

# Speciale Relativiteit in de klas - Achtergrond

Lesmateriaal ontwikkeld tijdens het promotieonderzoek van Floor Kamphorst, in samenwerking met Paul Alstein, Jan Dentener, Stefan van Dijk, Gerhard van Hunnik, Bart van de Laar, Sjaak Meertens, Johanna Phaf-Novozamsky, Marianne Verhaart, Bastiaan Vinke, Tienke de Vries en Nathalie van der Weide.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Bron afbeelding: pixabay.com



## Inleiding

Het verklaren van relativistische verschijnselen staat centraal in het leerdoel van SRT zoals dat verwoord is in het curriculum: “De kandidaat kan in gedachte-experimenten en toepassingen de verschijnselen tijdrek en lengtekrimp verklaren aan de hand van de begrippen lichtsnelheid, gelijktijdigheid en referentiestelsel.” (College voor Toetsen en Examens, 2018). Om dit doel te bereiken ligt een conceptuele benadering voor de hand, waarbij leerlingen ook kennis kunnen maken met de centrale manier van denken van de theorie: het uitvoeren van gedachte-experimenten.

Daarvoor moeten leerlingen kunnen redeneren met het lichtpostulaat. Verschillende onderzoeken hebben aangetoond dat het heel lastig is voor leerlingen om dat te gaan doen. Na standaard onderwijs, waarin het lichtpostulaat vaak als een soort definitie wordt geponeerd, kunnen leerlingen het lichtpostulaat wel reproduceren, maar gebruiken vervolgens een spontaan lichtvoortplantingsmodel als ze ermee moeten redeneren. Aansluiten bij leerlingideeën tijdens de introductie van het lichtpostulaat kan voorkomen dat leerlingen terugvallen naar zo’n spontaan model.

Het lichtpostulaat stelt dat “licht zich door de lege ruimte altijd voortplant met snelheid  $c$ , onafhankelijk van de bewegingstoestand van de lichtbron.” (Einstein 1905/2005) Leerlingen redeneren met een constante lichtsnelheid ten opzichte van de lichtbron of ten opzichte van een absolute ruimte (Kamphorst, Savelsbergh, & Vollebregt, 2019). Om te gaan redeneren met het lichtpostulaat moeten leerlingen het referentiekader van hun spontane model dus veranderen naar dat van de waarnemer. Dat zullen leerlingen niet uit zichzelf doen. De volgende inzichten kunnen leerlingen een noodzaak voor een nieuw lichtvoortplantingsmodel laten ervaren:

1. lichtvoortplanting is altijd ten opzichte van een referentiekader,
2. Er zijn verschillende mogelijkheden voor dit referentiekader,
3. Voorspellingen met lichtvoortplanting hangen af van de keuze voor dit referentiekader, en
4. Hun huidige redeneren leidt tot verkeerde of inconsistente voorspellingen.

Om vervolgens ook daadwerkelijk het lichtpostulaat te gaan gebruiken en daar productief mee te redeneren, is het nodig dat leerlingen:

5. Hun referentiekader voor lichtvoortplanting veranderen naar dat van de waarnemer,
6. ervaren dat dit nieuwe lichtvoortplantingsmodel het probleem oplost met hun spontane model, en
7. De gevolgen van dit nieuwe model verkennen.



Deze lessenserie neemt het spontaan redeneren met lichtvoortplanting van leerlingen als uitgangspunt. Vanuit deze positie zijn leeractiviteiten ontwikkeld waarmee leerlingen de noodzaak voor het lichtpostulaat ontdekken, dat leren toepassen en daarmee redeneren om relativistische verschijnselen af te leiden.

De lessenserie is cyclisch opgebouwd. Er wordt eerst een lesvraag opgeroepen. Vervolgens gaan leerlingen met een redeneertaak aan de slag die hen in staat stelt om zelf een antwoord op de vraag te formuleren (fase 1). Op de uitkomst van de redeneertaak wordt individueel, in duo's (fase 2) en vervolgens op klassenniveau gereflecteerd. Zo wordt de lesvraag beantwoord (fase 3). In het klassengesprek wordt ook de lesvraag voor de volgende les opgeroepen (fase 4). Een verdere uitwerking van de lesopbouw is weergegeven in Figuur 1.

Het uitgangspunt in de lessen is steeds dat leerlingen voordat ze een nieuwe manier van denken moeten adopteren, ervaren hebben dat hun huidige manier van denken niet meer voldoet. Daarbij worden plausibele ideeën van leerlingen gevolgd.

## **Totstandkomen lesmateriaal**

Deze lessenserie is tot stand gekomen in het kader van het promotieonderzoeksproject 'Relativiteit in de klas', uitgevoerd door Floor Kamphorst. De leeractiviteiten zijn experimenteel getest met kleine groepjes leerlingen. De resultaten van deze ontwikkelronde zijn gebruikt om de leeractiviteiten te verbeteren. Deze ontwikkelronde is twee maal uitgevoerd.

De leeractiviteiten zijn vervolgens aangepast om ook in de context van een klas te kunnen gebruiken. Deze ontwikkelronde is uitgevoerd door een professionele leergemeenschap van 11 natuurkunde-docenten onder leiding van de onderzoeker. De docenten hebben de lessenserie die zo tot stand is gekomen uitgevoerd in hun klassen. De resultaten van deze ontwikkelronde zijn gebruikt om de leeractiviteiten en lessenserie nogmaals te verbeteren.

Ten opzichte van het lesmateriaal gebruikt in het onderzoek hebben we de nummering van een aantal taken aangepast.

## **Achtergrond centrale begrippen en werkvormen**

### **Hypothetisch modelleren**

Deze lessenserie laat leerlingen hypothetisch modelleren. Hypothetisch modelleren is een denkwijze die in de natuurwetenschappen gebruikt wordt voor zaken die te klein of te groot zijn om je een voorstelling van te maken. Daarbij wordt een principe tijdelijk voor waar aangenomen en worden daar voorspellingen mee gedaan. De evaluatie van die voorspellingen leidt uiteindelijk tot het aannemen of verwerpen van het principe.



In de lessenserie komt hypothetisch modelleren terug door eerst twee verschillende voortbewegingsmodellen voor licht te verkennen (tekenregel 1 en 2), voordat uiteindelijk het lichtpostulaat wordt geïntroduceerd.

### **Gebruikte werkvormen**

#### ***Redeneertaken: Gedachte-experiment ondersteund met gebeurtenisdiagram***

De redeneertaak waarin leerlingen een antwoord formuleren op de vraag van het gedachte-experiment (fase 1), wordt ondersteund met een externe representatie: het gebeurtenisdiagram. Gebeurtenisdiagrammen zijn een representatie van ruimtetijd waarin een reeks plaatjes de positie van objecten en gebeurtenissen toont voor opeenvolgende tijdstippen vanuit een specifiek referentiekader. Door deze wijze van afbeelden kan er een snelheid worden toegekend aan objecten en lichtflitsen in de eenheid 'hokje per tijdstapje'. Leerlingen kunnen in gebeurtenisdiagrammen redeneren met beweging van objecten en licht door de positie van dat object of de lichtflits voor elk tijdstapje te tekenen.

Voordat leerlingen op de uitkomst van de redeneeractiviteit reflecteren, wordt deze nagekeken.

#### ***Reflectietaken***

In deze lessenserie spelen twee werkvormen een prominente rol. Leerlingen reflecteren op de lesactiviteiten (fase 2) aan de hand van reflectievragen. Vervolgens delen ze kort hun ideeën met een klasgenoot. Hierbij wordt de werkvorm 'Denken, Delen, Uitwisselen' gebruikt. Tijdens de denk-fase geeft de docent leerlingen in stilte de tijd (ongeveer 3 minuten) om een antwoord op de reflectievragen te formuleren. De houding van de docent kan hier beschreven worden als a-didactisch: de docent geeft leerlingen de ruimte om zelf een antwoord te formuleren. De deel-fase duurt kort. Deze dient om de eigen gedachten kort te vergelijken met die van een ander, discussie is in deze fase nog niet het doel.

#### ***Klassengesprek***

De Uitwissel-fase krijgt gestalte in de vorm van een klassengesprek (fase 3). Hier haalt de docent verschillende leerling-denkbepelden naar voren. De rol van de docent is hier didactisch: de docent begeleidt de klassendiscussie en stelt vragen om zo met de klas uiteindelijk de lesvraag te beantwoorden. De houding van de docent is hier nieuwsgierig naar leerlingantwoorden en de redenering daarachter, en normerend: wat is uiteindelijk (voor nu) het juiste antwoord. Hierbij gaat het niet alleen om leerlingen te voorzien van de eindconclusie, maar ook om ze naar die conclusie toe te begeleiden zodat zij de waarde van die conclusie zelf ook inzien en begrijpen.



## **Lesmateriaal**

Het lesmateriaal bestaat uit een docentenhandleiding, een leerlingenboekje met opgaven en gebeurtenisdiagrammen, ondersteunende presentaties en een nakijkboekje.

### **Docentenhandleiding**

De docentenhandleiding is vormgegeven als hypothetisch leertraject. Dit is een beschrijving van de lesactiviteiten, het handelen van de docent en het beoogde leren van leerlingen. Hierbij is steeds de beginsituatie beschreven vanuit de leerling. Dit geldt ook voor het lesdoel. Dit is zo verwoord dat leerlingen met hun kennis van de voorgaande lessen kunnen begrijpen wat ze gaan leren.

De lesactiviteiten zijn beschreven in termen van docenthandelen (linkerkolom) en (niet-triviaal) leerlinghandelen. Daarmee geeft het hypothetisch leertraject de docent handvatten wat zij/hij kan verwachten in de klas en hoe daarop te acteren.

Het leerlingenboekje is integraal opgenomen in deze handleiding. Daarnaast is er per les een ondersteunende presentatie gemaakt. Deze presentatie is ontwikkeld als houvast voor de leerlingen. Dat betekent dat het docenthandelen alleen volledig beschreven staat in het hypothetisch leertraject. Door powerpoints te delen met de klas kunnen leerlingen gemiste lesstof inhalen. De powerpoints dienen ook als nakijkboekje voor de opdrachten uit het leerlingenboekje. Daarnaast zijn de



## Lesvraag

<p><b>Beginsituatie</b> Beschrijving beginsituatie leerlingen. Deze beginsituatie is het uitgangspunt of de eindsituatie van de voorgaande les. Hier staat dus kort samengevat wat er tot nu toe beoogd is te bereiken met de leerlingen.</p>	
<p><b>Doel</b> In termen die leerlingen aan het begin van de les al kunnen begrijpen wordt beschreven wat het doel van de les is en over wat voor problemen leerlingen aan het eind van de les kunnen nadenken.</p>	
<p><b>Activiteiten en docenthandelen</b></p>	<p><b>Observeerbaar gedrag van leerlingen/klas (verwachtingen)</b></p>
<p><b>Fase 1: Lesactiviteit om vraag te beantwoorden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-beschrijven hoe opdracht in staat stelt om over de vraag na te denken</li> <li>-Beschrijving van het doel van de opdracht, de werkvorm en uitvoering (handleiding voor docent)</li> <li>-Nakijken van de taak</li> </ul>	<p><b>Mogelijke uitkomsten</b></p>
<p><b>Fase 2: Reflectie op lesactiviteit (divergent)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Reflecteren op de taak aan de hand van een reflectievraag</li> </ul>	<p><b>Mogelijke denkbeelden van leerlingen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-verwachtingen (niet triviaal) over observeerbaar gedrag.</li> </ul>
<p><b>Fase 3: Vraag beantwoorden en nieuwe vraag oproepen (convergent)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Wat hebben we geleerd over...?</li> <li>Handrijkingen voor docenten om sturing te geven aan socratisch gesprek om tot een definitieve beantwoording van de vraag te komen.</li> </ul>	<p><b>Mogelijke knelpunten bij leerlingen</b></p>
<p><b>Fase 4: Consolideren</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Docent vat samen wat afgelopen activiteiten hebben opgeleverd.</li> <li>-Welke vraag roept dit op</li> </ul>	<p><b>Mogelijke vragen die de eindsituatie bij leerlingen kan oproepen...</b></p>

**Figuur 1:** Uitwerking opzet van de lessen.