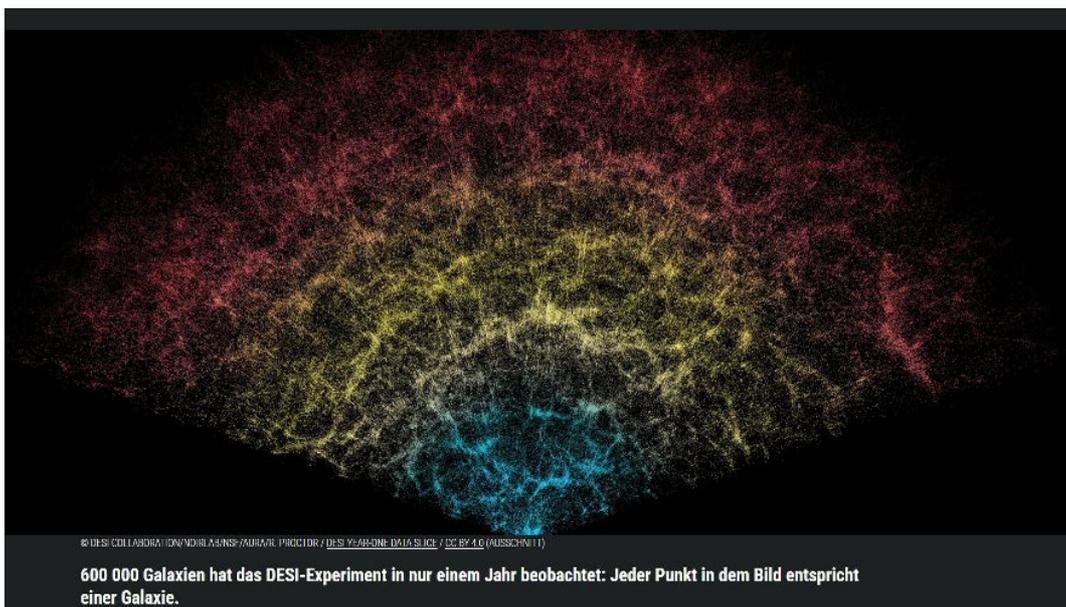


*In der Begriffsfindung für einen neblig-verschwommenen, weiß-gelblichen Fleck im Teleskopanblick des Himmels, spielte es eine Rolle, dass man der mit bloßem Auge gut sichtbaren großen Verdichtung von Sternen, – in einer damals üblicherweise dunklen Gegend - bereits den griechischen Namen „γαλαξίας“ = „Galaxis“ gegeben hatte.  
Selbst diese Namensfindung des Originals folgte einer auch noch heute gängigen Praxis:  
Unbekanntes wird bei Ähnlichkeit mit Bekanntem aus dem Alltagsleben begrifflich passend gemacht.  
Bei der „Milchstraße“, wörtlich übersetzt, gibt es aber noch eine schöne Geschichte als Erklärung dazu:  
das weißlich schimmernde Band wurde als Überrest verspritzter Muttermilch bei einer Fütterung zweier rabiater Burschen der gr. Götterwelt gedeutet. Soweit eine Vorgeschichte.*

## Galaxien - Der sichtbare Füllstoff des Universums

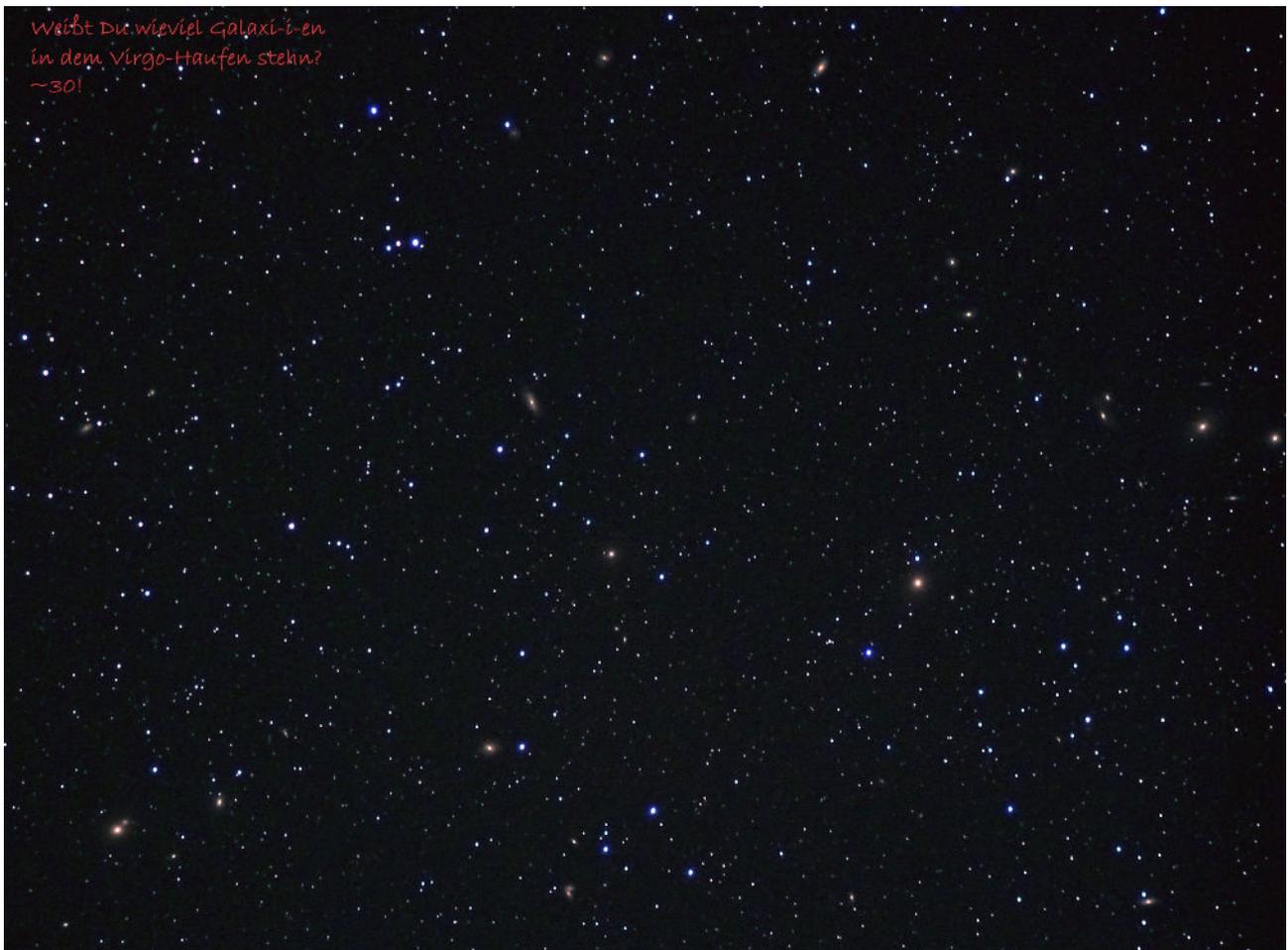
Der normalsichtige Mensch hat heutzutage allerdings bereits Schwierigkeiten, das sog. „Band der Milchstraße“ zu sehen. Das gestreute Licht unserer Lebenswelt „verschmutzt“ den Anblick des Himmels und man muss daher die wenigen dunklen Gegenden aufsuchen, um den sichtbaren Kosmos zu genießen. Ein zweites Problem kommt hinzu: unsere Augen sind die „Videokameras“ unserer Gehirne und sollen dem Überleben von gefährlichen Bewegungen dienen. Sterne und Galaxien sind seit Urzeiten so unbedeutend im Überlebenskampf, dass wir kein Standbild mit längerer Belichtungszeit als ~30 Millisekunden produzieren können. So ist alles unsichtbar, was lichtschwächer als die berühmte 6. - heute eher 4. - Größenklasse der Objekte<sup>1</sup> am Himmels ist. Von den mehr als 100 Milliarden Galaxien – grobgeschätzt, aber sachlich zutreffend - ist leider nur eine einzige sichtbar, wenn man wenigstens die Milchstraße als blassen Schimmer sehen kann. Daher wurde unsere Nachbargalaxie im Sternbild Andromeda zum Musterbeispiel aller „Nebel“, das sich mit Benutzung des Teleskops als Verdichtung von Unmengen an Sternen herausstellte. Allerdings gilt es erst seit genau 100 Jahren als bewiesen, dass die Andromeda-Galaxie nicht einer von zig nebligen Gebilden in unserer Galaxie ist, sondern, rund 2,5 Millionen Lichtjahren entfernt, ihre Sterne um ihr Zentrum drehen lässt. Dass alle Galaxien so etwas tun, stellte sich im Laufe der Zeit heraus, als man das Summenlicht dieser Sterne auf Bewegung hin analysierte mit Methoden der Spektralanalyse. Den bereits bekannten Dopplereffekt bei irdischen Schallquellen übertrugen die damals frisch spezialisierten Astro-Physiker auf die Bewegungen innerhalb von Sternsystemen und selbige untereinander. Ziemlich schnell erhob sich ein Streit unter Fachleuten, ob damit sogleich das Unmögliche bewiesen sei: Das sichtbare Universum dehnt sich aus, so wie Albert Einstein es berechnet hatte – was er aber selbst zunächst nicht glauben wollte. Seit rund 20 Jahren werden Messwerte zu einer beschleunigten Ausdehnung bestätigt, und – topaktuell – zur eventuellen „Bremsung der Beschleunigung“ diskutiert. Was auch immer die dafür notwendige „dunkle Energie“ angerichtet hat, sichtbar sind quasi links und rechts außerhalb der Milchstraße jede Menge Galaxien. Die Punkte in der folgenden Grafik, stellen jeweils eine fotografisch vermessene Galaxie dar.



1 Vgl. PDF Helligkeiten

Unsere eigene Galaxie schattet dabei die fehlenden Sektoren ab. Hier also nur die Punkte zu einer Seite. Der Farbcode bedeutet zunächst die Entfernung, das Durchschnittsalter wäre dann umgekehrt proportional: die roten sind die jungen, die blauen Galaxienpunkte sind zwar näher dran, aber in ihrer Entwicklung weit fortgeschritten.

Ein echtes Bild – hier vom Ost-Teil unseres nächsten Galaxien-Haufens im Sternbild Jungfrau, von der Flächenausdehnung einer Kreditkarte in Armeslänge! – zeigt bei 30 Sek-Belichtungszeit circa 30 Galaxien. Der Haufen ist fast 30-mal weiter entfernt als unsere o.a. Nachbargalaxie, was man auch in einem Größenvergleich erkennen kann. Seine riesigste Galaxie hat mindestens 3-mal so viel Sonnenmassen wie die im Andromeda-Sternbild, deren Fläche am Himmel etwa 3-mal den Vollmond überdeckt. Die Galaxie im Zentrum des Virgo-Haufen gleicht aber in ihrer Ausdehnung nur der Größe eines Mondkraters. Alle Sterne der Milchstraße sind punktförmig, alle gelblich, leicht verwaschenen Flecken sind Galaxien. Bei längerer Belichtungszeit erscheinen umso mehr davon.

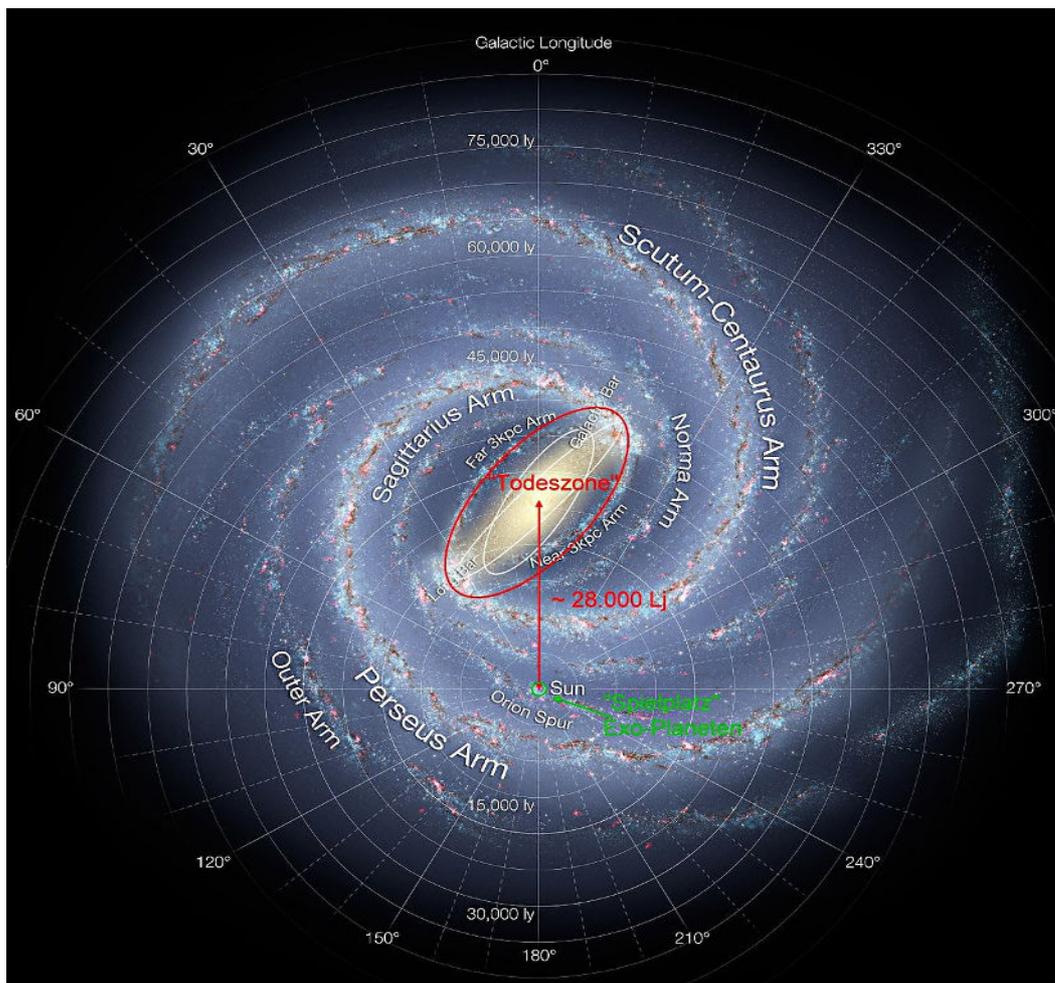


Allerdings bleibt der Himmel zwischen den Objekten schwarz (vgl. Urmodell-PDF). Nachdem klar war, dass außerhalb der Milchstraße die Anzahl kein Ende nahm, wurden in Durchmusterungen – Auswertungen 1000er Fotoplatten der Himmelsregionen – riesige Kataloge angefertigt, so dass von nahezu jeder erkennbaren Galaxie Koordinaten, Typ und Helligkeit gelistet sind. Im ersten dieser Kataloge (Ch. Messier ~1771) erhielt die Andromeda-Galaxie die Nr. „31“, weil schlicht 30 andere nebelähnliche Objekte vor ihr entdeckt wurden. Eine Sortierung nach scheinbarer Helligkeit oder Größe wäre leicht irreführend, denn die Entfernung macht aus Giganten u. U. Glühwürmchen. Eine andere Unterscheidung spielt eine bedeutendere Rolle: Die Form und deren Abhängigkeit vom Alter. Seit E. Hubbles Entdeckung der „Galaxienflucht“, stellte man nach und nach fest, dass die grobe Zweiteilung in Spiral- und Ellipsoidform etwas mit der Entwicklung und der daraus folgenden Größe zu tun haben muss. Elliptische sind offenbar aus Verschmelzungen kleinerer und ganzen Zusammenstößen größerer hervorgegangen. Denn deren überwiegend ältere Sterne

umrunden den Kern der Galaxie auf einem „Gewirr“ unterschiedlichster Bahnen – sogar im „Gegenverkehr“. Dagegen sind Spiralen offenbar flache Scheiben, deren Zentrum – der „Bulge“, eine Verdickung mit  $\sim 2\text{-}5000\text{LJ}^2$  - ältere Sterne enthält, die von mehrheitlich jüngeren Sternen in den Spiralarmen auf Bahnen in der galaktischen Ebene umrundet werden. Alles was als Galaxie nicht in dieses Schema passt, bezeichnet man als „irregulär“. Die beiden Begleiter der Galaxis am Südsternhimmel – nach ihren Erstbeobachter „Magellansche Wolken“ genannt – gehören dazu. Ab wann eine riesige Ansammlung von Sternen zu einer Scheibengalaxie kollabieren muss, bestimmen die Gesetze der Gravitation. Die Bahnen der Sterne ebenfalls. Allerdings sind hier Massen, Abstände und Geschwindigkeiten weitaus schwieriger zu messen/überprüfen als bei Komponenten in einem Sonnensystem.

Galaxien existieren in Gruppen mit anderen Galaxientypen. Unsere „Lokale Gruppe“ bildet mit ihren Nachbargruppen, gravitativ verbunden, einen sog. Cluster, der zu Superclusters gehört; und irgendwo im Megabereich von Lichtjahren in den Außenbezirken riesiger Leerräume tummeln sich immer noch Cluster. Der (End)effekt ist eine Art Blasenstruktur des Universums aus Wänden von Galaxien – s. Bild 1. Unsere Heimat ist daher die Chef-Galaxie von  $\sim 30$  weiteren Typen. Andromeda M31 könnte aber auch Chef sein, was dazu führt, dass sich beide vermutlich zum Ellipsentyp in  $\sim 5\text{Mrd.}$  Jahren paaren werden. Die Lokale Gruppe ist mit dem nächsten Haupt-Gruppenchef M87 – die Galaxie mit dem Mega Black Hole – gravitativ verbandelt und die weiteren Gruppenchefs und Mitglieder gehören zum Supercluster „Lanaieka“. Bisher ist es der einzige Superhaufen, bei dem wohl die  $\sim 100000$  Mitglieder in ihren Fluchtgeschwindigkeiten eine gravitative „Bremse“ zeigen. Lanaieka, mit einem Durchmesser von  $\sim 500$  Millionen Lichtjahren, ist dennoch „nur“ kosmologische Nachbarschaft!

Die folgenden Bilder illustrieren einige Merkmale und Besonderheiten nach Lage der Forschung. Zunächst die Karte unserer Galaxis:



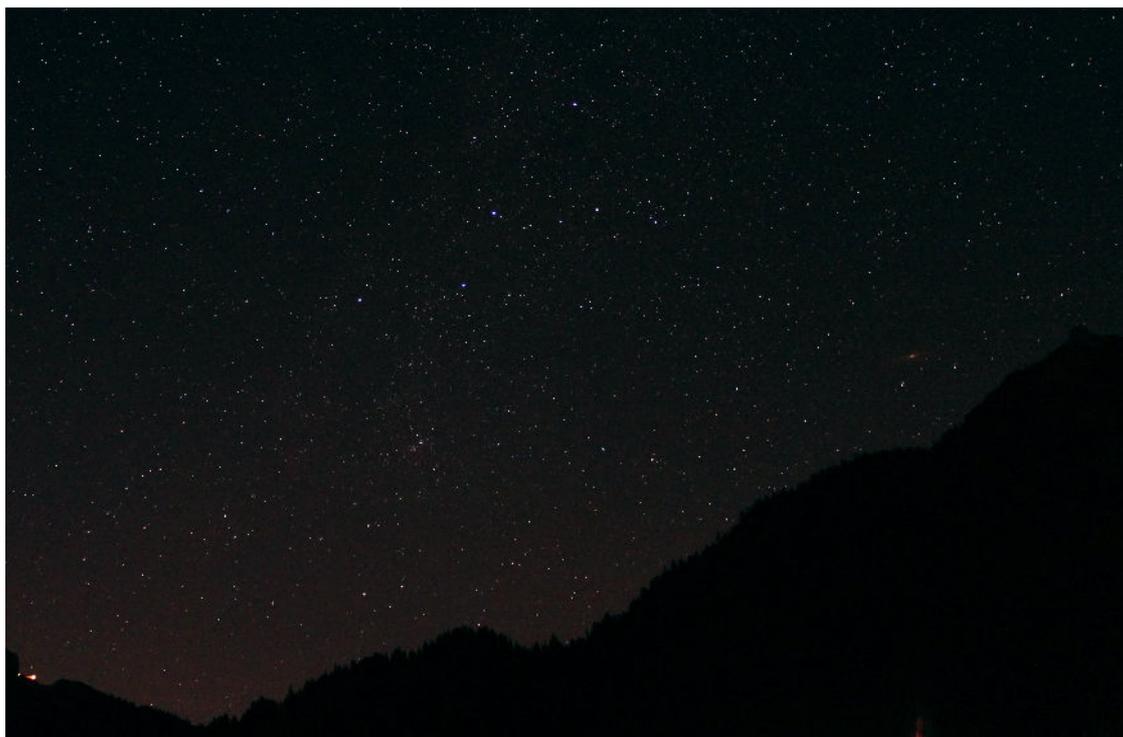
2 Solche Dicken sind keine Seltenheit, aber bei einem Gesamtdurchmesser vom teils 100.000 LJ eben nur „dick“.

Die Bezeichnung „Todeszone“ für das Kerngebiet einer Galaxie ist der o.a. Verdichtung, dem Alter der Sterne und damit den ungünstigen Verhältnissen für erdähnliche Planeten geschuldet. Im Kern verbirgt sich nahezu immer ein Schwarzes Loch, das je nach Masse und Aktivität, dem Einfall von Sternmaterie am Ereignishorizont (vgl. Urmodell-PDF), tödliche Gammastrahlung freisetzt.

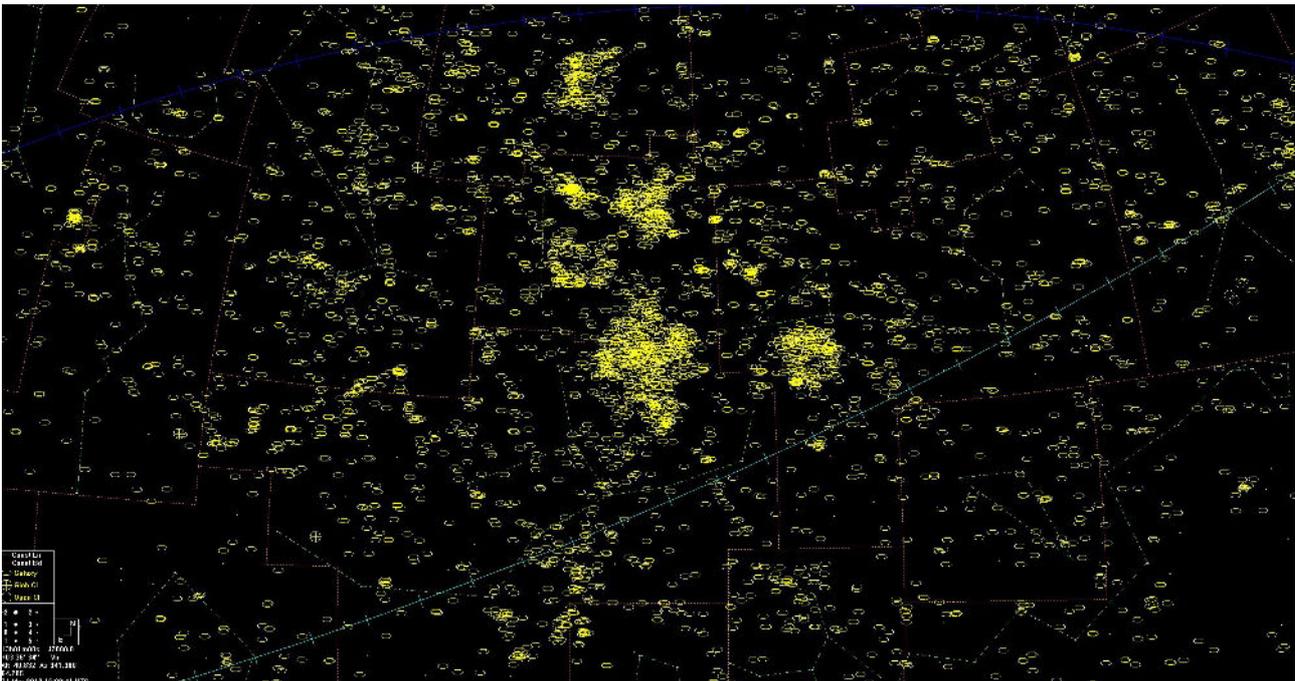
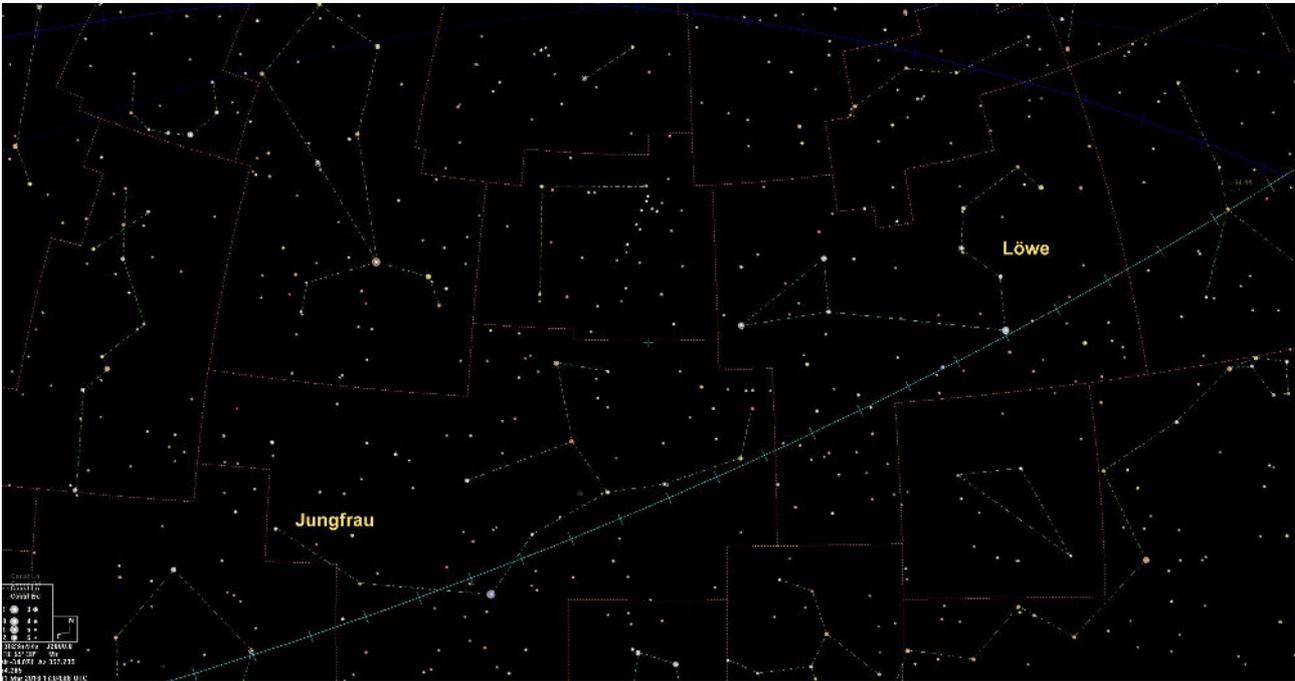
Der Anblick Richtung Zentrum „unserer“ Galaxis in einem Bayrischen Alpental:



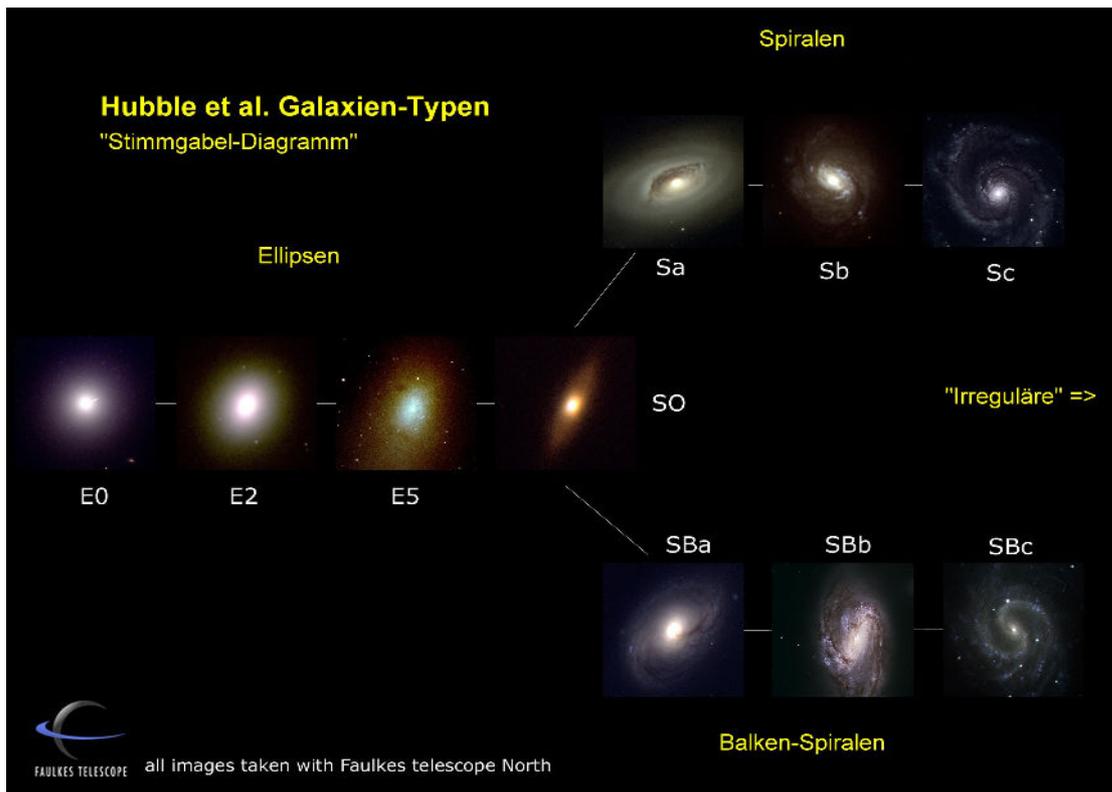
Unsere Nachbargalaxie im Sternbild Andromeda ist die einzige Galaxie, die - wie hier, gerade über einem Bayrischen Bergrücken rechts aufgegangen –, von der Nordhalbkugel mit bloßem Auge sichtbar ist:



Wie viele aber dem bloßen Auge verborgen bleiben, machen die beiden folgenden Himmelskarten des Gebiets um die Sternbilder Jungfrau und Löwe deutlich. Im oberen Bild sind nur die Sterne bis zur 5. (sichtbaren) Größenklasse dargestellt; unten die Symbole der Galaxien bis zur 16.:



Beim Blick auf Galaxien durch ein Teleskop macht sich begeisterte Ernüchterung breit, weil unsere medial verwöhnten/übersättigten Augen nur einen grauen, mittig helleren Nebelfleck sehen. Selbst nahe Galaxien erfordern längere Belichtungszeiten von wenigstens 10 Minuten, um wesentliche Details sichtbar zu machen. Bis zum Zentrum unseres Virgo-Superhaufens, in ~ 50 Mill.LJ, schrumpfen die Flächengrößen der Galaxien (gemessen in Bogenminuten) auf Bruchteile des Monddurchmessers. Ebenso nehmen die Helligkeiten außerhalb des Kernbereichs ab, wobei die Riesenteleskope auf 3000m und das Hubble-Teleskop in 400km Höhe auch bei wesentlich entfernten noch spektakuläre Bilder – teils durch stundenlange Belichtungen – abbilden. Hier eine Übersicht der Typen mittels Großteleskopen, geordnet nach Hubble's Vorschlag von ~1940:



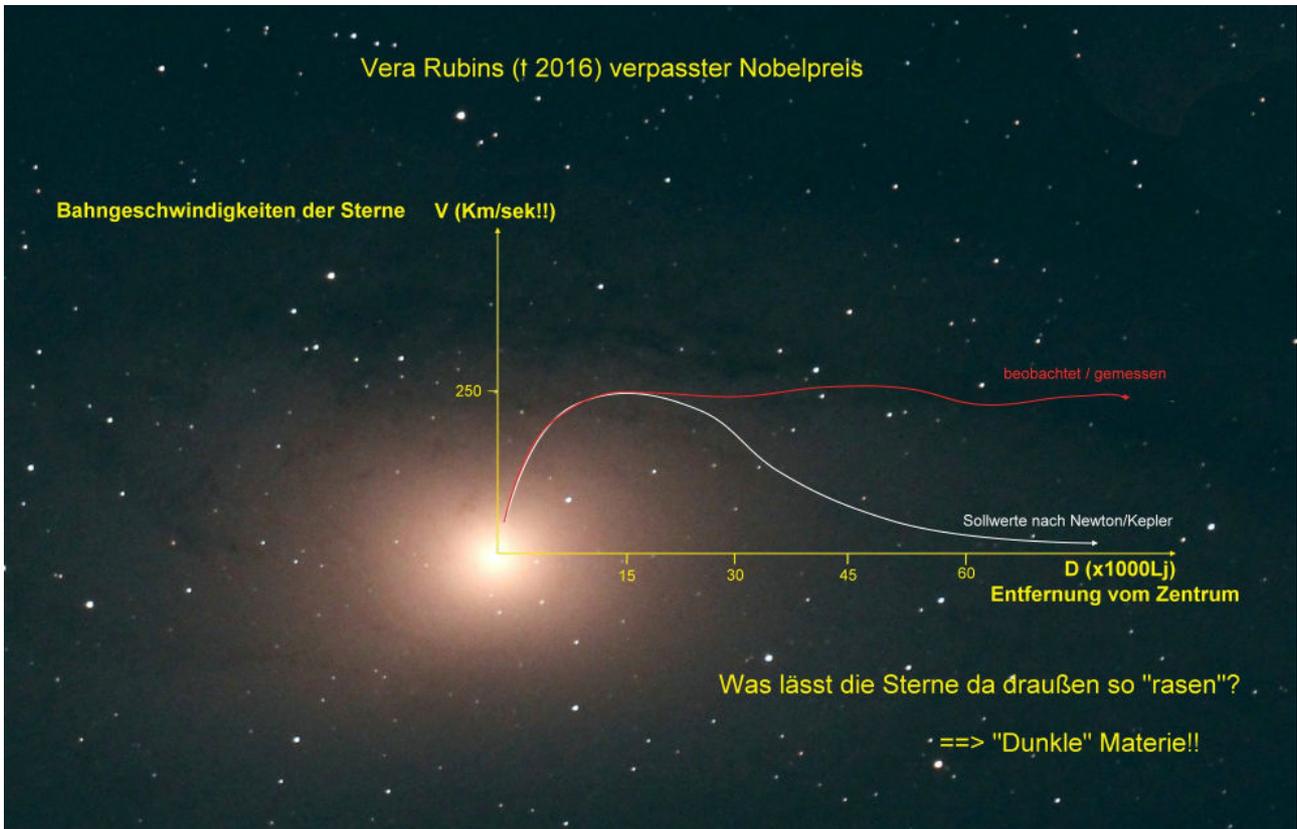
Die AEG-Schulsternwarte produziert von den schönsten Typen im Virgohaufen nicht weniger sehenswerte Exemplare, allerdings mit Zugeständnissen an Details der bildlichen Darstellung vor allem wegen der wesentlich kürzeren Belichtungszeiten. Hier zwei ungewöhnlichere Exemplare:



Die „Sonnenblume“ und die „Nadel“ sind beide im nördlichen Teil des Virgo-Haufens zu finden, wenn man ihre Koordinaten in die Teleskopsteuerung eingibt. Dann ist das Licht aus rund 30 Mill. Lichtjahren Entfernung (= Alter) mit dem Auge schwach, mit dem Kamerasensor nach 10 Min. detaillierter sichtbar.

Was sich in der Schwärze des Hintergrundes verbirgt, ist ein Spezialthema und trotz Jahrzehnte langer Forschung immer noch strittig. Die Existenz der „dunklen“ Materie ist wenigstens leicht zu beweisen: Die Außenbereiche aller Galaxien rotieren viel zu schnell, als dass sie von sichtbarer Materie im Kerngebiete gravitativ gebunden werden könnten. Der Nobelpreis für diese Forschung

hätte Vera Rubin zugestanden. Ihr zu Ehren trägt wenigstens ein Spezialteleskop in den Anden ihren Namen. Das Problem zeigt die folgende Grafik der Rotationskurven. Aus deren Daten kann man die erforderlichen (fehlenden/unsichtbaren) Sonnenmassen aus „dunkler Materie“ errechnen, die die Sterne binden:



Dem wahrlich überwiegenden Problem der „Dunklen Energie“, das den Füllstoff auseinandertreibt, so dass eine Galaxien-Blasenstruktur riesige Leerräume (Voids genannt) umhüllt und sich dehnt bis zur Grenze des beobachtbaren Universums, dem müssen offenbar Spezialforscher künftiger Generationen versuchen beizukommen. Das Problem ist zum Glück nachrangig, denn der Weg zur Disco, Stammkneipe oder Trauminsel verlängert sich ja nicht einmal für Astronauten.

Ps. Das letzte Bild zeigt den Einfluss der Belichtungszeit auf die Tiefe der Erkenntnis:



Ab jetzt geht es um das Große Ganze ohne das Allerkleinste:

\* Weil die Natur der Natur sehr komplex ist, kann man sie nur in Modellen beschreiben und verstehen.  
Fast alle Fachwissenschaftler\*innen akzeptieren derzeit eine Beschreibung, die in mathematisch korrekter Formulierung mindestens 200 Buchseiten füllen muss. Das Nachfolgende ist daher leider fast problematisch vereinfacht.  
Für sehr komplizierte Einzelkomponenten des Modells gibt es häufig Verbesserungsvorschläge, die nach dem Prinzip der Wissenschaftsfreiheit veröffentlicht werden – und von Laien besser kommentarlos abgenickt werden sollten.

## **Das kosmologische Standardmodell\* – in Kurzfassung, dafür aber besser als das GarNichts.**

Die Fachautoren sprechen vorsichtig, im Gegensatz zu den populären Youtubisten, vom Modell des „Urknalls“<sup>3</sup> als Anfang der real existierenden Welt. Von diesem „Anfang“ ist etwas messbar mit einem Radioteleskop, was als Rest einer Hintergrundstrahlung aus dem Jahre ~380 000 nach dem Nullzeitpunkt<sup>4</sup> gedeutet wird. Jedoch kann man in einer Gartensternwarte schon mit besseren (als Aldi-)Lichtteleskopen und einem einfachen Spektrometer das Licht sehr alter Galaxienkerne untersuchen (s. Anhang). Für die menschliche Informationsverarbeitung ist es daher nicht nur glaubwürdig, sondern auch erstaunlich widerspruchsfrei<sup>5</sup> belegbar, dass daher eine zwingend logische „Entfernungsskala“ existieren muss.

Daraus resultiert ein zurück gerechnete Alter des Universums – alle Parameter eingeschlossen – von rund 13,8 Mrd. Erdenjahren, wenn die Laufzeiten des Lichts in (Erd)Sekunden gemessen werden. Die entferntesten Objekte (Vorläuferkerne früher Galaxien, sog. Quasare) nähern sich der „Flucht-Geschwindigkeit“ von 300 000km/s an. Das wäre/ist die Grenze des beobachtbaren Weltraum, also der Wirklichkeit, verursacht durch die Ausdehnung des Raumes zwischen den Galaxien. Zu Ehren des Entdeckers dieser „Galaxienflucht“ als „Hubble-Horizont“ bezeichnet, liegt sie „derzeit“ in allen Richtungen bei ~46 Mrd. Lichtjahren, was aber nicht bedeutet, dass es ein sichtbares Zentrum gäbe. Wäre die (seit ca. 25 Jahren als stets beschleunigt gemessene) Dehnung des Raumes nicht vorhanden, gäbe es keine Welt, in der wir existierten, sondern eine gravitativ verklumpte Energiemenge - denkbar als Superschwarzloch mit unendlich ekelhafter Dichte. „Nach dem Horizont geht's... weiter“, vermutlich genauso wie davor, aber – jetzt kommt's: nicht unendlich, nur quasi-unendlich.

Der Unterschied liegt am Alter der Objekte/Materie, das eben nicht unendlich ist – s.o.. Die Theorie in bester Übereinstimmung mit der Realität - Einsteins ART – besagt daher, dass die Materie, mit der berühmtesten Formel:  $E = m \cdot c^2$  gerechnet, den Raum erst definiert, in dem sich die Materie (Galaxien, Gas, Sterne...) dann zu bewegen hat. (s. Merksätze im Anhang)

Die per Lichtaussendung beobachtbare Materie ist mit 5% der Gesamtenergie ein Klacks und schafft bereits jede Menge Probleme für das Verständnis, - ganz zu schweigen von den Problemen mit dem riesigen Rest, jene mit dem Adjektiv „dunkel“ verzierte „Form“ von Materie und Energie. Zunächst muss akzeptiert werden, dass dieses Licht als Strahlungsenergie – die Photonen (s. Sternenlicht-PDF) - von unseren Augen und den entsprechend gebauten Kameras nur bei Wellenlängen von 380 -740 Nanometern detektiert werden kann. Da der Raum sich pro Einheit von 3,26 Millionen Lichtjahren aber mit ~ 70km/sek ausdehnt, ist das Licht der fernen Objekte zu den langen (roten) Wellenlängen verschoben. Bei sehr fernen sind dann die ultravioletten Anteile des Lichts in den sichtbaren Bereich verschoben. Diese „Kosmologische Rotverschiebung“ muss von anderen Ursachen einer Rotverschiebung unterschieden werden (worüber heftige Streitereien entstanden, aber inzwischen beigelegt sind). Die Analyse des Lichts (mittels Infrarot-Teleskopen und -Kameras) eines der fernsten Objekte ergibt, dass jenes Objekt dem gleichen Typ in unserer Nachbarschaft entspricht – nur eben sehr jung, weil sehr früh entstanden. Daraus folgt ein Zusammenhang, der sich als Welt mit gemeinsamer Entwicklung ihrer Komponenten darstellt. Dieses Ur-Weltmodell wird vom „Heute“ in die Vergangenheit gerechnet und durch Befunde aus Beobachtungen belegt. Was dann die Zukunft betrifft hinsichtlich der (inszwischen veralteten) Prognose eines Kollapses der Welt aufgrund der Anziehung von Materie stattfinden wird, ist unklar,

3 Der Begriff ist nicht mehr löschar wg. seiner Popularität. Erfunden hatte ihn Fred Hoyle (den „big bang“ schnappte ein Reporter auf und lancierte ihn) als Vorwurf gegen die Idee der Dynamik-Interpretation seiner Kollegen, als um 1930 die Messergebnisse von Hubble&Co keine andere Interpretation als logisch zuließen, und Einstein daraufhin sein statisches Wunschuniversum als „Eselei“ entschuldigte. Hoyles Konkurrenzmodell hat noch hier und da ein paar Fans, wird aber wg. der unerklärlichen Materieproduktion von raumfüllenden Eisenadeln aus alten Sternresten nicht mehr gelehrt.

4 Von ~380 000 zurück nach 0 sind solide Kenntnisse in Quantentheorie für die Nachvollziehbarkeit erforderlich, daher hier im Folgenden „nachlässig“ weggelassen.

5 durch Willem von Ockhams (1347! verstorben) sog. „Rasierer“, eine Methode zur Vereinfachung komplexer Sachverhalte.

solange die Ausdehnung am Gewinnen ist – was aber nicht heißt, dass sich Milchstraße und Andromeda-Galaxie nicht vereinen dürfen. In Gebieten mit riesigen Massen besiegt immer die Gravitation den Drang der Ausdehnung. Wer sich aber einen „Big Crunch“ (als neuen Anfang der biblischen „Neuen Welt“) gewünscht hat, muss leider hinnehmen, dass die jetzige im „Big Rip“ zu vergehen droht. Es wird dann wohl endgültig „duster“! - so in  $10^{36}$  Jahren. Die Kern-Protonen der sichtbaren Materie müssten bis dahin lernen, ihre derzeitig geschätzte „Lebenslänge“ trickreich zu Sinnvollem wieder zu vereinen. Aber leider – bis jetzt zum Glück - sprechen die Naturgesetze dagegen.

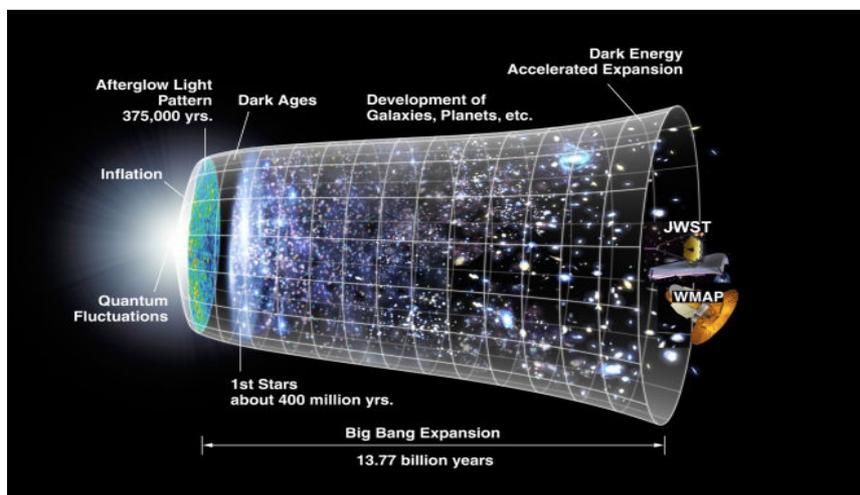
Natürlich tauchte die Frage auf, ob denn auch die Photonen „altern“. Die Antwort ist nein! Aber: Grundsätzlich werden sie ja an Atomen in ihrem Weg zu unseren Teleskopen gestreut. Dennoch verlieren sie die Informationen – ihrer Erzeugung und von Ereignissen - im fernen Universum und selbst bei „nahen“ Streuprozessen nicht, was allerdings die Arbeit der Spektralanalyse des Lichts dieser Objekte sehr mühselig macht. Selbst wenn sie gänzlich verschluckt werden, ist es nicht „dunkel“, sondern solche Vorgänge zeigen sich in anderen Wellenlängenbereichen – meist im Infraroten.

An den „richtig dunklen“ Stellen finden die bisherigen größten Teleskope in den sog. Deep-Field-Aufnahmen allerdings immer noch weitere (im Sinne des Wortes!) Objekte. Also beschlossen die europäischen Forschungsverbände schließlich den Bau des Extremely Large Telescopes (ELT) - 39 Meter im Durchmesser – mehr geht nicht nach Stand der Technik. Inbetriebnahme ~2029! Die Theorie besagt nun, dass ca. einige Hundert Millionen Jahre nach dem „Urknall“ das wirkliche Dunkel der Dunklen Materie von den ersten Hypersternen o.ä. erleuchtet wurde. Wenn schließlich diese Entwicklung zu sehen und messen sein wird (im Ferninfrarot des ELT), sollten uns die zusätzlichen Jahreskosten von ca. „nur“ einem BigMac! pro Person der Betreiberstaaten das schon Wert sein. Maßgebend ist dabei nicht nur die neue Erkenntnis an sich, sondern das „Konditionstraining“ der beteiligten Wissenschaftler\*innen im Problemlösen. Und für Problemlöser\*innen gibt es ja in allen Bereichen genügend Arbeitsmöglichkeiten.

## Grafiken und Formeln

Einstein 1916:	ART ==> Huch, das Universum ist NICHT statisch? Nicht mit mir! ==> $\lambda$ Konstante
Eddington 1919:	Einstein ist der Größte: Die Sonne krümmt den Raum! Entdeckung der Verschiebung der Sofi-Sterne
====>	ART für Dummies:
<b>Die Masse sagt dem Raum, wie er sich krümmen soll und der Raum sagt der Masse, wie sie sich bewegen soll.</b>	
Hubble 1923:	Huch, das Universum dehnt sich aus! Alles flieht vom Beobachter! (wenigstens Andromeda M31 kommt auf uns zu)
Einstein 1923:	Ok! Dann ohne meine Konstante ("größte Eselei"!)
Nobelpreis 2011:	Die Ausdehnung beschleunigt sich!
Nobelpreis 2017:	Wie Einstein schon sagte: Treffen sich große Massen, wackelt die Welt!
Nobelpreis 2020:	Schwarze Löcher sind real und keine Rechentricks

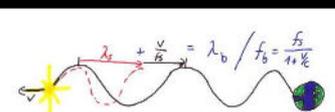
Die Standarddarstellung des Expansionsmodells:



Die beiden Teleskope, rechts im Bild, blicken in den „Trichter“ bis kurz vor die Grenze des Hubble-Horizonts bei ~400 Mill. Jahren nach T = 0 = Zeitpunkt Null. Die aktuell gemessene/errechnete Rotverschiebung des Lichtes eines solchen Objekts hat einen Z-Wert von >12-13. Die Rekorde werden sogar in der Presse gemeldet.

Der Zusammenhang von Alter und Entfernung ergibt sich aus den folgenden Grafiken, wobei zu beachten ist, dass innerhalb des verbleibenden Zeitraumes bis zum „Afterglow“ bei ~380 000 J. n.T=0 der Z-Wert exponentiell auf ~1000 ansteigt. Die benötigte Mathematik für die Interpretation des Messergebnisses ist relativ einfach (s.u.), im Gegensatz zur Mathematik der Modelle an sich.

## Kosmologische Rotverschiebung



Beim Dopplereffekt entsteht die Wellenlängen-/Frequenzverschiebung dadurch, dass der Senderwellenlänge die „Reisestrecke“ des Sterns (innerhalb einer Schwingungszeit 1/f) hinzugefügt wird.

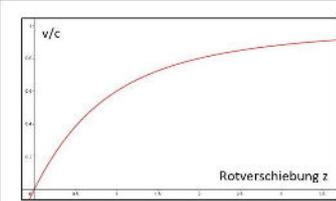
**A. Der Dopplereffekt zur Berechnung astronomischer Relativ-Geschwindigkeiten**

$v = c \cdot z$

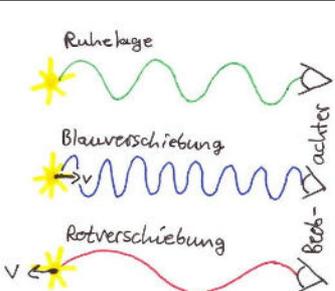
wenn der gemessene z-Wert größer als 0,1 ist, wird es komplizierter.

**C. Der Raum dehnt sich aus! Die Objekte aber nicht! Aber sie "fliehen" vom Beobachter:**

Unsere endgültige Formel erhält man, wenn man die Entweichgeschwindigkeit durch die Rotverschiebung z ausdrückt. Ihr Graph ist links zu sehen.



$$v = c \cdot \frac{(z + 1)^2 - 1}{(z + 1)^2 + 1}$$



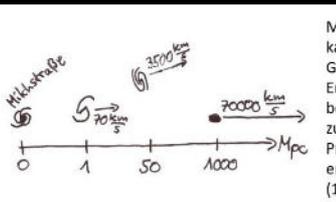
Um den Dopplereffekt anwenden zu können, misst man die Verschiebung des Spektrums.

**B.**

$$z = \frac{\lambda_{ob} - \lambda_{lab}}{\lambda_{lab}}$$

©Phil.Burghart  
aeg-astronomie

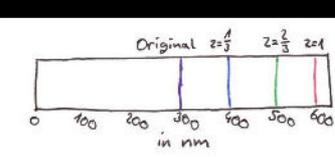
Mit Hilfe des Hubble-Gesetzes kann man aus der Geschwindigkeit die Entfernung des Objektes bestimmen. Die zugrundeliegende Proportionalität ist links zu erkennen. (1 Mpc = 3,26 Mio. Lichtjahre)



**D. Entfernung: D = v/H**

"Hubble-Konstante": H = ~70 km/sek pro Mpc\*

\* Parallaxensekunde ist die Entfernungseinheit der Astronomen: 3,26 Lj



Diese Verschiebung kann man durch eine Zahl z angeben, die die relative Verschiebung einer Spektrallinie zu ihrer Ruhelage angibt. Da die Angabe relativ ist, gilt sie für das gesamte Spektrum.

Noch eine Übersicht über die Horizonte der beliebten Schwarzen Löcher, hinter denen unser Wissen nichts mehr zu sagen hat (erstmal 1918 errechnet von K. Schwarzschild):

Ms	Km (LJ)	
1	~3	$R = 2GM/c^2 (m)$ $G = 6.674 \cdot 10^{-11}$ $M = \text{Masse (Kg)}$ $c = 3 \cdot 10^8 m$ $LJ = 9.5 \cdot 10^{15} m$ $Ms = 2 \cdot 10^{30} kg$
10	~30	
100	~300	
10 <sup>3</sup>	~3·10 <sup>3</sup>	
10 <sup>6</sup>		
10 <sup>9</sup>	~0.3	
10 <sup>12</sup>	~0.3·10 <sup>3</sup>	
10 <sup>15</sup>	~0.3·10 <sup>6</sup>	
10 <sup>18</sup>	~0.3·10 <sup>9</sup>	
10 <sup>21</sup>	~3·10 <sup>21</sup> ~0.3·10 <sup>12</sup>	
Hubblesphäre 10 <sup>53</sup> Kg!!		
~10 <sup>23</sup>	~1.5·10 <sup>23</sup>	~1.56·10 <sup>10</sup>

Auch die interessiertesten Laien verkennen häufig die Schwierigkeiten mit dem Kosmologischen Standardmodell. Nach den Sommerferien erhalten nämlich die Planetarien und Sternwarten häufig Post mit Vorschlägen, wie das Weltall funktionieren sollte.

Ein neueres Betätigungsfeld der Hobbykosmologen ist dann noch die Welt der Quantentheorien, die - wegen ihrer geringen „Besichtigungschancen“ in Raum und Zeit – derzeit „boomt“ wie die Kurse der Kryptowährungen.

Zurück zur Nachtarbeit am Teleskop: Bei der im Text angeführten Messung eines Teams der AEG-Schulsternwarte an zwei extrem weit entfernten Quasar-Lichtquellen, (die Kerngebiete beonders aktiver Galaxien), kam dank des guten Teleskops und „harter Arbeit“ im Jahr 2022/3 Folgendes<sup>6</sup> heraus:

*Das „antiquarische“ Licht, das während unserer Beobachtung in unser Teleskop fällt, ist von QSO HS0624+ ... zur Zeit der Entstehung unseres Sonnensystems vor ~ 4 Mrd. Jahren, von QSO HS1946+ ... etwa zur Zeit der Entstehung unserer Heimatgalaxie vor ~11 Mrd. Jahren ausgesandt worden!*

Fragen zu Details der Themen gern per Email an: [martin.falk2@ewe.net](mailto:martin.falk2@ewe.net)

In [Milchstraße, Galaxien, Kosmologie \(haus-der-astronomie.de\)](http://haus-der-astronomie.de) befindet sich reichlich Online-Material zur weiteren Erhellung der Kenntnisse.

---

<sup>6</sup> Die Arbeit war Teilergebnis einer Reihe von Jugend-forscht-Arbeiten, die mit dem Reiff-Preis der Dt. Schulastronomie ausgezeichnet wurden.