sich seine Starlink-Satelliten ebenfalls im Dunkeln und seien daher nur während der Dämmerung zu erkennen. Dabei zeigten die zahlreichen Bilder und Videos von Hobbyastronomen, wie die Starlink-Satelliten am dunklen Himmel teilweise so hell wie die hellsten Sterne leuchteten (siehe QR-Code, S. 20). Denn auch wenn auf dem Erdboden Nacht herrscht, scheint in einer Höhe von 550 Kilometern, wo die Satelliten ihre endgültigen Umlaufbahnen einnehmen sollen, oft noch die Sonne.

Das dürfte insbesondere für die Sommermonate gelten, wie der Astronom Cees Bassa vom niederländischen Institut für Radioastronomie ASTRON ausrechnete. »Bei einer geografischen Breite von 52 Grad befinden sich die 550-Kilometer-Orbits von Mai bis Mitte August während der gesamten Nacht im Sonnenlicht. Während dieser Sommernächte werden die Starlink-Satelliten also ständig zu sehen sein«, schrieb er.

Das ist erst der Anfang

Von Herbst bis Frühling werde es zwar ein paar Stunden pro Nacht Starlink-freie Sicht auf die Sterne geben, so Bassa weiter. Doch »je nachdem, wie hell die Satelliten am Ende erscheinen werden, wird das den Charakter des Nachthimmels drastisch verändern«. Die Rechnungen des Astrophysikers beziehen sich dabei lediglich auf die erste von drei Schalen der geplanten Konstellation, diesich um die Erdkugel legen sollen. Diese besteht aus etwa 1500 Satelliten.

Später sollen weitere Satelliten ober- und unterhalb dieser Schale stationiert werden – in 1200 und in 340 Kilometer Höhe. Aus Bassas Sicht ist es wahrscheinlich, dass sie die Situation weiter verschärfen werden, auch wenn die Details der Orbits derzeit noch unbekannt sind. Eine grobe Überschlagsrechnung laufe jedenfalls darauf hinaus, dass man während der Dämmerung bis zu 100 Satelliten am Nachthimmel sehen werde. »Jederzeit und an jedem Ort!«

Nach Carolin Liefke vom Haus der Astronomie in Heidelberg geht die Analyse von Cees Bassa bislang am weitesten ins Detail. Wie schlimm es wirklich werden wird, könne man aber derzeit noch nicht seriös vorhersagen, so die Astrophysikerin. Dazu fehlten wesentliche Parameter, wie die Reflektivität der Satellitenkörper, ihre endgültige Ausrichtung im Raum und die Ausrichtung ihrer Solarzellen (siehe QR-Code, S. 23).

ZUM NACHDENKEN

Satellitenflut an jedem Himmel

Wenn das Projekt Starlink des Raumfahrtunternehmens SpaceX in Gänze realisiert wird, füllt sich in den nächsten Jahren bis 2027 der Himmel über unseren Köpfen mit einer Unzahl von Kommunikationssatelliten. In drei Schalen mit Höhen von $h_1 = 340$ km, $h_2 = 550$ km und $h_3 = 1200$ km über der Erdoberfläche sollen insgesamt 11 927 Satelliten auch die entlegensten Orte mit dem Internet verbinden.

Aufgabe 1: Für einen beliebigen Beobachter auf der Erde sollen ungeachtet eines möglichen höheren Standpunkts und ungeachtet der Refraktion keine Objekte unterhalb des mathematischen Horizonts sichtbar sein. Welche Anteile f_i der jeweiligen Sphäre mit Radius r_i, wobei $r_i = R + h_i$ ($i = 1$ bis 3) gilt, haben die drei Satellitenschalen? Der Erdradius ist $R = 6378$ km. Hilfe: Eine Kugelkalotte der Höhe h und dem Kugelradius r hat die Fläche $F_K = 2\,\pi\,r\,h$.

Aufgabe 2: Welche Anzahl N_i an Satelliten ist für einen Beobachter auf Grund der Ergebnisse aus Aufgabe 1 in den jeweiligen Schalen ständig sichtbar? Die drei Schalen sollen mit $N_{340} = 7518$, $N_{550} = 1584$ und $N_{1200} = 2825$ Satelliten bestückt werden.

Aufgabe 3: a) Wie viele Starlink-Satelliten N_g sind insgesamt – alle Schalen berücksichtigt – ab dem Jahr 2027 oberhalb des Horizonts? **b)** Wie groß ist ihre mittlere Raumwinkeldichte Ω_g?

Aufgabe 4: a) Auf welchen Wert erhöht sich das Ergebnis von Aufgabe 3a, wenn die Bahnen der Satelliten so gewählt werden, dass nordpolnahe Regionen ab der geografischen Breite $\varphi > 80°$ ausgespart bleiben? **b)** Wie viele Satelliten N_{80} müssten zusätzlich gestartet werden, um die Lücke jenseits von $\varphi = 80°$ zu schließen, und **c)** welche Finanzsumme K_{80} wäre hierfür erforderlich, wenn jeder Satellit $K_S = 300\,000$ $ und jeder Start mit 60 Satelliten $K_{F9} = 50$ Millionen $ kostete? Fiele das angesichts der Gesamtkosten von $K_g = 13$ Milliarden $ ins Gewicht? **d)** Wie ändern sich die Zahlen bei $\varphi = 70°$?

Aufgabe 5: Welche Winkelgeschwindigkeit ω_i haben Satelliten der drei Schalen für einen Beobachter im Zenit? Erdmasse: $M_E = 5{,}974 \cdot 10^{24}$ kg, Gravitationskonstante: $G = 6{,}6742 \cdot 10^{-11}$ m^3 kg^{-1} s^{-2}.

AXEL M. QUETZ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **2. August 2019** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. E-Mail: zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de. Die Preise der neuen Runde werden auf S. 92 vorgestellt.

Teilnahmebedingungen: Alle »Sterne und Weltraum«-Leser, die eine richtige Lösung an die genannte Adresse einsenden, werden in der Liste der richtigen Einsendungen abgedruckt (siehe S. 92). Alle, die bis einschließlich Mai-Heft 2020 mindestens neun richtige Lösungen senden, werden bei der jährlichen Verlosung berücksichtigt. Bitte dabei immer die Postanschrift angeben. Maßgebend ist der Tag des Eingangs. Ausgeschlossen von der Teilnahme sind die Mitarbeiter der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH und deren Angehörige. Die Preise sind wie beschrieben. Ein Tausch der Gewinne, eine Auszahlung in bar oder in Sachwerten ist nicht möglich. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Mit der Teilnahme an »Zum Nachdenken« erkennt der Einsender diese Teilnahmebedingungen an. Die Namen der Gewinner werden in »Sterne und Weltraum« veröffentlicht. Die Teilnehmer erklären sich mit der Veröffentlichung ihres Namens zu diesem Zweck einverstanden.

ZUM NACHDENKEN: Unser Sonnensystem

Das Buch enthält 119 Aufgaben und Lösungen der Rubrik »Zum Nachdenken« zum Sonnensystem, alle überarbeitet und mit zusätzlichen Informationen versehen.

368 Seiten. Preis: 25 €. Bestell-Link: https://amzn.to/2sIYh6L