

“Bijgaande foto is genomen op 19 september 1944 in Arnhem. Kan het precieze tijdstip vastgesteld worden?” was de vraag die via de website van de Zonnewijzerkring binnenkwam, vergezeld van fig. 1. Waarom wilde vraagsteller Bart Belonje dat weten?



Fig. 1. De Duitse legerfotograaf Jacobsen kieke op 19 september 1944 een aantal militairen en een gecamoufleerd pantservoertuig op het Willemsplein in Arnhem, ter hoogte van (het huidige) huisnummer 20. De foto komt van de website van het Duitse Bundesarchiv [1].

In september 1944 probeerde veldmaarschalk Montgomery met een vermetel plan een snel einde te maken aan de Tweede Wereldoorlog in Europa. Na de landingen in Normandië, juni 1944, waren de Geallieerden opgerukt tot aan de Belgisch-Nederlandse grens. De operatie Market Garden beoogde van daar af de grote rivieren over te steken en door te stoten naar het IJsselmeer. Doelstellingen: om de Siegfriedlinie heen het Ruhrgebied te bereiken, het hart van de Duitse oorlogsindustrie; het afsnijden van de Duitsers in West-Nederland, waardoor geen V2's meer op Londen afgevuurd konden worden; en de haven van Antwerpen beschikbaar te krijgen voor de aanvoer van materieel, wat tot dan nog steeds via de Normandische stranden geschiedde.

Het plan voorzag in de grootste luchtlandingsoperatie die ooit uitgevoerd was, waarin zes bruggen veroverd moesten worden: over het Wilhelminakanaal bij Son, de Zuid-Willemsvaart bij Veghel, de Maas bij Grave, een of meer bruggen over het Maas-Waalkanaal, de Waalbrug in Nijmegen en tot slot de Rijnbrug in Arnhem. Grondtroepen zouden in drie dagen Arnhem moeten bereiken en de luchtlandingstroepen aflossen.

Zoals bekend, slaagde het plan bijna, en mislukte daarmee. Arnhem bleek 'een brug te ver'. De gevolgen voor de bevolking waren groot. Het leidde tot de hongerwinter in West-Nederland. Alle inwoners van Arnhem – waaronder mijn ouders met mij als tweejarige peuter en mijn zus van drie maanden, en mijn toekomstige schoonouders met mijn latere vrouw als baby van nog geen maand – werden de stad uitgejaagd en konden pas in april 1945 naar hun huizen terug. Nijmegen werd tot februari 1945 frontstad, wat

veel slachtoffers en grote schade aan de stad tot gevolg had.

De operatie begon op zondag 17 september. Britse parachutisten en zweefvliegtuigen met soldaten en materieel voor Arnhem landden onhandig ver westelijk, bij Wolfheze en Ede. Twee dagen later had één bataljon de Rijnbrug bereikt, maar de rest van de Britten liep in Oosterbeek en het westen van Arnhem vast op felle Duitse tegenstand.

Die dag, dinsdag 19 september, verschenen twee Duitse legerfotografen, Jacobsen en Wenzel, aan de oostkant van Arnhem en liepen richting Oosterbeek, onderweg fotograferend. Ze vermeden directe gevechtssituaties, maar kiekten vooral Duitse militairen en hun (pantser)voertuigen, burgers die een goed heenkomen zochten en veel Britse militairen die krijgsgevangen waren gemaakt. Hun serie foto's (106 van Jacobsen en 41 van Wenzel) kwam in 1967 boven water in het Duitse Bundesarchiv [1]. Het is niet zo moeilijk om aan de hand daarvan de route die ze aflegden te reconstrueren.

Vanuit het Airborne Museum in Oosterbeek worden 'battlefield tours' georganiseerd, waarvoor veel belangstelling bestaat, onder meer van veteranen en hun nabestaanden. Een groepje amateurhistorici is bezig een tour vanuit Duits perspectief te ontwikkelen. Zij willen de tocht van Jacobsen en Wenzel als uitgangspunt nemen. Van hen kwam de vraag of het mogelijk is het precieze tijdstip van een aantal foto's met zonnewijzerkundige methoden te bepalen.

Een voor de hand liggende aanpak is om uit de schaduw van een object het azimut van de zon op dat moment te bepalen en daaruit de uurhoek van de zon te berekenen. Vervolgens kan het tijdstip bepaald worden in de Midden-Europese zomertijd (MEZT), die de Duitse bezetter in mei 1940 had ingevoerd.

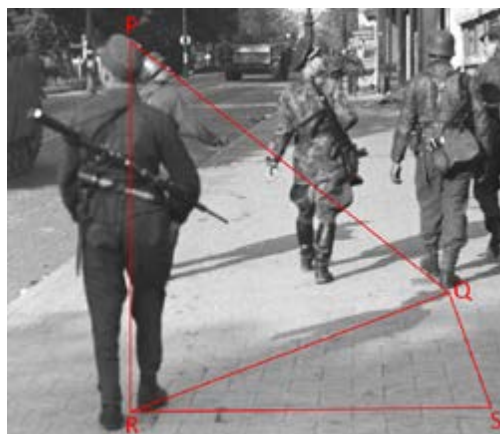


Fig. 2. De rechtgezette uitsnede van het origineel van fig. 1. De schaduw van punt P op de pet van de soldaat valt op het trottoir in punt Q. Punt R ligt recht onder punt P. De richting van de schaduw ten opzichte van de lengterichting van het trottoir wordt bepaald door het aantal tegels op de lijnen QS en RS.

In fig. 1 zou de schaduw van de soldaat in de voorgrond – laten we hem Heinrich noemen – goed op te meten zijn aan de hand van de trottoirtegels. Maar daarvoor blijkt de foto niet scherp genoeg. Tegen betaling van een luttele € 15 is een scan met hoge resolutie verkrijgbaar (fig. 2).

Eerst zoeken we een punt P op de pet van Heinrich en de schaduw Q van dat punt op het trottoir. Die punten zijn met een redelijke nauwkeurigheid te bepalen. Dan zoeken we het punt R op het trottoir dat loodrecht onder punt P ligt. Dat zal ergens tussen Heinrichs hakken liggen, dicht bij het linker- dan bij het rechterbeen. Ik houd op het getekende punt R een marge van 0,1 tegel in zijwaartse richting en 0,2 tegel in de lengterichting aan. Vervolgens construeren we de rechthoekige driehoek QRS, waarbij de rechthoekszijden evenwijdig zijn aan de zijden van de trottoirtegels. De afstand QS is  $11,4 \pm 0,2$  tegels, de afstand RS is  $5,4 \pm 0,1$  tegels. De hoek RQS tussen Heinrichs schaduw en de lengterichting van het trottoir is  $\arctan(RS/QS) = 25,4^\circ \pm 0,5^\circ$  [2]. Voor dit resultaat hebben we geen aanname hoeven te maken over de afmetingen van de vooroorlogse trottoirtegels; we nemen alleen aan dat ze vierkant zijn.



Fig. 3. Het huidige aanzien van de locatie van fig. 1.



Fig. 4. De richting van de rooilijn van Willemsplein 20 (\*) is opgemeten van Google Maps en bedraagt  $95,9^\circ$  west van zuid.

Het pand op de volgende foto, Willemsplein 20, bestaat nog (fig. 3). De richting van de rooilijn is  $95,9^\circ$  west van zuid (fig. 4). Daarmee is de richting van Heinrichs schaduw  $121,3^\circ \pm 0,5^\circ$  west van zuid. Het azimut van de zon is dan  $-58,7^\circ \pm 0,5^\circ$ .

Om uit het azimut de uurhoek van de zon af te leiden is de zonsdeclinatie op 19 september 1944 nodig. Die kan achterhaald worden met de NOAA Solar Calculator [3]. Daar kun je de locatie invoeren:  $51,983^\circ$  NB en  $5,904^\circ$  OL, de datum: 19 september 1944, de tijdzone: 1 (dat is MET, één zone oostelijk van Greenwich), het hokje DST (zomertijd) aanvinken en de tijd ('Local Time') invoeren; daarop wordt de declinatie berekend. Dat lijkt helaas dood te lopen: de tijd is namelijk precies wat we nog niet weten.

Maar hé, dat is interessant: in de vakjes Az/El rechtsonder verschijnen ook azimut (Az) en zonshoogte (El, van elevation). Daarmee kunnen we zelfs een doorsteekje maken naar ons doel. Het programma telt het azimut vanaf noord via oost, dus de gezochte azimutwaarde is  $121,3^\circ$ . Vul een probeertijd in en kijk welk azimut dat geeft. Is het azimut kleiner dan  $121,3^\circ$  dan verhoog je de tijd wat, anders verlaag je hem, net zo lang tot het gezochte azimut verschijnt. Dit noemen we een iteratieve benadering. In het algemeen zijn een paar stappen voldoende om de oplossing te vinden. In dit geval bereiken we de juiste azimutwaarde op het tijdstip 10:04:35 uur. En de marge van  $0,5^\circ$  in het azimut vertaalt zich in een tijds marge van 2,5 minuut. Het antwoord op de vraag aan het begin luidt dus: de foto van fig. 1 is gemaakt tussen 10:02 en 10:07 uur MEZT.

De Solar Calculator berekent ook de zonshoogte om 10:04:35; die is  $23,90^\circ$ . Daarmee kunnen we als extraatje Heinrichs lengte bepalen, wanneer we aannemen dat de trottoirtegels, net als tegenwoordig, 30 bij 30 cm zijn. Dan is  $QS = 3,42$  m en  $RS = 1,62$  m, dus (met Pythagoras) is  $QR = 3,78$  m. Dan is  $PR = \tan(23,90^\circ) \times 3,78$  m = 1,68 m. Als we 3 cm aftrekken voor de pet en ook 3 cm voor de hakken van de schoenen, dan is Heinrich schoon aan de haak maar ongeveer 1,62m. Een klein kereltje. Aangezien het foto toestel toch iets tegen hem op kijkt, is dat waarschijnlijk een tweegoogige spiegelreflexcamera, zo'n type waar de foto graaf van boven af inkiijkt.

Van de bijna 150 foto's zijn er verscheidene waarop de zon schijnt en de locatie goed te herkennen is. Neem



Fig. 5. Een groep Britse krijgsgevangenen wordt afgevoerd, waaronder enkele gewonden. De foto van Wenzel is gemaakt op de Jansbinnensingel, ter hoogte van huisnummer 24.

bijvoorbeeld de foto in fig. 5. Hij is genomen op de Jansbinnensingel, voor (het huidige) huisnummer 24. De panden op de foto zijn ook nog goed te herkennen (fig. 6).



Fig. 6. Het huidige aanzien van de locatie van fig. 5.

Maar ik weet geen manier om de hoek die de schaduwen van de personen met de as van de straat maken, nauwkeurig te bepalen. Misschien zou je op dezelfde datum, of althans op een datum waarbij dezelfde zonsdeclinatie optreedt als op 19 september 1944, ter plekke kunnen gaan kijken hoe laat de schaduwen van gebouwen of andere vaste punten op dezelfde plaats vallen als op de foto. Maar dat is bewerkelijk, en zelfs als een gebouw er nog staat, garandeert niemand dat het inmiddels niet ingrijpend verbouwd is.



Fig. 7. Het opvallende huizenblok Utrechtseweg 206-212 in Arnhem is gehavend uit de strijd gekomen. De datum heeft waarschijnlijk betrekking op de dag dat de film ontwikkeld is.

Soms is het wel degelijk mogelijk om door observatie ter plaatse het tijdstip van een foto te bepalen. Ik geef een voorbeeld waarbij de zonshoogte gebruikt wordt. Fig. 7 toont een foto, genomen op dinsdagmiddag, van de panden Utrechtseweg 204-210. De schaduw van de dakrand op de zijmuur van het linker huizenblok valt op de zijmuur van het rechter huis, nr. 204. In de uitsnede van de originele foto valt de schaduw op ca. 82 % van de afstand tussen de ramen op de eerste en de tweede verdieping (fig. 8).



Fig. 8. De schaduw van de rechter dakrand van het huizenblok in fig. 7 valt op de zijgevel van het huis rechts, huisnummer 204. De schaduw ligt op 82 %, gemeten vanaf de bovenkant van de ramen op de eerste verdieping naar de onderkant van de ramen op de tweede verdieping.

De huizen zijn inmiddels netjes opgeknapt (fig. 9). Ik heb op 21 september 2016 dezelfde schaduw een aantal keren gefotografeerd, met tussenpozen van ca. 12 minuten (fig. 10).



Fig. 9. Het huidige aanzien van de locatie van fig. 7.



Fig. 10. Drie foto's van de schaduw op de zijgevel van Utrechtseweg 204, genomen op 21 september 2016. De tijdstippen (MEZT) en de relatieve hoogtes zijn aangegeven.

De schaduw schuift ruim 1 % per minuut omhoog. Een hoogte van 82 % zou bereikt zijn op ca. 16:01 uur. Volgens de Solar Calculator was de zonshoogte op deze locatie (51,984° NB, 5,885° OL) op dat moment 29,45°. Op dezelfde site bepalen we nu (ook weer iteratief) op welk tijdstip op 19 september 1944 de zon deze hoogte bereikte. Dat blijkt om 16:10 uur MEZT te

zijn. Als we voor de zekerheid hier een marge van een minuut aanhouden, is het tijdstip van de foto te stellen op  $16:10 \pm 0:01$  uur MEZT. Omdat de schaduw hier nauwkeuriger te meten is dan in fig. 2 het geval was, is het tijdstip ook nauwkeuriger te bepalen.

#### **Noten**

1. De foto's zijn te vinden op de website van het Bundesarchiv: [www.bild.bundesarchiv.de/archives/barchpic/search/\\_1502030911](http://www.bild.bundesarchiv.de/archives/barchpic/search/_1502030911). Vul in Monat = September en Jahr = 1944. Vul dan de fotograaf in: Jacobsen of Wenzel. De foto's die daar te zien zijn, zijn verkleinde versies, die gratis te downloaden zijn.

2. De afleiding van de marge op het quotiënt is gebaseerd op de waarschijnlijkheidsrekening en gaat in dit geval als volgt:  $RS = 5,4 \pm 0,1 = 5,4 \pm 1,85 \%$ ;  $QS = 11,4 \pm 0,2 = 11,4 \pm 1,75 \%$ .  
Dan is:  $RS/QS = 5,4/11,4 \pm \sqrt{[(1,85 \%)^2 + (1,75 \%)^2]} = 0,474 \pm 2,6 \% = 0,474 \pm 0,012$ .  
 $\text{Arctan}(0,474) = 25,4^\circ$  en  $\text{arctan}(0,474 + 0,012) = 25,9^\circ$ .  
Hiermee is de marge bepaald op  $0,5^\circ$ .

3. De NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) Solar Calculator is te vinden op [www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/).