



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Fundamental Methods to Measure the Orbital Angular Momentum of Light

Berkhout, G.C.G.

### Citation

Berkhout, G. C. G. (2011, September 20). *Fundamental Methods to Measure the Orbital Angular Momentum of Light*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/17842>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/17842>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

---

## Samenvatting

Licht is een veelvoorkomende drager van informatie. De intensiteit, richting, kleur en polarisatie geven informatie over de bron van het licht en het medium waar het doorheen is gegaan. Door middel van fotodetectoren, camera's, spectrometers en polarisatoren kunnen deze eigenschappen nauwkeurig worden gemeten. Op deze manier kan niet alleen kennis worden vergaard over de bron en het medium; ook kan het licht worden gebruikt om informatie te versturen van de ene plek naar de andere, door deze informatie te versleutelen in één of meerdere eigenschappen van het licht.

In de afgelopen twintig jaar is de interesse gegroeid voor een andere eigenschap van licht, het baanimpulsmoment. In tegenstelling tot de polarisatie, die twee toestanden, horizontaal en verticaal, kan aannemen, kan het baanimpulsmoment van een lichtbundel oneindig veel orthogonale toestanden aannemen. Als deze eigenschap nauwkeurig kan worden gemeten, dan biedt dit mogelijkheden voor interessant, nieuw onderzoek en kan het baanimpulsmoment worden gebruikt als extra eigenschap om informatie in te versleutelen, waarbij het aftelbaar oneindige mogelijke toestanden een groot voordeel is.

Eén manier om licht met baanimpulsmoment te maken is door middel van zogenaamde Laguerre-Gauss bundels. Deze bundels hebben een fasesingulariteit waaromheen de fase van het optische veld lineair toeneemt met de poolhoek  $\phi$  volgens  $\exp(i\ell\phi)$ , waarbij  $\ell$  een geheel getal is; in het centrum van zo een bundel bevindt zich een zogenaamde optische vortex. Op de positie van de fasesingulariteit is de intensiteit gelijk aan nul en, in het geval van een Laguerre-Gauss bundel resulteert dit in een ringvorming intensiteitsprofiel. Elk foton in een Laguerre-Gauss bundel heeft een baanimpulsmoment van  $\ell\hbar$ .  $\ell$  wordt vaak ook gebruikt om de topologische lading van de optische vortex aan te geven.  $\ell = 0$  komt overeen met een vlak faseprofiel, waarvan het verre veld van een puntbron, zoals bijvoorbeeld een ster, een veelvoorkomend voorbeeld is. Bundels met een optische vortex kunnen worden gemaakt met speciale optische elementen, zoals een spiraalfaseplaat, een vorkhologram of een *spatial light modulator*. Op deze manier kan een groot aantal verschillende waarden van  $\ell$  worden bereikt. Optische vortices komen ook voor als hogere orde toestanden van laser licht, in optische caustieken en in spikkelpatronen.

Het meten van het baanimpulsmoment van licht zonder kennis vooraf is erg uitdagend. Een ideaal meetsysteem zou, in principe, oneindig veel verschillende uitgangen

moeten hebben, elk overeenkomend met één van de baanimpulsmomenttoestanden. Zo een systeem zou het complexe equivalent zijn van een polariserende bundelsplitser, die twee uitgangen heeft, elk overeenkomend met één van de twee polarisatietoestanden. Een alternatief om de polarisatie van licht te bepalen is het gebruik van een polarisator, die één van de toestanden blokkeert en de ander doorlaat, hetgeen we een filter noemen.

In het verleden zijn verschillende manieren bestudeerd om het baanimpulsmoment van licht te meten. Het interfereren van een optische vortex met een bundel met een vlak faseprofiel resulteert in een interferentiepatroon waaruit de topologische lading van de vortex kan worden bepaald. Het feit dat er een tweede bundel nodig is, maakt deze methode niet erg geschikt voor sommige toepassingen, met name als de bestudeerde bundel groot is in vergelijking met een typische detector, zoals bijvoorbeeld te verwachten is voor licht van astronomische bronnen. Een filter voor baanimpulsmomenttoestanden kan worden gerealiseerd met een spiraalfaseplaat, die kan worden gebruikt om te testen of een foton zich in een bepaalde toestand bevindt of niet. Tenslotte kan een combinatie van Mach-Zehnder interferometers en Dove prisma's worden gebruikt om de baanimpulsmomenttoestand van een foton te meten, maar dit is technisch erg uitdagend en moeilijk in te bouwen in een groter optisch systeem.

In dit proefschrift presenteren we twee nieuwe manieren om het baanimpulsmoment van licht te meten. De eerste manier, waarvan we de details in hoofdstuk 2 en 3 beschrijven, is gebaseerd op een meerpuntsinterferometer, een systeem van een aantal openingen in een cirkelvormig patroon, waarachter het licht via diffractie wordt gecombineerd. We laten zien dat de topologische lading van een inkomende optische vortex kan worden bepaald op basis van de interferentiepatronen achter zo een meerpuntsinterferometer. Het grootste voordeel van een meerpuntsinterferometer is het feit dat de openingen ver van elkaar kunnen worden geplaatst, hetgeen het mogelijk maakt om dit systeem aan te passen aan optische bundels of velden die veel groter zijn dan een typische detector. De meerpuntsinterferometer kan ook worden gebruikt om zogenaamde vortexkaarten te maken, op basis waarvan het mogelijk is om optische vortices in een spikkelpatroon te vinden, hetgeen het onderwerp is van hoofdstuk 4 en 5.

In hoofdstuk 6 presenteren we een toestandssorteerder voor baanimpulsmomenttoestanden. De toestandssorteerder bestaat uit twee speciale optische elementen en twee lenzen die inkomende optische vortices met een verschillende topologische lading omvormen en focuseren op verschillende posities op een detector. In hoofdstuk 7 laten we zien dat deze toestandssorteerder ook in staat is om de bijdragen van verschillende optische vortices in een superpositie te bepalen. In speciale gevallen kunnen we zelfs de relatieve fase tussen de toestanden bepalen.

Alle resultaten in hoofdstuk 2 tot en met 7 zijn verkregen met monochromatisch en coherent licht. In hoofdstuk 8 breiden we deze resultaten theoretisch uit naar polychromatisch en (deels) incoherent licht. De resultaten van deze berekeningen dienen als uitgangspunt bij het bestuderen van toepassingen van het baanimpulsmoment van licht, zoals bijvoorbeeld optische communicatie.