

**THOMAS
DE PADOVA**

EEN EEUW VAN LICHT

**HOE MAX PLANCK, ALBERT EINSTEIN,
NIELS BOHR EN WERNER HEISENBERG
DE WERELD VOORGOED VERANDERDEN**

VERTAALD UIT HET DUIJS DOOR IZAAK HILHORST



ALFABET UITGEVERS

2025

LICHT AAN: HET FOTO-ELEKTRISCHE EFFECT

Berlijn, Kurfürstendamm. In de jaren twintig heeft de winkelboulevard een totaal ander karakter dan het prachtige Unter den Linden. Geen stadspaleis, geen universiteit, geen staatsbibliotheek, geen in marmer gehouwen traditie en gezapigheid, maar creatieve onrust, het betere amusement en een bruisend nachtleven, winkels die worden geopend, uitgebreid of weer verdwijnen, er zijn mode- en speciaalzaken, cafés en danszalen, theaters en galerieën.

Op Kurfürstendamm 232 bijvoorbeeld is de expositieruimte van de groep kunstenaars die zich hebben aaneengesloten in de Berliner Secession, een club waar keizer Wilhelm II niets mee te maken wilde hebben: ‘Kunst uit de goot!’¹ Ernaast zit een portretfotografie. Een vitrine op het trottoir maakt voorbijgangers op de studio attent:² kinderfoto’s, foto’s van beroemdheden, dans- en theateropnames en een bordje met de tekst: OPLEIDING VOOR AMATEUR- EN BEROEPSFOTOGRAFEN.³

Wie een studio heeft op Kurfürstendamm 230 wil ‘net zo modern zijn als de boulevard zelf’⁴ – fotografe Suse Byk heeft veel beroemde klanten. Schilder Max Liebermann, schrijver Alfred Döblin en maatschappijhervormer Alice Salomon laten zich door haar portretteren. De latere modedefotografe Yva en architectuurfotografe Lore Feininger leren in haar studio het vak. Suse Byk introduceert jonge vrouwen in haar metier en moedigt ze aan om de stap naar zelfstandigheid te zetten.

In de weinige uitspraken over fotografie die van haar zijn overgeleverd, klinkt ze terughoudend. Als fotograaf moet ze zich in

mensen verplaatsen, zegt ze, niet alleen hun mooie kanten zien ‘maar al bij een korte eerste ontmoeting hun essentie vastleggen’. Alleen zo is het mogelijk ze op een voor hen karakteristiek moment weer te geven.⁵

Voor haar moeten portretten vooral levendig zijn. Aan het op het juiste moment indrukken van de ontspanner gaat volgens haar alert en empathisch waarnemen vooraf. Dat lezen we bijvoorbeeld in de herinneringen van Valeska Gert, een door plankenkoorts geplaagde actrice en danseres, die door Suse Byk wordt bevrijd van haar angst voor de camera: ‘Ze filmde zo makkelijk en handig dat ik mijn angst helemaal kwijtraakte en ongelooflijk veel plezier in dit werk heb gekregen.’⁶

Het eerste contact van de fotografe met Albert Einstein is wellicht tot stand gekomen via haar neef Alfred Byk, een voormalig medewerker van Max Planck en hoogleraar fysische chemie. Hij bezoekt regelmatig de bijeenkomsten van het Physikalische Gesellschaft aan de Reichstagufer en neemt daar deel aan discussies over de relativiteits- en de kwantumtheorie.

Als oudste zoon van de Joodse chemicus en ondernemer Heinrich Byk is hij met toegepaste wetenschappen opgegroeid. Het bedrijf van zijn vader produceert slaapmiddelen, die ook voor narcose worden gebruikt, en profiteert van het feit dat de fotografie voor steeds bredere lagen van de bevolking bereikbaar wordt.⁷ Een van hun fabrieken produceert lichtgevoelige emulsies en fotopapier, die in een speciaal voor dat doel opgerichte researchafdeling aan de razendsnelle technische ontwikkelingen worden aangepast.

Ook Heinrich Byks jongere broer Siegmund werkt een tijdje in het bedrijf, eveneens als chemicus. Hij is de vader van Suse Byk, die de familietraditie op haar manier voortzet. Over haar leven is weinig bekend. Naar eigen zeggen is ze geen autodidact.⁸ Waarschijnlijk heeft ze de fotografievakschool voor vrouwen aan de Berlijnse Lette-Verein bezocht, die naast fotografen

ook technisch medewerkers en metallografen opleidt. Ze krijgen daar les in anatomie, optica, scheikunde en elektriciteitsleer en komen in aanraking met de nieuwste technieken, werken met microscopen en experimenteren met de pas ontdekte röntgenstraling.⁹

Tijdens Suse Byks opleiding, voor de Eerste Wereldoorlog, waren de belichtingstijden langer, net als het haar en de rokken van de dames. De houding van de figuren in de oude familiealbums komt nu stijf op haar over. 'Het was een lange en niet gemakkelijke reis van *say cheese* naar de levendige karakterisering van vandaag,' zegt ze, terugkijkend.¹⁰

Ze is vooral geïnteresseerd in de expressiviteit en veranderlijkheid van het menselijk gezicht. Als moderne, expressieve danseressen als Valeska Gert of Vera Skoronel repeteren, benadrukt Suse Byk met haar camera de beeldende kracht van hun gezichten door middel van sterke contrasten of verandert ze die door overbelichting juist in tweedimensionale maskers. Als klanten als Einstein haar studio aan de Kurfürstendamm bezoeken om professionele foto's en ansichtkaarten te laten maken, is ze wat voorzichtiger.

EEN NIEUWE GROOTHEID IN DE WERELDGESCHIEDENIS

In november 1919 zit de veertigjarige Albert Einstein strak in het pak voor haar camera, zoals het hoort bij zijn prominente positie in de Berlijnse wetenschappelijke wereld. Zijn haar, dat hem het voorkomen van een kunstenaar geeft, is dik maar veel minder lang en warrig dan later, wanneer het het handelsmerk van zijn non-conformisme wordt.

Einstein op het keerpunt van zijn carrière: geen foto van Suse Byk zal ooit zoveel aandacht krijgen als deze. Het is goed mogelijk dat ze een voorsprong heeft in de concurrentie met de

persfotografen omdat haar neef haar de beslissende tip heeft gegeven. Maar het zou evengoed kunnen dat de fotografe de opdracht rechtstreeks van *Vossische Zeitung* heeft gekregen, die de plotselinge internationale belangstelling voor Einsteins persoon heel goed in de gaten had. Of zou de meest traditionele krant van Berlijn eerst bij Einstein hebben geïnformeerd en heeft die vervolgens zelf Suse Byk naar voren geschoven? Twintig jaar later, als het Amerikaanse tijdschrift *Life* een fotoserie met hem wil maken, staat Einstein erop dat de foto's gemaakt worden door 'Miss Jacobi', met wie hij Lotte Jacobi bedoelt. Ook zij is een fotografe met Joodse wortels, die hij zeer waardeert en nog kent uit zijn Berlijnse tijd.

Op 30 november 1919 staat Einsteins portret prominent in de zondagsbijlage van *Vossische Zeitung*, maar in klein formaat en met een wel erg bescheiden onderschrift: PROF. ALBERT EINSTEIN, DE MEDEBEDENKER VAN DE RELATIVITEITSTHEORIE, WIENS VOORSPELLINGEN NU OP SCHITTERENDE WIJZE ZIJN BEVESTIGD DOOR HET VERWERKEN VAN DE WAARNEMINGEN VAN DE LAATSTE ZONSVERDUISTERING. FOTO SUSE BYK.

Bij Ullstein, de uitgever van de krant, realiseren ze zich al snel dat dit geen recht doet aan de betekenis van het gebeurde en Einsteins rol daarin. Ook van de foto kan meer worden gemaakt. Nog geen twee weken later wordt hij opnieuw afgedrukt, dit keer op de voorpagina van de grootste krant van Duitsland, *Berliner Illustrierte Zeitung*, die in 1914 al een oplage van meer dan een miljoen exemplaren heeft.

Honderdduizenden, miljoenen Duitsers kunnen de geleerde van wie sommigen al weleens hebben gehoord, nu voor het eerst ook zien: in gedachten verzonken, met neergeslagen ogen. Onder de foto kort en krachtig: EEN NIEUWE GROOTHEID IN DE WERELDGESCHIEDENIS: ALBERT EINSTEIN... En verderop in een iets kleinere letter: '...wiens onderzoek een radicale omwenteling in ons begrip van de natuur veroorzaakt, vergelijkbaar met de

inzichten van Copernicus, Kepler en Newton. Foto Suse Byk’.

Einsteins hoofd beslaat de hele voorpagina. De redactie heeft het portret bijgesneden en vergroot tot krantenformaat. Einstein zit in de houding van de ‘denker’, zijn hoofd gesteund op zijn rechterhand. Een pose zo oud als Walther von der Vogelweide, op perkament geschilderd in het bekende middeleeuwse handschrift de *Codex Manesse*. Met de middeleeuwse dichter heeft Einstein zijn fijnzinnige, melancholische gezichtsuitdrukking gemeen.



Albert Einstein op de voorpagina van *Berliner Illustrierte Zeitung*.

Ook de belichting van opzij verwijst naar de beeldende kunst: Einsteins hoofd is in een rembrandtesk licht gedompeld, de ene helft is licht, de andere donker. Het sterke contrast accentueert zijn gewelfde oogleden, de pikzwarte irissen wijzen op diepe concentratie.

Het portret lijkt ervoor gemaakt om Einstein een plaats in het pantheon van de wetenschap te geven. Zo moet in elk geval de fotoredactie van *Berliner Illustrierte Zeitung* het hebben gezien,

die in plaats van een andere fotograaf in te schakelen de foto van Suse Byk een tweede keer gebruikte. Dit keer moet het publiek zo dicht mogelijk bij de geleerde komen: met een close-up op groot formaat, die de lezers deel laat hebben aan een sensationele wetenschappelijke gebeurtenis die voor de meeste onbegrijpelijk zal blijven.

De omslagfoto is een voorproefje van de mediahype die hem van nu af aan zal vergezellen: Einstein in Londen, Einstein in New York, Einstein in Parijs, Einstein in Tokio, Einstein in Jeruzalem, Einstein in Buenos Aires, van al zijn reizen in de jaren twintig bestaan foto's. Overal wordt hij toegejuicht, zowel in het door de Eerste Wereldoorlog verscheurde en gedesillusioneerde Europa als aan de overkant van de oceaan. Het internationale publiek aanbidt hem als een genie die een nieuwe waarheid verkondigt. Natuurkunde wordt, nu Einstein haar een eigen gezicht heeft gegeven, opeens chic. Veel kranten weten nauwelijks anders dan met beelden te reageren op een theorie over verschoven tijdschalen en gekromde ruimtes. Foto's van en persoonlijke verhalen over Einstein vormen een aanschouwelijk alternatief voor abstracte verhandelingen over de relativiteitstheorie. De foto's van Suse Byk en haar collega's bereiken een breder publiek dan de artikelen van het schrijversgilde. 'De aarde is nog steeds rond, maar de verhalen zijn rechthoekig geworden,' is het commentaar van de schrijver Ödön von Horváth op de nieuwe 'wereld van de plaatjes' in tijdschriften en films.¹¹

LICHT IN KROMME BANEN

Achter Einsteins plotselinge beroemdheid gaan andere beelden schuil: spectaculaire foto's van de sterrenhemel, in mei 1919 door twee Engelse onderzoeksteams tijdens een totale zonsverduiste-

ring in Brazilië en in de Golf van Guinee gemaakt. Hij had reikhalzend naar zulke foto's uitgekeken.

Hoe verspreidt licht zich in het heelal? Als schooljongen al reed Einstein in zijn fantasie op een lichtstraal door het universum. Terwijl de fabriek Einstein und Cie van zijn ouders de gemeente Schwabing, vlak bij München, feestelijk illumineerde met een moderne lichtinstallatie van acht booglampen en honderdzeventig gloeilampen werd hij zich ervan bewust dat je met licht meer kunt doen dan geld verdienen. Voor wie de wereld met de snelheid van het licht bekijkt, openen zich nieuwe horizonten.

Zijn speciale relativiteitstheorie is al gebaseerd op het inzicht dat de snelheid van het licht voor alle waarnemers onveranderlijk is, een eeuwige natuurconstante. Ruimte en tijd kunnen daarom geen van elkaar onafhankelijke grootheden zijn, ook al is dat pas bij hoge snelheden merkbaar.

In de tien jaar daarna had Einstein zijn ideeën over de verspreiding van licht met steeds nieuwe gedachte-experimenten op de proef gesteld. Zijn algemene relativiteitstheorie verbindt ruimte en tijd onverbrekkelijk met de materie. Grote massa-oppeenhopingen als onze zon doen de ruimte krommen. Bijgevolg draaien planeten om de zon en beweegt licht zich in de buurt van de zon niet in een rechte lijn, maar wijkt het van die koers af.

Engelse onderzoekers hebben daar nu tijdens een totale zonsverduistering het bewijs voor gevonden. Tijdens een eclips bedekt de maan de zonnenschijf. Op de foto's is daardoor in het midden een diepzwart, cirkelvormig vlak te zien, omgeven door een corona.



De totale zonsverduistering van 29 mei 1919.

Waar het om gaat is de onopvallende omgeving. Voor het ongeofende oog zijn de zwakke lichtpuntjes in de buurt van de zon haast niet te zien. Het bijzondere aan de prestatie van de Engelse onderzoekers is dat ze tijdens de eclips het zwakke licht van de omringende sterren hebben weten vast te leggen en de locatie van die sterren exact hebben kunnen meten. Door een vergelijking met foto's van hetzelfde sterrengebied bij nacht hebben ze kunnen bewijzen dat de posities van de sterren het dichtst bij de zon tijdens de eclips iets verschoven waren. Anders gezegd: het licht van deze sterren dat de aarde bereikt, wordt door de zon een beetje afgebogen. In haar gravitatieveld krijgt het licht een gekromde baan.

Er zaten hoogstens drie weken tussen de vergadering van de Royal Society, waar de resultaten van de zonsverduisteringsexpeditie openbaar werden gemaakt, en Einsteins sessie bij Suse Byk. Het is moeilijk voor te stellen dat Einstein haar niet heeft

verteld over de sterrenfoto's die overal ter wereld de belangstelling voor zijn persoon hebben aangewakkerd. Zijn spontaniteit en vrolijkheid creëren in zulke situaties vaak een ontspannen sfeer, 'waarin alle gekunsteldheid en conventionaliteit vanzelf verdwijnt'.¹² Voordat de fotografe onder een zwarte doek verdween, zal hij misschien een paar grappige opmerkingen hebben gemaakt over de belichting die Suse Byk, in tegenstelling tot de astrofotografen, vrij kan kiezen. Misschien heeft hij het gesprek ook wel in de richting gestuurd van het proces van het fotograferen zelf.

Als het diafragma opengaat, valt er licht op een fotografische plaat. Dat zorgt ervoor dat de plaat zwart wordt, omdat het zilverbromide dat zich erop bevindt wordt omgevormd zodra het licht zijn energie afgeeft. Volgens Einsteins begrip van de natuurkunde gebeurt dat lichtkwantum voor lichtkwantum.

WAT IS LICHT?

Ook van de aard van het licht heeft Einstein zich geheel eigen voorstellingen gevormd. Sinds zijn jeugd heeft de stralingsfysica hem niet losgelaten. Wat is dat iets dat zich in de lucht of in de ruimte met de ongelooflijke snelheid van 300.000 kilometer per seconde voortplant? Wat is licht? We zullen deze vraag in dit boek steeds opnieuw tegenkomen en vanuit verschillende perspectieven benaderen.

In het najaar van 1919 heeft Max Planck deze vraag bij de jaarvergadering van het Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft opgeworpen en naar een nieuw niveau getild.¹³

De schijnbaar eenvoudige vraag 'Wat is licht?' raakt aan de kern van een theorie die in de jaren twintig successievelijk vorm zal krijgen en de natuurkunde op zijn kop zal zetten: de kwantumtheorie. In de woorden van Planck bevat ze 'het eerste en

moeilijkste dilemma waar de hele kwantumtheorie mee wordt geconfronteerd¹⁴ en dat in één woord kan worden samengevat: lichtkwanta.

Bij alles wat met deze term samenhangt, voelt Planck zich onbehaaglijk, en terecht. Andere onderzoekers vergaat het net zo. Wat moeten we ons daarbij voorstellen? Deeltjes zonder massa? Een zacht gezegd krankzinnig natuurkundig idee!

Ze hebben tijd genoeg gehad om erover na te denken, want de gedachte is niet echt nieuw. In hetzelfde jaar 1905, wanneer Einstein de vakwereld voor het eerst versteld doet staan met zijn inzichten over de verspreiding van het licht en over ruimte en tijd, speculeerde hij er in een tweede artikel al over wat licht is. Zijn baanbrekende artikel in *Annalen der Physik* had hij tegenover vrienden aangekondigd als ‘zeer revolutionair’. Het artikel zelf was gespeend van iedere overmoed. De zesentwintigjarige Einstein begon het heel voorzichtig met ‘Het lijkt mij...’ en sprak slechts van een ‘heuristisch gezichtspunt’.¹⁵

Aan zijn leeftijd kan die terughoudendheid niet worden toegeschreven. Integendeel, juist de gedachte op het punt te staan een grote ontdekking te doen, deed de ambtenaar bij het octroibureau in Bern – die na zijn studie geen betrekking aan een universiteit had kunnen vinden – aarzelen. Hij prees nadrukkelijk de bestaande lichttheorie voordat hij tot de essentie kwam: ‘Volgens de veronderstelling waar het hier om gaat, wordt bij de verspreiding van een van een punt uitgaande lichtstraal de energie niet continu over steeds groter wordende ruimtes verdeeld, maar bestaat deze uit een eindig aantal van in punten in de ruimte gelokaliseerde energiekwanta, die zich bewegen zonder zich te delen en alleen als geheel geabsorbeerd of gegenereerd kunnen worden.’¹⁶

Met deze woorden waren de ‘energiekwanta’, ‘lichtenergiekwanta’ of ‘lichtkwanta’, zoals Einstein ze afwisselend noemde, in de wereld.

KWANTUM VOOR KWANTUM

De kern van zijn natuurkundige artikel werd gevormd door theoretische overwegingen. Einstein was echter niet alleen in staat het hypothetische bestaan van deze lichtkwanta wiskundig te onderbouwen, maar verwees ook naar verschillende experimenten, die volgens hem alleen op deze basis begrijpelijk zijn, waaronder het foto-elektrische effect.

Bij het foto-elektrische effect wordt een metalen plaat niet gewoon belicht door het openen van een diafragma, maar doelgericht met ultraviolet licht bestraald. Ultraviolet licht is energierijker dan zichtbaar licht en, zoals Planck in zijn lezing in de herfst van 1919 benadrukt, een van de vele soorten golfvormige straling. Het menselijk oog is weliswaar 'een zeer gevoelig, maar niettemin vrij beperkt reagens', want het registreert stralen slechts binnen een klein spectraal bereik van nog geen 400 nm. 'Voor de rest van het spectrum nemen andere ontvangers en meetapparaten de plaats van het oog in.'¹⁷

Dat geldt ook voor uv-stralen, die van zichtbaar licht verschillen door hun hogere frequentie, met andere woorden: het aantal trillingen per seconde is groter, vergelijkbaar met het aan- en aflopen van de golven in de zee, dat in lange, uitgerekte series of in een snelle afwisseling van golfbergen en -dalen kan plaatsvinden.

Bij het foto-elektrische effect maakt het uv-licht elektronen, minuscule geladen deeltjes, uit het metaal los. Dit gebeurt echter niet altijd, maar alleen als de frequentie van het licht een bepaalde drempelwaarde overschrijdt. Een raadselachtige bevinding. Waarom is het niet voldoende de plaat met meer licht te bestralen? Ook in dat geval komt er meer energie op de plaat terecht. Maar terwijl een hogere intensiteit van het licht geen effect heeft, veroorzaakt zelfs een klein beetje hoogfrequent uv-licht een meetbare stroom van elektronen.

Einsteins verklaring was dat er een stortvloed van ‘gelokaliseerde energiekwanta’ op het metaal terechtkomt. De energie van afzonderlijke lichtkwanta wordt op afzonderlijke elektronen overgedragen. Om elektronen uit het metaal los te maken en te laten ontsnappen, moet de bindingsenergie van de elektronen in het metaal worden overwonnen en dus moet de energie van de afzonderlijke lichtkwanta boven deze drempelenergie liggen.

Volgens Einstein bestaat het ingestraalde uv-licht met een frequentie ν [de Griekse letter ν , uitgesproken als het Nederlandse ‘nu’; vert.] uit onafhankelijke energiekwanta:

$$E = h\nu$$

Deze vergelijking is voor de vroege geschiedenis van de kwantumfysica belangrijker dan enige andere. Naar vorm en inhoud is ze misschien het meest vergelijkbaar met de eveneens door Einstein ontdekte natuurwet:

$$E = mc^2$$

Twee energievergelijkingen die staan voor de eigenaardigheid van de moderne natuurkunde. In beide verschijnt een natuurconstante als evenredigheidsfactor: in de eerste vergelijking de minuscule constante h , in de tweede de krankzinnig hoge lichtsnelheid c . Beide natuurconstanten gaan het menselijke voorstellingsvermogen ver te boven. Ze hangen samen met verrassende verschijnselen in de micro- en makrokosmos.

Wanneer Einstein in het najaar van 1919 wereldwijd wordt bejubeld vanwege zijn algemene relativiteitstheorie en de door hem voorspelde afbuiging van het licht bij de zon, geloven overigens noch Planck noch de meeste andere natuurkundigen in het bestaan van wat voor soort lichtkwanta dan ook. Want hoe zou je daarmee de talloze optische verschijnselen moeten be-

schrijven die met de klassieke golftheorie van het licht logisch verklaard kunnen worden?

Slechts hier en daar sluit de vakwereld zich bij zijn theorie aan, bijvoorbeeld bij het onderzoek van fotografische processen. Als wetenschappers tijdens de eerste Duitse conferentie van natuurkundigen na de Eerste Wereldoorlog enigszins hoogdravend aankondigen dat elk fotochemisch geproduceerd zilverdeeltje in de droge platen van de firma Agfa die ze hebben onderzocht, overeenkomt met 'één en slechts één geabsorbeerde kwant', mag Einstein dat opvatten als een bevestiging van zijn theorie.¹⁸

KWANTUMLICHT

Dit boek blikt terug op de jaren twintig van de vorige eeuw, waarin een golf van nieuwe inzichten de kennis onderuithaalt waarin tot dan toe zo vast werd geloofd, op een groot decennium in de natuurkunde, waarin Einsteins 'zeer revolutionaire' these een fel debat over de kwestie van de wisselwerking tussen licht en materie op gang brengt. Een decennium waarin de wetenschap doorstoot naar de kwantummechanica en de grenzen van het zeggbare bereikt.

Het raadselachtige van de kwantumwereld manifesteert zich het sterkst in het wezen van het licht. Ook in de eenentwintigste eeuw vinden de fundamentele experimenten op het gebied van de kwantumfysica nog altijd plaats in optische laboratoria: van bizarre pogingen kwanta te verstrengelen tot kwantumcryptography en niet-lokaliteit. Daar bestuderen onderzoekers tot de dag van vandaag het toeval en het tekortschieten van gangbare categorieën als ruimte, tijd en causaliteit. Niet voor niets is Einstein tot zijn dood blijven worstelen met zijn eigen lichtkwantahypothese.