



Starlink-Satelliten auf einer Falcon 9 Rakete.

## Mega-Konstellationen im Orbit



©Thomas Eversberg, 6.1.2020

---

Als das Unternehmen SpaceX des Internet-Unternehmers Elon Musk das Geschäftsziel bekannt gab, mit einer sog. „Megakonstellation“ aus mehreren Tausend Satelliten einen weltweiten Internetzugang zu ermöglichen, war die Sorge um den Nachthimmel groß. Insgesamt sollen bis zu 50.000 mit Solarzellen betriebene Satelliten in den niedrigen Orbit zwischen etwa 500 und 2.000 km Bahnhöhe verbracht werden, wobei SpaceX mit 40.000 Satelliten den weitaus größten Anteil ausmacht. Daraufhin warnten astronomische Vereinigungen aber auch Astronomen in sozialen Medien, dass mehr Satelliten am Nachthimmel drohten, als

Sterne zu sehen seien. Doch ist diese Sorge begründet?

---

Da man schon heute vereinzelt Satelliten über den Himmel ziehen sehen kann, ist die Verunsicherung durchaus nachvollziehbar. Einige Profiastronomen warnen vor dieser Entwicklung und auch professionelle Vereinigungen weltweit sind skeptisch. Doch insbesondere Amateure und deren Vereinigungen unterstellen katastrophale Zustände am Himmel. Das geht bis zu populistischen Ausbrüchen à la „wehret den Anfängen“. Mega-Konstellationen sind spektakulär und es lohnt sich, die Planungen

genauer zu betrachten. Nur so kann man sich ein auf Tatsachen basierendes Bild machen, um einen soliden Dialog mit der Öffentlichkeit zu führen. Dazu muss man zentrale Fragen beantworten. Wie bekommt man 50.000 Satelliten in den Orbit? Wie sieht der Nachhimmel dann wirklich aus? Können wir das Weltall dann noch von der Erde aus erforschen? Ist eine Internetverbindung mehr wert als der dunkle Nachthimmel? Was sagen Raumfahrtexperten zu der Situation? Und wie wird das alles von den Medien verarbeitet?

### **Satelliten im Orbit?**

Rund 50.000 Satelliten innerhalb weniger Jahre in den Orbit zu bekommen übersteigt jede bisherige praktische Erfahrung. Zwar sollen mit jedem SpaceX-Start 60 Starlink-Satelliten gleichzeitig in ihre Umlaufbahnen verbracht werden, doch selbst so muss eine enorme Anzahl von Starts kalkuliert werden. Darauf ist die Raumfahrttechnik nicht vorbereitet. Darüber hinaus sind alle Satellitenstarts über umfangreiche Genehmigungsprozeduren zu koordinieren, um potentielle Gefahren und Störungen im Orbit auszuschließen. Die International Telecommunication Union (ITU) vergibt daher für alle Satelliten eigene Kommunikations-Frequenzen, die von der U.S. Federal Communications Commission (FCC) im Auftrag des Betreibers beantragt werden müssen. Die FCC-Regularien sagen jedoch, dass ein Antragsteller innerhalb von sechs Jahren nach Antragstellung die Hälfte der beantragten Flotte in den Orbit verbracht haben muss und alle Satelliten innerhalb von neun Jahren operationell sein müssen. Schafft man das nicht, verfallen die restlichen Genehmigungen. Eine Gruppe von Weltraumingenieuren um

Grant Cates vom „Center for Space Policy and Strategy“ in der Nichtregierungsorganisation „The Aerospace Corporation“ untersuchten die Anzahl notwendiger Starts, um allein die SpaceX-Flotte innerhalb der Fristen in Betrieb zu nehmen. Unter Verweis auf Fehlstarts in den letzten 60 Jahren errechneten sie, dass drei Starts pro Tag nötig sind um 20.000 Satelliten in Mega-Konstellationen in eine Umlaufbahn zu bringen. Angesichts der zur Verfügung stehenden Technik und Infrastruktur sowie zwingenden Sicherheits-, Management- und Qualitätsprozeduren in der Raumfahrt bleibt dies in den nächsten Jahren für alle Raumfahrtnationen und auch für mehrfache Milliarden eine Illusion, insbesondere weil sie gemäß Artikel VI des Weltraumvertrags von 1967 für durch ihre Startraketen und Satelliten verursachte Schäden haften. Einfach nur einen Satelliten starten reicht nicht. Da also technische und administrative Probleme kombiniert auftreten, müssen beide zugleich gelöst werden. Für Ingenieure in den Raumfahrtagenturen ist unklar, wie das gemacht werden soll. Die Betreiber von Mega-Konstellationen umgehen die administrativen Erfordernisse, indem sie die Behörden mit Anträgen überschwemmen und so die Bewilligungsprozeduren völlig überlasten. Daher hat z.B. die FCC pauschal grünes Licht für Starlink gegeben, ohne die Konsequenzen beim Betrieb genau abschätzen zu können. Dieses Vorgehen ist im Silicon Valley als „disruptiv“ bekannt („besetze als erster den Markt, die Realitäten kommen später“). Die Frage, wie man sowas international handhabt und reguliert, dürfte in der Zukunft wichtig sein. Ansonsten gerät man potentiell in die gleiche Falle wie bei autonom fahrenden Autos, deren Technik und Betriebserlaubnis

erst nach aufsehenerregenden Unfällen auf den Prüfstand kam. Man erinnere sich an die Aussage des Physikers Richard Feynman zur Columbia-Katastrophe: „Für eine erfolgreiche Technologie muss die Realität Vorrang vor der Öffentlichkeitsarbeit haben, denn die Natur lässt sich nicht täuschen.“

### **Was sehen wir wirklich?**

Nachdem die ersten Starlink-Satelliten gestartet wurden und sie wie auf einer Kettenschnur gut sichtbar über den Nachthimmel zogen, schlugen unzählige Texte in den sozialen Medien aber auch angesehene Journale Alarm. Nicht jedoch sachkundige Raumfahrtmanager und -techniker. Die Starlink-Konstellation soll über den Himmel gleichverteilt positioniert werden. Nur kurz nach dem Start, wenn sie im sog. Transferorbit auf dem Weg zu ihrer finalen Position fliegen, sieht man sie in einer Reihe mit dem bloßen Auge. Das wiederum bedeutet, dass ihre Helligkeit noch abnehmen wird, bis sie auf ihre Umlaufbahnen verbracht wurden. Der Amateurastronom Alex Geiss hat abgeschätzt, dass die Satelliten letztendlich gerade noch mit dem bloßen Auge sichtbar sind. Dies jedoch nur an den dunkelsten Orten ohne störende Lichtquellen. Sobald Lichtquellen wie Laternen, Stadtlicht oder auch der Vollmond eine Rolle spielen, bleiben die Satelliten auch auf niedrigsten Umlaufbahnen für das Auge unsichtbar. Allerdings ist eine exakte Aussage zu den Helligkeiten noch nicht möglich weil die asymmetrischen Geometrien der Satelliten nur sehr schwer modelliert werden können. Trotzdem warnen sowohl Amateur-als auch Profiastronomen vor einer optischen „Verseuchung“ des Nachthimmels. Elon Musk beantwortete dies auf zweierlei Weise. Zum

einen wolle man die Starlinksatelliten schwarz anstreichen und zum anderen seien die Satelliten nur in der Dämmerung sichtbar. Ob ein schwarzer Anstrich möglich ist, bleibt abzuwarten. Die dadurch höhere Absorption des Sonnenlichts kann durchaus die Maximaltemperatur im Satelliteninneren übersteigen und die Elektronik zu hoch belasten. Und Reflektionen durch die ausladenden Solarzellen können nicht vermieden werden. Aus technischer Sicht wird das Sichtbarkeitsproblem also eher nicht gelöst. Da die Satelliten in sogenannten „Low Earth Orbits“ (LEO) fliegen sollen, können sie jedoch in der Tat bis kurz nach der Abenddämmerung und vor der Morgendämmerung gesehen werden, solange sie von der Sonne angestrahlt werden. In tiefer Nacht - und das ist entscheidend für die Astronomie - bleiben sie unsichtbar (die Zeiten variieren je nach Breitengrad). Interessanterweise steht dies im Widerspruch zu dem beschworenen katastrophalen Szenario. Eine permanente Störung des Nachthimmels gilt jedoch nur für besondere geografische Situationen. So spricht Cees Bassa vom niederländischen Institut für Radioastronomie von sichtbaren Satelliten über die ganze Nacht im Sommer in relativ hohen nördlichen Breiten. Im Sommer wird es in hohen Breiten jedoch per se kaum dunkel (im hohen Norden sogar gar nicht) und daher gibt es dort auch keine optischen Forschungsteleskope. Trotzdem wurde von Alex Parker vom „Southwest Research Institute“ in den USA mehr Satelliten als Sterne am Himmel postuliert und beide Behauptungen kritiklos auch von angesehenen Medien und astronomischen Vereinigungen abgeschrieben und wiederholt – und bekamen so ihre öffentliche Relevanz.

## **Forschung in Gefahr?**

Wegen außerordentlicher technischer Teleskop- und Detektorentwicklungen bezeichnet man unsere Zeit als das „goldene Zeitalter der Astronomie“. Wir sehen Dinge, deren Beobachtung und Messung noch vor wenigen Jahren undenkbar waren. Dabei kosten Beobachtungsnächte an sehr großen Teleskopen den Steuerzahler sehr viel Geld. Die Sorge um einen ungestörten Nachthimmel ist also gerade in der Forschung nachvollziehbar. Satelliten können Fotografien stören, indem sie während der Belichtungszeit durch das Bildfeld des Teleskops ziehen und eine Lichtspur hinterlassen. Satelliten und Flugzeugspuren in langbelichteten Aufnahmen stören allerdings nur Fotografien (an den Positionen der Lichtspur) und die Radioastronomie (wegen der Sende- und Empfangsfrequenzen der Satelliten). Alle anderen Techniken bleiben in der Regel ungestört. Astronomen der Europäischen Südsternwarte (ESO) in Garching haben berechnet, dass deren Teleskope in Chile bei einem Start von 27.000 neuen Satelliten etwa 0,8 % ihrer Langzeitbeobachtungszeit in der Nähe der Dämmerung verlieren würden. Dazu Olivier Hainaut (ESO): "Normalerweise machen wir keine Langzeitbelichtungen während der Dämmerung. Wir sind ziemlich sicher, dass es für uns kein Problem sein wird." Ein Sonderfall sind sehr große Bildfelder, die von ganz neuen Teleskopoptiken abgebildet werden können. Ein scheinbar alarmierendes Beispiel ist eine Aufnahme des Large Synoptic Survey Telescope (LSST), die Meredith Rawls publizierte. Viele Satellitenspuren sind über eine einzige LSST-Aufnahme verteilt. Trotzdem sind solche gestörten Aufnahmen damit nicht

unbrauchbar. Es gibt solide Datenverarbeitungstechniken, die solche Satellitenspuren aus den Bildern eliminieren können (z.B. Mittelwertbildung bei Mehrfachaufnahmen). Cliff Johnson (Northwestern University) stellt dazu fest, dass sich bei solchen Aufnahmen die Starlink-Spuren wie eine Verdoppelung unbrauchbarer CCD-Pixel auswirkt und der Gesamteffekt moderat ist. Alle anderen Teleskope, die einen relativ kleinen Ausschnitt des Himmels abbilden, werden also auch von vielen tausend Satelliten nicht viel bemerken. Dies hat der Amateurastronom Michael Vlasov mit einem frei zugänglichen Planetariumsprogramm und bekannten Bahninformationen verifiziert. Und wenn ein Satellit das Bildfeld tatsächlich kreuzt, kommen wieder die entsprechenden Auswertetechniken zum Zuge. Nur langbelichtete Einzelaufnahmen können von Satellitenspuren nicht befreit werden. Angesichts moderner Detektoren ist das jedoch eine wenig verbreitete Methode in der Amateurastronomie.

## **Forschung versus Internet?**

Eine stabile Internetversorgung ist mittlerweile ein Grundbedürfnis der meisten Menschen. Das Internet muss daher auch Menschen in weniger entwickelten Regionen zur Verfügung stehen. Zentralafrika ist mit unter 10% Verbreitung ein extremes Beispiel für einen schlechten Internetzugang, doch auch andere Länder in Asien, Ozeanien und Südafrika sind betroffen, wie eine Untersuchung der ITU ergeben hat (selbst China hat nur eine 50%ige Abdeckung). Diese Menschen fordern zu Recht eine weltweite

Teilhabe an wirtschaftlichen, technologischen und politischen Prozessen. Und das Internet ist ein zentraler Schlüssel für diese Teilhabe. Astronomen sollten sich also vor Augen halten, in welche argumentative Konkurrenz sie mit dem Kampf um einen ungestörten Nachthimmel gehen. Die Profiorganisationen haben das trotz einiger schon oben beschriebener Einzelauftritte weitgehend erkannt. Sie suchen den Kontakt zu den Satellitenbetreibern und vertreten auch auf politischer Ebene ihre Position mit prüfbar und nachvollziehbaren Argumenten. Dies allerdings unter der Prämisse, dass die Astronomie nicht als Hemmschuh für eine globale und kostengünstige Kommunikation dargestellt wird. Dies gilt umso mehr, da die größten Teleskope mitunter in strukturschwachen Ländern stehen und auch Forscher dort unter kritischer Beobachtung stehen. Es geht vielmehr um die Schaffung von faktenbasiertem Problembewusstsein und um eine Koexistenz zwischen Astronomie und Informationstechnologie. Wer die Fakten beiseitelässt, wird diese Diskussion verlieren.

### **Was sagt die Raumfahrt?**

Im Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt wird die Entwicklung von Megakonstellationen natürlicherweise aufmerksam verfolgt. Dies gilt insbesondere für die Abteilung „Weltraumlage“ sowie dem mit ihr assoziierten Weltraumlagezentrum in Uedem am Niederrhein. Die dort tätigen Raumfahrtmanager und -ingenieure überwachen und bewerten die Situation in Bahnhöhen von einigen hundert Kilometern. Aus deren Sicht sind Mega-Konstellationen in

erster Linie Weltraumschrott der Zukunft. Es ist zwar geplant, alle Satelliten nach Ablauf ihrer fünfjährigen Lebenszeit in eine Parkbahn großer Höhe zu verbringen oder sie in der Atmosphäre verglühen zu lassen. Ob und wie das umsetzbar ist, ist aktuell jedoch offen. Auch die Koordinierung bei potentiellen Kollisionen der Starlink-Satelliten mit anderen Satelliten ist noch ungeklärt. So musste der ESA-Erdbeobachtungssatellit Aeolus einem der ersten Starlink-Satelliten ausweichen nachdem SpaceX auf entsprechende Koordinierungsanfragen nur per Email antwortete und ein Ausweichmanöver wegen eines Problems mit dem eigenen Nachrichtensystem nicht durchführte. Wenn der Betrieb von nur wenigen Satelliten schon schwierig ist, kann man davon ausgehen, dass die Koordinierung und Steuerung einer Konstellation aus vielen tausend Satelliten eine extreme Herausforderung darstellt und erst noch gelernt werden muss. Mega-Konstellationen sind dabei nicht einmal das zentrale Problem der orbitalen Verschmutzung. Sie können mit Teleskopen und per Radar beobachtet werden und deren Bahnelemente bleiben daher auch bekannt, wenn sie außer Betrieb sind. Entscheidend sind unsichtbare Teilchen unter 10cm Größe, die bei einem Einschlag in einen Satelliten erzeugt werden. Schon Teilchen von etwa 1cm Größe können mit ihrer enormen Bewegungsenergie Satelliten im Orbit komplett zerstören. Dieses Problem wird durch Mega-Konstellationen dramatisch verschärft und muss in der nahen Zukunft gelöst werden. Eine Untersuchung von Ingenieuren der TU Braunschweig zeigt, dass wir im Jahr 2100 keine Raumfahrt mehr betreiben können, wenn wir heute nichts gegen Weltraummüll tun.

## Informative Medien?

Schon vor der Ankündigung von Starlink durch SpaceX gab es eine Reihe in Planung befindlicher Mega-Konstellationen (z.B. OneWeb rund 4.000 Satelliten, Boeing rund 3.000 Satelliten) doch erst mit dem Auftritt eines schillernden Wirtschaftsführers mit PR-Potential wie Elon Musk wurde das Problem des Nachthimmels in den Medien populär. Interessanterweise werden astronomische Beobachtungen schon seit Jahrzehnten von Kondensstreifen der Flugzeuge beeinträchtigt. Das scheint jedoch nur wenige zu interessieren. Bei den Mega-Konstellationen hingegen erklären die Medien Absichtserklärungen schon zu realen Flügen und Frequenzanträge zu bereits bewilligten Konstellationen. Und technologische Grundprobleme werden gänzlich ignoriert. Dabei schreibt jeder von jedem ab. Die Zahl sich wiederholender Grafiken ist mittlerweile unüberschaubar und je länger die Diskussion geführt wird, desto unübersichtlicher wird das Bild für den Laien. Nun werden Medien i.d.R. privatwirtschaftlich betrieben und die Nachricht muss sich eben verkaufen. Wenn etwas unwahrscheinlich ist, wird es nicht als unwahrscheinlich verbreitet, sondern als Sensation. Und ein Mann wie Musk liefert mit seinen disruptiven Ideen genau diese Sensationen. Ob die realistisch umsetzbar sind, spielt eine untergeordnete Rolle, entscheidend ist die Besetzung der Nachrichten und damit einhergehend die Marktaufmerksamkeit. So funktioniert es übrigens auch mit dem batteriebetriebenen Auto TESLA, welches entgegen aller Fakten als umweltschützender Vorreiter in die elektrische Autozukunft angepriesen wird. Selbst eine Fachzeitschrift setzte die Anzahl

der beantragten Frequenzen mit der Anzahl der im Orbit geplanten Satelliten gleich und verbreitet dies ohne weitere Information kommentarlos als „Zahl des Monats“.

Es ist völlig richtig, gesellschaftliche, technische und wirtschaftliche Entwicklungen kritisch zu verfolgen und ggf. zu kommentieren. Sachkritik ist die Basis jeder demokratischen Gesellschaft. Dieser Dialog soll und muss jedoch auch vor einer inhaltlichen Prüfung Bestand haben, sonst wird er zu Propaganda. Wo Hintergrundinformationen fehlen, wird ein ernsthafter Diskurs unmöglich. In Zeiten omnipräsenter sozialer Medien lauert diese Falle überall und ohne analytische Distanz tappt man dort schnell hinein. Dazu sagt der Ingenieur und Amateurastronom Jörg Woker: „Um solchermaßen grundlegende Aspekte gesellschaftlich ernsthaft zu diskutieren, müssten wir das sogenannte ‚postfaktische‘ Zeitalter hinter uns lassen und wieder auf die Basis der Realitäten zurückfinden.“

---

Thomas Eversberg ist Astrophysiker und Raumfahrtmanager im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Er ist Projektleiter für das German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar (GESTRA), welches Weltraummüll beobachten wird.