

Guido Van de Voorde

## De radiografie van Rembrandts Nachtwacht\*

*La participation du plus jeune de nos scientifiques à l'examen du Rembrandt le plus prestigieux est un témoignage de la vitalité de l'esprit de recherche et de coopération qui anime deux institutions amies. Les hommes se renouvellent mais l'esprit reste!*

R. Sneyers

Sinds lang is het duidelijk, dat bij de bestudering van vooral oude schilderijen, de radiografie een onderzoeksmethode is die relevante en dikwijls onverwachte gegevens oplevert<sup>1</sup>. Röntgenfoto's bevatten informatie betreffende de materiële toestand en de schildertechnische karakteristieken van het kunstwerk. Door het onthullen van o.a. compositieveranderingen, pentimenti en hernemingen verschaffen ze een beter inzicht in het scheppingsproces (afb. 1 en 2).

Na de schoonmaak van de *Nachtwacht* in 1946/47 werd het schilderij voor de eerste maal doorgelicht. Toen werden 48 deelopnamen (formaten 24 × 30 cm en 30 × 40 cm) gemaakt van de belangrijkste details (afb. 3). Kunsthistorische beschouwingen bij de resultaten van dit technisch onderzoek werden opgenomen in het restauratieverslag<sup>2</sup>.

\* De auteur is dank verschuldigd aan Dr. S. H. Levie, Hoofddirecteur van het Rijksmuseum, Dr. P. J. J. van Thiel en Mr. C. J. de Bruyn Kops, respectievelijk Directeur en Conservator van de afdeling Schilderijen van het Rijksmuseum, voor hun groot vertrouwen en voor de geboden kans zijn werkwijze te demonstreren en te publiceren.

## The Radiography of Rembrandt's Night Watch\*

*La participation du plus jeune de nos scientifiques à l'examen du Rembrandt le plus prestigieux est un témoignage de la vitalité de l'esprit de recherche et de coopération qui anime deux institutions amies. Les hommes se renouvellent mais l'esprit reste!*

R. Sneyers

*It has long been clear that, in the study of earlier paintings in particular, radiography is a method of examination which can furnish relevant and often unexpected results<sup>1</sup>. X-ray photographs contain information about the material condition of a picture and the painting techniques that characterize it. By revealing, among other things, changes in the composition, pentimenti and repaints, they afford a better insight into the process of its creation (Figs. 1 and 2).*

*The first radiographs of the Night Watch were made after it had been cleaned in 1946-7. They comprised 48 separate photographs (either 24 × 30 cm or 30 × 40 cm in size) of the most important details (Fig. 3). Arthistorical readings of the results of this examination were included in the restoration report<sup>2</sup>.*

*It is obvious that a complete radiograph of the*

\* The author is grateful to Dr. S. H. Levie, Director General of the Rijksmuseum, and to Dr. P. J. J. van Thiel and Mr. C. J. de Bruyn Kops, Director and Curator respectively of the Department of Paintings there, for the great trust reposed in him and for the opportunity, afforded him to demonstrate and publish his method.

Het behoeft geen betoog dat een totaalbeeld een veel betere kijk biedt op de compositorische opbouw van het schilderij en op de onderlinge samenhang van de picturale elementen. Door de noodgedwongen restauratie van de *Nachtwacht* werden thans gunstige en uiteraard zeldzame mogelijkheden geboden voor het radiograferen van het gehele doek. Het röntgenbeeld van het pas gedoubleerde schilderij zou niet gestoord worden door een spieraam. Tevens konden ook de omslagranden mee worden afgebeeld<sup>3</sup>. De enorme afmetingen van dit Rembrandt-schilderij (363 × 438 cm) maakten echter een speciale opnametechniek noodzakelijk.

### DE KEUZE VAN DE BELICHTINGSTECHNIEK

Er moest een methode worden vooropgesteld die een gelijkmatige zwarting van het gehele filmoppervlak kon garanderen<sup>4</sup> evenwel zonder het schilderij aan gevaarlijke manipulaties te onderwerpen<sup>5</sup>.

De traditionele techniek behelst het bij delen afbeelden van het schilderij op standaard-röntgenfilms van 30 × 40 cm. In het geval



*whole painting affords a much better image of the build-up of its composition and the inter-connection of the various elements in it. The present enforced restoration of the Night Watch offered a favourable and, of course, rare opportunity of X-raying the whole canvas. A radiograph made just after the painting had been relined would not be disturbed by a stretcher, while at the same time the tacking edges could also be included<sup>3</sup>. However, the enormous dimensions of this Rembrandt (363 × 438 cm) made it necessary to use a special technique.*

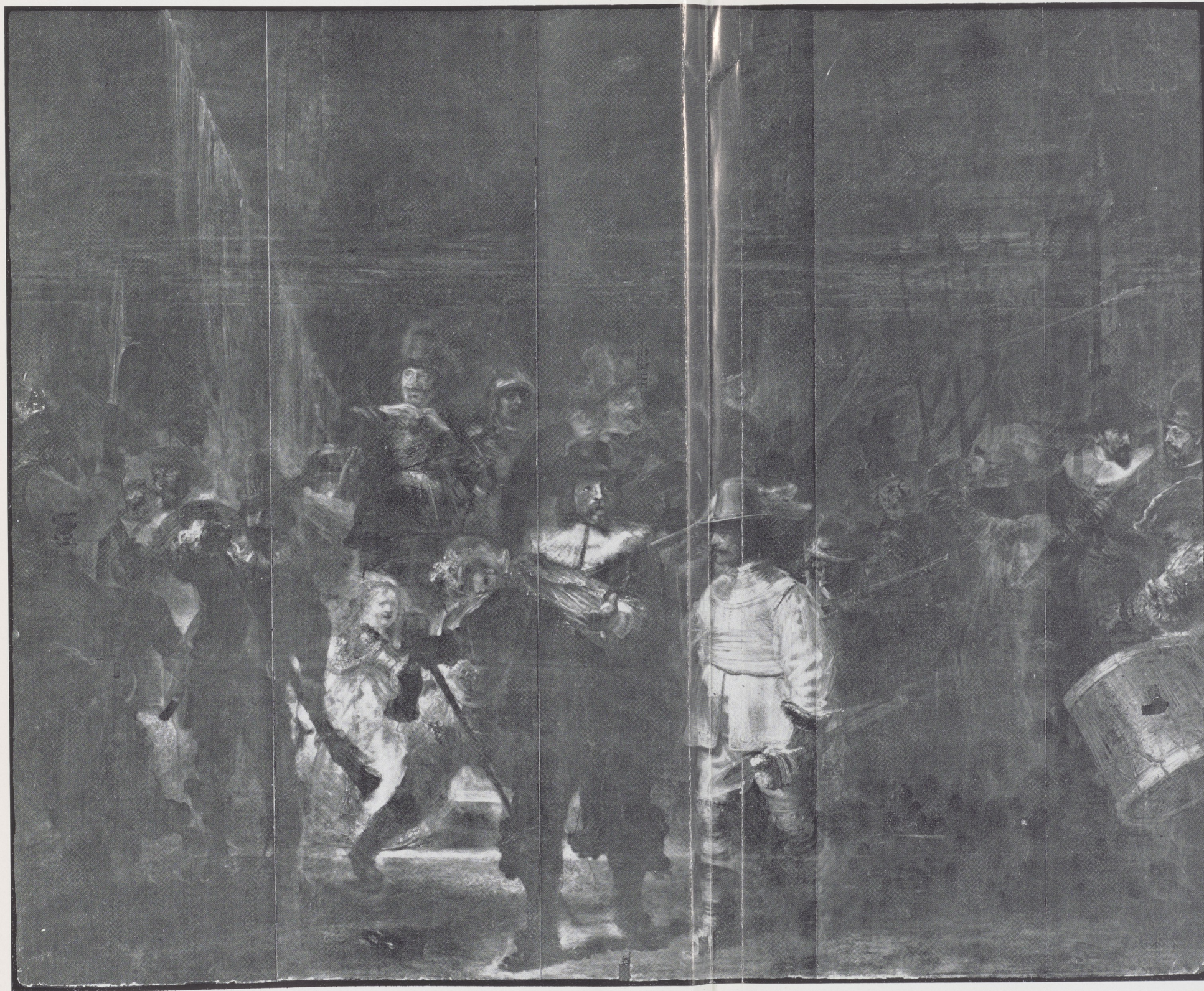
### SELECTING THE METHOD OF EXPOSURE

*A method had to be adopted which could guarantee equal density over the whole surface of the film<sup>4</sup> without subjecting the painting to dangerous manipulation<sup>5</sup>.*

*The traditional technique involves X-raying the painting bit by bit on standard X-ray films of 30 × 40 cm. In the case of the Night Watch this would be a laborious undertaking and it*

Afb. 1. Detail van afb. 2. Van Ruytenburchs partisaan met pentimento (korrektie van de perspectief).

Fig. 1. Detail of Fig. 2. Van Ruytenburch's partisan with pentimento (correction of the perspective).

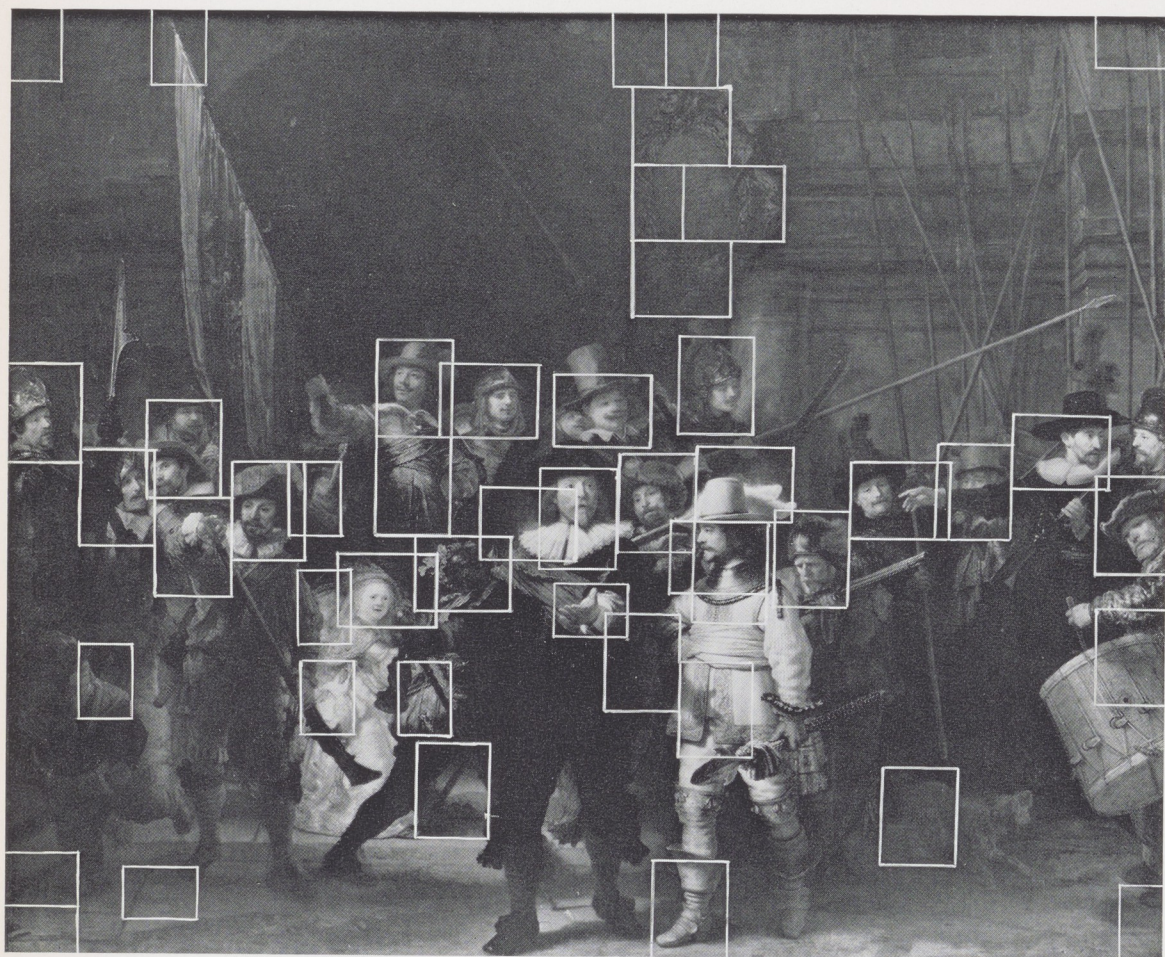


Afb. 2. Röntgenfoto van de  
*Nachtwacht*. Totaalbeeld,  
50 kV-20 mA-52 min.

Fig. 2. X-ray photograph  
of the *Night Watch*. Single  
exposure, 50 kV-20 mA-52 min.

Afb. 3. Plaatsaanduiding van de in 1946/47 geradiografeerde gedeelten van de *Nachtwacht*.

Fig. 3. The areas of the *Night Watch* X-rayed in 1946-7.



van de *Nachtwacht* is dit een laborieuze onderneming waarvan het kwalitatieve resultaat moeilijk te voorspellen valt. Om het gehele oppervlak te bestrijken zijn immers niet minder dan 195 films nodig, die – om het registreren van alle delen van het schilderij te waarborgen – elkaar voor een gedeelte (6 cm) moeten overlappen (tabel 1). Afzonderlijk dient iedere film op de juiste plaats tegen het verfoppervlak te worden aangedrukt, om, na het richten van de stralingsbron, vanop korte afstand (1 m) doorheen de rugzijde van het schilderij te worden bestraald (afb. 4A). Dit is een zó tijdrovende bezigheid dat de ganse bestralingsoperatie alleen al verscheidene dagen in beslag zou nemen. Overigens is het

would be difficult to forecast the quality of the results. After all, to cover the whole surface of the painting no less than 195 films would be needed which—in order to ensure the recording of all parts of the painting—would have to overlap each other by 6 cm (Table 1). Each film in turn would have to be pressed against the paint layer in the correct place to be X-rayed from a short distance (1 m) through the back of the painting (Fig. 4A) and for each separate exposure the X-ray source would again have to be aimed at the centre of the corresponding film. This is such a time-consuming occupation that the whole X-ray procedure on its own would take several days, quite apart from anything else.

Tabel 1. De belichtingsmogelijkheden en hun consequenties in het geval van Rembrandts *Nachtwacht*  
 Table 1. Possible methods of exposure and their consequences in the case of Rembrandt's *Night Watch*

	1E METHODE 1ST METHOD	2E METHODE 2ND METHOD
	afzonderlijke belichting van 30 × 40 cm röntgenfilms <i>sepa- rate exposure of 30 × 40 cm X-ray films</i>	eenmalige belichting van naakte Cronaflex-filmstroken met een breedte van 106,7 cm <i>single exposure of strips of naked Cronaflex films 106.7 cm wide</i>
aantal benodigde films <i>number of films needed</i>	13 × 15 = 195 (met een ge- middelde overlapping van 6 cm <i>with an average overlap of 6 cm</i> )	5 vertikaal opgehangen stro- ken met elk een lengte van 4 m <i>5 strips hung up verti- cally, each 4 m long</i>
aantal belichtingen met opgave van de focus-filmstand <i>number of exposures, with respective focus-film distances</i>	195 vanop <i>from</i> 1 m	1 vanop <i>from</i> 10 m
type röntgentoestel <i>type of X-ray equipment</i>	toestel gebruikt voor medische doeleinden <i>set used for medical purposes</i> (Philips Practix 90/20)	industriële toestel met water- koeling <i>industrial unit with water-cooling system</i> (Balto- graphie BF 50/20)
gemiddelde belichtingstijd bij <i>average exposure time at 50 kV en and 20 mA</i>	0,8 sec	52 min
lichtomstandigheid waarin kan of moet gewerkt worden <i>light conditions in which the work can or has to be done</i>	daglicht <i>daylight</i>	safelight

zeer de vraag of gedurende een dermate groot aantal apart te verrichten belichtingen, alle densiteitsbeïnvloedende factoren zouden konstant gehouden kunnen worden<sup>6</sup>. De kans is bijgevolg groot dat het totaalbeeld, verkregen door de 195 opnamen te assembleren, zou gestoord worden door zwartingsverschillen, die met het doorgelichte schilderij niets te maken hebben en die het geheel het uitzicht van een dambord verlenen. Het was noodzakelijk de voorkeur te geven aan een efficiëntere werkwijze. Ze bestaat erin de stralingsbron op een voldoende afstand te plaatsen, zodat – als gevolg van de konische spreiding van de röntgenbundel – een groter oppervlak in één keer kan worden

*For the rest, it is highly questionable whether it would be possible to keep all the factors that influence density constant during such a large number of separate exposures<sup>6</sup>. Consequently there would be a great risk that the complete image, obtained by assembling the 195 radiographs, would be disturbed by differences in density, which would have nothing to do with the painting itself and which would make the whole montage look like a chessboard.*

*It was, therefore, essential to select a more efficient method. This consists in placing the X-ray source at a sufficient distance to enable a larger surface to be X-rayed in one operation as a result of the conical spreading of the*

Afb. 4. Schematisch overzicht van de belichtingsmogelijkheden met:

A. de afzonderlijke belichting van  $30 \times 40$  cm röntgenfilms;

B. de éénmalige belichting van Cronaflex-filmstroken.

In vooraanzicht wordt de verdeling van de gevoelige films over het schilderij-oppervlak weergegeven. In zijaanzicht ziet men de relatieve positie van de stralingsbron t.o.v. het gedoubleerde schilderij.

Opmerking: Het raster waarmee het doubleerlinnen wordt aangeduid is van didactische aard en heeft met de textuur van het linnen niets te maken.

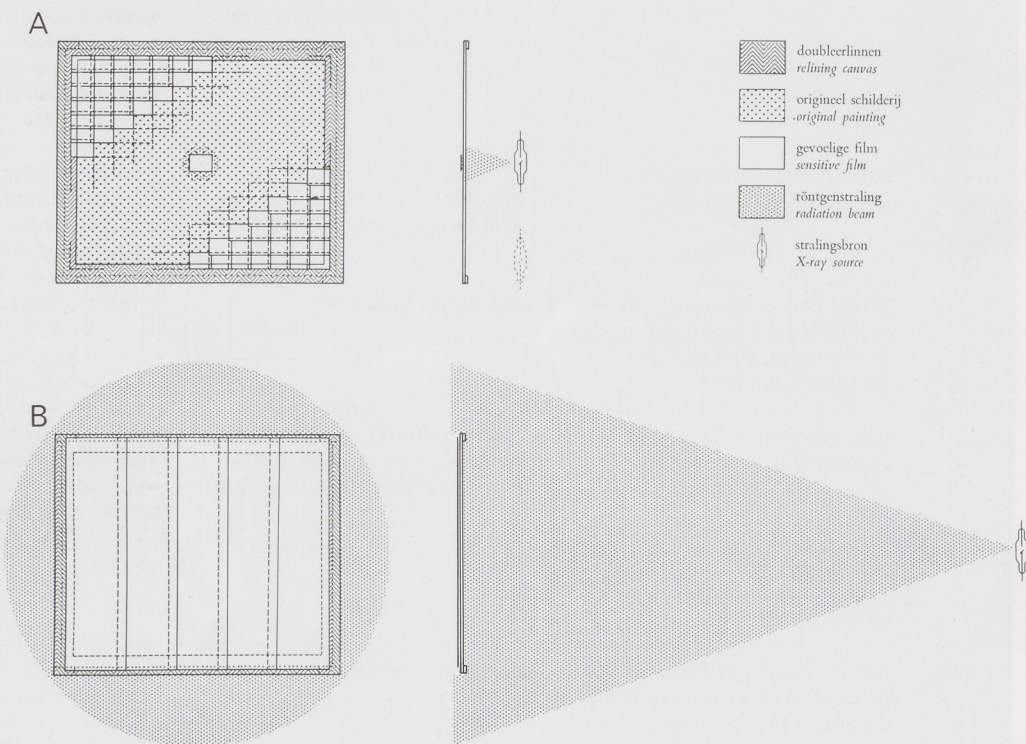


Fig. 4. Schematic survey of the possible methods of exposure:

A. separate exposure of  $30 \times 40$  cm X-ray films;

B. single exposure of strips of Cronaflex film.

The front view shows the arrangement of the sensitive films over the surface of the painting, the side view the relative positions of the X-ray source in relation to the relined painting.

Note: The chevron pattern indicating the relining canvas is purely arbitrary and has nothing to do with the texture of the canvas.

bestraald. De langere belichtingstijd tengevolge van de grotere focus-filmstand<sup>7</sup> blijft klein t.o.v. de totale werktijd vereist bij het apart belichten van de  $30 \times 40$  cm films.

Door het gebruik van groot-formaatfilms wordt de algehele kwaliteit van de totaalopname in belangrijke mate verhoogd. De films ontvangen uiteraard dezelfde stralingsdosis en daar hun aantal beperkt blijft tot enkele stroken, kunnen door een aangepaste ontwikkeling verdere zwartingsverschillen vermeden worden.

Deze zg. lange afstands-röntgenfotografie werd vroeger reeds in enkele uitzonderlijke gevallen toegepast. C. Nordenfalk kon op deze manier twee Rembrandt-schilderijen, nl. de *Staalmeesters*<sup>8</sup> en de *Claudius Civilis*<sup>9</sup>

X-ray beam. The longer exposure time necessitated by the greater focus-film distance<sup>7</sup> would still be short by comparison with the total work-time required for the separate exposure of  $30 \times 40$  films. The use of large-sized films would mean that the overall quality of the complete radiograph would be very considerably improved, since the films would, of course, receive the same dose of radiation, while because they would be limited in number to a few strips, further differences in density could be avoided by an appropriate development procedure.

This long-distance radiography had already been applied previously in a few exceptional cases. It was used by C. Nordenfalk to make X-ray photographs of two paintings by Rem-

Tabel 2. De werkomstandigheden voor het röntgenen van de *Nachtwacht* vergeleken met deze van vroegere opnamen

Table 2. Conditions of work for the radiography of the *Night Watch* compared with those of earlier X-ray photographs

	STAALMEESTERS <i>THE SYNDICS</i>	CLAUDIUS CIVILIS	NACHTWACHT <i>THE NIGHT WATCH</i>
afmetingen <i>measurements</i>	191 × 279 cm	196 × 309 cm	363 × 438 cm
oppervlakte <i>surface area</i>	53,289 cm <sup>2</sup>	60,564 cm <sup>2</sup>	158,994 cm <sup>2</sup>
aantal films <i>number of films</i>	2 × 3 stroken röntgenfilm van strips of X-ray film of 53 × 194 cm	2 × 3 stroken röntgenfilm van strips of X-ray film of 53 × 194 cm	5 stroken Cronaflex-film van strips of Cronaflex film of 106 × 400 cm
focus-film afstand <i>focus-film distance</i>	3,5 m	4,5 m	10 m
belichtingsomstandigheden <i>conditions of exposure</i>	2 belichtingen van exposures of 35 kV–4 mA–7 min 30 sec (1 belichting voor iedere helft van het schilderij 1 exposure for each half of the painting)	2 belichtingen van exposures of 38 kV–3,5 mA–12 min (1 belichting voor iedere helft van het schilderij 1 exposure for each half of the painting)	1 belichting van exposure of 50 kV–20 mA–52 min

radiograferen. Grote röntgenfilms, die normaal niet in de handel verkrijgbaar zijn, werden hem speciaal hiervoor door een bedrijf van fotobenodigheden ter beschikking gesteld. Volgens dezelfde methode, maar dan op fotografisch papier, werden door F. Peleggi opnamen gemaakt van Caravaggio's *Martirio di S. Matteo*<sup>10</sup>. Het betreft hier echter telkens schilderijen (of gedeelten ervan) met een oppervlakte kleiner dan de helft van deze van de *Nachtwacht* (tabel 2). Houdt de methode op zichzelf geen beperkingen in wat betreft het formaat van het te bestralen oppervlak, de eisen gesteld aan het filmmateriaal worden daarentegen aanzienlijk. De film moet naast een perfecte detailweergave ook extreme mechanische kwalitei-

*brandt*, *The Syndics*<sup>8</sup> and *Claudius Civilis*<sup>9</sup>, large X-ray films, which are not normally obtainable commercially, having been made available to him specially for the purpose by a firm of photographic suppliers. Using the same method, but with photographic paper instead of film, F. Peleggi made radiographs of Caravaggio's *Martyrdom of St. Matthew*<sup>10</sup>. However, all these instances concern paintings (or parts of paintings) with surfaces less than half the size of that of the *Night Watch* (Table 2). While there are no limitations inherent in the method itself as far as the size of the painting to be X-rayed is concerned, very considerable demands are, on the other hand, made of the film material. Apart from giving perfect reproduction of detail, it must also have ex-

ten bezitten om toe te laten hem in brede banen over het bijzonder grote schilderijoppervlak te spannen. Bovendien is het onontbeerlijk dat hij de contrastverlaging, die optreedt in het stralingsbeeld als gevolg van de lange werkafstand<sup>11</sup>, goed ondervangt. Nu in dit opzicht gebleken is dat de Cronaflex-film<sup>12</sup> binnen een redelijke belichtingstijd, kwaliteitsvolle röntgenfoto's van schilderijen oplevert<sup>13</sup>, kunnen gemakkelijker dan tot nu toe het geval was, grotere oppervlakken in één keer geröntgend worden. Bij 50 kV en met een geschikte ontwikkelaar wordt een gunstig contrast bereikt waarbij de detailherkenbaarheid, zowel in de zwaar gedekte als in de lichte beeldpartijen, zeer groot is<sup>14</sup>. Het lag voor de hand de opnamen van de *Nachtwacht* op dit materiaal te maken. Om het gehele schilderij te bedekken waren vijf filmstroken ( $106,7 \times 400$  cm) voldoende (tabel 1). Deze vijf banen konden, bij een bundelopening van  $40^\circ$ , vanop een afstand van 10 m in één keer belicht worden (afb. 4 B).

#### DE OPNAME

De eigenlijke opname (afb. 5) had plaats in de Nachtwachtzaal van het Rijksmuseum tijdens de nacht van 20 op 21 januari 1976. De beslissing om 's nachts te werken werd om verschillende redenen genomen:

1. Voor de veiligheid diende de bestraling na de bezoeken te geschieden.
2. De naakte (orthochromatische) Cronaflex-films eisten een inactinische omgeving, d.w.z. een verduisterd lokaal waarin alleen reflectoren uitgerust met rode lampen zorgen voor een voldoende zichtbaarheid<sup>15</sup>.
3. Tocht en trillingen moesten beperkt worden om te vermijden dat het schilderij en de film tijdens de (lange) belichting zouden bewegen<sup>16</sup>.

Voor de bestraling werd het toestel Baltographe BF 50/20 (met waterkoeling) gebruikt. Met het oog op het retoucheren was de *Nachtwacht* vertikaal opgesteld. Het schilderij moest worden gewenteld zodat het met de rugzijde naar de röntgenbuis kwam te hangen. Deze buis die met behulp van een statief op de verhoogde werkbrug was vastgemaakt, bevond zich op de vereiste afstand van 10 m.

*tremely good mechanical qualities which will allow of its being stretched in broad strips over the surface of an exceptionally large painting. In addition it is also indispensable that it should satisfactorily obviate the reduction in contrast that occurs in the X-ray image as a result of the long focus-film distance<sup>11</sup>.*

*Now that in this respect it has been found that Cronaflex film<sup>12</sup> produces good quality X-ray photographs of paintings within a reasonable exposure time<sup>13</sup>, larger surfaces can be radiographed in one operation more easily than was previously the case. At 50 kV and with a suitable developer good contrast can be obtained, which makes it very easy to read the detail in both the dense and the light parts of the image<sup>14</sup>. This material was the obvious choice for the radiography of the Night Watch. Five strips of film ( $106,7 \times 400$  cm) would be enough to cover the whole painting (Table 1) and they could be exposed in one operation with a beam at an angle of opening of  $40^\circ$  from a distance of 10 m (Fig. 4B).*

#### MAKING THE RADIOGRAPH

*The actual radiography (Fig. 5) took place in the Night Watch room of the Rijksmuseum during the night of 20–21 January 1976. The decision to work at night was taken for various reasons:*

1. *It was necessary for safety reasons that the irradiation should take place after the hours of opening.*
  2. *Naked (orthochromatic) Cronaflex films require inactinic surroundings, i.e. a darkened place in which sufficient visibility is afforded by reflectors fitted with red lamps only<sup>15</sup>.*
  3. *Draughts and vibrations had to be minimized in order to prevent the painting and the film from moving during the long exposure<sup>16</sup>.*
- The equipment used for the radiography was a Baltographe BF 50/20 unit (with a water-cooling system).*

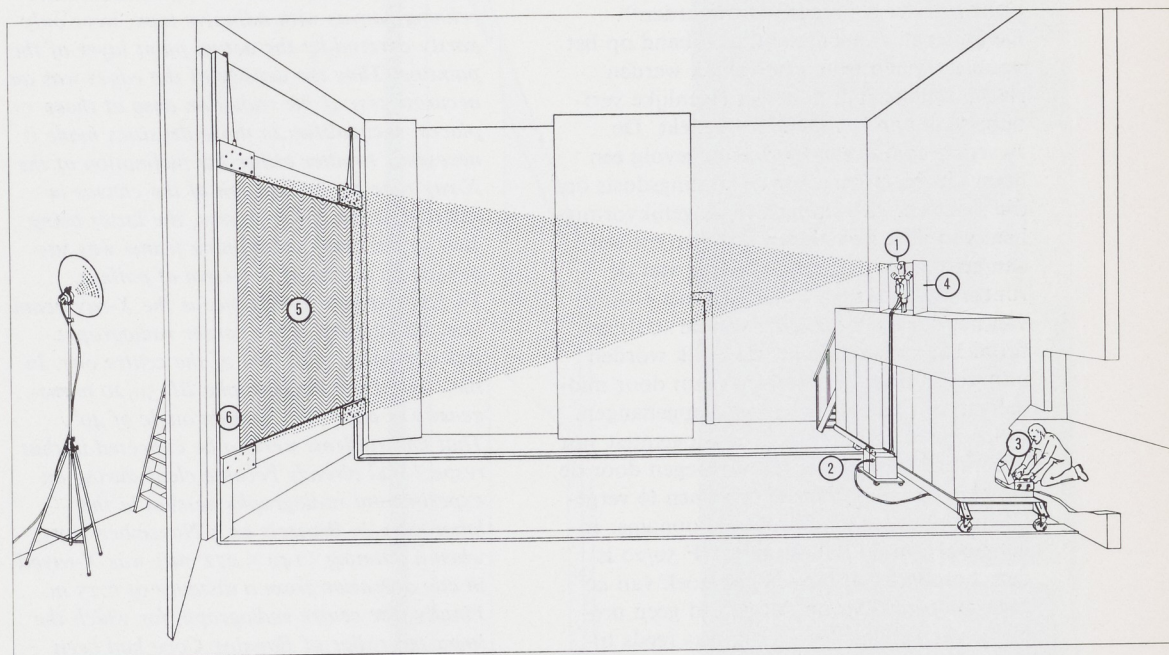
*For purposes of retouching the Night Watch had been hung up in a vertical position. It had to be turned so that its back faced the X-ray tube and the wooden cross laths, which normally supported the relining frame in the centre, were removed for the duration of the radiography. The X-ray tube, which was*

Afb. 5. De opstelling in de Nachtwachtzaal tijdens de eigenlijke bestraling met:

1. stralingsbron
2. hoogspanningsgenerator en waterkoelingsinstallatie
3. bedieningspaneel
4. loden afscherming
5. rugzijde van het gedoubleerde schilderij
6. doubleerraam

Fig. 5. The arrangement in the Night Watch room during the actual radiography with:

1. X-ray source
2. high tension generator and water-cooling system
3. control panel
4. lead screening
5. back of the relined painting
6. relining frame



Een afscherming door middel van loden platen gebouwd rond de stralingsbron, beveiligde de operator tegen zijdelingse en achterwaartse strooi-straling<sup>17</sup>. Ook werden de houten dwarslatten die normaal het doubleerraam in het midden ondersteunen, voor de duur van de bestraling weggenomen. Theoretisch wordt de ruimtelijke positie van het stralingscentrum aangegeven door het geometrische middelpunt van het schilderstuk. Een kleine inclinatie van de röntgenbuis kan op deze grote focus-voorwerpafstand een aanzienlijke afwijking van de stralingsbundel veroorzaken. Ook is geweten dat de röntgenbundel niet perfect konisch maar enigszins afgeplat is langs de kant van de anode. Dit maakt het noodzakelijk het intensiteitsver-

stationed on the heightened work bridge with the aid of a tripod, was positioned at the required distance of 10 m. A screen of lead plates erected around the X-ray source protected the operator against rays scattering sideways or backwards<sup>17</sup>.

Theoretically the spatial position of the centre of the beam is indicated by the geometric centre of the painting. However, a slight inclination of the X-ray tube can cause a considerable deflection of the beam at this large focus-object distance and it is also known that the beam is not perfectly conical, but somewhat flattened along the side of the anode. This made it necessary to examine the intensity distribution of the X-ray beam over the whole surface of the painting before embarking



loop van de stralenbundel over het schilderijoppervlak na te gaan vooraleer tot de totaalopname te besluiten. Daarom werden in de vier hoeken en in het centrum van het schilderij afzonderlijk verpakte Osray-films<sup>18</sup> (formaat 30 × 40 cm) aangebracht en in één keer bestraald. De belichtingstijd bedroeg 1 min. bij een buisspanning van 50 kV en een buisstroom van 20 mA. De ontwikkeling gebeurde onder standaardvoorwaarden<sup>19</sup>.

De buitenste films die met kleefband op het doubleerlinnen waren bevestigd, werden slechts gedeeltelijk door het eigenlijke oppervlak van het schilderij bedekt. De zwarting van de randen was bijgevolg een nauwkeurige proef voor de stralingsdosis op die plaatsen. Afwijkingen in de gelijkvormigheid van deze zwartingen noopten tot een aanpassing: hetzij van de helling van de röntgenbuis, hetzij van de relatieve positie van het doek ten opzichte van de stralingsbron. Dit laatste kon gemakkelijk worden uitgevoerd daar het doubleerraam door middel van een katrolsysteem was opgehangen. Inlichtingen betreffende de homogeniteit van de stralingsbundel werden verkregen door de dekking van de buitenste opnamen te vergelijken met deze van de centrale opname. In het geval van de Baltographe BF 50/20 is deze homogeniteit binnen een hoek van 40° gegarandeerd. Dat op dat gebied geen problemen te verwachten vielen, was reeds tijdens een (proef)opname op 5 november 1975 in het laboratorium te Brussel duidelijk gebleken. Toen werd een schilderij (140 × 272 cm) in één keer vanop een afstand van 6,25 m doorgeleerd.

Tenslotte leerde ook de centrale opname, waarvoor de kop en de pasteus aangebrachte kraag van Banning Cocq was uitgekozen<sup>20</sup>, dat een buisspanning van 50 kV voldoende was om de dikste loodwitlagen, voorkomende op de *Nachtwacht*, te doordringen.

Na het richten van de röntgenbuis werd met de Cronaflex-opnamen een aanvang genomen. Bij wijze van proef was een belichting van één enkele strook voorzien. De film kon op de volgende manier tegen het schilderijoppervlak aangebracht worden (afb. 6). Vanop een ladder werd hij vanuit de filmdoos loodrecht in de hoogte getrokken<sup>21</sup>. Spijker-

*on making the complete radiograph. To this end separately packed Osray films<sup>18</sup> (30 × 40 cm in size) were placed in the four corners and the centre of the painting and irradiated in one operation. The exposure time was 1 min. at 50 kV and a tube current of 20 mA. The development was done under standard conditions<sup>19</sup>.*

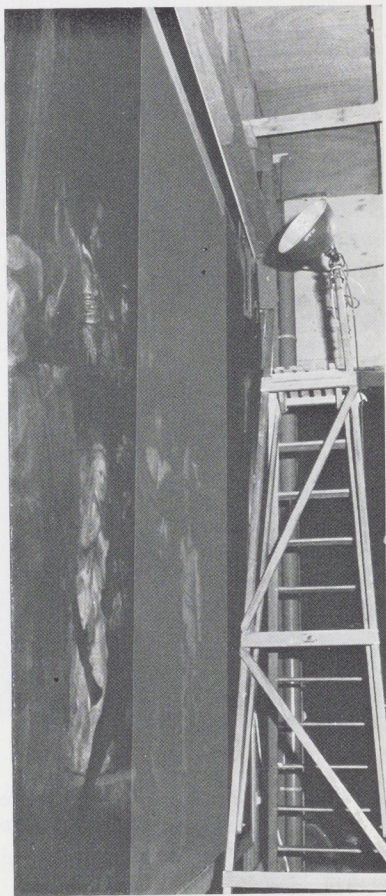
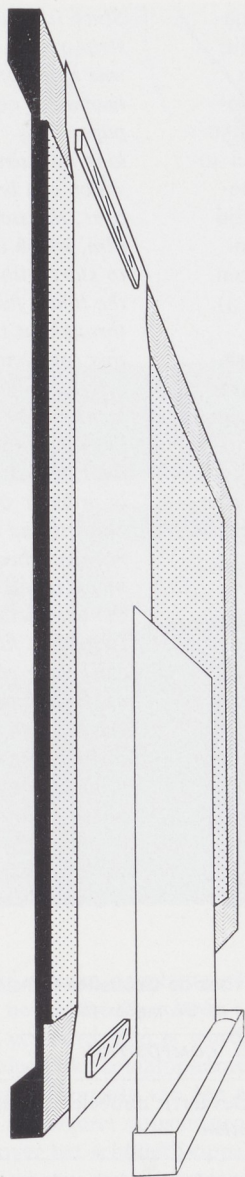
*The corner films, which were fastened to the relining canvas with adhesive tape, were only partly covered by the actual paint layer of the painting. Thus the density of the edges was an accurate test of the radiation dose at those places. Inequalities in those densities made it necessary to alter either the inclination of the X-ray tube or the position of the canvas in relation to the X-ray source, the latter being easy to do, since the relining frame was suspended by means of a system of pulleys.*

*To find out how homogeneous the X-ray beam was, the density of the corner radiographs was compared with that of the centre one. In the case of the Baltographe BF 50/20 homogeneity is ensured within an angle of 40°.*

*That no problems were to be expected in that respect had already become clear during an experimental radiography session in the laboratory in Brussels on 5 November 1975, when a painting (140 × 272 cm) was X-rayed in one operation from a distance of 6.25 m. Finally, the centre radiograph, for which the impasted collar of Banning Cocq had been chosen<sup>20</sup>, showed that a kilovoltage of 50 kV was sufficient to penetrate the thickest layers of leadwhite to be found on the Night Watch. After the X-ray tube had been correctly aimed, a start was made on the radiography with Cronaflex film. An exposure of a single strip had been arranged for as a test. The film was fixed against the surface of the painting in the following manner (Fig. 6). It was drawn vertically out of its box by a person on a ladder<sup>21</sup>, its position being accurately indicated by tacks in the relining frame. Once it had been stapled to the frame at the top, it could be cut off at the bottom, pulled tight and fastened in the same way<sup>22</sup>. Long strips of cardboard affixed with the film during stapling ensured that it was pressed flat and also made it considerably easier to remove after irradiation. The close contact thus obtained between*

Afb. 6. Schematische voorstelling met fotografische reconstructie van de manier waarop de filmstroken over het schilderij-oppervlak werden gespannen en hoe ze in het doubleerraam werden vastgeniet.

Fig. 6. Schematic drawing with photographic reconstruction of the way in which the strips of film were stretched over the surface of the painting and stapled to the relining frame.



tjes in het doubleerraam duiden nauwkeurig zijn plaats aan. Na bovenaan in het raam te zijn vastgeniet, kon de film onderaan worden afgesneden en aangespannen, om er vervolgens op dezelfde manier te worden gehecht<sup>22</sup>. Langwerpige kartonnen strookjes die bij het nieten telkens mee werden bevestigd, zorgden voor het plat drukken van de film. Voorts

the film and the paint surface produced maximum sharpness in the radiographic image. The film was given an exposure of 40 min. at 50 kV and 20 mA. This somewhat short exposure was arranged so that it would require a development time of 10 min. at 20°C in a paper-developer of double concentration to develop the film fully (Table 3).

vergemakelijkten ze aanzienlijk het losmaken van de film na de bestraling. Het aldus gerealiseerde innig contact tussen film en verfoppervlak resulteerde in een maximale scherpte van het radiografische beeld. Bij 50 kV en 20 mA werd een belichtingstijd van 40 min. aangehouden. Deze ietwat krappe belichting is zo geregeld dat een ontwikkeltijd van 10 min. bij 20°C in een dubbel geconcentreerde papierontwikkelaar vereist is om de film volledig uit te ontwikkelen (tabel 3). Dit ontwikkelen van de vier meter lange filmstrook kon bezwaarlijk door handwerk verricht worden. Daarom werd een eenvoudig apparaat ingeschakeld dat normaal voor de ontwikkeling van rollen fotopapier aangewend wordt (afb. 7)<sup>23</sup>. Het bestaat hoofdzakelijk uit twee lange, door een motortje tot roteren gebrachte cilinders, en kan achtereenvolgens in de met ontwikkelaar, stopbad en fixeervulde ontwikkelbakken gehangen worden. De film, die op voorhand om één van de cilinders is gewikkeld, wordt tijdens het ontwikkelproces voortdurend doorheen de vloeistof van de ene op de andere spoelgerold. Door deze konstante beweging, mede dank zij de relatief lange ontwikkeltijd, kon de gelijkmatigheid van de ontwikkeling verzekerd worden. De combinatie van bovenvermelde werkvoorwaarden garandeerde tevens een maximaal contrast. Na het laatste bad werd de film nat afgerold om voor het

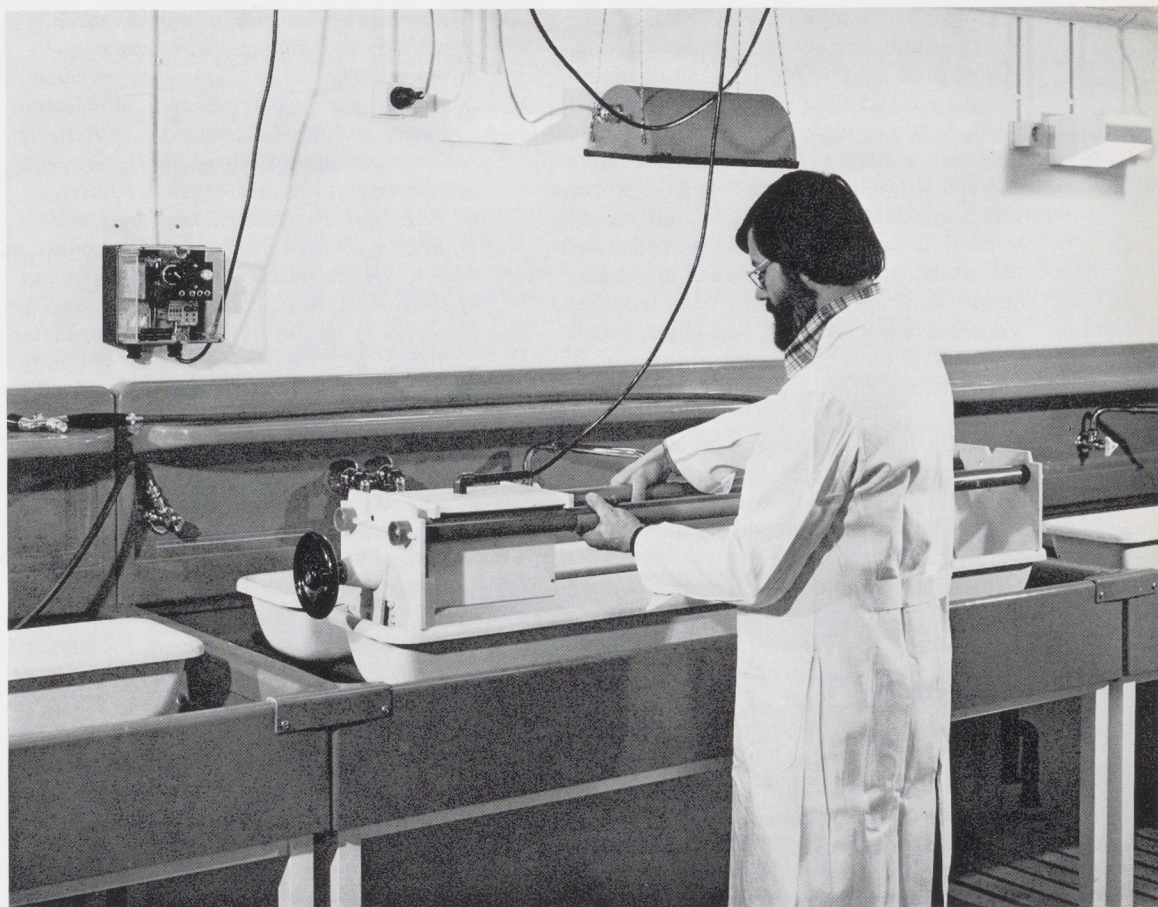
*Since it would have been difficult to develop a strip of film four metres long by hand, use was made of a simple apparatus normally meant for developing rolls of photographic paper (Fig. 7)<sup>23</sup>. This consists mainly of two long cylinders rotated by means of a motor, which can be suspended by turns in the developer, the stop bath and the fixing bath. The film, which is rolled round one of the cylinders to start with, is continuously spooled through the liquid from one cylinder to the other throughout the development process. Thanks to this constant movement and in part also to the relatively long development time, even development can be ensured and maximum contrast is likewise guaranteed. After passing through the final bath the film was unrolled while still wet, in order to be hung up vertically to dry<sup>24</sup>. Once it had become clear that the image was not disturbed by unsharpness due to movement, it was possible to proceed with making the complete radiograph itself. The five Cronaflex films (taken from one and the same roll) were carefully stretched over the surface of the painting in accordance with a preconceived plan. This had been worked out by dividing the composition of the painting into vertical bands and attempting as far as possible to isolate groups of figures on each band in a meaningful way. Thus the overlaps of the various strips of film varied from 10 to 40 cm. A critical analysis of the test strip after it had*

Tabel 3. Schema van het ontwikkelverloop voor de Cronaflex-filmstroken  
Table 3. Development procedure for the strips of Cronaflex film

BAD BATH	SAMENSTELLING COMPOSITION	TIJD TIME
ontwikkelaar <i>developer</i>	Metinol (Agfa-Gevaert): dubbele concentratie <i>double concentration</i>	10 min bij at 20°C
stopbad <i>stop bath</i>	ijszijn-oplossing <i>solution of glacial acetic acid</i> (98-100%): 2 + 100	1 min
fixeerbad <i>fixing bath</i>	Acidofix (Agfa-Gevaert): normale concentratie <i>normal concentration</i>	10 min
spoelbad <i>washing</i>	stromend water <i>running water</i>	20 min
bevochtigingsmiddel <i>wetting agent</i>	Agepon (Agfa-Gevaert): 1 + 200	1 min

Afb. 7. De ontwikkelingsinstallatie. De Bobinoir staat in het stopbad en zal worden verplaatst naar het fixeerbad. Aan de muur de schakelkast, die de draairichting van de motor telkens omschakelt als de film afgerold is.

Fig. 7. The development apparatus. The Bobinoir stands in the stop bath and will next be moved to the fixing bath. On the wall is the switch-cupboard which changes the direction in which the motor turns each time the film has been completely rolled up.



drogen in de lengte te worden opgehangen<sup>24</sup>. Nadat bleek dat het beeld niet door bewegingsonscherpte was gestoord, kon er worden doorgegaan met de eigenlijke totaalopname. De vijf Cronaflexfilms (afkomstig van één en dezelfde rol) werden nauwgezet volgens een welbepaald schema over het schilderij-oppervlak gespannen. Dit schema was verkregen door het opsplitsen van het schilderij-onderwerp in verticale banen waarbij zoveel mogelijk was getracht voor iedere baan op een zinnige manier groepen van personages te isoleren. Aldus varieerden de overlappings van de verschillende filmstroken van 10 tot 40 cm. Een kritische analyse van de proefstrook in droge toestand had er toe laten besluiten de

dried led to the decision to increase the exposure time for the final radiograph to 52 minutes, so that a somewhat greater density could be achieved on the films. Particular care was taken over the separate development of the five films. While a constant and exactly reproducible agitation could be ensured, further differences in density between the strips were avoided by preparing the various development baths in sufficient quantity in one operation. Thus for each development fresh solution of a constant composition and temperature could be drawn from a reserve<sup>25</sup>. Finally, it was an easy matter to obtain the complete radiograph from the five strips (Fig. 1), especially since the overlapping parts of the films proved to show no reduction in density.

eigenlijke belichtingstijd tot 52 min. te verlengen. Aldus kon een iets grotere dekking van de films worden bereikt. Aan de afzonderlijke ontwikkeling van de vijf films werd bijzondere zorg besteed. Kon met het beschreven ontwikkelsysteem een konstante en volstrekt reproduceerbare agitatie worden verzekerd, dan werden verdere zwartingsverschillen tussen de filmstroken vermeden door de verschillende ontwikkelbaden in één keer en in voldoende hoeveelheden aan te maken. Voor iedere ontwikkeling kon aldus, vanuit een reserve, verse oplossing met konstante samenstelling en temperatuur genomen worden<sup>25</sup>.

Vanaf de vijf deelopnamen kon tenslotte het totaalbeeld gemakkelijk verkregen worden (afb. 1), temeer daar de overlapte gedeelten van de films geen verlaagde densiteit bleken te vertonen.

Het welslagen van de onderneming is mogelijk gemaakt door de geestdriftige en zeer gewaardeerde medewerking, zowel bij de voorbereiding als bij de uiteindelijke realisatie, van de heren L. Kuiper en W. Hesterman, respectievelijk hoofdrestaurator en restaurator van de afdeling Schilderijen van het Rijksmuseum, de heren G. B. H. Bijl, P. A. M. C. Mookhoek en H. Bekker, fotografen van het Rijksmuseum, de heer A. Janssen, hoofd van de museuminrichtingsdienst, en de heer J. Flamme, fotograaf van het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium te Brussel. De interesse door Dr. A. F. E. van Schendel betoond tijdens de werkzaamheden was ons een grote aanmoediging. Op deze plaats zij tevens dank gebracht aan de heer R. Sneyers, Directeur van het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium te Brussel voor zijn steun en voor de toestemming die hij verleende om met de röntgenapparatuur van het Instituut de opnamen te Amsterdam te verrichten. Een speciaal woord van dank tenslotte voor de firma Du Pont de Nemours (Duitsland) G.M.B.H., die door toedoen van de heer U. Vogel, Field Sales Manager, gratis de films ter beschikking stelde.

*The success of this undertaking was made possible by the enthusiastic and much appreciated co-operation, both in the preparations and the eventual realization, of Messrs. L. Kuiper and W. Hesterman, Chief Restorer and Restorer respectively of the Department of Paintings at the Rijksmuseum, Messrs. G. B. H. Bijl, P. A. M. C. Mookhoek and H. Bekker, Photographers of the Rijksmuseum, Mr. A. Janssen, Head of the Design Section of the Rijksmuseum, and Mr. J. Flamme, Photographer of the Institut Royal du Patrimoine Artistique in Brussels. The interest shown by Dr. A. F. E. van Schendel while the work was in progress was a great encouragement to us. Thanks must also be expressed here to Mr. R. Sneyers, Director of the Institut Royal du Patrimoine Artistique in Brussels, for his support and for giving permission for the radiography in Amsterdam to be done with the Institut's X-ray equipment. Finally, a special word of thanks is due to Du Pont de Nemours (Germany) G.M.B.H., which made the films available free of charge through the good offices of Mr. U. Vogel, Field Sales Manager.*

## Noten

<sup>1</sup> De betekenis van röntgenopnamen voor het schilderijenonderzoek werd vroeger reeds (bij herhaling) door verschillende auteurs besproken. Moge een verwijzing naar de terzake bestaande vakliteratuur hier volstaan. Voor een uitgebreide bibliografie, zie: R. H. Marijnissen, *Dégradation, conservation et restauration de l'œuvre d'art*, Brussel 1967, pp. 476-482.

<sup>2</sup> A. van Schendel en H. H. Mertens, *De restauraties van Rembrandt's Nachtwacht, Oud-Holland* 62 (1947), pp. 1-52.

<sup>3</sup> Voor de leek dient hier te worden opgemerkt dat bij het verdoeken of doubleren het oorspronkelijk doek van zijn spieraam wordt losgemaakt om te worden gekleefd op een uiteraard groter (doubleer) linnen. Hierbij worden de omslagranden van het originele schilderij platgestreken. In het geval van de *Nachtwacht* is het röntgenologisch onderzoek van deze randen in menig opzicht interessant. Het is uitgemaakt dat van het oorspronkelijke doek destijds aan de vier zijden, maar vooral aan de linkerkant, een strook werd afgesneden. Verder vormen doubleerlinnen en kleefspecie geen contrastgevend massa, zodat ze op de uiteindelijke röntgenopname niet te zien zijn.

<sup>4</sup> Een juiste interpretatie van uit elkaar liggende details van de opname is slechts mogelijk wanneer de contrastverschillen op de film (veroorzaakt door het absorptiepatroon van het schilderij) niet worden vervalst door tijdelijke of plaatselijk variërende opname- en ontwikkelfactoren (zoals buisspanning, buisstroom, focus-filmafstand, belichtingstijd, filmsoort, ontwikkelaar, temperatuur van de ontwikkelaar, ontwikkeltijd en agitatie tijdens de ontwikkeling).

<sup>5</sup> De radiografische techniek moet aangepast worden aan de positie die voor het kunstwerk de meest veilige is. In dit opzicht was het duidelijk dat de *Nachtwacht* in verticale stand diende te worden bestraald. Hierdoor kon vermeden worden dat het doek door het gewicht zou doorhangen en aldus aan onnodige spanningen zou blootgesteld worden.

<sup>6</sup> In het geval van middelgrote schilderijen (waarvoor meestal 50 films voldoende zijn om het gehele oppervlak te dekken) is geweten dat met een aangepaste techniek, konstante belichtings- en ontwikkelvoorwaarden kunnen gecreëerd worden, zie: G. Van de Voorde, *A note on the radiography of large-size paintings, Studies in Conservation* 20 (1975), pp. 190-194. Voor schilderijen van het formaat van de

## Notes

<sup>1</sup> *The significance of X-ray photographs for the examination of paintings has already been discussed by various authors on many previous occasions. Suffice it here to give a reference to the relevant existing literature: an extensive bibliography is to be found in R. H. Marijnissen, Dégradation, conservation et restauration de l'œuvre d'art, Brussels 1967, pp. 476-482.*

<sup>2</sup> *A. van Schendel and H. H. Mertens, De restauraties van Rembrandt's Nachtwacht, Oud-Holland 62 (1947), pp. 1-52.*

<sup>3</sup> *For the layman it should be mentioned here that relining involves removing the original canvas from its stretcher in order to attach it to a (relining) canvas which is, of course, larger in size, and that during the process the tacking edges of the original canvas are ironed flat. In the case of the Night Watch X-ray examination of these edges is interesting in many respects, since it is known that strips have been cut off all four sides of the painting in the past, the left-hand side having suffered the most. It may further be noted that the relining canvas and relining adhesive cannot be seen on the X-ray photograph as they do not form a contrast-producing mass.*

<sup>4</sup> *A correct interpretation of widely separated details on the photograph is only possible when the dark-and-light values on the film (caused by the absorption pattern of the painting) are not falsified by radiographic and development factors that may vary temporarily or locally (e.g. the kilovoltage of the tube, tube current, focus-film distance, exposure time, type of film, developer, temperature of the developer, development time and agitation of the film during development).*

<sup>5</sup> *The radiographic technique must be adapted to the position that is safest for the painting. In this respect it was clear that the Night Watch must be X-rayed in a vertical position, since this would avoid the danger of the canvas sagging under its own weight and thus being exposed to unnecessary tensions.*

<sup>6</sup> *In the case of paintings of medium size (for which 50 films are usually enough to cover the whole surface) it is known that, with an adapted technique, constant exposure and development conditions can be created. See G. Van de Voorde, A note on the radiography of large-size paintings, Studies in Conservation 20 (1975), pp. 190-194. In the case of paintings as large as the Night Watch, however, we do not as yet have enough experience to be able to give a sound opinion as to the expediency of this method.*

*Nachtwacht* ontbreekt echter de ervaring om zinnige uitspraken omtrent de opportuniteit van deze methode toe te laten.

<sup>7</sup> Daar de stralingsintensiteit omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de focus-film-afstand (zg. kwadratenwet voor afstanden) vereist een dubbele afstand een vierdubbele belichtingstijd. Verder dient rekening te worden gehouden met een supplementaire verhoging van deze belichtingstijd tengevolge van de röntgenabsorptie door de lucht.

<sup>8</sup> A. van Schendel, *De schimmen van de Staalmeesters*, *Oud-Holland* 71 (1956), pp. 1-24.

<sup>9</sup> C. Nordenfalk, *The new X-rays of Rembrandt's Claudius Civilis*, *Konsthistorisk Tidskrift* 25 (1956), pp. 30-38.

<sup>10</sup> Bedoeld worden 3 opnamen (formaten 135 × 124 cm, 237 × 131 cm, 207 × 131 cm), elk afzonderlijk bekomen door bestraling vanop een afstand van 4 m met een belichtingstijd van vijf uur. Zie G. Urbani, *Il restauro delle tele del Caravaggio in S. Luigi dei Francesi a Roma*, *Bolletino dell'Istituto Centrale del Restauro* 1966, pp. 74-76, fig. 48-50.

<sup>11</sup> Deze contrastverlaging in het stralingsbeeld wordt bij een lange focus-film-afstand merkbaar tengevolge van de (met deze afstand) toenemende absorptie door de lucht van de zachte, weinig doordringende (maar contrastverwekkende) stralen van het heterogene röntgenspektrum.

<sup>12</sup> Cronaflex Projection Film B (PFB-4) van de firma Du Pont de Nemours. Het is een langzame, fijnkorrelige en dunlagige emulsie, met zowel een groot scheidend vermogen als een grote contourscherpheid. De film is verkrijgbaar op rollen (106,7 cm × 30,40 m) en wordt normaal aangewend voor industriële reproductie-doeleinden.

<sup>13</sup> G. Van de Voorde, *Het gebruik van de Cronaflex-film voor de radiografie van schilderijen*, *Bulletin van het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium* 14 (1973/74), pp. 34-38.

<sup>14</sup> Het geheel van de kenmerken, die deze film zo uiterst geschikt maken voor het röntgenen van schilderijen, zullen samen met belichtingsrafieken en gamma-tijd kurven elders gepubliceerd worden.

<sup>15</sup> Daarom was ook het enorme glazen dak, dat zich boven de Nachtwachtzaal bevindt, met zwarte plastic folie afgeschermd. Aldus kon worden voorkomen dat nachtelijk strooilight de films zou sluieren.

<sup>7</sup> *Since the intensity of the X-rays is in inverse proportion to the square of the focus-film distance (known as the inverse square law), a doubled distance requires a quadrupled exposure time. Allowance also has to be made for a supplementary lengthening of the exposure time in consequence of the absorption of X-rays by the air.*

<sup>8</sup> *A. van Schendel, De schimmen van de Staalmeesters, Oud-Holland 71 (1956), pp. 1-24.*

<sup>9</sup> *C. Nordenfalk, The new X-rays of Rembrandt's Claudius Civilis, Konsthistorisk Tidskrift 25 (1956), pp. 30-38.*

<sup>10</sup> *This involved three photographs (135 × 124 cm, 237 × 131 cm and 207 × 131 cm in size), each of which was taken separately from a distance of 4 m at an exposure time of 5 hours. See G. Urbani, Il restauro delle tele del Caravaggio in S. Luigi dei Francesi a Roma, Bolletino dell'Istituto Centrale del Restauro 1966, pp. 74-76, Figs. 48-50.*

<sup>11</sup> *This reduction of contrast in the X-ray image becomes noticeable with a long focus-film distance as a result of the increased absorption by the air at this distance of the soft, not very penetrating (but contrast-producing) rays of the heterogeneous X-ray spectrum.*

<sup>12</sup> *Cronaflex Projection Film B (PFB-4) from Du Pont de Nemours. It is a slow, thin and fine-grained emulsion able to give high contrast as well as sharpness of detail. It is obtainable in rolls (106.7 cm × 30.40 m) and is normally employed for industrial reproduction.*

<sup>13</sup> *G. Van de Voorde, Het gebruik van Cronaflex-film voor de radiografie van schilderijen, Bulletin van het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium 14 (1973/74), pp. 34-38.*

<sup>14</sup> *A complete account of the qualities that make this film so ideally suited for the X-raying of paintings will be published elsewhere, along with exposure graphs and gamma time curves.*

<sup>15</sup> *For this reason the enormous glass roof above the Night Watch room was also screened off with sheets of black plastic to prevent scattered nocturnal light from fogging the films.*

<sup>16</sup> *The air-conditioning unit in the room was temporarily switched off and the passage under the Rijksmuseum was closed to traffic for that night.*

<sup>17</sup> *In fact the operator and the control panel were in an adjoining room. During the irradiation no perceptible radiation was registered in this area by a dosimeter.*

<sup>16</sup> Tijdelijk werd de air-conditioning in de zaal stilgelegd en de onderdoorgang onder het Rijksmuseum bleef die nacht voor het verkeer gesloten.

<sup>17</sup> In feite bevond de operator zich met het bedieningspaneel in een belendend zaaltje. Tijdens de bestraling werd in deze ruimte door een dosimeter geen merkbare straling geregistreerd.

<sup>18</sup> Osray T4-TA-DW van de firma Agfa Gevaert.

<sup>19</sup> 5 min. bij 20°C in G 150 (Agfa Gevaert).

<sup>20</sup> Dit is één van de partijen van het schilderij die o.a. op grond van de ervaring van 1946/47, het meeste loodwit bevat.

<sup>21</sup> Hiervoor was de bovenste filmrand met kleefband aan een houten lat bevestigd.

<sup>22</sup> Om vingerafdrukken te voorkomen gebeurde het hanteren van de naakte film met katoenen handschoenen.

<sup>23</sup> Bobinoir, type nr. 2 van de firma Deville te Nice.

<sup>24</sup> De bovenste filmrand werd in een houten klem vastgemaakt en door middel van een katrol tot tegen het plafond opgetrokken.

<sup>25</sup> Voor iedere afzonderlijke ontwikkeling was 15 l oplossing vereist.

<sup>18</sup> *Osray T4-TA-DW from Agfa-Gevaert.*

<sup>19</sup> *5 min. at 20°C in G150 (Agfa-Gevaert).*

<sup>20</sup> *This is one of the parts of the painting which is known from the experience of 1946-7 to contain the most lead white.*

<sup>21</sup> *For this purpose the top edge of the film was fastened to a wooden lath with adhesive tape.*

<sup>22</sup> *To prevent fingerprints the handling of the naked film was done with cotton gloves.*

<sup>23</sup> *Bobinoir, type No. 2, from Deville of Nice.*

<sup>24</sup> *The top of the film was fixed into a clip and pulled up to the ceiling by means of a pulley.*

<sup>25</sup> *15 l of solution were needed for each separate development.*