

Giovanni Antonio Canal, beter bekend als Canaletto: Capriccio met een colonnade (1765). Museo Nacional Thyssen-Bornemisza, Madrid. De schilder heeft perspectief met een enkel verdwijnpunt (rood) toegepast. De pilaren lijken op gelijke afstanden van elkaar te staan. Echter, bij een correcte toepassing van lineair perspectief zouden de rechterzijden van de pilaren ter plekke van de cyane lijnen staan.

Perspectief op foto's en schilderijen

Perspectief op een foto verschilt van het perspectief dat we zien als we rechtstreeks naar dezelfde scene kijken. De waargenomen ruimte wordt beschreven door een perspectivische ruimte met een eindige diepte. Door de eeuwen heen hebben schilders drie-dimensionale scenes realistisch op een tweedimensionaal oppervlak afgebeeld. Berekeningen aan gelijke afstanden tussen voorwerpen op schilderijen en gravures laten zien hoe schilders dat vanaf de Middeleeuwen doen. Ze blijken twee soorten perspectief te gebruiken: fotografisch en visueel perspectief. Voor het afbeelden in fotografisch perspectief zijn er hulpmiddelen, voor visueel perspectief niet. Argumenten om het toe te passen zijn mogelijk esthetisch of technisch van aard.

Als we op een rechte snelweg rijden dan zien we de markeringen van de rijbanen naar elkaar toelopen, terwijl dat in werkelijkheid niet het geval is. We zien de snelweg in perspectief: parallelle lijnen in diepte lijken te convergeren en auto's veraf lijken kleiner dan auto's dichtbij. Als we vanaf dezelfde positie een foto nemen dan bevat ook de foto perspectief. Dit perspectief verschilt van het perspectief dat we zien. Zo zijn perspectivische hoeken op foto's groter dan ze worden waargenomen [1]. Dat er verschillen zijn is niet zo vreemd want foto's en zien zijn het resultaat van tegenovergestelde processen. Foto's zijn twee-dimensionale (2D) afbeeldingen van een gedeelte van de drie-dimensionale (3D) omgeving. De optische afbeelding bevat fotografisch perspectief. De gebruikelijke methode van afbeelden is lineair perspectief, waarbij rechte lijnen in de fysische omgeving als rechte lijnen op de foto worden afgebeeld. Zien is het resultaat van een tegenovergestelde transformatie. Neurale processen in de visuele schors hersenen verwerken 2D netvliesbeelden tot een 3D beeld van de omgeving.

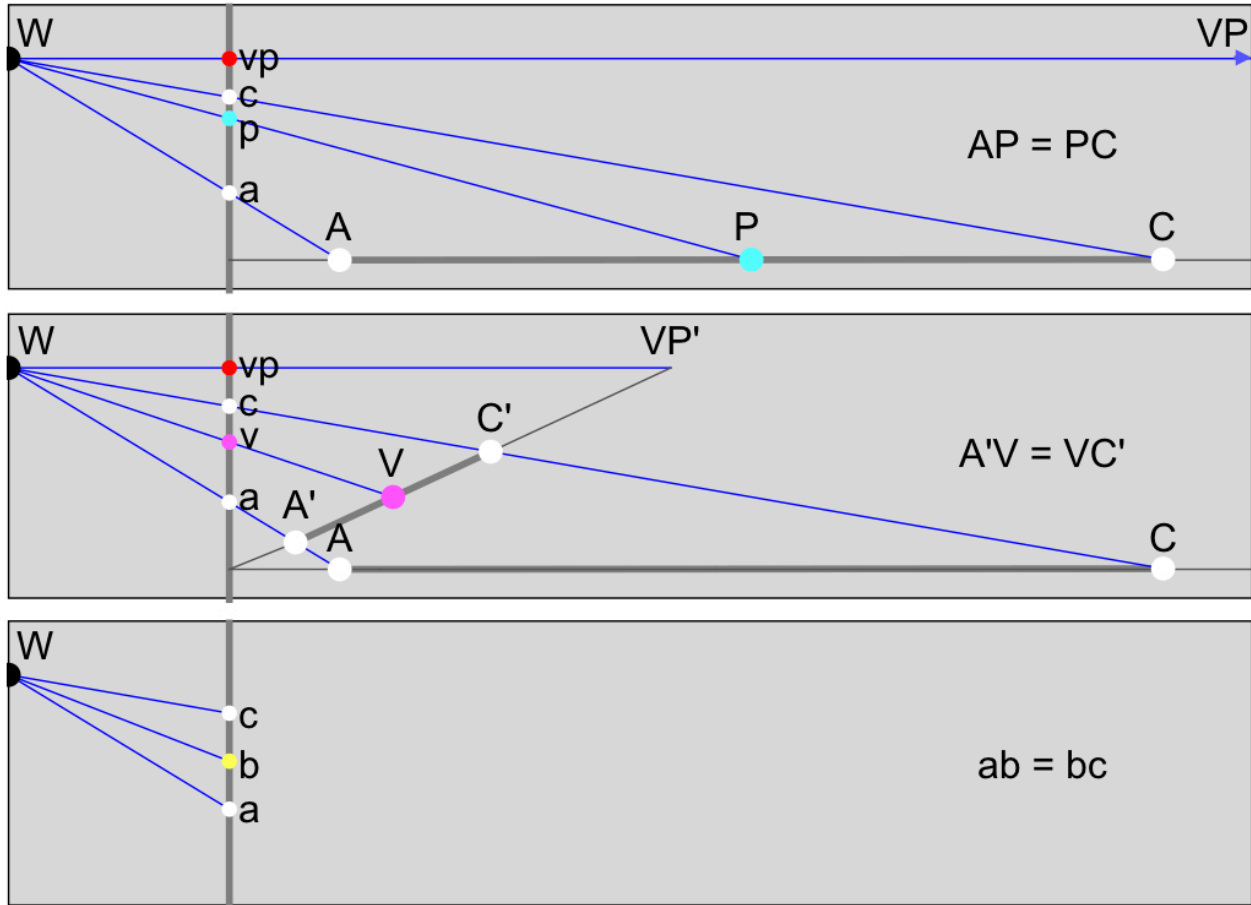
Eigenschappen van de visuele ruimte

Een geometrisch model dat de visuele ruimte beschrijft is een 3D perspectivische ruimte, gekarakteriseerd door een verdwijnpunt dat op een eindige afstand in de kijkrichting van de waarnemer ligt [2]. Lijnen in de fysische ruimte parallel aan de kijkrichting convergeren naar het verdwijnpunt van de visuele ruimte. Radiale lijnen vanuit het kijkpunt hebben dezelfde richting in beide ruimtes. Het kleine verschil tussen de fysische en visuele ruimtes, n.l. een oneindig versus eindig verdwijnpunt, heeft grote gevolgen voor voorwerpen in beide ruimtes. De fysische ruimte is homogeen en isotroop, hetgeen betekent dat vorm en grootte van voorwerpen invariant zijn onder translaties en rotaties. In de visuele ruimte is dat niet het geval. Opmerkelijk is dat wij de eigenschappen van beide ruimtes kennen en moeiteloos de vertaling van de visuele naar de fysische ruimte maken. We remmen op de snelweg niet af, terwijl we zien dat de weg verderop nauwer wordt.

Schatting van het midden van in diepte geplaatste lijnstukken

Onze visuele waarneming is zeer gevoelig voor symmetrieën die rijkelijk in zowel onze natuurlijke als bebouwde omgevingen aanwezig zijn. Bi-sectie is een eenvoudige vorm van symmetrie die uitgebreid is onderzocht vanwege de diagnostische waarde voor een groep van patiënten met hersenbeschadiging. In bi-sectie taken schatten patiënten zowel als gezonde proefpersonen de middenpositie tussen twee punten of van een lijnstuk. Bi-sectie taken worden hyperacuity taken genoemd, omdat de resultaten bij gezonde proefpersonen beter zijn dan we op grond van de resolutie van het netvlies zouden mogen verwachten [3]. In het gerapporteerde onderzoek naar visuele bi-sectie liggen de punten of lijnstukken doorgaans in het frontale vlak. Hoewel het interessante aspecten heeft, is bi-sectie in diepte nauwelijks onderzocht. Bij bi-sectie

in diepte zijn er in theorie twee posities die voor het midden in aanmerking komen (figuur 1). De positie P is het midden van het fysisch lijnstuk, de positie V het midden van het visuele lijnstuk. De verschillende posities hebben tot gevolg dat op foto's of tekeningen van een perspectivische scene er drie posities als het midden van een lijnstuk kunnen worden aangemerkt. Het punt p correspondeert met het midden van het lijnstuk in de fysische ruimte, het punt v met het midden in de visuele ruimte en het derde punt b is het midden van het lijnstuk op de foto of tekening. Het punt b is onafhankelijk van de scene die is afgebeeld en dus van het verdwijnpunt VP.

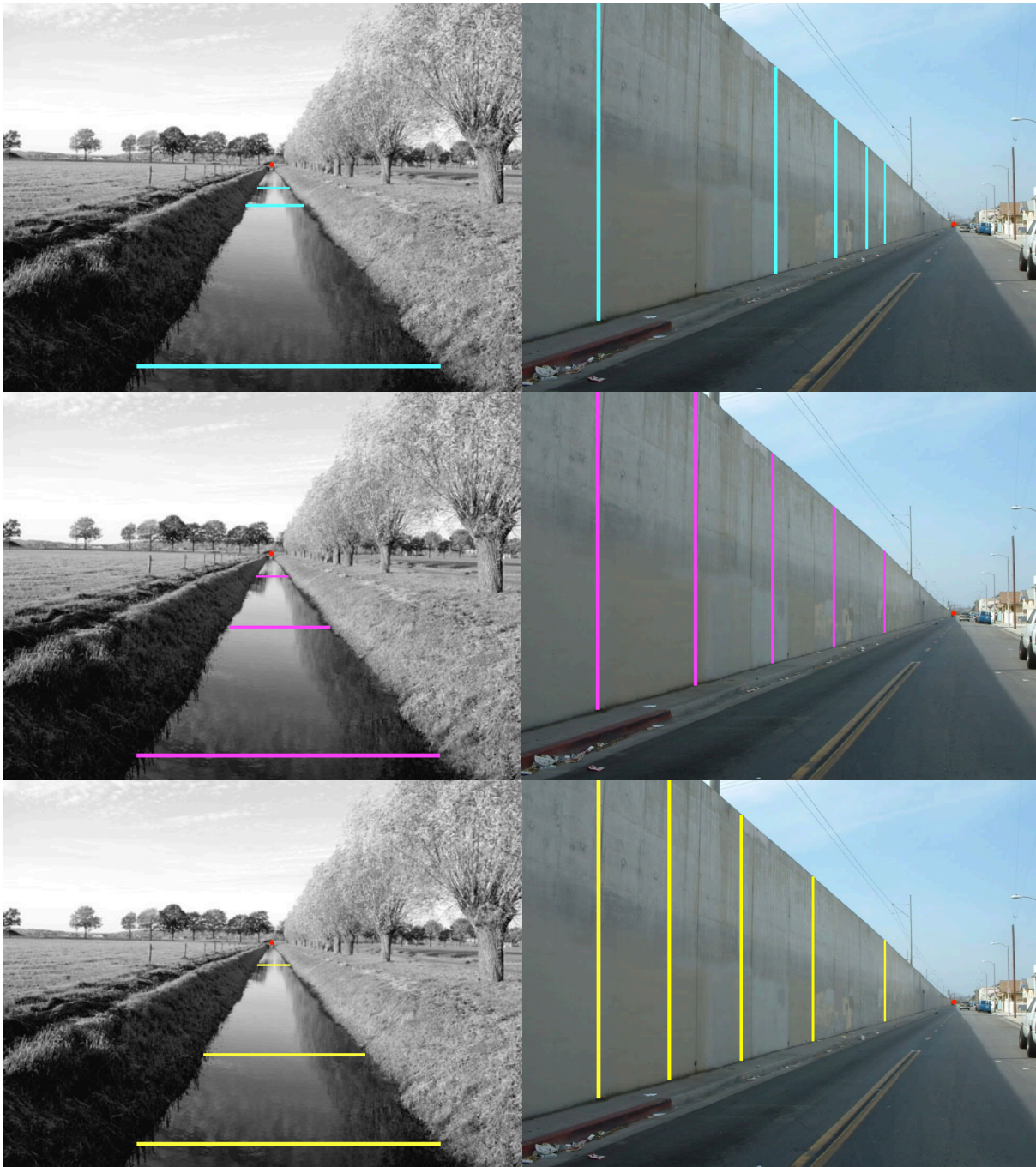


Figuur 1. Waarnemer W kijkt naar een in diepte georiënteerd lijnstuk AC. VP is het oneindig ver gelegen verdwijnpunt in de fysische ruimte. VP' is het in dezelfde richting waargenomen eindige verdwijnpunt in de visuele ruimte. Op een frontale foto (de grijze verticale lijn) zijn A, C, VP en VP' als a, c en vp afgebeeld. P is het midden van het fysisch lijnstuk AC, V het midden van het visuele lijnstuk A'C'. p en v zijn de afbeeldingen van P en V op de foto's. Op de onderste foto is b het midden van lijnstuk ac. Voor de lijnstukken op de foto's geldt: $ap \geq av \geq ab$. De gelijkttekens gelden als AC evenwijdig is aan de foto.

Schatting van gelijke afstanden in diepte op foto's

Door het oplossen van enkele vergelijkingen kunnen de posities van p, v en b uit de posities van a, c en vp op de foto en de afstanden van W en VP tot de foto worden berekend. De posities van p en b zijn onafhankelijk van de afstand van W tot de foto. De positie van v hangt wel af van de keuzes voor W en VP. Zo zijn de magenta lijnen in figuur 2 berekend voor het geval dat VP driemaal zo ver achter de foto ligt als W ervoor. De fysisch gelijke afstanden (cyaan) lijken dichtbij te groot en ver weg te klein. Bij de afstanden tussen de gele lijnen op de foto's is het tegenovergestelde het geval. Het afstanden dichtbij lijken te klein en veraf te groot. Een meetlatje is nodig om je ervan te overtuigen dat de afstanden tussen de gele lijnen gelijk zijn. De diepte van de scenes beïnvloedt onze waarneming van afstand. De afstanden tussen de magenta lijnen lijken beter in overeenstemming met de dieptes van de sloot en de geluidswal. De optimale posities van de lijnen kunnen voor eenieder verschillend zijn. Ze hangen samen met de subjectieve inschatting van diepte en dus met de individueel ervaren afstand van VP.

Afhankelijk van de kijkhoogte worden verste voorwerpen op afstanden van een paar honderd meter tot enkele kilometers geschat.

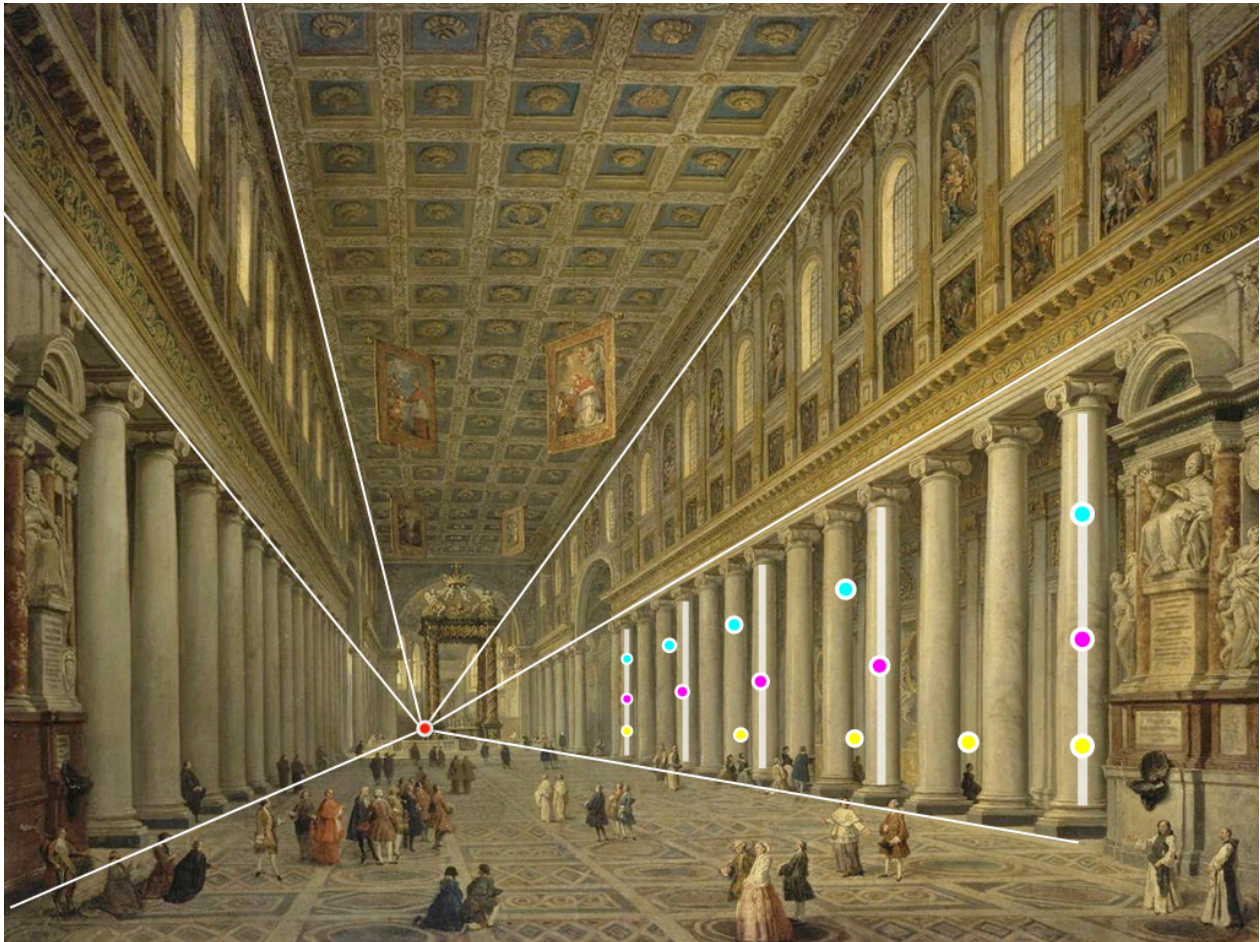


Figuur 2. Foto's van twee perspectivische scènes met lijnen op gelijke afstanden van elkaar in de fysische ruimte (cyaan), visuele ruimte (magenta) en op de foto (geel). De rode punten markeren de verdwijnpunten van sloot en geluidswal.

Berekening van gelijke afstanden in diepte op schilderijen en gravures

De foto's van figuur 2 laten zien dat fotografisch perspectief, resultaat van het afbeelden van de fysische ruimte op een plat vlak, als minder natuurlijk wordt waargenomen dan visueel perspectief, dat optreedt wanneer een eindige ruimte op een vlakke plaat worden afgebeeld. Deze observatie maakte het interessant om te onderzoeken hoe kunstenaars door de eeuwen heen afstanden in diepte op tekeningen, schilderijen en gravures hebben afgebeeld. Sinds de Renaissance beschikken schilders over diverse hulpmiddelen om ruimtelijke voorstellingen in fotografisch perspectief weer te geven. De Italiaanse architect Leon Batista Alberti beschreef al

rond 1435 een meetkundige constructiemethode voor fotografisch, lineair perspectief. Albrecht Dürer (1471 – 1528) gebruikte een raamwerk met ruitjes waarmee 3D voorwerpen vlakje voor vlakje op het doek kunnen worden afgebeeld. Johannes Vermeer wordt ervan verdacht een camera obscura te hebben gebruikt [4]. Op basis van deze methodes zou men verwachten dat professionele schilders fotografisch perspectief toepassen. Om deze hypothese te toetsen heb ik berekeningen aan een aantal schilderijen en gravures van bekende schilders uitgevoerd. De berekeningen zijn gedaan aan afbeeldingen van rijen pilaren, vloertegels en wanddoeken die de suggestie wekken dat ze op gelijke afstanden van elkaar staan. Voor fotografisch perspectief kunnen de posities van tussengelegen punten eenduidig uit de posities van twee uiterste punten en het verdwijnpunt op de afbeelding worden berekend. Voor visueel perspectief is dit niet het geval, omdat de onderlinge afstanden tussen de punten van de diepte van het verdwijnpunt afhangen. Voor een reeks van waarden van VP, lopend van een- tot honderdmaal de kijkafstand, zijn posities van de tussenpunten berekend. De waarde van VP met de kleinste, gemiddelde afstand van berekende posities van de tussenpunten tot de door de schilder bepaalde posities, is gekozen als beschrijving van het gebruikte visueel perspectief.

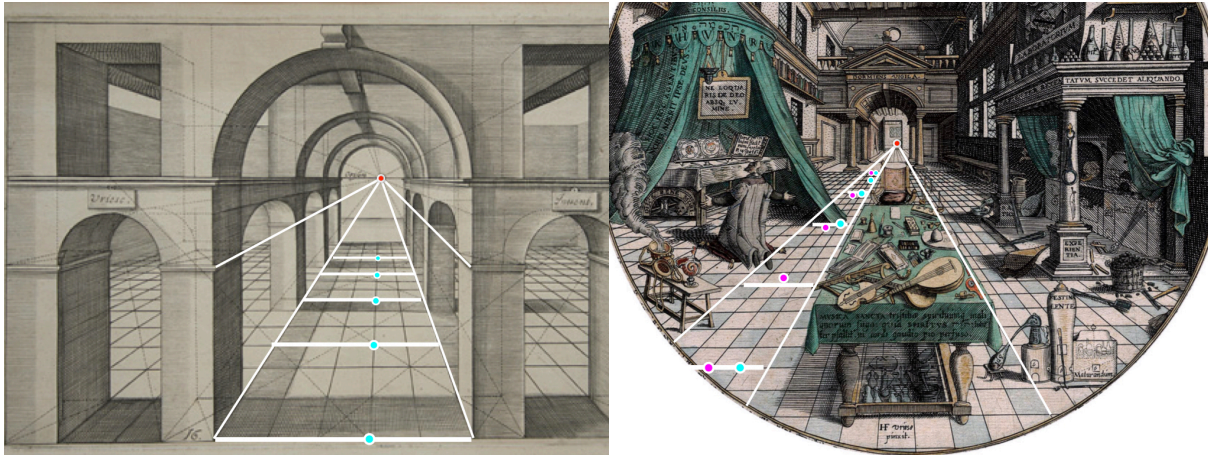


Figuur 3. Giovanni Paolo Panini: Interieur van de Santa Maria Maggiore te Rome (1750). De Hermitage, St. Petersburg. Panini heeft met grote precisie perspectief met een enkel verdwijnpunt (rood) toegepast. De pilaren lijken op gelijke afstanden van elkaar te staan. De cyane punten staan op gelijke afstanden in fotografisch perspectief. De gele punten staan op gelijke afstanden op het schilderij. De magenta punten staan op gelijke afstanden in een visuele ruimte waarvoor VP achtmaal zo ver achter het schilderij ligt als de waarnemer W ervoor.

Fotografische en visueel perspectief op schilderijen en gravures

Voorwerpen die op gelijke afstanden van elkaar staan zijn vaak afgebeeld op vedute [5]. Dit zijn doorgaans op groot formaat geschilderde afbeeldingen van landschappen en stadsgezichten. Soms betreft het geheel of gedeeltelijk gefantaseerde voorstellingen. Berekeningen aan werken van Nederlandse en Italiaanse schilders laten opvallende verschillen zien. Italiaanse schilders

gebruiken veelal visueel perspectief. Belangrijke vertegenwoordigers zijn Giovanni Panini (figuur 3), Canaletto en Leonardo da Vinci. De afstand van het verdwijnpunt bedraagt doorgaans slechts een aantal malen de kijkafstand tot het schilderij. Nederlandse schilders werken voornamelijk met fotografisch perspectief. Johannes Vermeer, Pieter Saenredam, en Carel Willink zijn voorname representanten. De berekende afstanden van verdwijnpunten zijn groter dan honderdmaal de kijkafstand in hun schilderijen. In het algemeen gebruiken schilders óf fotografisch óf visueel perspectief op alle werken die ik heb onderzocht. Een uitzondering is Hans Vredemans de Vries (1527 – circa 1607). Deze Friese schilder en architect gebruikt fotografisch perspectief in gravures waarin perspectivische constructies te zien zijn (figuur 4, links). In ontwerpen van graven, tombes en gefantaseerde gebouwen en interieurs past hij in extreme mate visueel perspectief toe. Het perspectief hoort bij visuele ruimtes waarin de afstanden van het verdwijnpunt slechts twee- tot viermaal de kijkafstand bedragen (figuur 4, rechts).



Figuur 4. Hans Vredemans de Vries. Links: *Triomfbogen*, fragment van een gravure uit *Perspectief* (deel I), uitgegeven door Hendrick Hondius, Leiden (1605). Het gebruikte perspectief is fotografisch perspectief. Rechts: *Het lab van de alchemist*, een gravure uit *Amphitheatrum Sapientiae Aeternae*, Hamburg (1595). Het gebruikte perspectief is visueel perspectief. De cyane punten corresponderen niet met gelijke tegelafstanden. De magenta punten staan op gelijke afstanden van elkaar in een visuele ruimte waarvan VP driemaal zo ver achter de gravure ligt als het kijkpunt ervoor.

Redenen voor toepassing van visueel perspectief

Het gebruiken van visueel perspectief ligt niet voor de hand omdat er, voor zover mij bekend, geen technische hulpmiddelen zijn zoals voor fotografisch perspectief. Klaarblijkelijk zijn er voor schilders toch argumenten om visueel perspectief toe te passen. Een reden zou kunnen zijn dat ze fotografisch perspectief niet natuurlijk of mooi vinden en zoeken naar een betere weergave van afstanden in de ruimte. Een andere reden zou technisch van aard kunnen zijn. Voorwerpen op grote afstand moeten dicht bij elkaar worden afgebeeld. Bij visueel perspectief is er meer ruimte dan bij fotografisch perspectief. Vooral bij het werken met naalden in metalen platen is visueel perspectief gunstiger om voorwerpen op grotere diepte in detail weer te geven.

1. C.J. Erkelens, *The extent of visual space inferred from perspective angles*. *i-Perception*, **6**(1), 5–14 (2015).
2. C.J. Erkelens, *Perspective space as a model for distance and size perception*. *i-Perception*, **8**(6), 1–20 (2017).
3. S.A. Klein en D.M. Levi, *Hyperacuity thresholds of 1 sec: theoretical predictions and empirical validation*, *Journal of the Optical Society of America A*, **2**(7), 1170 – 1190 (1985).
4. F. Steadman, *Vermeer's Camera: Uncovering the Truth behind the Masterpieces*, Oxford University Press (2001).
5. C.J. Erkelens, *Equidistant intervals in perspective photographs and paintings*. *i-Perception*, **7**(4), 1-14 (2016).