

University of Groningen

## A Westerbork blind HI imaging survey of the Perseus-Pisces filament in the Zone of Avoidance

Ramatsoku, Mpati Analicia

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*  
2017

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Ramatsoku, M. A. (2017). *A Westerbork blind HI imaging survey of the Perseus-Pisces filament in the Zone of Avoidance*. University of Groningen.

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.*

## Nederlandse Samenvatting

Objecten die zich buiten de Melkweg bevinden, worden in het optisch golflengtegebied aan het zicht onttrokken als gevolg van verduistering door stofwolken tussen de sterren en door de hoge dichtheid aan sterren in het vlak van de Melkweg. Het ontbreken van objecten of *nebulae* aan de hemel in de richting van de Melkweg werd voor het eerst opgemerkt door Proctor (1878) in de *General Catalogue of Nebulae* (Herschel 1864). Rond die tijd was nog niet bekend dat deze *nebulae* feitelijk extragalactische objecten zijn. De extragalactische oorsprong van deze objecten bleek pas met het waarnemen van variabele Cepheïde sterren in de *nebulae* en vervolgens werden deze objecten ook aangeduid als sterrenstelsels. Gezien de geringe kennis in die tijd omtrent stofwolken in de Melkweg, kon men de schijnbare afwezigheid van sterrenstelsels in dit gebied aan de hemel niet verklaren. Pas later toonde Trumpler (1930) aan dat interstellair stof in de Melkweg deze objecten verduisterde, waardoor ze kleiner en minder helder leken, en er zodoende sprake was van een schijnbaar lagere dichtheid aan sterrenstelsels. Dit gebied werd in de Lick en Harvard Surveys (Shapley 1961) aanvankelijk gedefinieerd als een gebied aan de hemel dat ongeveer 5 sterrenstelsels/graad<sup>2</sup> bevatte. De typische dichtheid aan sterrenstelsels buiten het Galactische vlak daarentegen was, gemeten met instrumenten uit die tijd, ongeveer  $\sim 54$  sterrenstelsels/graad<sup>2</sup>. Gezien de opvallende afwezigheid van sterrenstelsels en de moeilijkheid om hier objecten te detecteren, werd dit gebied de "vermijdingszone" genoemd (*Zone of Avoidance*-ZoA; zie Kraan-Korteweg & Lahav 2000a voor een gedetailleerde review).

De verduistering door stof is afhankelijk van de golflengte en hierdoor hangt de omvang van de ZoA af van de golflengte waarop waarnemingen worden uitgevoerd. Het gebied aan de hemel dat de ZoA in beslag neemt, is groter voor kortere golflengtes en kleiner voor langere golflengtes. Zo beslaat de ZoA bijvoorbeeld ongeveer 20% van de hemel voor optische golflengtes (bv., *B*-band, 445 nm) (Kraan-Korteweg 2005) terwijl dit slechts 10% is voor het nabij-infrarode (NIR) golflengtegebied (bv., *K*-band,  $2.2\mu\text{m}$ ) (Jarrett et al. 2000). In het NIR wordt de ZoA bepaald door de hoge stellaire dichtheid waardoor het lastig is om diffuse sterrenstelsels te onderscheiden.

## Motivatie voor het bestuderen van sterrenstelsels in de ZoA

Wat is de reden voor het bestuderen van sterrenstelsels in de ZoA, gezien de observationele uitdagingen die hiermee samenhangen? Waarom bestuderen we niet gewoon sterrenstelsels buiten de ZoA, aangezien er geen reden is om aan te nemen dat sterrenstelsels in de ZoA verschillen van sterrenstelsels daarbuiten? Het bestaan van de ZoA verandert niet onze kennis van de populatie van sterrenstelsels. Evenwel is gebleken dat de ZoA wel onzekerheden veroorzaakt in ons begrip van de bewegingen van nabijgelegen sterrenstelsels (Rowan-Robinson et al. 2000, Loeb & Narayan 2008, Springob et al. 2016).

Een groot aantal studies en waarnemingen zijn gewijd aan het onderzoeken van de verdeling en de bewegingen van sterrenstelsels in het universum. Het beeld dat hieruit naar voren komt is dat sterrenstelsels zijn gelegen langs filamenten, in gekromde vlakken en in clusters met daartussen grote lege ruimtes waar vrijwel geen sterrenstelsels worden aangetroffen (Proust et al. 2006, Jones et al. 2009, Tempel et al. 2014). De afmetingen van deze grootschalige structuren (*Large Scale Structure - LSS*) leggen limieten op aan theorieën die de vorming van deze structuren en de bewegingen van sterrenstelsels in het heelal proberen te verklaren (Ouchi et al. 2005, Springel et al. 2005). De twee dominante conglomeraties van clusters van sterrenstelsels die de beweging van de nabijgelegen sterrenstelsels beïnvloeden, zijn de *Great Attractor* (Lynden-Bell et al. 1988) en de *Perseus-Pisces Supercluster* (Giovanelli et al. 1986, Haynes et al. 1988, Wegner, Haynes & Giovanelli 1993). Het is een toeval dat deze beide super-structuren op ongeveer gelijke afstand maar aan tegenovergestelde zijden van de hemel te vinden zijn, en dat beide in zekere

mate worden verduisterd door stofwolken in de Melkweg (Pomarède et al. 2015). Het in kaart brengen van de groot-schalige structuren gevormd door clusters van sterrenstelsels, gekromde vlakken en filamenten, heeft plaats gevonden aan de hand van surveys van roodverschuivingen op verschillende golflengtes, zoals de *Center for Astrophysics Redshift Survey* (CfA; Huchra et al. 1983), de *Two degree-Field Galaxy Redshift Survey* (2dFGRS; Colless et al. 2001), en de meer recente *2MRS* (Huchra et al. 2012) en *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS; Alam et al. 2015). De ZoA strekt zich echter uit over grote gebieden aan de hemel. Dit beperkt onze kennis van de daadwerkelijke verdeling en omvang van de kosmische structuren achter de Melkweg. Veel studies van grootschalige structuren nemen hun toevlucht tot het voorspellen van de LSS achter de Melkweg door extrapolatie van in kaart gebrachte structuren boven en onder het Galactische vlak (Kolatt, Dekel & Lahav 1995, Erdoğan et al. 2006, Sorce, Hoffman & Gottlöber 2017). Een risico van deze methode is evenwel dat aannames met betrekking tot de verdeling van grootschalige structuren in de ZoA incorrect zijn en dit zou kunnen leiden tot voorspellingen waarin structuren misplaatst zijn of niet bestaan. Het in kaart brengen van de daadwerkelijke verdeling van sterrenstelsels door surveys van roodverschuivingen in het vlak van de Melkweg is belangrijk om de onzekerheden in de verdeling van de grootschalige structuren te verminderen. Surveys van roodverschuivingen in de ZoA bieden in het bijzonder de mogelijkheid om de verdeling van grootschalige structuren volledig in kaart te brengen, om de voorspelde dichtheidskaarten te controleren, en om de geometrie van de lege ruimtes achter de Melkweg te begrijpen. Dit laatste is van belang om limieten te kunnen stellen aan kosmologische parameters (Lavaux et al. 2010).

## HI-waarnemingen

De meest effectieve methode voor het in kaart brengen van sterrenstelsels in de verduisterde gebieden van de ZoA is het waarnemen van neutraal atomair waterstof (HI). Galactisch stof is doorzichtig voor de lange 21 cm lijnemissie van HI. Er is daarom veel tijd geïnvesteerd in het in kaart brengen van de verdeling van sterrenstelsels achter de Melkweg door middel van HI-surveys. Een van de eerste HI-surveys in de ZoA was de blinde HI-survey uitgevoerd door Kerr & Henning (1987) in de noordelijke ZoA met de 91-m Green Bank radiotelescoop tot snelheden van  $cz = 7500 \text{ km s}^{-1}$ . De andere belangrijke survey de *Dwingeloo Obscured Galaxy Survey* (DOGS; Kraan-Korteweg et al. 1994, Henning et al. 1998), een systema-

tische survey tot  $cz = 4000 \text{ km s}^{-1}$  van de meest verduisterde gebieden in het noorden. Recentelijk is de systematische HI Zone of Avoidance survey (HIZOA; Henning et al. 2000, Staveley-Smith et al. 2016) uitgevoerd in de zuidelijke ZoA, die zich ook uitstrekte tot de noordelijke ZoA (HIZOA-N; Donley et al. 2005) met behulp van de Parkes *multi-beam* ontvanger. Deze survey dekt snelheden tot  $cz = 12700 \text{ km s}^{-1}$ . Daarnaast is er ook een veel diepere HI-survey uitgevoerd in roodverschuivingsruimte in de noordelijke ZoA tot een diepte van  $cz = 18000 \text{ km s}^{-1}$ , de *Arecibo L-Band Array Zone of Avoidance survey* (ALFA ZoA; Henning et al. 2010, McIntyre et al. 2015). De meest recente blinde HI-survey voor de gehele noordelijke hemel ( $\delta > -5^\circ$ ) is de Effelsberg-Bonn HI Survey (EBHIS; Kerp et al. 2011, Winkel et al. 2016) die een gebied van meer dan 8000 vierkante graden in kaart brengt tot een diepte van  $cz \approx 20000 \text{ km s}^{-1}$  met de 100-m Effelsberg Telescope. Deze grote HI-surveys hebben, samen met andere kleinere surveys die hier niet genoemd worden, een belangrijke rol gespeeld in het aantonen van de effectiviteit van het zoeken naar sterrenstelsels in de ZoA met behulp van HI-waarnemingen, hetgeen heeft geleid tot een verkleining van de ZoA.

Naast de mogelijkheid die HI-gas biedt voor het goed in kaart brengen van sterrenstelsels in de meest verduisterde gebieden van de ZoA, biedt emissie van het HI-gas de mogelijkheid om de evolutionaire eigenschappen van sterrenstelsels in clusters, filamenten en groepen gesitueerd op de knooppunten van de grootschalige structuren te bestuderen. Clusters van sterrenstelsels groeien continue door accretie van sterrenstelsels en groepen van sterrenstelsels uit de nabijgelegen filamenten (Ebeling, Barrett & Donovan 2004, Braglia, Pierini & Böhringer 2007, Fadda et al. 2008, Coppin et al. 2012). Aangetoond is dat gasrijke laat-type sterrenstelsels uit de buitengebieden zich transformeren in gasarme vroeg-type sterrenstelsels tegen de tijd dat ze het centrum van een cluster bereiken. Door te bepalen of en hoe deze transformatie plaatsvindt, kan belangrijke informatie worden verkregen over de processen die verantwoordelijk zijn voor de evolutie van sterrenstelsels. De omgeving van een sterrenstelsel is één van de belangrijke factoren die deze evolutie beïnvloedt. Clusters van sterrenstelsels zijn een ideale omgeving voor het bestuderen en begrijpen van de omgevingseffecten op de oorsprong van sterrenstelsels. Voorbeelden van een aantal van deze omgevings specifieke mechanismen die verantwoordelijk zijn voor de transformatie van sterrenstelsels zijn *ram-pressure stripping*, morfologische verstoringen en botsingen tussen sterrenstelsels. Deze processen laten duidelijke afdrücken achter op de fragiele en diffuse HI-schijven van sterrenstelsels. Hierdoor is HI een

ideaal middel om de mechanismes die de evolutie van sterrenstelsels beïnvloeden te bestuderen (Poggianti & van Gorkom 2001, Bravo-Alfaro et al. 2000a, Bravo-Alfaro et al. 2009, Chung et al. 2009, Gavazzi et al. 2013, Jaffé et al. 2015, Yoon et al. 2017). Deze taak vereist een uitgebreid overzicht van de verschillende omgevingen, waarbij de HI-surveys geen *bias* mogen vertonen en het volume groot genoeg moet zijn om niet alleen de dichtste omgevingen te omvatten (d.w.z. clusters van sterrenstelsels) maar ook de filamenten waarmee deze omgeven zijn.

## Deze thesis

Ten grondslag aan het werk dat gepresenteerd wordt in deze dissertatie liggen recentelijk uitgevoerde, doelgerichte 21 cm-waarnemingen van de 2MASS sterrenstelsels helderder dan  $K < 11.25$  mag in de ZoA tussen  $80^\circ \leq \ell \leq 180^\circ$  en  $|b| < 5^\circ$  met de 94-m Nancay Radio Telescope (NRT). De resultaten van dit onderzoek wijzen op een gebied met een zeer hoge dichtheid aan sterrenstelsels dat het vlak van de Melkweg doorkruist op ongeveer  $\ell \approx 160^\circ$  en  $cz \sim 6500 \text{ km s}^{-1}$  (Ramatsoku et al. 2014). De locatie en afstand van deze structuur valt samen met de uitgebreide *Perseus-Pisces Supercluster* (PPS; Giovanelli et al. 1986, Haynes et al. 1988). Over het bestaan van een verbinding van filamenten van het PPS boven en onder de ZoA is reeds in eerdere studies gespeculeerd (Focardi, Marano & Vettolani 1984, Chamaraux et al. 1990). Er zijn prominente aanwijzingen voor deze verbinding in de 2MASS *all-sky distribution* (Jarrett 2004) en deze verbinding was ook voorspeld door de 2MRS gereconstrueerde dichtheidsvelden (Erdoğan et al. 2006). Het bestaan ervan was tot op heden echter nog nooit spectroscopisch bevestigd als gevolg van de grote verduistering op optische golflengtes. In dit PPS filament is een Röntgen-cluster van sterrenstelsels te vinden waarin zich twee heldere kop-staart radiosterrenstelsels bevinden met een gebogen morfologie, 3C 129 en 3C 129.1, (Spinrad 1975, Jaegers & de Grijp 1983, Lane et al. 2002, Lal & Rao 2004, Murgia et al. 2016). Hoewel deze cluster uitgebreid is bestudeerd in het Röntgen deel van het spectrum (Leahy & Yin 2000, Harris, Krawczynski & Taylor 2002, Krawczynski et al. 2003) is er ondanks dat het mogelijkwijs een massieve, evoluerende cluster betreft binnen de PPS, erg weinig bekend over de populatie van sterrenstelsels. Gezien het feit dat clusters van sterrenstelsels een goed proeflaboratorium vormen om onze kennis te vergroten van omgevingseffecten op de oorsprong van sterrenstelsels en de schaarste van grote nabije clusters van sterrenstelsels, blijft het nuttig om clusters en hun omgeving indi-

vidueel te analyseren. Dit is met name nuttig wanneer blijkt dat deze clusters voldoende dichtbij zijn om met grote precisie waargenomen en geanalyseerd te kunnen worden met onze huidige instrumenten.

## Methodologie

Er is een blinde HI-imaging survey uitgevoerd met als doel een muurachtige structuur in kaart te brengen die een onbekende maar mogelijk veelbelovende cluster omvat. Deze cluster, voornamelijk bekend vanwege de Röntgenstraling als de 3C 129 cluster, maakt deel uit van het *Perseus-Pisces Supercluster* filament dat zicht uitstrekt vanaf de ZoA rond  $(\ell, b, cz) \approx (160.5^\circ, 0.27^\circ, 6000 \text{ km s}^{-1})$ . De waarnemingen zijn uitgevoerd met de Westerbork Synthese Radio Telescoop (WSRT) en bestaan uit 35 individuele *pointings* die elk 12 uur zijn waargenomen. De *pointings* vormen een hexagonaal mozaïek, vergelijkbaar met een enkele Apertif *pointing*. De waarnemingen beslaan een oppervlakte van ongeveer 9.6 vierkante graden, gecentreerd op  $(\ell, b) \approx (160.8^\circ, 0.9^\circ)$  en hebben een afstandsbereik van ongeveer  $cz \sim 2000 - 16000 \text{ km s}^{-1}$ . De resulterende datakubus heeft een hoekresolutie van  $23'' \times 16''$  en een snelheidsresolutie van  $16.5 \text{ km s}^{-1}$  met een ruisniveau van typisch  $\sim 0.4 \text{ mJy/beam}$ . De configuratie van de survey staat een  $6\sigma$ -detectielimiet van  $M_{\text{HI}} = 3 \times 10^8 M_\odot$  toe voor de HI-massa, onder de aanname van een lijnbreedte ( $w_{50}$ ) van  $150 \text{ km s}^{-1}$  op de afstand van het PPS ( $cz \approx 6000 \text{ km s}^{-1}$ ).

## Samenvatting van de belangrijkste resultaten

De resultaten van het onderzoek uitgevoerd in deze dissertatie kunnen worden samengevat in drie hoofdpunten zoals hieronder beschreven:

**Inzicht in de samenhang van grootschalige structuren achter de ZoA:** Er zijn in totaal vier verschillende concentraties van sterrenstelsels geïdentificeerd in roodverschuivingsruimte in het volume van de survey. Van deze concentraties bevinden twee kleine zich op  $cz \sim 2000 - 4000 \text{ km s}^{-1}$  (Aur 1; 15 HI-detecties) en  $cz \sim 12000 - 16000 \text{ km s}^{-1}$  (Aur 4; 37 HI-detecties). De andere twee zijn grote concentraties die zich bevinden op een afstand van het PPS van  $cz \sim 4000 - 8000 \text{ km s}^{-1}$  (Aur 2; 87 HI-detecties) en achter het PPS met  $cz \sim 8000 - 12000 \text{ km s}^{-1}$  (Aur 3; 72 HI-detecties). De in HI gedetecteerde sterrenstelsels in deze twee grote concentraties hebben HI-massa's en lijnbreedtes tussen  $\log(M_{\text{HI}}/M_\odot) = 7.8 - 10.3$  en  $w_{50} = 25 - 526 \text{ km s}^{-1}$  voor Aur 2, en  $\log(M_{\text{HI}}/M_\odot) =$

8.6 – 10.3 en  $w_{50} = 28 - 322 \text{ km s}^{-1}$  voor Aur 3. Sterrenstelsels op een afstand gelijk aan die van het PPS zijn gebruikt om aan te tonen dat er verbindingen zijn in het PPS achter de ZoA, hetgeen eerdere indicaties (bijv., Focardi, Marano & Vettolani 1984, Chamaraux et al. 1990) van een samenhang van filamenten tussen de Perseus, de Pisces en de A569 clusters aan weerszijden van de ZoA bevestigt. Kaarten van de grootschalige structuur Jarrett (2004) tonen zelfs aan dat het PPS volledig in verbinding zou kunnen staan met de A634 cluster, wat het PPS één van de grootste filamenten ( $> 100 \text{ Mpc}$ ) in het nabije universum zou maken. Van sterrenstelsels achter het PPS filament is met behulp van gereconstrueerde dichtheids- en snelheidskaarten van 2MRS (Erdoğdu et al. 2006) aangetoond dat deze deel uitmaken van de CID15 structuur. Dit bevestigt de nauwkeurigheid van de gereconstrueerde kaarten boven en onder de ZoA in dit gebied aan de hemel.

**De populatie van sterrenstelsels in de 3C 129 cluster:** Aangezien de enige eigenschappen die bekend waren van de 3C 129 cluster gebaseerd waren op de Röntgen-emissie en de twee radiosterrenstelsels die het bevat, vereist een meer gedetailleerde studie aanvullende informatie met betrekking tot de populatie van sterrenstelsels. Met dit doel voor ogen is een inventaris opgemaakt van de sterrenstelsels in deze cluster. Dit is gedaan door de in HI gedetecteerde populatie van sterrenstelsels te combineren met de sterrenstelsels die geïdentificeerd zijn in het nabij-infrarood (NIR) met behulp van afbeeldingen van de UKIDSS *Galactic Plane Survey* (UKIDSS-GPS). Metingen in de NIR *J*, *H* en *K* banden zijn verkregen voor ongeveer  $\sim 9700$  sterrenstelsels binnen het waargenomen WSRT gebied. Sterrenstelsels die deel uit maken van de cluster zijn geselecteerd door de *red sequence* te bepalen in het (*J* – *K*) vs *K* kleur-magnitude diagram. De resulterende helling voor de 3C 129 cluster is  $\alpha = -0.023 \pm 0.002 \text{ mag}$ , vergelijkbaar met de Coma cluster ( $\alpha = -0.017 \pm 0.009$ ) die op een vergelijkbare afstand ligt van  $cz \sim 6000 \text{ km s}^{-1}$ . De ruimtelijke omvang van de cluster is zo gedefinieerd dat het een straal van  $\sim 1.7 \text{ Mpc}$  ( $1.34R_{200}$ ) heeft, op grond van de sterk afnemende dichtheid van sterrenstelsels. Binnen deze straal zijn 261 sterrenstelsels automatisch geïdentificeerd en visueel bevestigd aan de hand van de UKIDSS-GPS afbeeldingen. Dit proces toont aan hoe efficiënt het bepalen van de *red sequence* is wanneer roodverschuivingsdata ontbreken. De verdelingen van de gas-rijke, HI-gedetecteerde sterrenstelsels en de gasarme sterrenstelsels zijn verschillend in de cluster. De gasarme populatie van sterrenstelsels domineert de binnenste gebieden van de cluster, terwijl de populatie van gasrijke sterrenstelsels de binnenste



gebieden binnen een straal van  $\sim 0.5$  Mpc van het centrum van het cluster lijken te vermijden. Dit wijst op een sterk effect van de omgeving op de hoeveelheid gas in een sterrenstelsel.

**De effecten van de omgeving op HI-eigenschappen:** De schat aan HI-data van de WSRT PPZ $\circ$ A survey heeft een breed scala aan omgevingen blootgelegd, uiteenlopend van grote concentraties van sterrenstelsels, een Röntgen-straling uitzendende cluster van sterrenstelsels, tot gebieden waar bijna geen sterrenstelsels te vinden zijn. Dit biedt een uniek laboratorium om de HI-eigenschappen van sterrenstelsels in deze verschillende omgevingen te bestuderen onder dezelfde waarneemcondities.

De meest interessante omgevingen in het door de WSRT waargenomen gebied zijn de twee grote concentraties van sterrenstelsels, waarvan één de 3C 129 cluster bevat op een afstand van  $cz \sim 4000 - 8000$  km s $^{-1}$  van het PPS (Aur 2) en de andere achter het PPS ligt, op een afstand van  $cz \sim 8000 - 12000$  km s $^{-1}$  (Aur 3). Beide concentraties vertonen substructuur en zijn uniek in hun samenstelling van sterrenstelsels en representeren dan ook verschillende omgevingen. Sterrenstelsels in substructuren in het Aur 2-systeem blijken voornamelijk vroeg-type sterrenstelsels te zijn terwijl de sterrenstelsels in Aur 3 voornamelijk laat-type sterrenstelsels zijn.

De asymmetrie in de HI-verdeling binnen de sterrenstelsels in deze substructuren is onderzocht. Sterrenstelsels met meer verstoorde HI-verdelingen blijken vaker gevonden te worden in de grotere en dichter bevolkte groepen van sterrenstelsels, terwijl in de dunner bevolkte groepen de HI gelijkmatiger is verdeeld. Van de grote verstoringen in de distributie van HI wordt verondersteld dat deze worden veroorzaakt door het vaker voorkomen van getijde-interacties in de dichter bevolkte omgevingen.

Onderzoek naar de HI-inhoud van sterrenstelsels in de 3C 129 cluster heeft vanwege het ontbreken van HI-detecties in dit gebied een tekort aan HI-gas in het centrum van het cluster aangetoond. De oorzaak van dit tekort aan gas is onderzocht door het effect van het intra-cluster medium op de sterrenstelsels in de cluster te onderzoeken. Het principe van *ram-pressure stripping* schijnt het dominante proces te zijn om gas uit sterrenstelsels in het centrum van de cluster te verwijderen. Sterrenstelsels met een significant lage HI-inhoud van  $\text{Log}(M_{\text{HI}}/L_{\text{K}}) < 1.0 M_{\odot}/L_{\odot}$  worden echter ook in de buitengebieden van groepen van sterrenstelsels gevonden. Het merendeel van deze sterrenstelsels bevindt zich in groepen van sterrenstelsels binnen de straal van de cluster en verkeren in het proces dat ze voor het eerst in de cluster vallen. In het Aur 3-systeem is een

vergelijkbare lage HI-inhoud gevonden waarbij geen Röntgen-straling of clustering van sterrenstelsels bekend is. Dit toont aan dat processen waarbij gas wordt verwijderd uit groepen van sterrenstelsels ook een rol spelen in de transformatie van sterrenstelsels.