Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 68 (2010)
Heft: 358

Artikel: Mehr als eine banale Frage? : Wo liegt der Polarkreis?
Autor: Laager, Erich
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897992

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

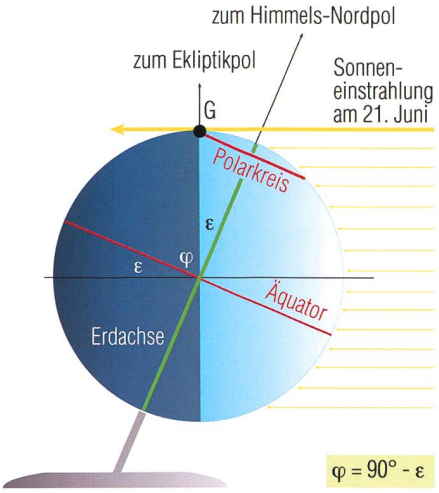
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mehr als eine banale Frage?

Wo liegt der Polarkreis?

Von Erich Laager

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, hierauf eine Antwort zu finden. Entweder konsultiert man im Internet das Lexikon «Wikipedia», erinnert sich an den Geographie-Unterricht mit dem Schulglobus, macht eine Reise in den Norden und sucht eine Markierung im Gelände oder man schaut auf einer Karte nach. Der Verfasser berichtet hier, welche Überraschungen man auf dieser Suche erleben kann.



Figur 1: Ein Schulglobus steht mit schräg nach rechts stehender Achse auf dem Tisch. Zur Erklärung der Situation am längsten Tag auf der Nordhalbkugel wird der Globus von rechts her beleuchtet. Der oberste Punkt auf dem Globus (G) wird gerade noch vom Sonnenlicht getroffen. Er liegt auf dem Polarkreis. Die Tischebene entspricht der Ekliptikebene. Die Äquatorebene ist in Bezug auf diese Ebene um rund 23.5° geneigt. Dieser Neigungswinkel ε ist die Schiefe der Ekliptik. ε ist ebenfalls der Winkelabstand des Himmels-Nordpols vom Ekliptikpol und dieser wiederum ist der Radius des Präzessionskreises, auf dem der Nordpol in 25'800 Jahren um den Ekliptikpol wandert. φ ist die geogr. Breite des Polarkreises, sie ist 90° - die Ekliptikschiefe. (Grafik nach E. Laager)

Beginnen wir mit «Wikipedia», dem Online-Lexikon. Hier steht: «Polarkreise nennt man die auf 66°34' nördlicher sowie südlicher Breite gelegenen Breitenkreise, auf denen die Sonne an den Tagen der Sonnenwende gerade nicht mehr untergeht bzw. nicht mehr aufgeht. ... Mit der Schiefe der Ekliptik ändert sich auch die Lage der Polarkreise. Momentan bewegen sie sich mit einer Geschwindigkeit von etwa einer Bogenminute in 128 Jahren auf die Pole zu. Ursache ist die Nutation der Erdachse. ... Im Jahr 2010 liegen die Polarkreise auf 66° 33' 39" nördlicher bzw. südlicher Breite.»
Es wird sich zeigen, was an diesen Erklärungen richtig ist.

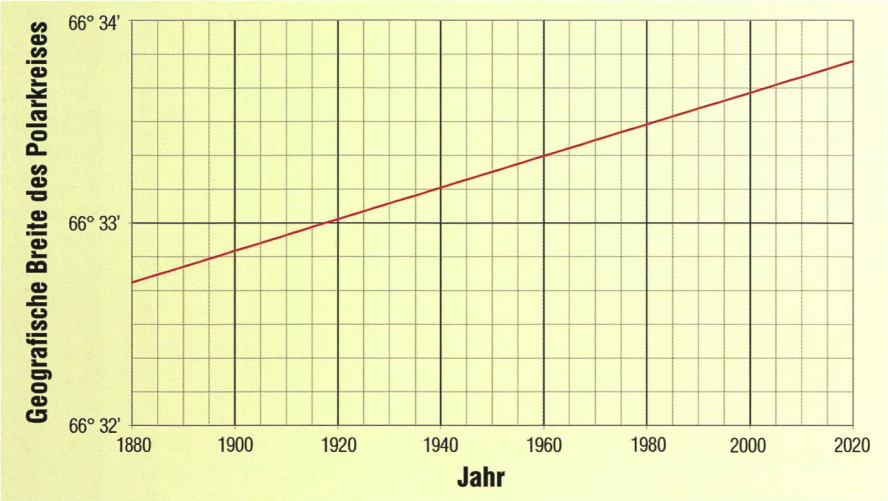
Erklärung aus dem Geographiebuch

Die Figur 1 erinnert an einen Schulversuch zur Erklärung der Jahreszeiten, der Mitternachtsonne und der Polarnacht: Ein Globus wird im verdunkelten Zimmer mit einer Lampe von der Seite her beleuchtet, so erkennen wir, wo auf der Erde Tag und wo Nacht ist und wie die Verhältnisse im Laufe des Jahres wechseln.
Die Figur zeigt uns den wichtigen Zusammenhang: Breite des Polarkreises = 90° - Schiefe der Ekliptik. Hiezu gleich ein wichtiger Hinweis im nächsten Abschnitt.

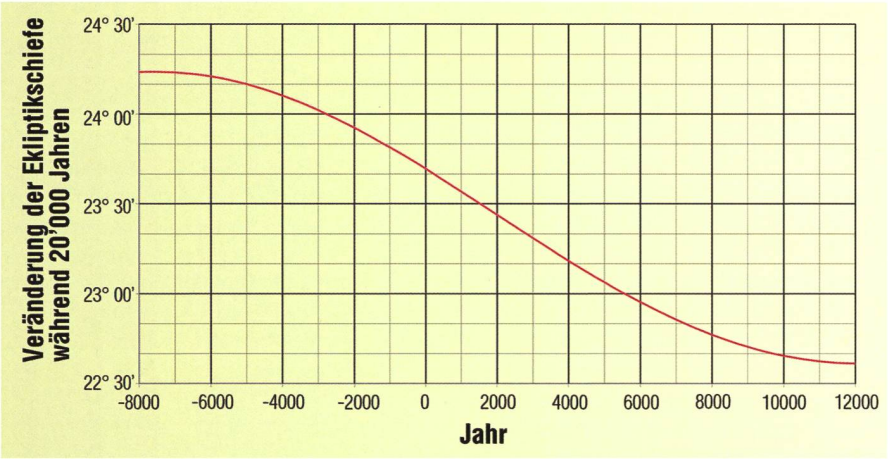
Der Polarkreis wandert nach Norden – wie schnell und weshalb?

Wie können wir diese Verschiebung mathematisch erfassen?
Altmeister Jean Meeus liefert uns die genaue Antwort: Siehe Formeln im Kasten, Beispiele für einige ausgewählte Jahre und die beiden dazu gehörenden Grafiken (Figuren 2 und 3).
Die Zahlen für die Jahre 1918 und 2046 bestätigen die Aussage in «Wikipedia», wonach sich der Polarkreis zurzeit in 128 Jahren um 1 Bogenminute nach Norden verschiebt. Ungenau bei «Wikipedia» ist jedoch der Wert 66° 33' 39" für das Jahr 2010. Figur 3 zeigt, dass wir uns gegenwärtig im steilsten Abschnitt der Kurve befinden, die Wanderung des Polarkreises also gegenwärtig – zufällig – am schnellsten ist.

Mitternachtssonne bei Fredvang auf den Lofoten-Inseln in Norwegen. Heinz Hofer fotografierte das spektakuläre Ereignis am 15. Juni 2008 kurz vor dem astronomischen Sommeranfang. (Bilder: Heinz Hofer)



Figur 2: Die Erde taumelt wie ein riesiger Kreisel im Laufe von 25'800 Jahren. Diese Präzession sorgt dafür, dass sich die Schiefe der Ekliptik ändert. (E. Laager)



Figur 3: Damit ändert sich im Laufe der Zeit auch die geografische Lage des Polarkreises. (E. Laager)

Welches sind die Ursachen für diese Veränderung?

In einem bekannten «Grossen Lexikon der Astronomie» steht: «Die Schiefe der Ekliptik ist wegen der Präzession und Nutation veränderlich.» – Ist das so?
Die Präzessionsbewegung der Erde bewirkt eine Wanderung des Nordpols um den Ekliptikpol in 25 800 Jahren. Bliebe die Ekliptikschiefe unverändert, wäre auch der Abstand der beiden Pole immer gleich, der Himmelsnordpol würde sich auf einer exakten Kreisbahn um den Ekliptikpol bewegen. Dies zeigt: Die Präzession ist keine Ursache für die Veränderung der Ekliptikschiefe! Ist es die Nutation?
Die Nutation ist eine feine Pendelbewegung der Erdachse, die der Präzessionsbewegung überlagert ist. Dies ist ein Ausschlag in der Grössenordnung von 9 Bogensekunden mit einer Periode von 18,6 Jahren. Ursache dafür sind Gravitationswirkungen von Mond und Sonne. Auch die Nutation bewirkt keine Änderung der Ekliptikschiefe, wie sie etwa Figur 3 zeigt. Wenn wir die Nutation-Schlangenlinie «glätten», erhalten wir die mittlere Schiefe der Ekliptik und eben diese verändert sich, aber weshalb?
Ich habe diese Frage an Urs Hugentobler gerichtet, der sich beruflich mit Satellitengeodäsie befasst und der die Lage der Erdachse mit ihren diversen Schwankungen «bestens im Griff hat».
Seine Antwort: «Um erschöpfend zu antworten, müsste ich zuerst die Literatur genauer studieren. Das Stichwort heisst aber planetare Präzession, welche die Neigung der Erdbahn über lange Zeit ändert. Ich schicke dir einen Artikel mit den Formeln von Laskar.» Dieser Beitrag umfasst 13 Seiten mit Formeln und Grafiken. Er enthält rund 600 Konstanten für die Berechnungen. – Ich verzichte daher gerne auf eine «erschöpfende mathematische Antwort». Immerhin habe ich aus zusätzlichen Erklärungen von Urs Hugentobler folgendes gelernt:

- *Alle Planetenbahnen ändern sich beständig. Um diese Veränderungen beschreiben zu können, braucht man ein «festes» Bezugssystem.*
- *Als solches dient die «Laplacesche Ebene», welche senkrecht auf dem totalen Drehimpuls des Planetensystems steht. Sie liegt ungefähr in der Bahnebene von Jupiter.*
- *Die Ekliptikebene (Bahnebene der Erde) ist gegenüber der «Laplaceschen Ebene» gegenwärtig um etwa 1,3° geneigt.*
- *Und nun das Entscheidende: Diese Neigung der Ekliptik gegenüber der Laplaceschen Ebene ändert sich über lange Zeit geringfügig. Grund dafür ist die planetare Präzession, d.h. Störungen der anderen Planeten, welche eine Änderung des Bahn-Drehimpulses der Erde bewirken. Es wird also nicht die Rotation der Erde, sondern die Revolution (der Umlauf um die Sonne) über lange Zeit geringfügig verändert.*
- *Bleibt die Neigung der Erdachse in Bezug auf die «Laplacesche Ebene» unverändert, ändert sich jedoch die Neigung der Ekliptikebene, dann ändert sich der Winkel zwischen diesen, d.h. die Ekliptikschiefe.*

Die Reise in den Norden

Man muss doch recht weit in den Norden reisen, bis man den Polarkreis erreicht. Nach dem Passieren dieser Grenze ist man im Bereich der Mitternachtssonne und damit in einem sehr speziellen Gebiet auf unserem Erdball! So erstaunt es nicht, wenn sich die Tourismus-Fachleute für dieses Erlebnis besondere Dinge einfallen lassen. Zumindest sollte der Polarkreis für Reisende deutlich markiert werden.
Am 10. Juni 2000 gelangte ich mit meinem Wohnmobil in Norwegen zum Polarkreis-Zentrum, 80 km nördlich der Stadt Mo I Rana, an der Hauptstrasse E 6 Richtung Nordkap. Am Eingang empfängt uns die Anschrift «Polarsirkelsenteret 66°33'». Eine Bodenmarkierung aus Marmor und weitere Geländemarken zeigen, «wo genau» der Polarkreis verläuft.

Figur 4: Das Polarkreis-Zentrum zwischen Narvik und Mo i Rana. (Bild: Erich Laager)

In meinem Tagebuch steht für diesen Tag folgender Eintrag:
«Natürlich muss ich die Polarkreis-Markierung mit dem GPS überprüfen. Bei den offiziellen Markiersteinen habe ich 66° 33' 09.6" und – zur Kontrolle – eine Stunde später 66°33'09.4" gemessen. Die 9.5" entsprechen einer Abweichung von 290 m in Richtung Nord-Süd. War die Vermessung damals ungenau oder ist die Angabe 66°33' ein gerundeter Wert? Ich werde zu Hause nachsehen!»
Das habe ich nun – fast 10 Jahre später – gemacht. Einem Eintrag im Internet habe ich entnommen:
«Das Polarkreiszentrum wurde am 13. Juli 1990 gleichzeitig mit der neuen Streckenführung der E 6 über das Saltfjell offiziell eröffnet. ... Das Polarkreiszentrum (vgl. Figur 4) liegt an der E 6 mitten auf dem Saltfjell im Bezirk Nordland und ist durch diese Lage an der Hauptverkehrsverbindung zwischen Nord und Süd ein natürlicher Halt. ... Im Gebäude und in der Umgebung ist der Polarkreis deutlich gekennzeichnet. Das Polarkreiszentrum ist vom 1. Mai bis 15. September geöffnet.»
Mit der Ekliptikschiefe von 1990 gerechnet, hätte man damals das Zentrum auf 66°33' 33,9" geogr. Breite bauen müssen. Tatsächlich liegt es 24,4" südlicher, was immerhin 750 m ausmacht. – Es bleibt die Frage, weshalb es am falschen Ort gebaut wurde.
Das bekannte norwegische Postschiffunternehmen «Hurtigruten» fährt im Sommer täglich mit einigen hundert Passagieren über den Polarkreis. Auf dieses Ereignis wird man mit einem Wettbewerb eingestimmt: «Zu welcher Zeit genau werden wir den Polarkreis überqueren?» Massgebend ist ein langes Hupsignal, und dieses ertönt beim Passieren einer Marke auf einer kleinen Insel (Figur 5).
Ich bin ehrgeizig, stehen mir doch folgende Unterlagen zur Verfügung: Eine Karte im Massstab 1:400 000, auf welcher der Schnittpunkt der Schiffsroute mit dem Polarkreis ersichtlich ist und ein GPS-Navigationsgerät. Mit diesem ermittle ich die Schiffsgeschwindigkeit und die momentane Position, sodann die Strecke und die ungefähre Reisezeit bis zum Polarkreis.
Ich kann mein ausgefülltes Wettbewebsformular getrost abgeben und auf ein gutes Resultat hoffen.
Es bleibt an diesem «historischen Tag» noch ausreichend Zeit zum Frühstücksbuffet vor dem grossen Event. Bei Lachs und Toastbrot werden wir von einer Lautsprecher-Durchsage aufgeschreckt: «In wenigen Minuten werden wir den Polarkreis überqueren.» – Wie denn? Irgend etwas stimmt da nicht? Rasch eile ich mit GPS-Gerät und Kamera auf Deck. Schon ertönt das Hupsignal und ich erwische noch gerade die Landmarke mit der Kamera und – wichtig! – die genaue Position mit Hilfe der GPS-Satelliten.
Ich schreibe dann ins Tagebuch: «19. Juli 2009: Unverhofft wird die Polarkreispassage angekündigt. Der Gitterglobus steht an einem «passenden» Ort auf einer kleinen Insel, unmittelbar neben der Schiffsroute. Wir sind um 08:52 Uhr da. Für die Position der Markierung notiere ich: 66° 31' 52.2". Sofort beginnt die Rechnerei: 90° - Schiefe der Ekliptik 2009: 66° 33' 42.8".
Differenz 1' 50.6" = 110.8" entspricht 3,42 km Fehler in Richtung Nord-Süd». Die Marke steht also zu weit südlich, das Schiff fuhr in Richtung Ost-Nordost und war daher beträchtlich zu früh beim vermeintlichen Polarkreis.
Was mag der Grund sein für die falsche Position der Polarkreis-Marke? Das Hurtigruten-Reisbüro in Hamburg schreibt mir dazu: *«Es handelt sich bei dem Polarkreis-Globus um eine Seefahrtmarke, die einfach die geographische Lage des Polarkreises markiert. Errichtet wurde diese vom norwegischen Staat. Leider können wir Ihnen nicht mitteilen, wann diese Markierung errichtet wurde.»*
Ich vermute, diese sei nicht so alt, dass man sie damals nicht genau genug einmessen konnte. Man wird wohl eher einen Ort gewählt haben, der sich zum Setzen des «Denkmals» unmittelbar in Schiffsnähe gut geeignet hat und der somit touristisch attraktiv ist.
Auf dem Schiff gab es dann noch eine Polartaufe mit Dokument, unterzeichnet vom Kapitän persönlich.

Figur 5: An dieser Polarkreis-Markierung fährt das «nordgehende» Hurtigruten-Schiff am Vormittag vorbei. Der gitterartige Globus steht auf einer kleinen Insel, unmittelbar neben der Schiffsroute. (Bild: Erich Laager)

Die Antwort des Mathematikers

Quelle
Jean Meeus: Astronomische Algorithmen, Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1992, Seite 149: Schiefe der Ekliptik

Geogr. Breite des Polarkreises = 90° - Schiefe der Ekliptik

Mittlere Schiefe der Ekliptik = 23°26'21.448" – 46.815"·T – 0.00059" + 0.001813"·T·T (T ist die Zeit in Jahrhunderten, gemessen von der Epoche 2000.0.)

Nach diesen Formeln habe ich einige Werte berechnet, auf die im Text Bezug genommen wird. Die Angaben gelten jeweils für den Jahresanfang.

Jahres	T	Ekliptikschiefe	Polarkreis
1990	-0.1	23° 26' 26.1"	66° 33' 33.9"
2000	0.0	23° 26' 21.5"	66° 33' 38,5"
2010	0.1	23° 26' 16,8"	66° 33' 42,2"
1995	-0.05	23° 26' 23.8"	66° 33' 36,2"
2007	0.07	23° 26' 18.2"	66° 33' 41.8"
2008	0.08	23° 26° 17.7"	66° 33' 42.3"
2009	0.09	23° 26' 17.2"	66° 33' 42.8"
1918	-0.82	23° 27' 00"	66° 33' 00"
2046	0.46	23° 26' 00"	66° 34' 00"

Der Polarkreis auf Karten

Dazu habe ich in einem Spezialgeschäft auf geeigneten Karten die Lage des Polarkreises mit dem Massstab ausgemessen. Ich rechne mit einer Mess-Ungenauigkeit von maximal 0,3 mm. Die Tabelle (Figur 6) enthält die Ergebnisse.

Feststellungen:
Nur auf der Karte Nr. 4 (Schweden) ist der Polarkreis am richtigen Ort eingezeichnet. Auf den übrigen drei Karten liegt er zu weit südlich. Die Fehler entsprechen folgenden Strecken:

Karte 1	1,1 bis 1,4 km
Karte 2	1.3 bis 1,5 km
Karte 3	0,17 bis 0,32 km

Offensichtlich hat man beim Erstellen der Karte einen alten Wert benützt und nicht beachtet, dass der Polarkreis – astronomisch – nach Norden wandert. Ich habe den «Landestopografien» von Norwegen und Schweden meine Ergebnisse mitgeteilt und dazu folgende Frage gestellt: «Wie wird die Wanderung des Polarkreises beim Zeichnen von Karten berücksichtigt? Nimmt man irgendeinen historischen Wert oder wird bei neuen Karten jeweils der aktuelle Wert übernommen?» Aus Schweden (von Lantmäteriet, Geodetisk utveckling, referenssystem) erhielt ich eine Antwort: « Sie sind ganz richtig in Ihrer Vermuten, dass wir bei neuem Karten (ungefähr) die aktuelle Lage des Polarkreises zeigen. Für die Karten (gedruckte oder digitale), die jetzt gemacht werden, wird der Polarkreis für das Jahr 2010 dargestellt. Nach unserem heutigen Plan wird die Lage des Polarkreises jedes fünfte Jahr erneuert». Und zum Schluss noch eine Denkaufgabe!

Karte aus	Massstab	Jahr	Geogr. Breite des Polarkreises gemessen auf der Karte	"minim.	"max.	berechnet	
Norwegen	1:400'000	1995	66° 32'	50.9	58.7	66° 33'	36,2"
Island	1:250'000	2008	66° 32'	54.8	59.7	66° 33'	42,3"
Finnland	1:250'000	2007	66° 33'	31.3	36.1	66° 33'	41,8"
Schweden	1:100'000	2008	66° 33'	41.7	43.9	66° 33'	42,3"

Figur 6: Die Tabelle veranschaulicht die unterschiedlichen Werte des Polarkreises in Landkarten. (nach E. Laager)

Die fiktive Reise zur astronomischen Beobachtung

Auf einer Kreuzfahrt zur Mitternachtssonne hören die Passagiere am Abend des 21. Juni 2010 folgende Lautsprecher-Durchsage: «Meine Damen und Herren. Sie werden in der kommenden Nacht Gelegenheit erhalten, auf dieser Reise erstmal die Mitternachtssonne ganz knapp zu sehen. Die Sonne wird um 01:18 Uhr MESZ genau im Norden stehen. Unser Navigator hat vorausberechnet, wo das Schiff ausnahmsweise während einer Stunde angehalten werden soll. Beginnen Sie ihre Beobachtung eine halbe Stunde vorher, da werden Sie von der Sonne noch einen Drittel des Durchmessers sehen; wenn sie am tiefsten im Norden steht, noch ganz knapp den obersten Rand. Begeben Sie sich dazu auf das oberste Deck. Hier sind Sie 20 Meter über dem Wasser und geniessen einen weiten Blick auf das Meer. Der Wetterdienst sagt einen wolkenlosen Himmel und ruhige See voraus. Sie werden ein sehr spezielles astronomisches Schauspiel erleben. – Und denken Sie daran: Schlafen können Sie im Süden wieder!»
Frage an die Leser:

Auf welcher geographischen Länge und Breite liess der Kapitän das Schiff anhalten?

Antworten können an die Redaktion oder an den Verfasser geschickt werden.
Auflösung im August-ORION.

Erich Laager
Schlüchtern 9
CH-3150 Schwarzenburg/BE