

## Samenvatting

De lichtverstrooiende eigenschappen van een deeltje of korrel worden in het algemeen bepaald door de (complexe) brekingsindex, vorm en grootte van de korrel ten opzichte van de golflengte van het licht. Wanneer we nu veel korrels wanordelijk plaatsen in de ruimte, creëren we een medium waarin het licht door het hoog aantal verstrooiingen zal diffunderen. Alleen op korte afstand is er nog een aanzienlijke bijdrage van het niet verstrooide licht. Wanneer de korrels een reële brekingsindex hebben, wordt het licht alleen verstrooid en niet geabsorbeerd. Zo'n medium ziet er uit als witte verf.

In eerste instantie lijkt voor een situatie waar licht veelvuldig en op willekeurige plaatsen verstrooid wordt, interferentie onbelangrijk voor de beschrijving van het licht. Het bestaan van laserspikkel, een wanordelijk interferentie (!) patroon, is echter al een sterk tegenvoorbeeld. Een ander interferentie effect van veelvoudig verstrooid licht is juist alleen waarneembaar na een middeling over vele spikkelpatronen of wanneer we het wanordelijk medium beschijnen met een goed gecolimeerde bundel wit licht. De gereflecteerde intensiteit zal dan verhoogd zijn rond de exacte terugstrooirichting (de richting tegengesteld aan die van het invallend licht). Dit is als volgt in te zien: wanneer we een wanordelijk medium beschijnen met een vlakke lichtbundel zullen lichtgolven het medium indringen en tenslotte, via een meestal groot aantal verstrooiingen, gereflecteerd worden. Een lichtgolf heeft een wanordelijke wandeling gemaakt in het medium en daardoor een bepaalde wanordelijke fasedraaiing ondergaan. Omdat we het medium beschijnen met een vlakke bundel, is er ook een tegengestelde golf die hetzelfde pad bewandelt maar in de omgekeerde richting. Deze golf ondergaat dus precies dezelfde fasedraaiing. Het faseverschil tussen deze twee golven is onafhankelijk van de vorm en aantal verstrooiingen in het pad zolang begin- en eindpunt van het pad hetzelfde blijven. De gereflecteerde intensiteit van een wanordelijk medium wordt dus opgebouwd uit paarsgewijs interfererende puntbronnen op willekeurige afstanden. Alleen in de exacte terugstrooirichting geldt dat voor alle gepaarde puntbronnen de interferentie constructief is, en in die richting zal de gereflecteerde intensiteit het grootst zijn. Voor richtingen die een hoek maken met de terugstrooirichting, zullen de interferentie patronen van de puntbronnen elkaar uitmiddelen. De interferentie geeft aanleiding tot een typerende vorm van de gereflecteerde intensiteit, namelijk een kegelvorm. Dit interferentie effect wordt om deze reden de terugstrooikegel genoemd.

De kans op een bepaalde afstand tussen twee puntbronnen zal afhangen van het medium; naarmate het een optisch dichter medium betreft, zal deze afstand gemiddeld genomen kleiner zijn en dus de terugstrooikegel breder. In de experimenten beschreven in dit proefschrift is vaak de vorm of hoekbreedte van de terugstrooikegel gebruikt om informatie te verkrijgen over het wanordelijk medium en over de propagatie van het licht door het medium.

In **hoofdstuk 2** bespreken we eerst lichtverstrooiing aan één korrel, en daarna geven we een introductie op de veelvoudige verstrooiingstheorie.

Voor metingen aan wanordelijke media is een opstelling gebouwd met een hoekoplossendvermogen van  $50\mu\text{rad}$ . Als lichtbron wordt een nauwbandige kleurstof-laser gebruikt. Dit wordt beschreven in **hoofdstuk 3**. Ook zullen we ingaan op de specifieke experimentele moeilijkheden die zich voor doen bij metingen aan veelvoudig verstrooiende media rond de terugstrooirichting.

**Hoofdstuk 4** handelt over een aantal korte experimenten. We hebben de invloed van polarisatie op het veelvoudig verstrooide licht en op de mogelijkheid om nieuwe interferentie verschijnselen waar te nemen onderzocht. In ditzelfde hoofdstuk laten we zien dat het doorgelaten licht van een wanordelijke medium gepolariseerd is. De polarisatiegraad is groter naar mate het oppervlak van het wanordelijk medium gladder is.

Doordat in het wanordelijk medium het licht veelvoudig verstrooid wordt, is niet meteen duidelijk hoe de effectieve brekingsindex van het wanordelijke medium uitgerekend moet worden en hoe die experimenteel bepaald kan worden. De effectieve brekingsindex zal in ieder geval verschillen met die van lucht. Het licht, dat het wanordelijk medium verlaat, zal daardoor intern gereflecteerd worden. Hoe hoger de effectieve brekingsindex, hoe groter de interne reflectie zullen zijn. In **hoofdstuk 5** gaan we in op de invloed van deze interne reflecties op de diffuse lichtintensiteit. We hebben experimenten gedaan waarbij we het verschil in brekingsindex tussen het verstrooiend en het niet-verstrooiend medium gevarieerd hebben om zo de invloed van interne reflecties op de breedte van de terugstrooikegel experimenteel te bepalen. Uit vergelijking met theoretische modellen, die de invloed van interne reflectie beschrijven, volgt de effectieve brekingsindex van het wanordelijk medium. Het blijkt dat we op deze manier veel lagere waarden voor de effectieve brekingsindex vinden dan we zouden verwachten op grond van gemiddelde-veld-theorieën. Brewsterhoek-metingen aan wanordelijke media bevestigen echter dat deze lage waarden voor de effectieve brekingsindex reëel zijn.

In **hoofdstuk 6** beschrijven we experimenten en simulaties die we hebben uitgevoerd om de invloed van anisotrope strooiing op het transportgedrag van het licht door het wanordelijke medium nader te onderzoeken. De eenvoudigste be-

nadering, die ook meestal gebruikt wordt, is de introductie van een grotere lengte schaal waarop de diffusie dan plaatsvindt. In die beschrijving van de diffuse lichtintensiteit wordt er nog steeds van uitgegaan dat elke verstrooiing isotroop is, in werkelijkheid is zo'n fictieve isotrope verstrooiing een aantal verstrooiingen dat samen een isotrope karakter vormt. Dit is een zeer goede benadering wanneer het gemiddeld aantal verstrooiingen hoog is. In reflectie en tijdopgeloste transmissie metingen zijn echter bepaalde belangrijke bijdragen alleen afkomstig van de lage orde verstrooiingsprocessen. Voor reflectie metingen weerspiegelt zich dit in de vorm van de terugstrooikegel. In tijdopgeloste transmissie meting zijn dit de lichtgolven die het medium in bijna rechte lijnen doorkruisen; deze golven zullen in een transmissie experiment als eerste worden gedetecteerd. Om deze lage orde verstrooiingsprocessen goed te beschrijven blijkt er een andere aanpak dan hierboven geschetst noodzakelijk te zijn.

In het laatste hoofdstuk, **hoofdstuk 7**, gaan we in op een toegepast onderwerp dat te maken heeft met het afbeelden van voorwerpen door veelvoudig verstrooiende media. De afwezigheid van rechtlijnige voortplanting van het licht maakt het mogelijk voorwerpen te verstoppen in een veelvuldig verstrooiend medium. Dit is niets anders dan dat de hoeveelheid vruchtjes in de yoghurt een verrassing zal zijn. Toch blijkt zo'n ingesloten voorwerp niet onvindbaar (zonder in de yoghurt te lepelen). Het voorwerp heeft namelijk andere optische eigenschappen dan het omringende verstrooiend medium en zal daardoor de diffuse lichtintensiteit in dit omringende medium verstoren. De verstoring zal weer diffunderen naar de randen van het verstrooiend medium, en kan daar gemeten worden. Wij hebben onderzocht welke informatie over het voorwerp nog via een dergelijke meting achterhaald kan worden door een theoretisch model op te zetten dat het lichttransport door zowel het omringende verstrooiend medium als door het voorwerp beschrijft met behulp van de diffusietheorie. Dit theoretisch model lijkt sterk op een elektrostatisch probleem waar het elektrisch veld uitgerekend moet worden voor een gegeven configuratie van geleiders, ladingen, diëlektrica en potentialen. Het model is in goede overeenstemming met de uitgevoerde experimenten waarbij de gereflecteerde of doorgelaten lichtintensiteit is gemeten. Hierdoor kunnen we de plaats van een voorwerp in het veelvoudig verstrooiende medium nauwkeurig bepalen, en uiterst kleine verplaatsingen van het voorwerp waarnemen.