk, H. (2020). *Overladenheid in de bèta-vakken*. SLO.

Roemmele, C., Holzer, M., & Bailey, J. M. (2020). Assessing and applying students' understanding of the scientific practices and crosscutting concepts. *The Earth scientist*, *36*(3).

Samon, S., & Levy, S. T. (2020). Interactions between reasoning about complex systems and conceptual understanding in learning chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, *57*(1), 58-86.

Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice*, *15*(1), 10-23.

Stammes, H., Henze, I., Barendsen, E., & de Vries, M. J. (2021). Teachers noticing chemical thinking while students plan and draw designs. In *Design-based concept learning in science and technology education* (pp. 311-343). Brill.

Talanquer, V., Cole, R., & Rushton, G. T. (2024). Thinking and Learning in Nested Systems: The Classroom Level. *Journal of chemical education*, *101*(2), 295-306.

Talanquer, V., & Kelly, R. (2023). Thinking and Learning in Nested Systems: The Individual Level. *Journal of Chemical Education*, *101*(2), 283-294.

Wilschut, A. & Pijls, M. (2018). *Effecten van vakkenintegratie. Een literatuurstudie.* Hogeschool van Amsterdam.

York, S., Lavi, R., Dori, Y. J., & Orgill, M. (2019). Applications of systems thinking in STEM education. *Journal of Chemical Education*, *96*(12), 2742-2751.

Meer weten?

- Kennisrotonde. (2019). *Welke didactische strategieën dragen bij aan het leren begrijpen van concepten in de bètavakken?*

Over deze vraag

Opgesteld door:	Christa Teurlings (Kennismakelaar Kennisrotonde) en Martin Vos (antwoordspecialist)
Vraagsteller:	docent voortgezet onderwijs
Geraadpleegde experts:	Joost van Vijfeijken (expert systeemdenken)
Onderwijssector:	Voortgezet onderwijs
Trefwoorden:	Crosscutting concepts, denk- en werkwijzen, bètavakken, hogere orde vaardigheden, 3D-leren

Referentie: Kennisrotonde. (2024). *Is expliciete aandacht voor CrossCutting Concepts (CCC's) binnen een bètavak in de vo-bovenbouw effectief voor de prestaties van leerlingen binnen dat vak?* (KR. 2006)

Dit antwoord is gepubliceerd op Kennisrotonde.nl. De Kennisrotonde is samen met NCO en Onderwijskennis een dienst van het NRO.