

Wo fliegt die ISS gerade?

Anhang zur Unterrichtshilfe: Der "menschgemachte Stern"

Die Beobachtung der Internationalen Raumstation ISS als Projektthema in der Schule

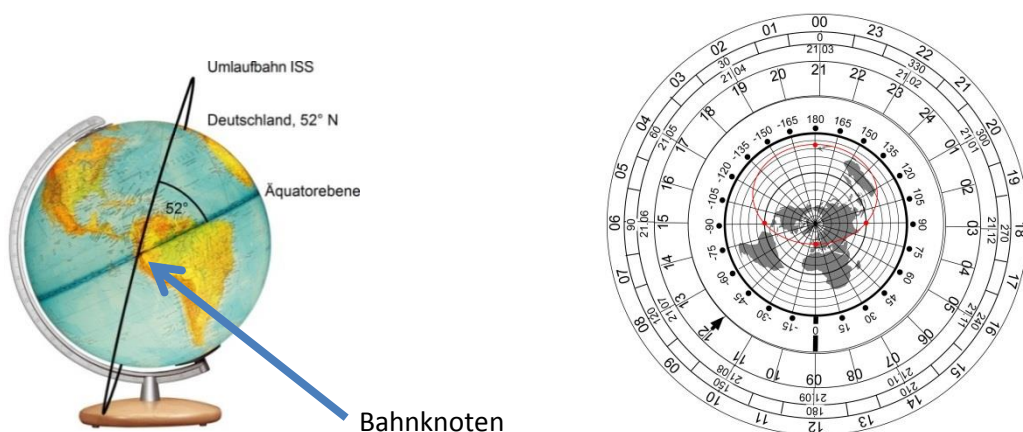
Um die aktuelle Position und mögliche Sichtbarkeit eines die Erde umkreisenden Satelliten abschätzen zu können brauchen Sie die dessen aktuelle Bahndaten. Diese werden im Internet unter mehreren Adressen veröffentlicht (z.B. www.heavens-above.com). Bei der ISS ist es so, dass die Zeitpunkte zu denen diese Daten erfasst werden ("Epochen") nahezu mit dem Bahnknoten übereinstimmen, den Orten über denen sie nordwärts fliegend den Äquator kreuzt.

Wenn Sie wissen, wo der Bahnknoten liegt, wann er überflogen wird sowie den Neigungswinkel zum Äquator (Inklination) und die Umlaufzeit kennen, können Sie die Flugbahn der ISS auf dem Globus verfolgen. Auch Offline. Bei anderen Satelliten ist das erheblich komplizierter (Berücksichtigung des "Arguments des Perigäums" und der "Mittleren Anomalie"). Dazu unten mehr.

Der Längengrad, über dem die ISS in nördlicher Richtung den Äquator kreuzt (Bahnknoten, "EQX") gehört leider nicht zu den veröffentlichten Bahndaten. Sie müssen ihn aus der "Rektaszension des aufsteigenden Knotens ("RAAN")" errechnen. Dazu mehr in der Unterrichtshilfe.

Viel einfacher geht es mit diesen drei Scheiben: Einfach übereinanderlegen, zweimal drehen und schon können Sie die Länge des Äquatorübergangs mit für unsere Zwecke hinreichender Genauigkeit bestimmen. Mit einer Pinnwandnadel können Sie die Scheiben drehbar auf einem Brett montieren.

Nach einer Umrundung wird die ISS den Äquator erneut kreuzen, während der Umlaufzeit hat sich die Erde ein Stück weitergedreht so dass der Punkt etwas weiter westlich liegen wird (s.u.).



Die drei Scheiben sind eine Kombination einer drehbaren Sternkarte und der Projektion der nördlichen Hemisphäre der Erde mit dem Nordpol in der Mitte.

Die äußere Scheibe enthält das Datum, die Rektaszension in Grad ($0^\circ - 360^\circ$) ausgehend vom Frühlingspunkt am 21. März und die Sternzeit (00:00 - 24:00). Die mittlere Scheibe gibt die Uhrzeit (00 - 24:00 h UTC) wieder. Auf der inneren Scheibe sind die geographischen Längen verzeichnet.

Datum und Uhrzeit in UTC!

Anleitung :

1. Schritt:

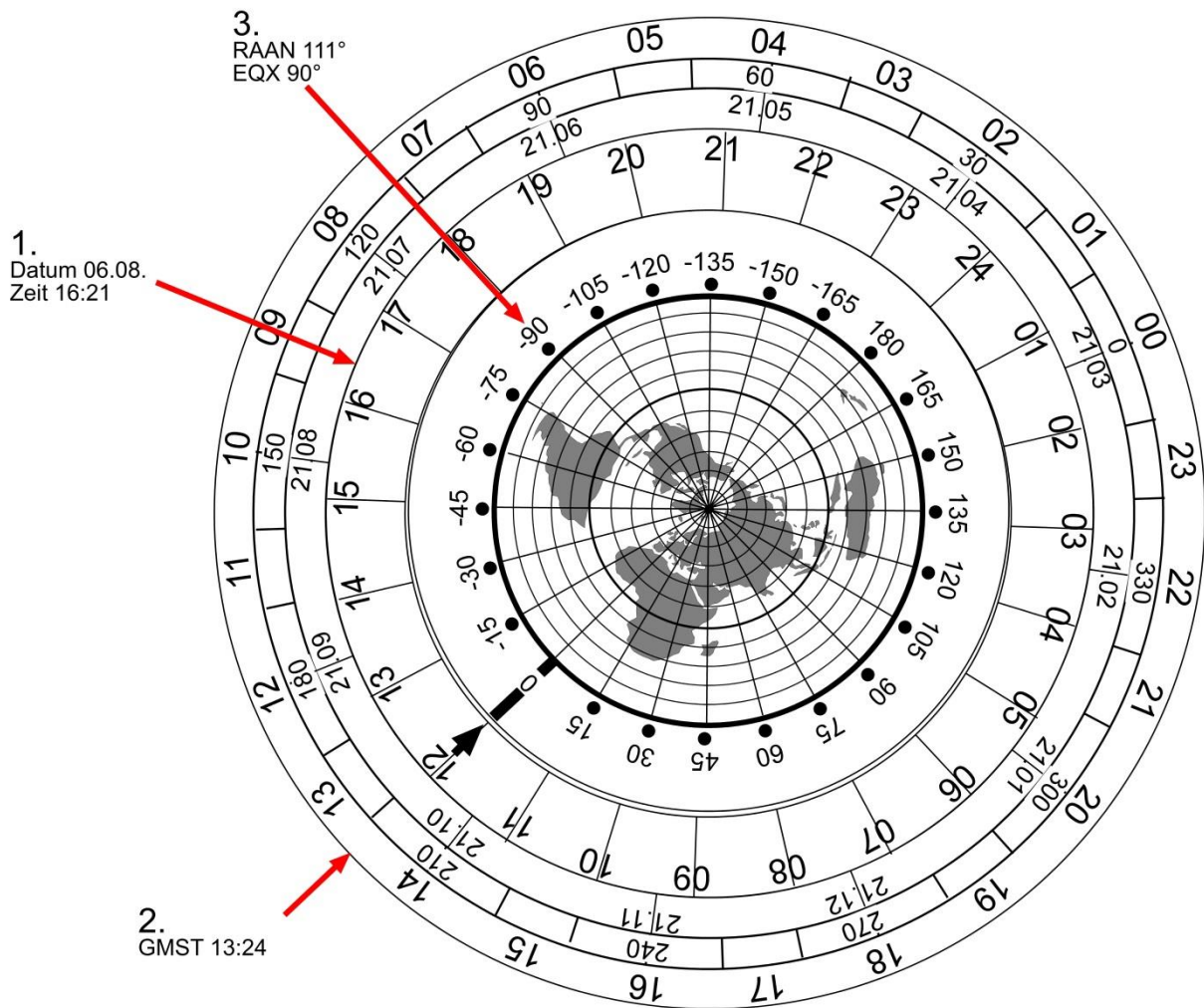
- Datum und Zeit (UTC)* des EQX in Übereinstimmung bringen (äußere und mittlere Scheibe)
▶ Beispiel 06.08. / 16:24

2. Schritt:

- Innere Scheibe (Nordhemisphäre) so drehen, dass der Nullmeridian mit der "12" der mittleren Scheibe übereinstimmt
- Sternzeit (Greenwich) zum Zeitpunkt des EQX ablesen (Rand der äußeren Scheibe)
▶ Beispiel 13:23

3. Schritt

- RAAN ($0^\circ - 360^\circ$) auf der äußeren Scheibe finden und Länge des EQX ablesen (innere Scheibe)
▶ Beispiel RAAN 110 / EQX -90° (90 Grad West)



*) Bahndaten der Internationalen Raumstation 06.08.2019

Beispiel:

Die ISS kreuzt den Äquator nordwärts fliegend zu bekannter Zeit auf 90° westlicher Länge. Ihre Bahnneigung zum Äquator betrage (gerundet) 50°, die Umlaufzeit (gerundet) 90 Minuten*.

Bei **stillstehender Erde** und gleichmäßiger Geschwindigkeit auf einer Kreisbahn (beides ist nicht der Fall!) ergäbe sich folgendes Bild:

- Die ISS erreicht nach etwa 22,5 Minuten bei 0° Länge und 50°N ihre größte Nordbreite.
- Nach 45 Minuten kreuzt sie den Äquator auf 90° östlicher Länge in südlicher Richtung.
- Nach 67,5 Minuten erreicht sie bei 180° Länge und 50°S ihre größte Südbreite.
- Nach 90 Minuten beginnt auf 90° westlicher Länge der nächste Umlauf.

Tatsächlich **dreht sich die Erde**, und zwar in 60 Minuten um 15° von Westen nach Osten, in 90 Minuten also um 22,5°.

- Die ISS erreicht nach 22,5 Minuten bei 5,625° westlicher Länge und 50°N ihre größte Nordbreite.
- Nach 45 Minuten kreuzt sie den Äquator auf 78,75° östlicher Länge in südlicher Richtung.
- Nach 67,5 Minuten erreicht sie bei 163,125° östlicher Länge und 50°S ihre größte Südbreite.
- Nach 90 Minuten beginnt bei 112,5° westlicher Länge der nächste Umlauf

Der Versatz pro Umlauf ist also stets 22,5° in westlicher Richtung**.

Eine entsprechende zu vervollständigende Tabelle könnte etwa so aussehen (Zahlen gerundet):

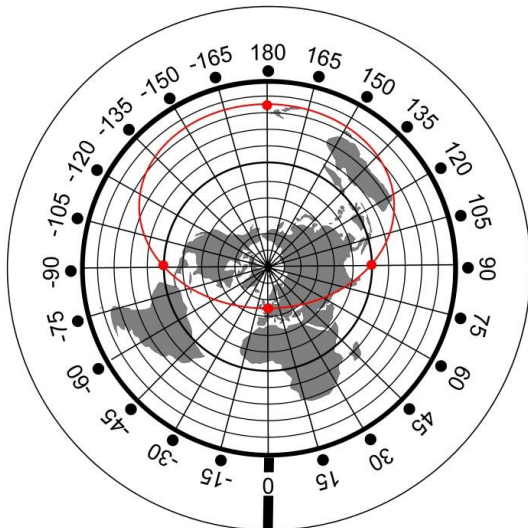
Umlauf	Zeit	Breite	Länge
1	00	Äquator (0°)	90°W
	23	50°N	06°W
	45	Äquator (0°)	79°O
	66	50°S	163°O
2	90	Äquator (0°)	113°W
3	180	Äquator (0°)	135°W

*) Die Inklination der ISS beträgt 51,6° und die Umlaufzeit etwa 93 Minuten (August 2019)

**) Durch die so genannte Knotenwanderung verschieben sich diese Längen um einige Grade nach Westen. Der Grund dafür: Die Erde ist keine Kugel sondern zum Äquator abgeplattet. Das Ausmaß der Knotenwanderung hängt ab von der Inklination und der Bahnhöhe des Satelliten. Bei der ISS beträgt diese Westdrift etwa 5° pro Tag. Man kann die Knotenwanderung errechnen oder vergleicht einfach zwei aufeinanderfolgende Sätze von Bahndaten miteinander.

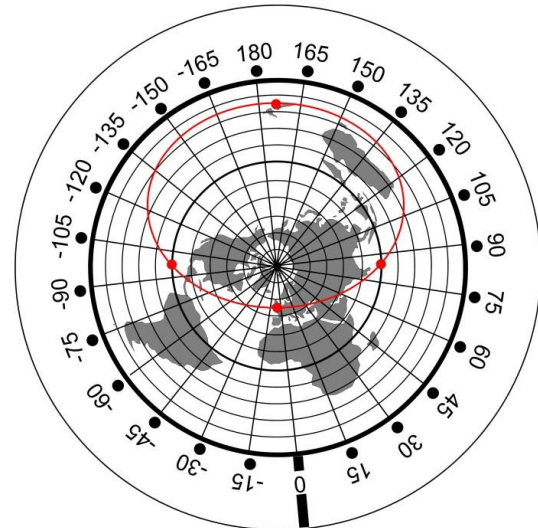
Die nahezu kreisförmige Flugbahn lässt sich auf der Karte als Ellipse darstellen. Ihre Größe und Form ist abhängig von der Bahnneigung und damit von der größten Nord- und Südbreite. Im Falle der ISS also etwa 50°N und 50°S. Im Beispiel liegen die Schnittpunkte mit dem Äquator bei 90° westlicher Länge und diesem Punkt gegenüber bei 90° östlicher Länge.

Wird die Ellipse auf eine transparente Folie gezeichnet, kann man den Umlauf der ISS durch Drehen der Folie oder der darunterliegenden Scheibe um jeweils 22,5° pro Umlauf simulieren.



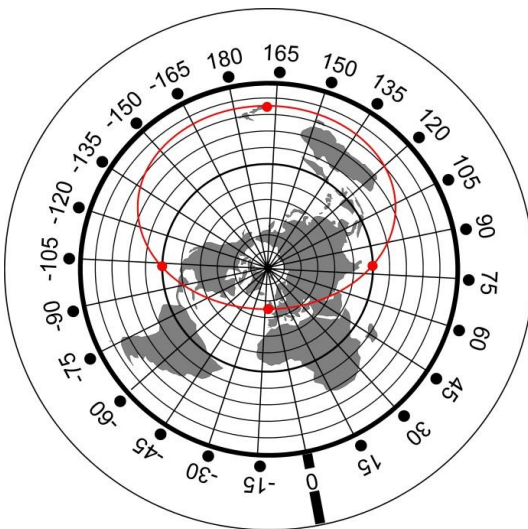
ISS am Äquator aufsteigend -90° Länge

Die ISS kreuzt den Äquator aufsteigend bei -90° Länge und überfliegt ostwärts den Atlantik



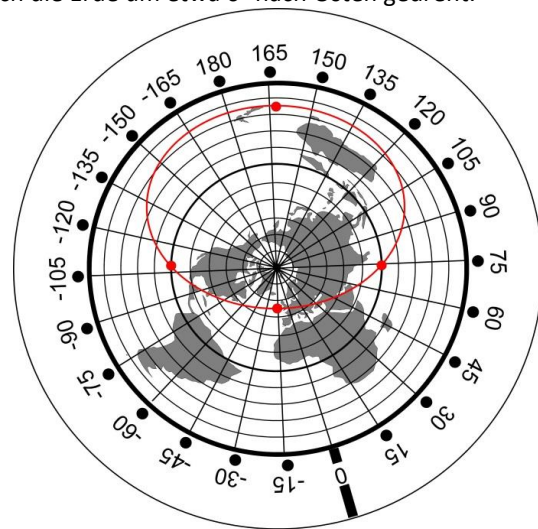
ISS EQX größte Nordbreite 50°, -6° Länge

Sie erreicht nach etwa 22 ½ Minuten ihren nördlichsten Punkt bei etwa 50° N. In der Zwischenzeit hat sich die Erde um etwa 6° nach Osten gedreht.



ISS am Äquator absteigend 79° Länge

Nach Etwa 45 Minuten kreuzt die ISS den Äquator absteigend bei etwa 79° östlicher Länge

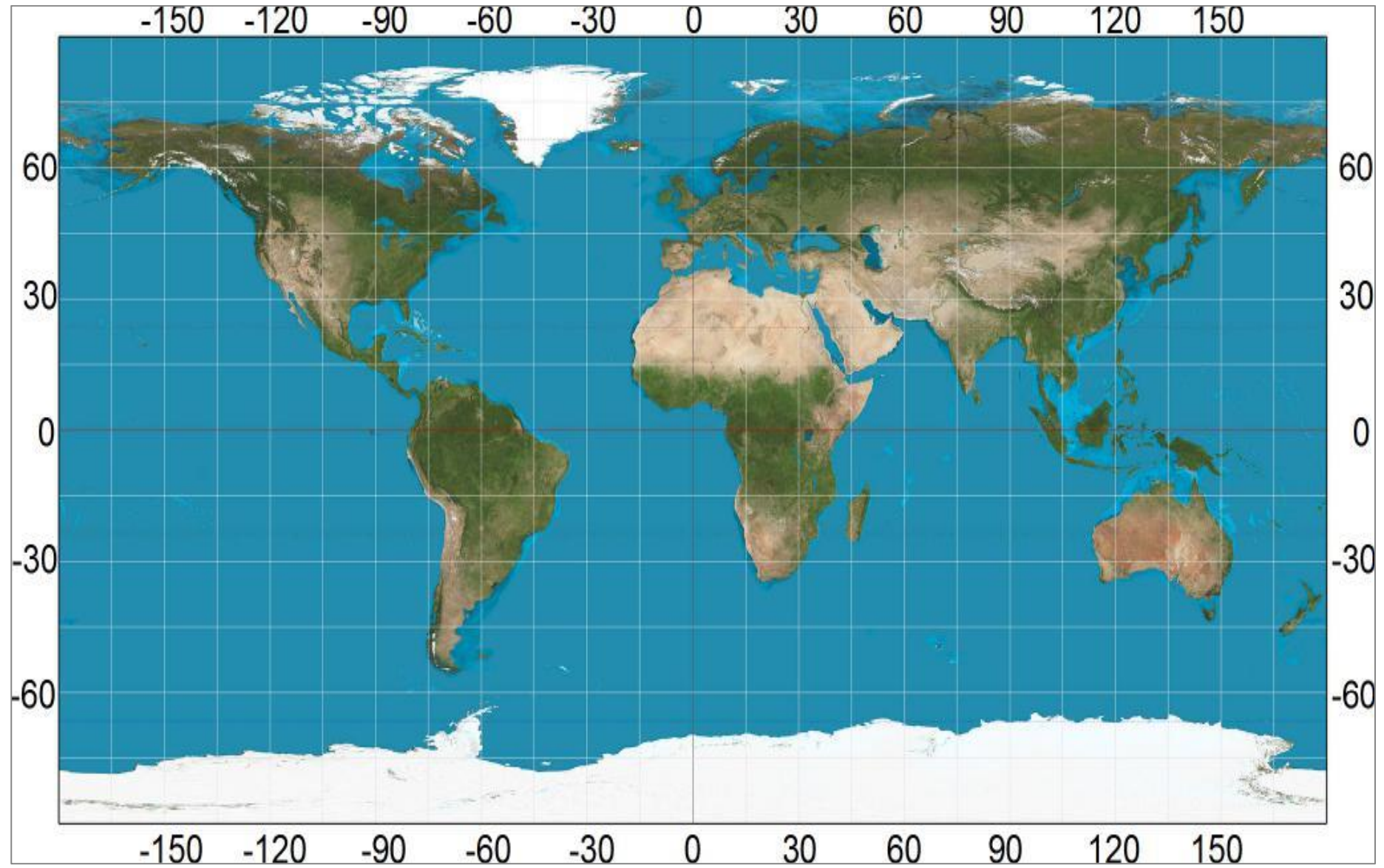


ISS EQX größte Südbreite 50°, 163° Länge

Nach weiteren 22 ½ Minuten erreicht sie ihren südlichsten Punkt (50° S) bei etwa 163° östlicher Länge

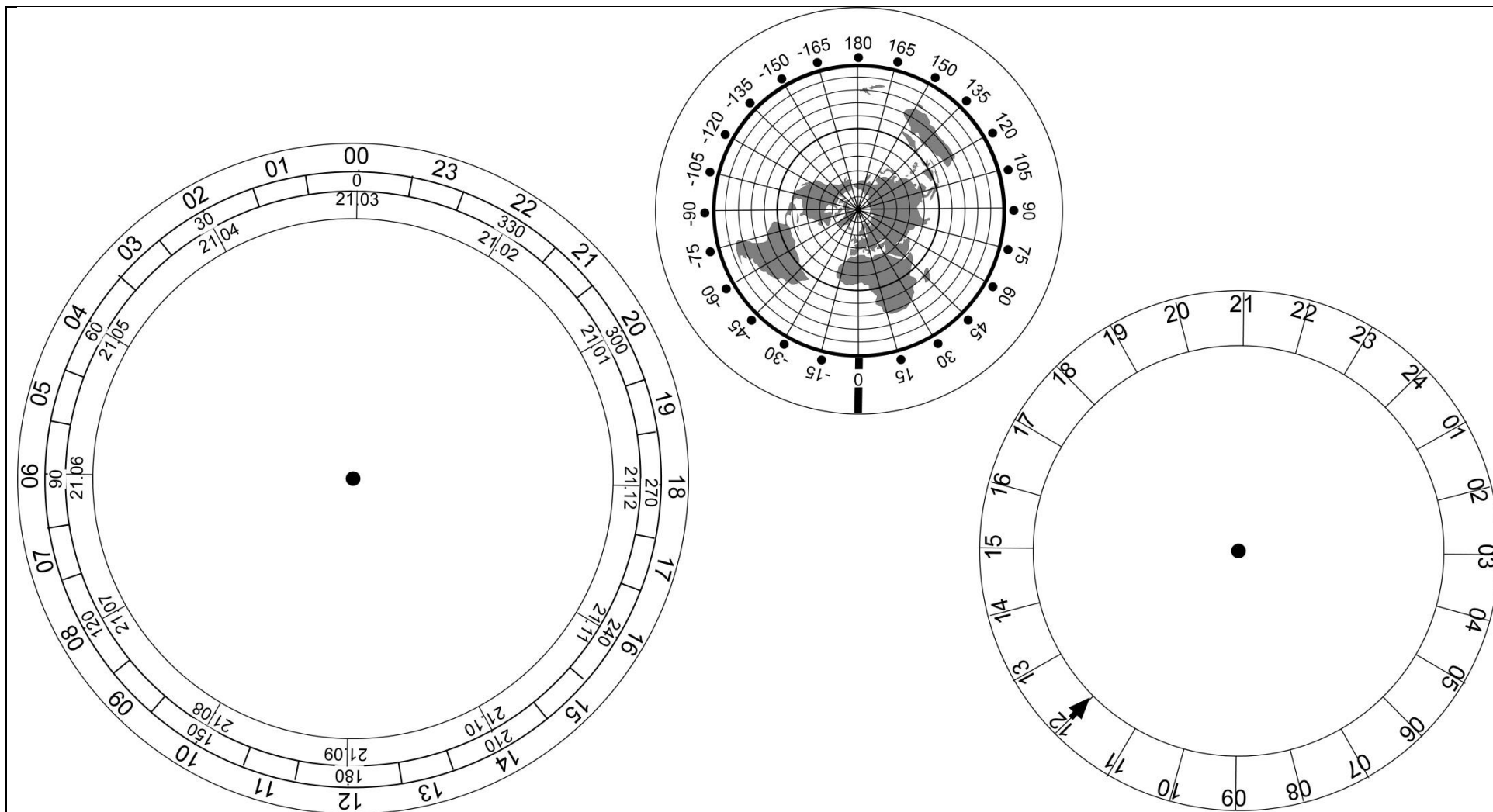
Pro Umlauf der ISS muss der (aufsteigende) Schnittpunkt mit dem Äquator (EQX) um 22 ½° nach Westen gerückt werden. Pro Tag sind noch etwa 5° Knotenwanderung hinzuzuzählen, pro Umlauf also etwa 0,3°

Zeichne die nächsten Umläufe des Satelliten ein:



Karte: Wikipedia, bearbeitet

Druckvorlage Ausschneidebogen



Idee und Grafik: Ingo Mennerich, 08/2019

Was muss ich tun, wenn ich andere Flugobjekte verfolgen möchte?

Wie eingangs ausgeführt, reicht es bei der ISS, mit Hilfe der Rektaszension des aufsteigenden Knotens (RAAN) die Länge des aufsteigenden Äquatorübertritts zu berechnen oder mit Hilfe der Drehscheiben abzuschätzen.

Was aber, wenn Datum und Zeit der Datenerfassung ("Epoche") nicht mit dem EQX übereinstimmt? Dann muss der der Epoche vorangehende Zeitpunkt des Äquatorübergangs aus weiteren Daten errechnet werden.

- Zunächst muss die Position des Satelliten zum Zeitpunkt der Epoche ermittelt werden, genauer gesagt, der Winkel zum Bahnknoten (wir nennen ihn "Positionswinkel").
- Zu den im Internet verfügbaren Kepler-Daten erdumkreisender Satelliten gehören zwei weitere Winkel, das "Argument des Perigäums" (ω) und die "Mittlere Anomalie" (ν). (Satellitenbahnelementen). Beide Werte werden zusammengezählt. Wenn die Summe größer ist als 360° werden 360 abgezogen. Das ist der Positionswinkel.
- Beispiel: : $\omega = 210^\circ$, $\nu = 180^\circ$, $\omega + \nu = 390^\circ$, da $390 > 360$ folgt der Positionswinkel $390 - 360 = 30^\circ$. Der Satellit hat sich seit dem Äquatorübergang um 30° auf seiner Bahn bewegt.
- Jetzt kommt die Umlaufzeit ins Spiel:
Beträgt sie 90 Minuten, dann hat der Satellit $30^\circ/360^\circ \times 90 \text{ min} = 7,5$ Minuten vor der "Epoche" nordwärts fliegend den Äquator gekreuzt.
- Aus dem "Zeitpunkt der Epoche" minus in Zeit umgerechneten Positionswinkel lässt sich der Zeitpunkt des EQX bestimmen.

Im Falle der ISS ist die Summe aus dem Argument des Perigäums stets nahezu 360° , die Momentaufnahme der "Epoche" fällt nahezu mit dem aufsteigenden Äquatordurchgang zusammen. Bei anderen Satelliten ist das nicht so.

Wenn bekannt ist

- wo und wann der Satellit den Äquator kreuzt
- wie lange er für eine Erdumrundung braucht
- und wie weit er sich vom Äquator entfernt

ist es leicht seine Bahn über mehrere Umläufe hinweg auf dem Globus oder einer Weltkarte zu verfolgen.

Man kann sich auch eine transparente Schablone mit der entsprechenden Bahnkurve herstellen die von Umlauf zu Umlauf um den entsprechenden Versatz nach Westen verschoben wird.