

Ein Computerprogramm zur Vorausberechnung der Gezeiten

Jürgen Kretschmann, Werner B. Schneider

Physikalisches Institut, Universität Erlangen-Nürnberg

1. Vorbemerkung

Nach unseren Erfahrungen findet das Naturphänomen „Gezeiten“ besonderes Interesse bei Schülerinnen und Schülern. Dies führen wir darauf zurück, daß die Beschäftigung mit Naturphänomenen ein generelles Anliegen von Schülern ist und daß heutzutage viel mehr Schüler durch Ferien am Meer mit diesem Phänomen konfrontiert werden.

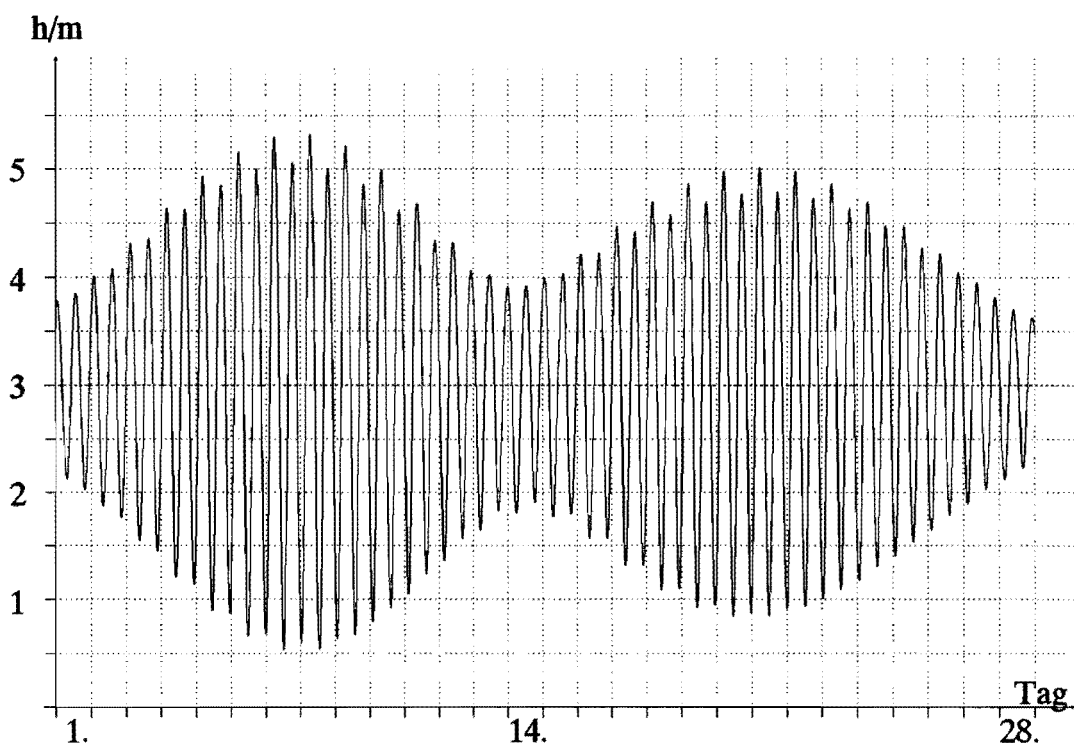


Abb. 1: Von uns berechnete Gezeitenkurve (Februar 1985) für Lorient an der französischen Atlantikküste (Berücksichtigung von zehn Teilkomponenten). Diese Näherung stimmt bis auf ± 10 min für das Eintreten des Hoch- bzw. Niedrigwassers und ± 10 cm für dessen Höhe mit amtlichen Gezeitenkalendern überein.

Es gibt bereits eine Reihe elementarisierter Darstellungen für den Physikunterricht, die sich mit der Entstehung von Gezeiten befassen - nicht aber mit deren Vorausberechnung. Dies ist aber in vielen Fällen für Schüler ein ähnlich wichtiges Anliegen wie die Frage nach der Entstehung der Gezeiten.

Wir haben ein Computerprogramm entwickelt, das auf elementaren Methoden der Gezeitenberechnung beruht, das neben der Vorausberechnung auch verschiedene graphische Darstellungsmöglichkeiten der Ergebnisse ermöglicht.

Im folgenden wird die Methode zur Vorausberechnung genauer beschrieben. Die notwendigen Kenntnisse zur physikalischen Deutung der Gezeiten wird dabei vorausgesetzt. Wir verweisen auf die für den Unterricht geeigneten Darstellungen (z.B. in [1]).

In Abb. 1 ist zur Illustration für einen Monat (Februar 1985) der Verlauf des durch die Gezeiten bedingten Wasserstandes für Lorient an der Bretagneküste dargestellt. Der Kurvenverlauf läßt vermuten, daß - nach Fourier - der Verlauf aus relativ wenigen periodischen Teilkomponenten zusammengesetzt werden kann (z.B. in [1], [2]), wobei die Teilkomponenten, die den Einfluß des Mondes und der Sonne beschreiben, dominierend sind.

Zur Vorausberechnung des Gezeitenverlaufes eignen sich zwei Verfahren. Einmal das sogenannte „Nonharmonische Verfahren“ ([3]), das bereits im 16. Jahrhundert angewandt wurde ([4]) und zum anderen das „harmonische Verfahren“ ([2], [5]), über das im folgenden berichtet wird.

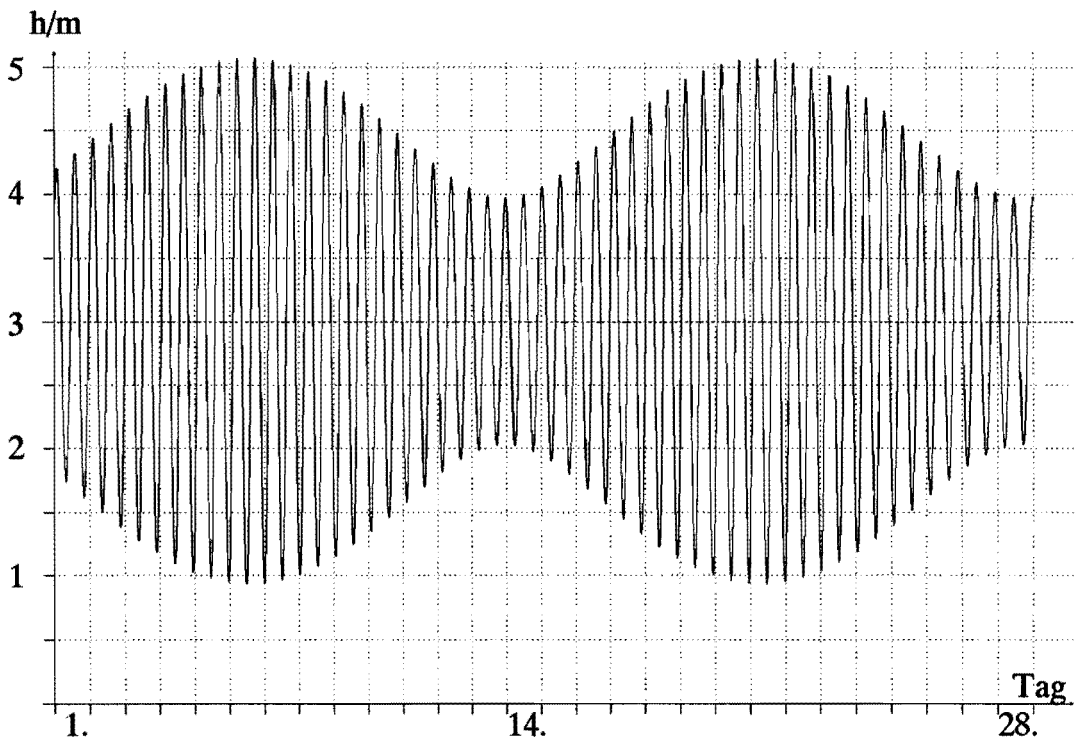


Abb. 2: Berechnung der Gezeitenkurve für Lorient (Zeitraum wie in Abb. 1), bei der nur die dominierenden Teilkomponenten, die den Einfluß von Mond und Sonne beschreiben, berücksichtigt wurden.

2. Methode der Vorausberechnung

Das harmonische Verfahren besteht darin, die Teilkomponenten nach Amplitude, Phase und Periodendauer anhand von Langzeitbeobachtungen für den jeweils interessierenden Ort zu bestimmen und wie folgt aufzusummieren.

$$h(t) = h_0 + \sum_i A_i \sin\left[\frac{2\pi}{T_i} t + \varphi_i\right], \quad (1)$$

wobei $h(t)$ die Wasserstandshöhe als Funktion der Zeit und h_0 das in Seekarten oder amtlichen Mitteilungen angegebene Bezugsniveau angeben. A_i , T_i und φ_i kennzeichnen Amplitude, Periodenlänge und Phase der i -ten Teilkomponente. T_i werden durch astronomische, A_i und φ_i durch geographische Fakten vorgegeben. Die Periodendauern der dominanten Teilkomponenten für Mond und Sonne sind $T_M = 12\text{h } 25\text{min}$, $T_S = 12\text{h}$, für deren Amplituden gilt: $A_M/A_S \cong 2/1$ (siehe [1]).

Setzt man in einer ersten Näherung $\varphi_M = \varphi_S$, so erhält man für ein festes h_0 , den in Abb. 2 dargestellten $h(t)$ -Verlauf für einen Monat. Man erkennt, daß bereits durch diese beiden Komponenten der tatsächliche Verlauf bis auf die maximale Flutberghöhe recht gut wiedergegeben wird. Größere Abweichungen treten auf, wenn die Berechnung über längere Zeiträume als einen Monat durchgeführt werden. Eine genauere Vorausberechnung setzt die Berücksichtigung einer größeren Anzahl von Teilkomponenten voraus. Bei unseren Berechnungen haben wir uns auf die zehn wichtigsten Teilkomponenten beschränkt, die jeweils den folgenden Einfluß auf den Gezeitenverlauf beschreiben:

- Änderung des Winkels zwischen Äquatorebene und Ekliptik (Periode: $\frac{1}{2}$ Jahr)
- Änderung des Abstandes Erde-Sonne. (Periode: 1 Jahr)
- Änderung des Winkels zwischen Mondbahnebene und Äquatorebene der Erde. (Periode: ca. $\frac{1}{2}$ Monat)
- Änderung des Abstandes Erde-Mond. (Periode: ca. 1 Monat)
- Umlauf der Mondbahnknotenlinie (Periode: ca. 18 Jahre)
- Unterschied im Hochwasserstand zwischen der mondab- bzw. mondzugewandten Seite. Dieser Unterschied tritt erst in zweiter Näherung auf, in erster Näherung sind beide gleich (siehe [1]). (Periode: ca. $\frac{1}{2}$ Tag) Dasselbe gilt für den Einfluß der Sonne. (Periode: $\frac{1}{2}$ Tag)
- unterschiedliche Hochwasserhöhen auf der mondab- und mondzugewandten Seite infolge der Erdneigung und der Abnahme der Hochwasserhöhen zu den Polen hin. (Periode: ca. $\frac{1}{2}$ Tag) Dasselbe gilt für den Einfluß der Sonne. (Periode: $\frac{1}{2}$ Tag)
- Die weiteren Komponenten beziehen sich auf den Einfluß geologischer Gegebenheiten, deren Periodendauern nur empirisch gewonnen und nicht auf astronomische Daten zurückgeführt werden können (Seichtwassertiden).

Die aus empirischen Daten für relevante Küstenorte gewonnenen Werte für h_0 , A_i und φ_i sind z.B. in [5] zu finden. Die Werte für T_i werden dort nicht direkt angegeben, sondern aus astronomischen Daten hergeleitet.

Das von uns erstellte Computerprogramm führt die Addition der Teilkomponenten durch und ermöglicht die Ausgabe der Daten auf den Bildschirm oder Drucker in Form einer Gezeitengraphik wie in Abb. 1 oder eines Gezeitenkalenders wie in Tab. 1.

Im Programm sind bereits die Daten zu den zehn in der Rechnung benutzten Teilkomponenten für ca. 200 Küstenorte der Erde gespeichert, die für die Auswertung und Deutung von Gezeitenphänomenen wichtig sind. Die von hydrographischen Instituten herausgegebenen amtlichen Gezeitenkalender berücksichtigen wesentlich mehr Teilkomponenten (mindestens 40). Für viele Orte reichen bereits zehn Komponenten aus, um eine Vorausberechnung mit ausreichender Genauigkeit durchführen zu können. In Tab. 1 und 2 sind dazu zum Vergleich ein von uns berechneter Gezeitenkalender und ein amtlicher, im Handel erhältlicher Kalender angegeben, wobei wir die Daten von Abb. 1 gewählt haben.

Gezeitenkalender für:		047.45N 003.21W							
FRANKREICH - LORIENT		Hochwasser				Niedrigwasser			
		Zeit	Höhe	Zeit	Höhe	Zeit	Höhe	Zeit	Höhe
Fr	01.02.1985:	1.07	3.78	13.42	3.85	7.16	2.13	19.47	2.02
Sa	02.02.1985:	2.13	4.01	14.41	4.09	8.20	1.87	20.43	1.76
So	03.02.1985:	3.04	4.32	15.30	4.36	9.12	1.55	21.30	1.45
Mo	04.02.1985:	3.48	4.64	16.13	4.63	9.57	1.20	22.14	1.14
Di	05.02.1985:	4.30	4.93	16.53	4.86	10.40	0.89	22.56	0.87
Mi	06.02.1985:	5.10	5.16	17.32	5.00	11.22	0.66	23.38	0.68
Do	07.02.1985:	5.49	5.30	18.11	5.06	---	---	12.04	0.53
Fr	08.02.1985:	6.28	5.32	18.50	5.01	0.20	0.59	12.47	0.53
Sa	09.02.1985:	7.09	5.22	19.31	4.86	1.03	0.63	13.31	0.67
So	10.02.1985:	7.52	5.00	20.14	4.62	1.48	0.79	14.18	0.92
Mo	11.02.1985:	8.39	4.68	21.04	4.34	2.38	1.05	15.09	1.24
Di	12.02.1985:	9.38	4.33	22.11	4.07	3.33	1.36	16.08	1.57
Mi	13.02.1985:	11.02	4.03	23.49	3.91	4.38	1.64	17.17	1.82
Do	14.02.1985:	---	---	12.48	3.93	5.56	1.81	18.36	1.91
Fr	15.02.1985:	1.26	3.99	14.12	4.04	7.18	1.77	19.51	1.79
Sa	16.02.1985:	2.38	4.21	15.11	4.23	8.29	1.57	20.54	1.57
So	17.02.1985:	3.31	4.47	15.56	4.42	9.25	1.31	21.43	1.31
Mo	18.02.1985:	4.09	4.70	16.32	4.58	10.11	1.08	22.25	1.10
Di	19.02.1985:	4.45	4.87	17.03	4.70	10.50	0.92	23.04	0.94
Mi	20.02.1985:	5.15	4.98	17.31	4.77	11.28	0.84	23.39	0.88
Do	21.02.1985:	5.43	5.02	17.58	4.78	---	---	12.02	0.85
Fr	22.02.1985:	6.12	4.98	18.25	4.74	0.13	0.90	12.34	0.93
Sa	23.02.1985:	6.40	4.87	18.54	4.64	0.45	1.01	13.05	1.09
So	24.02.1985:	7.09	4.70	19.22	4.48	1.16	1.18	13.35	1.30
Mo	25.02.1985:	7.38	4.48	19.54	4.27	1.47	1.40	14.05	1.54
Di	26.02.1985:	8.10	4.22	20.27	4.05	2.19	1.65	14.39	1.78
Mi	27.02.1985:	8.48	3.95	21.08	3.82	2.55	1.90	15.20	2.03
Do	28.02.1985:	9.42	3.70	22.24	3.63	3.46	2.12	16.19	2.23

Tab. 1: vom Computerprogramm berechneter Gezeitenkalender für Lorient für Februar 1985

Die Abweichungen zwischen unserer Näherungsrechnung und dem amtlichen Gezeitenkalender beträgt im Mittel bei der Zeitangabe ± 10 min, bei der Höhenangabe ± 10 cm. Für andere Orte kann sie weniger gut sein, maximale Abweichungen können bis zu 2h betragen. Es muß daher besonders darauf hingewiesen werden, daß das Programm einen amtlichen Gezeitenkalender nicht ersetzen kann, was vor allem bei Wattwanderungen zu beachten ist.

3. Einsatz im Unterricht

Das Programm dient zur Vertiefung und Erweiterung der z.B. in [1] gewonnenen Kenntnisse über die Gezeiten. Es gibt Auskunft über die übliche Methode der Vorausberechnung und lädt zur Entdeckungsreise rund um den Globus ein, um die Gezeiten für verschiedene Küstenorte zu untersuchen. Dies ist wichtig, kann man doch auf diese Weise Besonderheiten, wie z.B. ganztägige oder Mischformen zwischen ganztägigen und halbtägigen Gezeitenformen oder auch die Abhängigkeit der Flutberghöhe von geologischen Geländeformen oder astronomischen Gegebenheiten auf dem Bildschirm entdecken.

Schülern steht in der Regel während des Urlaubs nur ein kurzer Einblick in das abwechslungsreiche Verhalten der Gezeiten zur Verfügung, so daß er mit Hilfe des Programmes den Gezeitenverlauf zu Hause noch weiter verfolgen kann.

Jour du Mois J. de la Semaine		FÉVRIER									
		MATIN (de 0 H. 00 à 11 H. 59)					SOIR (de 12 H. 00 à 23 H. 59)				
		PLEINES MERS			BASSES MERS		PLEINES MERS		BASSES MERS		
		Heures	Haut.	Coef.	Heures	Haut.	Heures	Haut.	Coef.	Heures	Haut.
1 V.	0 56	3.85	38	7 01	2.20	13 27	3.90	41	19 34	2.15	
2 S.	1 57	4.05	45	8 06	2.00	14 25	4.10	50	20 34	1.90	
3 D.	2 51	4.30	56	9 02	1.70	15 16	4.35	62	21 27	1.65	
4 L.	3 42	4.60	68	9 52	1.40	16 03	4.60	75	22 15	1.35	
5 O.	4 25	4.90	81	10 37	1.10	16 45	4.85	86	22 59	1.10	
6 M.	5 07	5.10	92	11 22	0.85	17 28	5.05	96	23 44	0.85	
7 J.	5 50	5.30	99	...	...	18 10	5.15	101	12 05	0.70
8 V.	6 30	5.35	102	0 27	0.75	18 50	5.15	101	12 50	0.65	
9 S.	7 10	5.30	100	1 13	0.80	19 30	5.05	96	13 34	0.75	
10 D.	7 51	5.10	92	1 57	0.90	20 13	4.85	86	14 19	0.95	
11 L.	8 38	4.85	80	2 42	1.20	21 04	4.55	73	15 06	1.30	
12 J.	9 34	4.50	65	3 29	1.50	22 07	4.25	58	15 57	1.65	
13 M.	10 42	4.15	52	4 26	1.80	23 24	4.05	47	17 01	1.95	
14 J.	...	...	...	5 40	2.05	12 10	3.95	44	18 23	2.10
15 V.	0 56	4.00	44	7 04	2.05	13 34	4.00	46	19 43	2.00	
16 S.	2 08	4.15	50	8 19	1.85	14 40	4.15	55	20 51	1.80	
17 D.	3 08	4.40	60	9 20	1.60	15 33	4.40	65	21 44	1.55	
18 L.	3 56	4.65	70	10 08	1.35	16 17	4.60	75	22 29	1.35	
19 J.	4 37	4.85	79	10 48	1.15	16 54	4.75	82	23 07	1.20	
20 M.	5 11	4.95	84	11 25	1.05	17 27	4.80	86	23 42	1.10	
21 J.	5 42	5.00	87	11 58	1.00	17 56	4.85	87	...	...
22 V.	6 11	5.00	87	0 14	1.10	18 25	4.80	86	12 30	1.00	
23 S.	6 39	4.90	84	0 46	1.15	18 53	4.70	81	13 00	1.10	
24 D.	7 07	4.75	78	1 15	1.25	19 21	4.55	74	13 31	1.30	
25 L.	7 34	4.55	69	1 46	1.45	19 48	4.40	64	14 01	1.50	
26 M.	8 06	4.35	59	2 18	1.65	20 25	4.15	54	14 35	1.75	
27 J.	8 47	4.05	48	2 54	1.90	21 12	3.95	43	15 15	2.00	
28 J.	9 42	3.80	38	3 39	2.15	22 18	3.75	34	16 09	2.25	

■ 11

Tab. 2: Amtlicher Gezeitenkalender aus [6] für Lorient, Februar 1985 (wie in Abb. 1).

Weiterhin lassen sich mit dem Computerprogramm Langzeitgraphiken erstellen, die es gestatten, zusätzlich den Einfluß astronomischer Besonderheiten mit einer Periodendauer größer als ein Jahr auf den Verlauf der Gezeiten zu entdecken und zu hinterfragen.

Das Programm ist für einen Atari-ST geschrieben. Es stellt somit sicher auch eine reizvolle Herausforderung dar, es an andere Computersysteme (z.B. Windows) anzupassen.

(Anmerkung: Das Programm und ein Abdruck von [1] ist erhältlich bei:

Universität Erlangen-Nürnberg
Physikalisches Institut - Didaktik der Physik
Staudtstr. 7, 91058 Erlangen
E-Mail: Schneider@Physik.Uni-Erlangen.De

Das Programm ist auch unter dem Namen „Neptun“ in verschiedenen Computernetzen abgespeichert und kann dort kostenlos bezogen werden.

- „Maus“ Fürth: ÖPT Nr. 656 (NEPT_384.ZIP)
- ftp://ftp.uni-erlangen.de/pub/atari/applications/science/nept_384.tos)

4. Literaturverzeichnis:

- [1] Näpfel, H. u. W. B. Schneider: Die Gezeiten und ihre Behandlung im Physik- und Astronomieunterricht.
In: Schneider, W.: Wege in der Physikdidaktik, Erlangen 1989
Bzw. ausführlicher in: PhuD 2, 1990(124-139)
- [2] Bartels, J.: Gezeitenkräfte.
In Handbuch der Physik, Bd. 48, Heidelberg 1957.
- [3] Deutsches Hydrographisches Institut: Gezeitentafeln für das Jahr 1985, Hamburg 1984, S. 10*.
- [4] Sager, G.: Gezeitenvorhersagen und Gezeitenrechenmaschinen, Warnemünde 1955.
- [5] Service Hydrographique et Océanographique de la Marine: Table des Marrées des Grands Ports du Monde, Paris 1984.
- [6] Service Hydrographique et Océanographique de la Marine: Indicateur des Marées - Lorient, o. Ortsangabe, o. Jahresangabe.