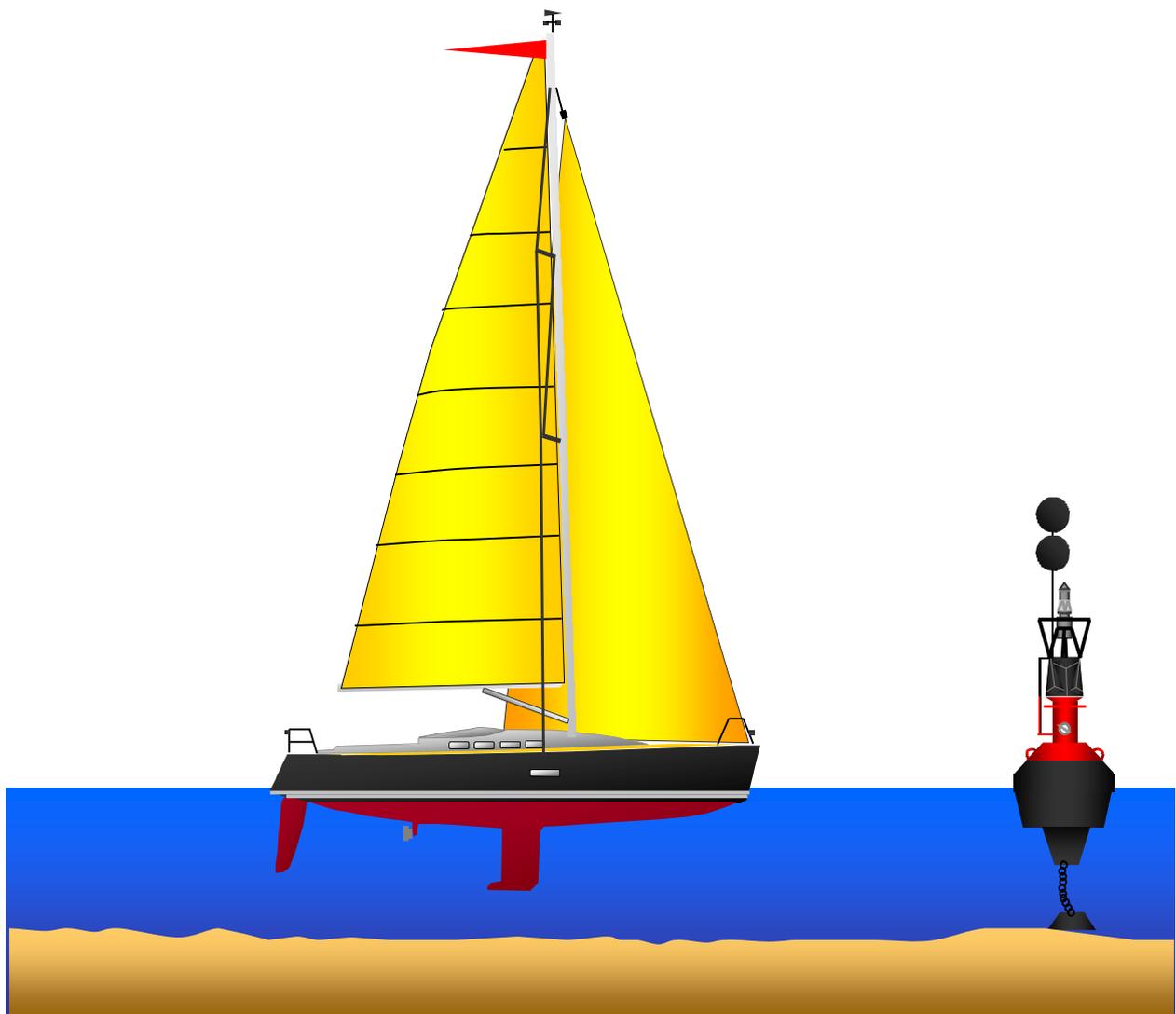


Gezeitenberechnungen mit den Admiralty Tide Tables

**Einführung zur Anwendung der
englischen Gezeitenunterlagen für
Sportsee- und Sporthochseeschifferschein
und Nautikstudenten von Lutz Böhme**



Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	5
2.	Aufbau des Auszugs der A.T.T. im SSS/SHS-Begleitheft	6
3.	Zeiten und Zeitzonen	7
4.	Bestimmung der Mondphase – Alter der Gezeit	8
5.	Gezeitengrundwerte an Bezugsorten	9
6.	Bestimmung der Höhe der Gezeit für eine geforderte Uhrzeit zwischen Hoch- und Niedrigwasser	10
6.1	Graphische Lösung	11
6.2	Kombinierte graphisch-rechnerische Lösung	13
7.	Bestimmung der Uhrzeit für eine geforderte Höhe der Gezeit zwischen Hoch- und Niedrigwasser	16
7.1	Graphische Lösung	16
7.2	Kombinierte graphisch-rechnerische Lösung	18
8.	Gezeitengrundwerte für Anschlußorte bestimmen	20
8.1	Gezeitengrundwerte für Anschlußorte graphisch bestimmen, 1.Methode	24
8.2	Gezeitengrundwerte für Anschlußorte graphisch bestimmen, 2.Methode	28
8.3	Gezeitengrundwerte für Anschlußorte mathematisch berechnen	29
9.	Jahreszeitliche Schwankungen (Seasonal Changes)	34
10.	Gezeitenströmungen – Tabelle in Seekarte	39
11.	Gezeitenströmungen – Gezeitenstrom-Atlanten	41
Anhang		
A	Höhen- und Tiefenangaben in Seekarte sowie Gezeitenhöhen	42
B	Übersetzungen	43
C	Abkürzungen	44
D	Formblätter	45

1. Einführung

Liebe Leser,

in den Prüfungen zum Sportsee- und Sporthochseeschifferschein wird seit einiger Zeit die Anwendung der englischen Gezeitenunterlagen, den *Admiralty Tide Tables*, (A.T.T.) des britischen hydrographischen Dienstes, als Grundlage für die Gezeitenrechnung vorgeschrieben.

Der Umgang mit diesen Unterlagen ist im Vorwort der Originalausgabe der A.T.T. beschrieben. Da jedoch in dem Begleitheft zur Ausbildung und Prüfung zu den Führerscheinen dieses Vorwort nicht abgedruckt ist, bedarf es einer Einführung in die entsprechenden Verfahren.

Dieses Skript soll helfen, die für die Prüfungen notwendigen Methoden zu verstehen und die Handhabung der A.T.T. auch in der Praxis zu unterstützen.

Über Reaktionen auf dieses Skript freue ich mich und bin dankbar für Verbesserungsvorschläge.

Ich wünsche allen Sportsee- und hochseeschifferscheinbewerbern, sowie allen Nautikstudenten viel Erfolg und allen eine interessante Zeit auf See.

Hamburg im Januar 2018

Lutz Böhme

Schauen Sie bitte nach einer aktuellen Ausgabe unter:

<http://www.lutzboehme.de/segeln/index.htm>

2. Aufbau des Auszugs der Admiralty Tide Tables

Aus den Original A.T.T. wurden fünf Bereiche in das SSS/SHS-Begleitheft übernommen.

1. Bereich

Zu ausgewählten Bezugsorten aus England, Frankreich, Holland und Deutschland sind Gezeitengrundwerte kalendarisch abgedruckt. Da es sich nur um A.T.T.-Auszüge handelt, ist nicht für alle diese Orte jeweils das gesamte Jahr aufgeführt.

Zu jedem dieser Bezugsorte ist die Tidenkurve als Grafik jeweils vor den kalendarischen Gezeitengrundwerten abgebildet.

2. Bereich

Es folgen die Tabellen für die stündliche Höhenvorhersage (Hourly Height Predictions) beispielhaft für den Bezugsort Plymouth (Devonport).

3. Bereich

Anschließend befinden sich die Tabellen für die Auflistung der Zeit- und Höhendifferenzen (Time & Height Differences) zwischen Bezugs- und Anschlußorten (Secondary Ports).

Hinweis: Die dort angegebenen Seitenzahlen beziehen sich auf die Original A.T.T.-Seiten und nicht auf die Seiten im Begleitheft.

4. Bereich

Die alphabetische Übersicht ermöglicht mit Hilfe der Nummer das Auffinden der im Begleitheft aufgeführten Bezugs- und Anschlußorte. Diese Übersicht ist gegenüber der A.T.T.-Originalausgabe erheblich gekürzt.

5. Bereich

Für alle 13 Stromstunden, jeweils sechs Stunden vor bis sechs Stunden nach und für Hochwasser, ist je eine Gezeitenstromkarte für den Westausgang und den zentralen Bereich des Englischen Kanals abgebildet.

3. Zeiten und Zeitzonen

In der kalendarischen Übersicht der Gezeitengrundwerte für die Bezugsorte (*Standard Ports*) werden folgende Bezeichnungen für die jeweils gültige Zeitzone genannt.

TIME ZONE UT(GMT) bedeutet, daß die Zeiten dieses Bezugsortes in englischer Winterzeit (Universal Time, UT = Greenwich Mean Time, GMT) angegeben sind. UT und UTC können in diesem Zusammenhang als gleich betrachtet werden.

TIME ZONE -0100 bedeutet, daß die Zeiten dieses Bezugsortes in mitteleuropäischer Winterzeit (MEZ) angegeben sind.

Die gesamten A.T.T. nehmen keine Rücksicht auf die jeweiligen gesetzlichen Sommerzeitumstellungen. Sommerzeiten müssen entsprechend selbst berücksichtigt werden.

Sowohl in England als auch in allen anderen Ländern deren Gezeitenwerte als Auszug der A.T.T. im Begleitheft SSS/SHS abgedruckt sind, wird gleichzeitig auf Sommerzeit umgestellt.

Grundsätzlich wird am Morgen des letzten Sonntags im März von 02.00 Uhr um eine Stunde auf 03.00 Uhr auf Sommerzeit vorgestellt. Auf Winterzeit wird wiederum am letzten Sonntag im Oktober von 03.00 Uhr auf 02.00 Uhr zurück gestellt. Somit wird im Jahr 2005, für das das Begleitheft die A.T.T. wiedergibt, am Morgen des 27.03.2005 auf Sommerzeit umgestellt. Am Morgen des 30.10.2005 wird wieder auf Winterzeit zurückgestellt.

Tipp für die Praxis (leider nicht für die Prüfung): Deutliche Markierung der Sommer-/Winterzeitumstellung in kalendarischen Gezeitentabellen deutlich einzeichnen

Sollen Berechnungen in anderen Zeitarten oder -zonen (z. B. MESZ) als der der jeweiligen Bezugsort-Zeitart (z. B. GMT) durchgeführt werden, ist es sinnvoll die Aufgabe erst in die jeweilige Bezugsort-Zeitart (GMT od. MEZ) umzurechnen. Die vollständigen Berechnungen sind in dieser Zeitart zu absolvieren und das Ergebnis abschließend wieder in die Zeitart der Aufgabe (z.B.: MESZ) zurück zu wandeln.

4. Bestimmung der Mondphase – Alter der Gezeit

In den A.T.T. wird das Alter der Gezeit prinzipiell durch zwei Methoden aufgezeigt.

1. Methode

Die kalendarischen Übersichten der Bezugsorte beinhalten ein Symbol für Neumond ● und für Vollmond ○. Wobei die genaue Uhrzeit des Eintritts immer auf die Mitte des jeweiligen Tages festgelegt ist, unabhängig davon, ob dies wirklich astronomisch so ist.

Die an dem jeweiligen Bezugsort geltende Springverspätung ist auf volle Tage gerundet und über der Tidenkurve des jeweiligen Bezugsortes angegeben.

Beispiel: **Dover Springs occur 2 days after New and Full Moon**

Dies bedeutet, daß die Mitte der Springzeit zwei Tage nach Neu- und Vollmond wirksam wird.

Beispiel:

25	0557	1.1
	1059	6.3
F	1815	1.2
○	2312	6.5

Folglich ist die Mitte der viertägigen Springzeit bei zweitägiger Springverspätung am 27.

Die viertägige Springzeit ist also vom Mittag des 25. bis zum Mittag des 29.

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 25.03.2005

2. Methode

Genauer als die eben beschriebene Methode, jedoch etwas aufwendiger, ist der Vergleich der tatsächlichen Gezeitenhöhen im Verlauf des Monats. So lassen großen Gezeitenhöhendifferenzen an einem Tag auf Springzeit, geringen Höhendifferenzen auf Nippzeit schließen.

Beide Methoden kommen meist zu gleichen Ergebnissen. An einigen wenigen Stellen kommt es jedoch zu Abweichungen. Dies ist verständlich, da der tatsächliche Eintritt von Neu- oder Vollmond eben nicht immer mittags stattfindet, also Rundungsfehler entstehen können.

Mittzeit ist grundsätzlich der dreitägige Zeitraum zwischen Spring- und Nippzeit.

5. Gezeitengrundwerte an Bezugsorten

Die Eintrittszeiten (*Times*) und Höhen (*Heights*) von Hoch- und Niedrigwasser (*High and Low Water*) werden für Bezugsorte (*Standard Ports*) direkt den kalendarischen Tabellen der A.T.T. entnommen.

Beispiel: Hoch- und Niedrigwasserzeiten und -höhen für Dover am 25.März 2005

Spalte für "March" am 25.:

25	0557	1.1
	1059	6.3
F	1815	1.2
○	2312	6.5

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 25.03.2005

Folgende Angaben lassen sich entnehmen:

- 1. Niedrigwasser um 05.57 Uhr (GMT), 1,1m über Kartennull
- 1. Hochwasser um 10.59 Uhr (GMT), 6,3m über Kartennull
- 2. Niedrigwasser um 18.15 Uhr (GMT), 1,2m über Kartennull
- 2. Hochwasser um 23.12 Uhr (GMT), 6,5m über Kartennull
- bedeutet, daß heute, am 25.März, Vollmond ist
- F bedeutet Friday = Freitag

Welche Zeit für Hoch- und welche Zeit für Niedrigwasser zutrifft, ist den jeweiligen Höhenangaben zu entnehmen. So könnte zuerst auch ein Hochwasser an einem Tag eintreten.

Auf Grund der Differenz in der Dauer eines Mondtages (ca. 24h 52min; Erdumdrehung bis der Mond wieder über demselben Längengrad steht) zu einem Sonnentag (ca. 24h; Erdumdrehung bis die Sonne wieder über dem gleichen Längengrad steht) kommt es zu einer täglichen Verschiebung von 52 Minuten, also 26 Minuten je Gezeit. Somit sind unter Umständen nur drei Gezeitengrundwerte an einem Tag kalendarisch aufgeführt. Der vierte Gezeitgrundwert liegt erst am nächsten Tag.

Beispiel: 11. März 2005:

11	0712	0.4
	1200	6.8
F	1930	0.5

6. Bestimmung der Höhe der Gezeit für eine geforderte Uhrzeit zwischen Hoch- und Niedrigwasser

Die Bestimmung der Hochwasserzeit- oder -höhe, bzw. der Niedrigwasserzeit- oder -höhe ist meist einfach aus den Gezeitengrundwerten eines Bezugs- oder Anschlußortes abzulesen.

Aufwendiger wird die Ermittlung der Tidenverhältnisse zwischen den Grundwerten, also zwischen Hoch- und Niedrigwasser. Soll für eine konkrete Uhrzeit, beispielsweise das Erreichen einer Barre vor einem Hafen, die dann dort herrschende Höhe der Gezeit bestimmt werden, muß mit den Gezeitengrundwerten des Ortes und der entsprechenden Tidenkurve des Bezugsortes gearbeitet werden. Als Basiswerte dienen die Hochwasserzeit, die Hochwasserhöhe und die zeitlich nächstgelegene Niedrigwasserhöhe des jeweiligen Tidenortes. Dies ist entweder ein Anschluß- oder Bezugsort. In beiden Fällen ist das Vorgehen gleich.

Beispiel:

Wie hoch ist die Höhe der Gezeit am 12. März 2005
um 10.35 Uhr UTC?

12	0011	7.0
	0753	0.3
	SA 1235	6.8
	2005	0.5

Abb.: Gezeitengrundwerte
für Dover am 12.03.2005

Lösungsansatz:

Leicht läßt sich erkennen, daß die geforderte Zeit, 10.35 Uhr, zwischen dem Vormittagsniedrigwasser um 07.53 Uhr mit 0,3m und dem Mittagshochwasser um 12.35 Uhr mit 6,8m liegt.

Der genaue Wert kann mit Hilfe der Gezeitenkurve und den obigen Grundwerten bestimmt werden. Dabei kommt ein rein graphisches oder einen Kombination aus rechnerischem und graphischem Vorgehen zum Einsatz. In den folgenden Schritten wird erst das rein graphische Verfahren beschrieben.

6.1 Graphische Lösung

In die Gezeitenkurve für Dover wird im linken Bereich unten die der geforderten Zeit (10.35 Uhr) vorangehende Niedrigwasserhöhe (0,3m) markiert. Anschließend wird im linken Bereich oben die der geforderten Zeit (10.35 Uhr) folgende Hochwasserhöhe (6,8m) eingetragen. Die beiden Punkte werden mit einer Geraden verbunden. Die Gerade stellt den Tidenhub (0,3m -> 6,8m) dar.

12	0011	7.0
	0753	0.3
SA	1235	6.8
	2005	0.5

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 12.03.2005

Tip: Im Original natürlich nur mit Bleistift zeichnen, ggf. sind Kopien sinnvoll.

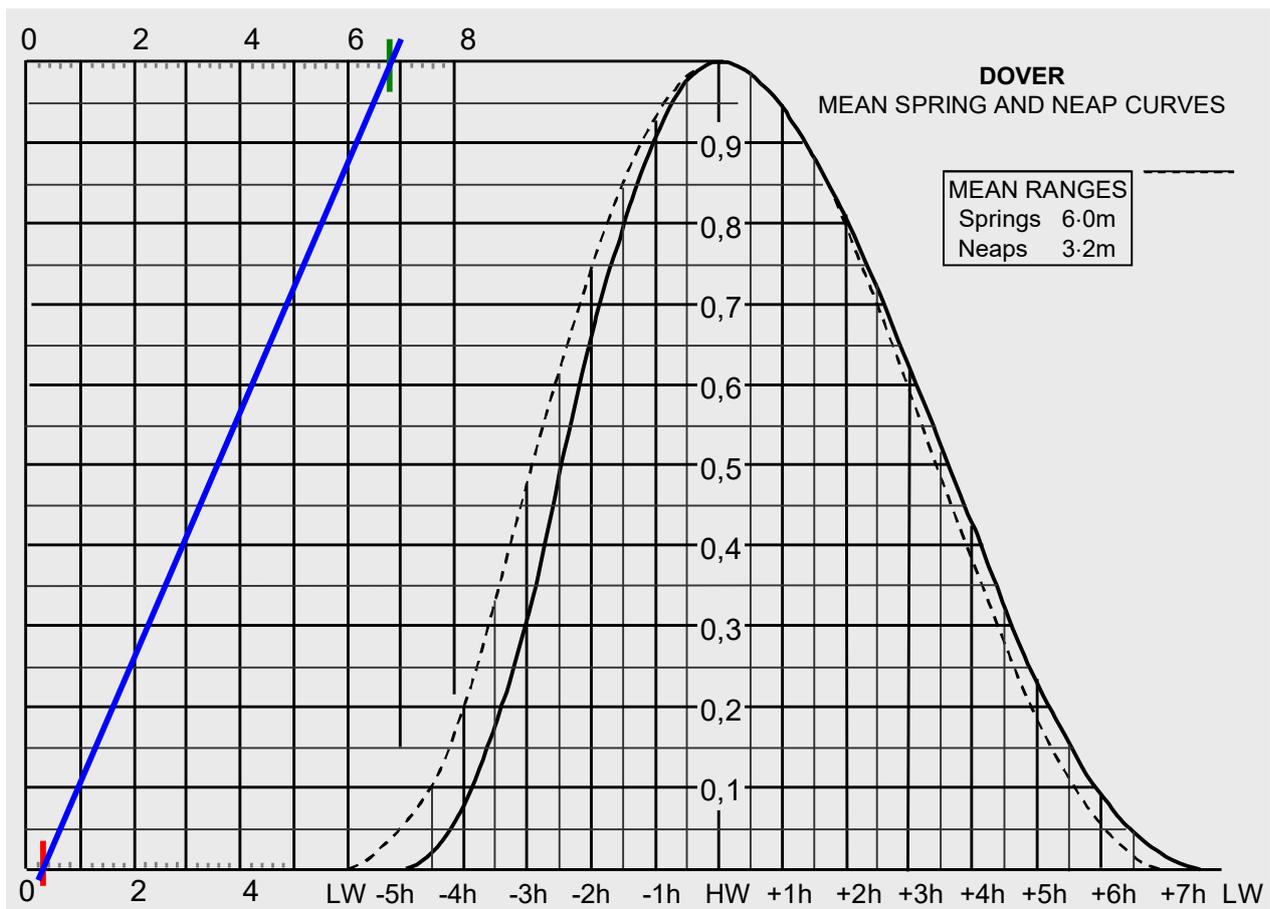


Abb. Tidenkurve von Dover mit (hier blau) eingezeichnetem Tidenstieg

Gezeitenberechnungen mit A.T.T.

Die geforderte Zeit (10.35 Uhr) liegt zwei Stunden vor dem nächstgelegenen Hochwasser (12.35 Uhr). Mit dieser Zeitdifferenz (-2h) wird unten in die Zeitachse der Tidenkurve gegangen.

Zuvor muß geprüft werden, ob die Spring- oder Nippkurve relevant ist. Bei Mittzeit wird zwischen den beiden Kurven interpoliert. Es wird festgestellt, daß der 12. März 2005 in die Springzeit fällt.

Am Schnittpunkt vom Zeitpunkt (-2h) auf die Springtidenkurve wird nach links auf die selbst eingezeichnete Gerade des Tidenstiegs abgebogen.

Der Schnittpunkt auf der Gerade des Tidenstiegs gibt die Höhe der Gezeit zu diesem Zeitpunkt wieder. Sie beträgt 4,5m

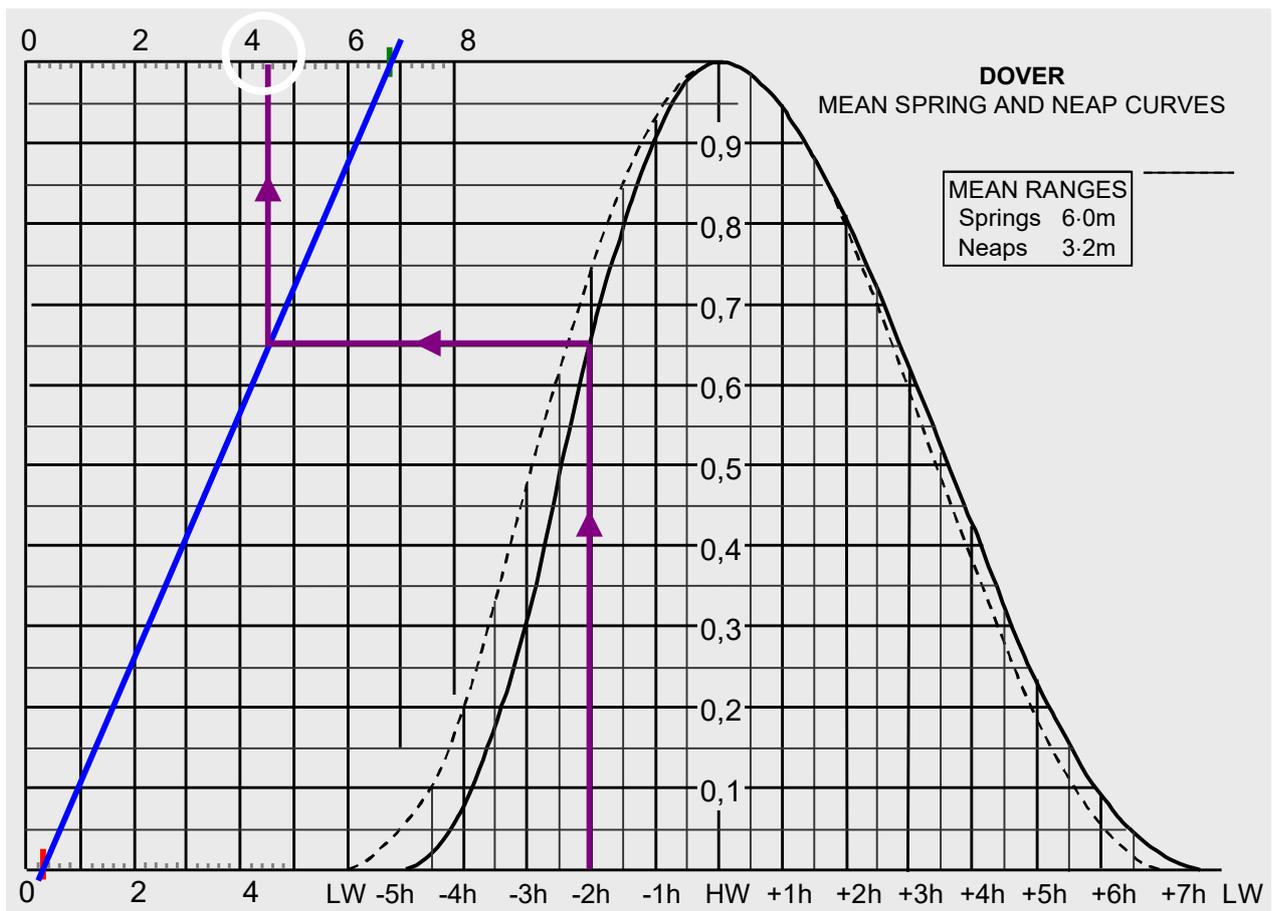


Abb. Tidenkurve von Dover mit Tidenstieg und Markierungen

Ergebnis: Um 10.35 Uhr GMT beträgt die Höhe der Gezeit 4,5m.

6.2 Kombinierte graphisch-rechnerische Lösung

Das Einzeichnen des Tidenstiegs/-falls im linken Bereich der Tidenkurve, sowie das Ablesen des Höhenwertes an dieser Geraden kann durch eine Berechnung ersetzt werden.

Dies ist unter anderem dann sinnvoll, wenn diese Gerade sehr steil verläuft und somit ein genaues Ablesen schwer fällt.

12	0011	7.0
	0753	0.3
SA	1235	6.8
	2005	0.5

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 12.03.2005

Es bleibt das Einbringen der geforderten Zeitdifferenz zu dem nächstgelegenen Hochwasser in die Tidenkurve. Nun wird jedoch der durch die Gezeitenkurve bestimmte Tidenwert durch den Faktor in der Kurvenmitte herausgelesen. Mit diesem Faktor und der Berechnung für Tidenstieg/-fall wird die akute Höhe der Gezeit bestimmt.

Dieses Verfahren soll mit dem gleichen Beispiel wie oben veranschaulicht werden.

Beispiel:

Wie hoch ist die Höhe der Gezeit (H) am 12. März 2005 um 10.35 Uhr UTC?

In die Formel gehen folgende Werte ein:

NWH = Niedrigwasserhöhe

TS = Tidenstieg = Höhendifferenz von Niedrig- zu Hochwasserhöhe

bzw: TF = Tidenfall = Höhendifferenz von Hoch- zu Niedrigwasserhöhe

f = Faktor aus der Gezeitenkurve

Formel: $H = NWH + TS \times f = 0,3m + (0,3m \text{ bis } 6,8m) \times f = 0,3m + 6,5m \times f$

Tip: Punktrechnung vor Strichrechnung

Der Faktor (f) wird wie im rein graphischen Verfahren ermittelt.

Faktor aus der Tidenkurve ermitteln

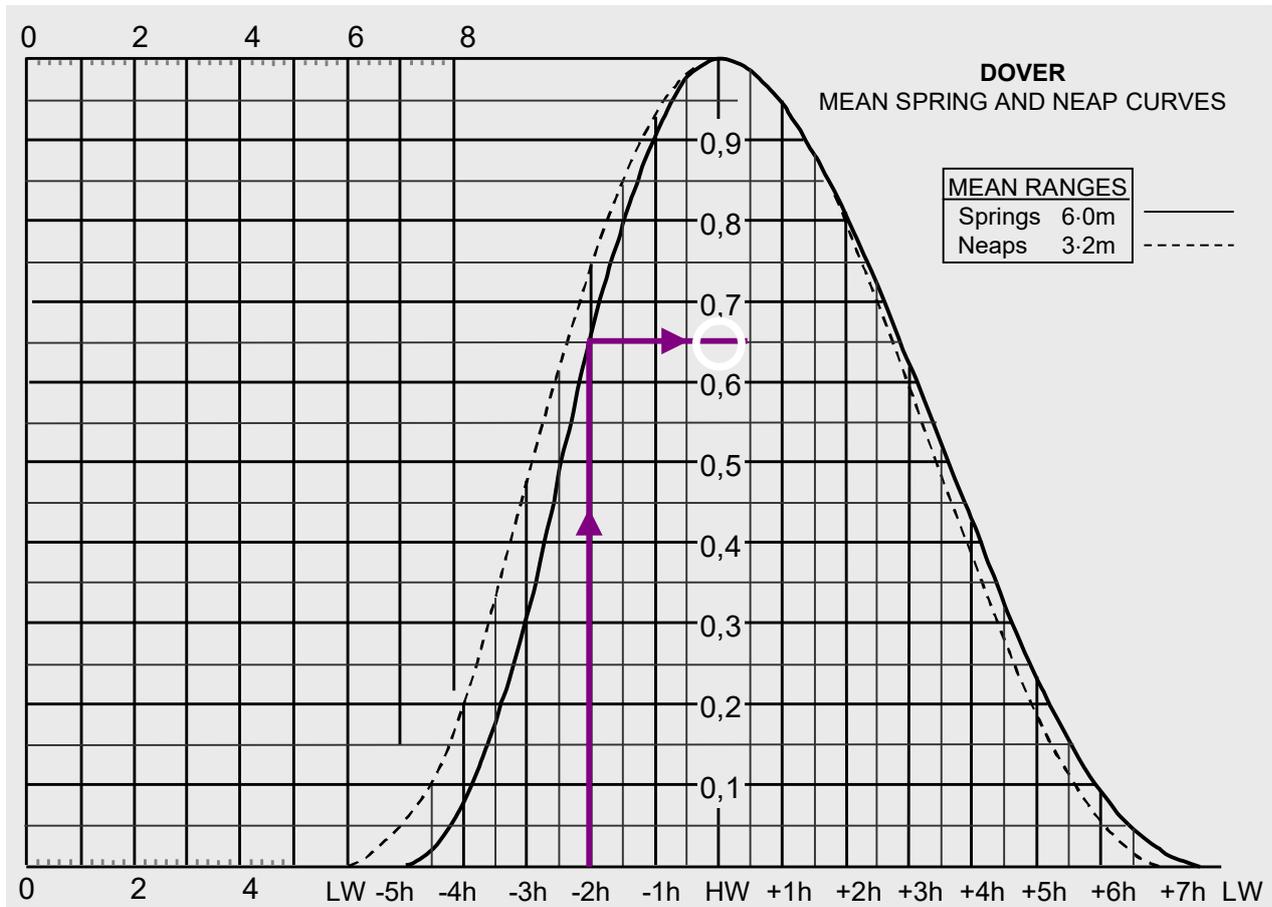


Abb. Tidenkurve von Dover mit Faktor

Die geforderte Zeit (10.35 Uhr) liegt zwei Stunden vor dem nächstgelegenen Hochwasser (12.35 Uhr). Mit dieser Zeitdifferenz (-2h) wird in die Zeitachse der Tidenkurve gegangen. Zuvor muß geprüft werden, ob die Spring- oder Nippkurve relevant ist. Es wird festgestellt, daß der 12. März 2005 in die Springzeit fällt.

Am Schnittpunkt vom Zeitpunkt (-2h) auf die Springtidenkurve wird nach rechts auf die zentrale Achse der Tidenkurve abgebogen.

Hier wird der Faktor ($f = 0,65$) abgelesen. Dieser Faktor geht in die Formel ein.

$$H = NWH + TS \times f = 0,3\text{m} + (0,3\text{m bis } 6,8\text{m}) \times 0,65 = 0,3\text{m} + 6,5\text{m} \times 0,65$$

$$H = 0,3\text{m} + 4,225\text{m} = 4,525\text{m} \approx 4,5\text{m}$$

Ergebnis: Um 10.35 Uhr GMT beträgt die Höhe der Gezeit 4,5m.

Beide Methoden führen natürlich zu gleichen Ergebnissen. Bei ungünstiger Lage der Geraden für Tidenstieg bzw. Tidenfall kann das rechnerische Verfahren genauer sein. Das graphische Verfahren läßt sich jedoch für den geübten Anwender schneller durchführen.

In den beiden Beispielen wurde jeweils ein Zeitpunkt im Flutbereich bestimmt. Selbstverständlich lassen sich auch Werte im Ebbebereich berechnen. Die Formel für die Höhe der Gezeit lautet dann:

$$H = NWH + TF \times f$$

Die Niedrigwasserhöhe (NWH) ist nun die des nächsten folgenden Niedrigwassers. In unserem Beispiel also 0,5m und der Tidenfall die Differenz vom vorherigen Hochwasser (6,8m). Der Tidenfall beträgt $6,8 - 0,5 = 6,3\text{m}$.

12	0011	7.0
	0753	0.3
SA	1235	6.8
	2005	0.5

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 12.03.2005

Mit diesen beiden Methoden lassen sich nicht nur die Höhen der Gezeit zu geforderten Uhrzeiten ermitteln. Umgekehrt kann auch die Uhrzeit zu einer verlangten Höhe der Gezeit bestimmt werden.

7. Bestimmung der Uhrzeit für eine geforderte Höhe der Gezeit zwischen Hoch- und Niedrigwasser

Nun folgt die umgekehrte Fragestellung. Hier ist die Höhe der Gezeit der Ausgangswert. Es soll die Uhrzeit beim Erreichen dieser HdG bestimmt werden. Wieder werden die Tidenkurve und die Gezeitengrundwerte des entsprechenden Ortes genutzt. Auch diese Bestimmung kann sowohl für Bezugs- als auch für Anschlußorte durchgeführt werden.

Beispiel:

Wann wird am Nachmittag des 12. März 2005 die Höhe der Gezeit 3m unterschreiten?

Lösungsansatz:

Leicht läßt sich aus den Gezeitengrundwerten erkennen, daß die geforderte Höhe, 3,0m, zwischen dem Mittagshochwasser mit 6,8m und dem Abendniedrigwasser mit 0,5m liegt.

Der genaue Wert kann mit Hilfe der Gezeitenkurve und den Grundwerten bestimmt werden.

Dabei kommt ebenfalls wieder das rein graphische oder einen Kombination aus rechnerischem und graphischem Vorgehen zum Einsatz.

In den folgenden Schritten wird das rein graphische Verfahren beschrieben.

7.1 Graphische Lösung

In die Gezeitenkurve für Dover wird im linken Bereich oben die vorausgehende Hochwasserhöhe (6,8m) markiert. Im linken unteren Bereich wird die folgende Niedrigwasserhöhe (0,5m) eingetragen. Die beiden Punkte werden mit einer Geraden verbunden. Die Gerade stellt den Tidenfall (6,8m -> 0,5m) dar.

12	0011	7.0
	0753	0.3
SA	1235	6.8
	2005	0.5

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 12.03.2005

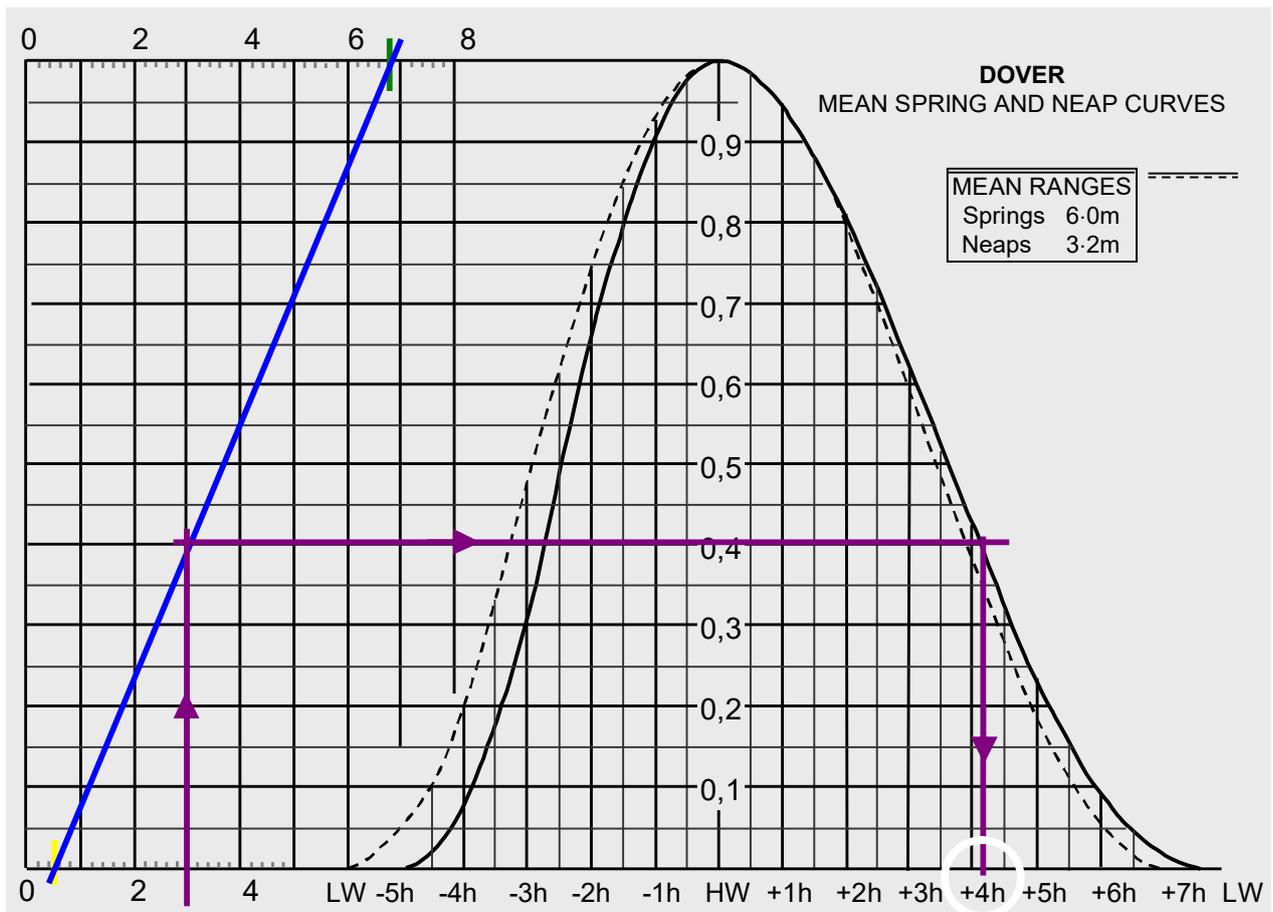


Abb. Tidenkurve von Dover mit Tidenfall

Mit der geforderten Höhe der Gezeit von 3,0m wird im linken Bereich in die Grafik eingegangen und bis auf die Tidenfallgerade gefahren. Am Schnittpunkt wird auf die Tidenkurve abgebogen und bis auf den Kurvenbereich der Ebbe gegangen. Am dortigen Schnittpunkt kann unten die zeitliche Differenz zum Hochwasser abgelesen werden.

Die Gezeit wird 04.10 h nach dem Hochwasser (um 12.35) Uhr die vorgegebene Höhe von 3,0m unterschreiten.

Ergebnis: Um 16.45 Uhr GMT wird die Höhe der Gezeit 3m unterschreiten.

7.2 Kombinierte graphisch-rechnerische Lösung

Das Einzeichnen des Tidenfalls im linken Bereich der Tidenkurve, sowie das Ablesen des Höhenwertes an dieser Geraden kann durch eine Berechnung ersetzt werden.

12	0011	7.0
	0753	0.3
SA	1235	6.8
	2005	0.5

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 12.03.2005

Es bleibt wiederum das Ablesen der Zeitdifferenz an der Tidenkurve.

Die bereits bekannte Formel: $H = NWH + TF \times f$ wird nach f umgestellt und lautet:

Formel: $f = (H - NWH) / TF$

In die Formel gehen folgende Werte ein:

H = geforderte Höhe der Gezeit

NWH = Niedrigwasserhöhe

TF = Tidenfall = Höhendifferenz von Hoch- zu Niedrigwasserhöhe

bzw: TS = Tidenstieg = Höhendifferenz von Niedrig- zu Hochwasserhöhe

f = Faktor für die Gezeitenkurve

$$f = (3,0\text{m} - 0,5\text{m}) / (6,8\text{m} - 0,5\text{m}) = 2,5\text{m} / 6,3\text{m} = 0,3968 \approx 0,40 = f$$

Mit dem Faktor (f) wird in die Grafik eingegangen und die zeitliche Differenz ermittelt.

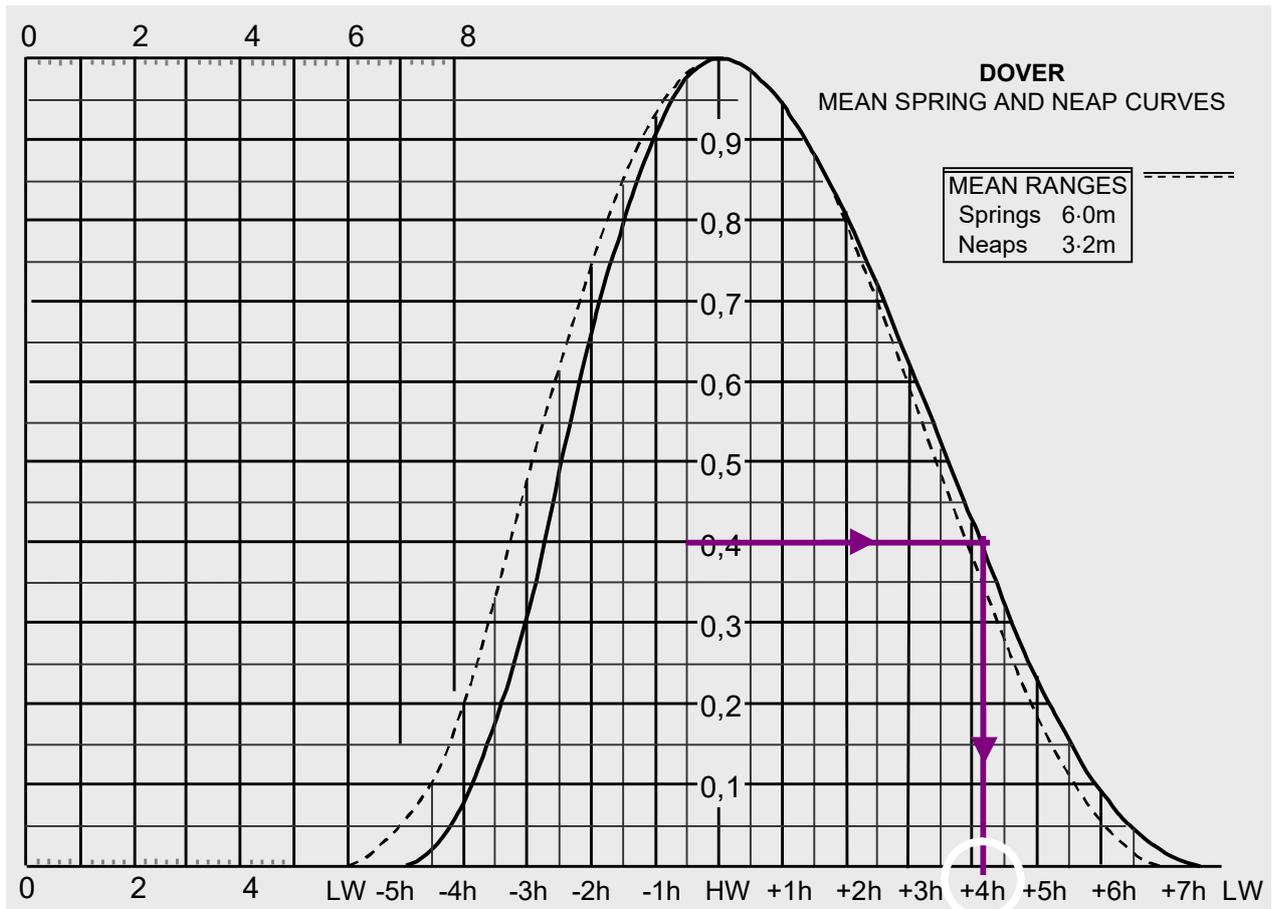


Abb. Tidenkurve von Dover mit Tidenfall

Mit dem berechneten Faktor (f) von 0,4 wird in der Mittelskala begonnen und nach rechts in den Bereich der fallenden Tidenkurve gegangen. Am Schnittpunkt mit der Springkurve wird nach unten auf die Zeitskala abgebogen. Der Endwert von +4.10h wird abgelesen und zu der Hochwasserzeit (12.35 Uhr) addiert.

Ergebnis: Um 16.45 Uhr GMT wird die Höhe der Gezeit 3m unterschreiten.

Die oberhalb beschriebenen Verfahren zur Bestimmung von Gezeitenhöhen bei vorgegebenen Uhrzeiten oder zur Bestimmung von Uhrzeiten bei verlangten Gezeitenhöhen können ebenso auf Anschlußorte angewandt werden.

Gezeitenberechnungen mit A.T.T.

Als Ausgangswerte (Hoch- und Niedrigwasser-höhen und -zeiten) werden dann jedoch die Werte für den jeweiligen Anschlußort benötigt.

8. Gezeitengrundwerte für Anschlußorte bestimmen

Um die Gezeitengrundwerte für Anschlußorte (secondary port) zu bestimmen, werden die Werte der entsprechenden Bezugsorte (standard port) als Grundlage benutzt. Zu diesen werden der Zeitunterschied der Gezeit (ZUG) bzw. der Höhenunterschied der Gezeit (HUG) addiert. Diese Unterschiede können rechnerisch, graphisch oder mit geschultem Blick ohne Rechnung bestimmt werden.

An einem Beispiel soll der vollständige Ablauf zur Bestimmung von Gezeitengrundwerten eines Anschlußortes aufgezeigt werden.

Beispiel: Wann und wie hoch treten das Mittagshochwasser in Folkestone am 14. Januar 2005 ein?

Lösungsansatz:

Zuerst muß festgestellt werden, welcher Bezugsort zu diesem Anschlußort gehört. Über die alphabetische Ortsübersicht (*Geographical Index*) wird die Nummer des Anschlußortes bestimmt. Folkestone hat die Nummer 88. Mit dieser Nummer wird der Eintrag für Folkestone in der Übersicht der Zeit- und Höhendifferenzen (Time and Height Differences) gefunden. Als Kopfzeile in Fettschrift ist der jeweilige Bezugsort für einen Bereich mehrerer Anschlußorte aufgeführt. Für Folkestone (No. 88) ist der Bezugsort Dover (No. 89).

Folgender Tabellenauszug stellt die Zusammenhänge von Dover und Folkestone dar:

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water	Low Water	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS		
89	Dover	0000 and 1200	0600 and 1800	0100 and 1300	0700 and 1900	6.8	5.3	2.1	0.8
88	Folkestone.....	-0020	-0005	-0010	-0010	+0.4	+0.4	0.0	-0.1

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

Gezeitenberechnungen mit A.T.T.

Diese Tabelle führt die Zeitunterschiede der Gezeit (ZUG) zwischen dem Bezugs- und Anschlußort für normierte Hoch- und Niedrigwasserzeitpunkte in vier Spalten auf. In weiteren vier Spalten werden Höhenunterschiede der Gezeit (HUG) für normierte Hoch- und Niedrigwasserhöhen angegeben.

Betrachten wir zunächst die Zeitunterschiede für Hochwasserzeiten. Aus der Tabelle kann entnommen werden, daß ein Hochwasser genau um 00.00 Uhr oder genau um 12.00 Uhr in Dover um -00.20 verschoben in Folkestone, also 20 Minuten früher eintreten würde. Ein Hochwasser um genau 06.00 Uhr oder genau um 18.00 Uhr in Dover würde -00.05, also 5 Minuten früher in Folkestone eintreten.

Da in unserem Beispiel das Mittagshochwasser gefragt ist, kommen nun die Gezeitengrundwerte für Dover vom 14. Januar 2005 zum Einsatz.

14	0127	6.8
	0909	0.7
	F 1357	6.5
	2127	1.0

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 14.01.2005

Das Mittagshochwasser ist in Dover um 13.57 Uhr GMT. Die Aufgabe ist nun dieses 13.57 Uhr Hochwasser mit dem entsprechenden Zeitunterschied der Gezeit (ZUG) für Folkestone zu beaufschlagen.

Da 13.57 Uhr nicht genau auf einen der vier normierten Hochwasserreferenzwerte von 00.00, 06.00, 12.00 oder 18.00 Uhr fällt, läßt sich der notwendige ZUG nicht sofort der Tabelle entnehmen. Es muß interpoliert werden.

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water	Low Water	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS		
89	Dover.....	0000	0600	0100	0700	6.8	5.3	2.1	0.8
		and 1200	and 1800	and 1300	and 1900				
88	Folkestone.....	-0020	-0005	-0010	-0010	+0.4	+0.4	0.0	-0.1

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

Das 13.57 Uhr Hochwasser in Dover liegt ca. 1/3 zwischen den Hochwasserreferenz-werte von 12.00 und 18.00 Uhr. Folglich muß auch der ZUG auf 1/3 zwischen -0020 und -0005 liegen. Es ergibt sich ein ZUG von -0015, also -15 Minuten.

Zwischenergebnis:

Das 13.57 Uhr GMT Hochwasser in Dover trifft 15 Minuten früher also um 13.42 Uhr GMT in Folkestone ein.

Nun wird der Höhenunterschied der Gezeit (HUG) für dieses Hochwasser bestimmt.

Als Ausgangswert wird wieder der entsprechende Gezeitengrundwert von Dover herangezogen. Das Mittagshochwasser tritt mit 6,5m ein. Der entsprechende HUG ist den Spalten für Hochwasserhöhendifferenzen zu entnehmen. Auch hier gibt es Referenzwerte, für die unmittelbar die HUGs entnommen werden könnten.

14	0127	6.8
	0909	0.7
	F 1357	6.5
	2127	1.0

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 14.01.2005

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water	Low Water	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS		
89	Dover.....	0000	0600	0100	0700	6.8	5.3	2.1	0.8
		and 1200	and 1800	and 1300	and 1900				
88	Folkestone.....	-0020	-0005	-0010	-0010	+0.4	+0.4	0.0	-0.1

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

Ein Hochwasser in Dover mit 6,8m würde also in Folkestone 0,4m höher eintreffen. In diesem besonderen Fall (Folkestone) träfe jedoch auch ein Dover-Hochwasser von 5,3m in Folkestone 0,4m höher ein. Diese gleichen Höhenunterschiede für verschiedene Hochwasserhöhen am Bezugsort sind eher ungewöhnlich und können an anderen Orten durchaus sehr verschieden sein. Folglich müsste auch für die HUGs ggf. interpoliert oder sogar extrapoliert werden.

Für die Beispielaufgabe hat diese Besonderheit in Folkestone zu Dover jedoch eine große Vereinfachung zur Folge. Der Höhenunterschied beträgt immer +0,4m.

Zwischenergebnis:

Das Mittagshochwasser mit 6,5m in Dover wird mit 6,9m in Folkestone eintreffen.

Endergebnis:

Das Mittagshochwasser vom 14.01.2005 um 13.57 Uhr GMT mit 6,5m in Dover tritt bereits um 13.42 Uhr GMT mit 6,9m in Folkestone ein.

Der Zeitunterschied der Gezeit (ZUG) und der Höhenunterschied der Gezeit (HUG) für das Hochwasser konnten in diesem Beispiel recht gut interpoliert werden. Ebenso würde auch für ZUG und HUG für Niedrigwasserzeit und –höhe vorgegangen werden.

Nicht immer ist die Inter- oder Extrapolation auf Grund der Werte jedoch so einfach zu erkennen, wie in diesem Beispiel. Die Inter- bzw. Extrapolation kann jedoch auch sehr genau mit jeweils einer Formel durchgeführt werden.

Folgendes Beispiel ist etwas aufwendiger:

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water		Low Water		MHWS	MHWN	MLWN	MLWS
		0000	0600	0100	0700				
		and	and	and	and				
89	Dover	1200	1800	1300	1900	6.8	5.3	2.1	0.8
85x	Hashes.....	-0010	-0110	-0030	-0030	+0.8	+0.5	+0.6	-0.4

(Achtung diese Werte entsprechen nicht den Original ATT)

Wie hoch tritt das Niedrigwasser in Hashes ein, wenn an diesem Tag das Niedrigwasser in Dover 2,0m wäre?

Lösung:

2,0m liegt so zwischen MLWN: 2,1m und MLWS 0,8m wie X_m zwischen $\Delta_{MLWN}+0,6m$ und $\Delta_{MLWS}-0,4m$. $X_m = +0,5m$.

Also tritt das Niedrigwasser in Hashes insgesamt mit $2,0m + 0,5m = 2,5m$ ein.

Doch wie ist dieser Interpolations-Wert (möglichst einfach) zu bestimmen?

Die drei nachfolgenden Kapitel (8.1, 8.2 und 8.3) beschreiben drei Methoden zur Bestimmung der Zeit- und Höhendifferenzen zwischen Bezugs- und Anschlußort (Primary- / Secondary-Port). Dabei werden in 8.1 und 8.2 eine graphischen und in 8.3 eine mathematische Methode beschrieben. Besonders die mathematische Methode scheint sehr aufwändig und für die reale Praxis übertrieben genau. Für viele Anwender scheint die graphische Methode anschaulicher, zügiger und handhabbar zu sein. Auch ich stelle deshalb hier diese graphischen Methoden zuerst vor. Alle Methoden kommen aber grundsätzlich zu gleichen Ergebnissen.

8.1 Gezeitengrundwerte für Anschlußorte graphisch bestimmen

Eine Technik die Zeit- (ZUG) oder Höhenunterschiede (HUG) zwischen Bezugs- und Anschlußort zu bestimmen, ist mit einer graphischen Methode zur Interpolation oder Extrapolation möglich. Dabei werden die ZUG und HUG-Werte aus der entsprechenden Tabelle (*Time- and Height-Differences*) in ein Blatt mit Rechenkästchen oder Millimeterpapier eingetragen.

Die Anwendung soll mit den gleichen Zahlen aus dem ZUG-Beispiel für das Nachmittagshochwasser von Folkestone zu Dover von Seite 21ff erläutert werden.

Beispiel:

Wann tritt das 2.HW in Folkestone am 14. Januar 2005 ein?

Lösung:

Es werden die Gezeitengrundwerte des Bezugsortes (Dover) und die Tabelle der *Time- and Height-Differences* benötigt.

14	0127	6.8
	0909	0.7
	F 1357	6.5
	2127	1.0

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 14.01.2005

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water	Low Water	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS		
		0000	0600	0100	0700				
		and	and	and	and				
89	Dover	1200	1800	1300	1900	6.8	5.3	2.1	0.8
88	Folkestone.....	-0020	-0005	-0010	-0010	+0.4	+0.4	0.0	-0.1

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

Nun wird ein Blatt mit Rechenkästchen oder Millimeterpapier mit zwei Achsen vorbereitet. Eine Achse ist für die Ausgangszeiten (HWs) und eine Achse für die entsprechenden Zeitunterschiede (ZUGs). Der Maßstab ist frei zu wählen, jedoch möglichst so groß, daß ein genaues Ablesen der interpolierten Werte sichergestellt werden kann.

Auf der Achse für die Ausgangswerte werden **12.00 Uhr** und **18.00 Uhr** auf der Achse für die Zeitunterschiede die Werte **-0020** und **-0005** angetragen und die entsprechenden Schnittpunkte markiert. Anschließend werden die beiden Schnittpunkte mit einer Geraden verbunden.

Abschließend wird der konkrete Hochwasserzeitpunkt **13.57 Uhr** des Bezugsortes eingetragen und der sich ergebende ZUG zu Folkestone abgelesen. →

Ablesung: ZUG = -15 Minuten

Berechnung: 13.57 Uhr – 00:15 = 13:42 Uhr

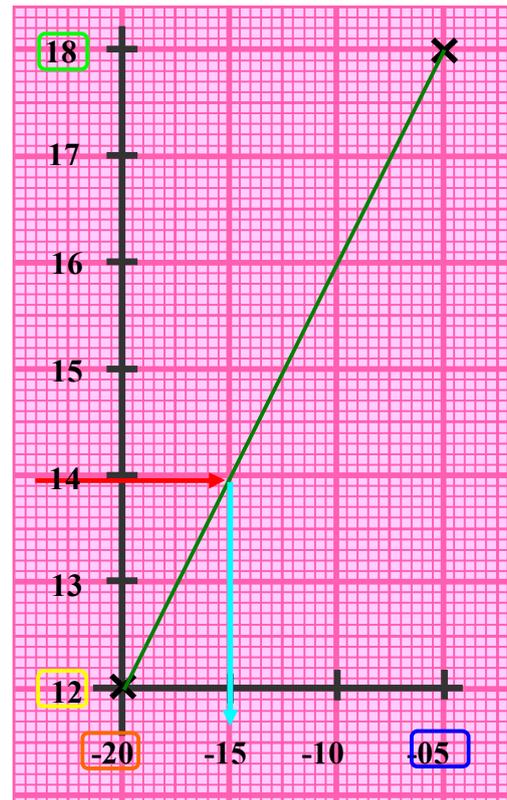


Abb.: Millimeterpapier mit Wertepaaren

Ergebnis:

Das Nachmittagshochwasser tritt am 14.01.2005 um 13:42 Uhr in Folkestone ein.

Nach dem gleichen Prinzip werden auch die Höhenunterschiede bestimmt. Da auf diesem Wege sogar extrapoliert, also Werte außerhalb der vorgegebenen Basiswerte ermittelt werden können, ist diese Methode besonders anschaulich.

Hinweis: In beiden Fällen (Zeit- oder Höhendifferenzenbestimmung) ist es freigestellt welche Werte auf die graphische X-Achse oder Y-Achse gelegt werden. Auch die Festlegung negative Werte – wie in obigem Beispiel – als absolute Werte von links nach rechts, bzw. von oben nach unten oder umgekehrt anzutragen ist egal. Es muß lediglich auf einen sinnvollen Zeichenmaßstab geachtet werden, der ein hinreichend genaues Ablesen ermöglicht.

Auch die Nullpunkte der Achsen müssen nicht der Schnittpunkt der Achsen sein. (s.o.)

Beispiel:

Wie hoch wird das Abendhochwasser in Fromentine (SecP No: 1670) am 20.09.2005?

Lösungsansatz:

Bezugsort für Fromentine (No: 1670) ist Brest (No: 1638)

20	0016	0.5
	0613	7.2
TU	1234	0.7
	1831	7.4

Abb.: Gezeitengrundwerte für Brest am 20.09.2005

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water		Low Water		MHWS	MHWN	MLWN	MLWS
1638	Brest.....	0500	1100	0500	1100	6.9	5.4	2.6	1.0
		and	and	and	and				
		1700	2300	1700	2300				
1670	Fromentine.....	-0050	+0020	-0020	+0010	-1.6	-1.2	-0.7	0.0

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

Graphische Lösung:

In das Diagramm werden die Ausgangswerte für MHWS und MHWN an der einen Achse und die HUG_{MHWS} und HUG_{MHWN} an der anderen Achse eingetragen.

Die Punkte werden mit einer Linie verbunden.

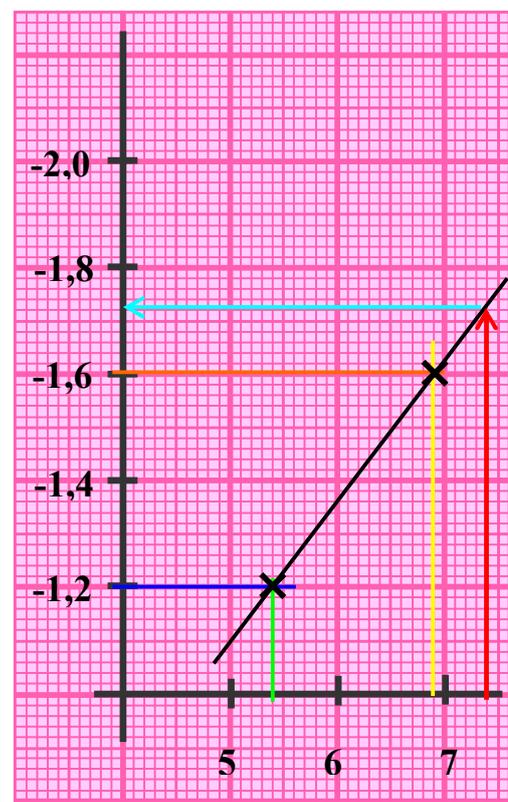
Der Gezeitenbasiswert von Brest 7,4m wird markiert und der HUG abgelesen.

Ablesung: $HUG_{HW} = -1,72m$

Berechnung: $7,4m + (-1,7m) = 5,7m$

Ergebnis:

Das Abendhochwasser tritt am 20.09.2005 mit 5,7m in Fromentine ein.



8.2 Gezeitengrundwerte für Anschlußorte graphisch bestimmen

„Dreiecks-Methode“ oder engl.: *Triangle-Method*

Die eben kennengelernte graphische Methode zu inter- oder gar extrapolieren läßt sich noch weiter vereinfachen. Aus der bereits eben erwähnten Aussage, daß die Aufteilung und Achsenwahl prinzipiell egal ist, nur der Maßstab je Achse beibehalten werden muß, läßt sich folgender Gedanke ableiten.

Wir wollen die Methode wieder am Beispiel von Folkstone zu Dover für das 2. HW am 14. Januar 2005 zeigen.

14	0127	6.8
	0909	0.7
	F 1357	6.5
	2127	1.0

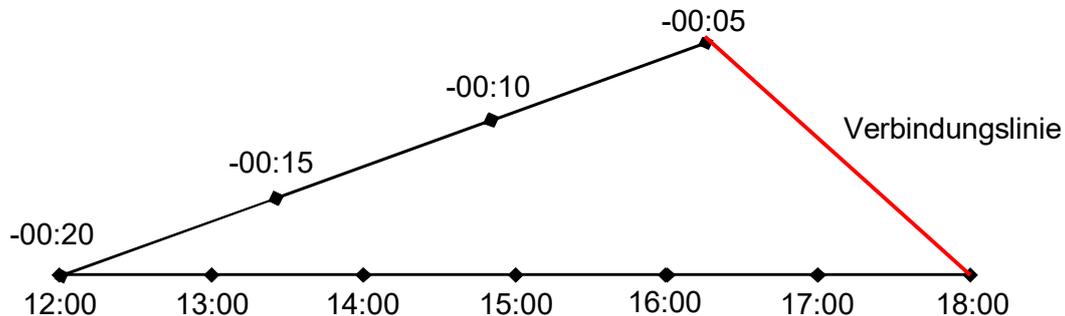
Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 14.01.2005

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water		Low Water		MHWS	MHWN	MLWN	MLWS
		0000	0600	0100	0700				
89	Dover	and 1200	and 1800	and 1300	and 1900	6.8	5.3	2.1	0.8
88	Folkestone.....	-0020	-0005	-0010	-0010	+0.4	+0.4	0.0	-0.1

Es wird eine Achse für die Ausgangszeiten (HWs) mit möglichst großem Maßstab als Ausgangsbasis gezeichnet, also von **12:00 Uhr** bis **18:00 Uhr**. Darin werden sinnvolle Zwischenschritte gleichmäßig abgetragen, hier im Stundenraster.

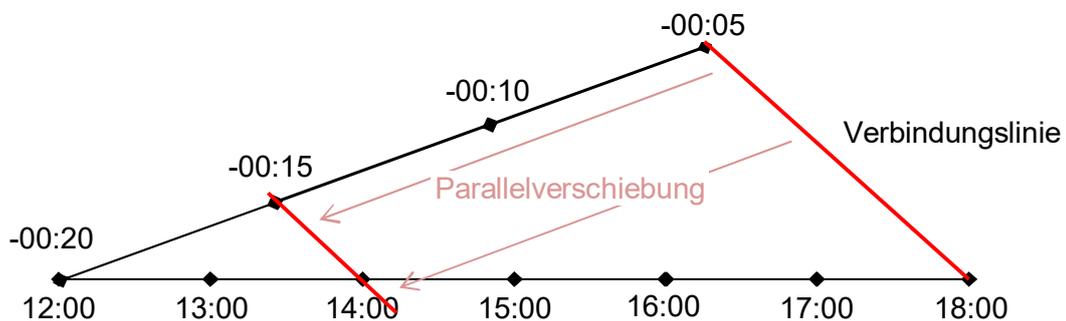
Nun wird eine zweite Achse schräg dazu gezeichnet, die bei dem unteren Ausgangswert der ersten Achse, hier also bei **12:00 Uhr** beginnt schräg nach oben führt. Auf dieser Achse werden die Zeitunterschiede (ZUGs) abgetragen, wobei der untere Wert, hier **-00:20** der Startschnittpunkt ist. Der Endwert dieser zweiten Achse ist dann folglich **-00:05**.

Nun wird eine Verbindungsline zwischen dem Endwert der Ausgangszeitenachse (18:00 Uhr) und dem Endwert der ZUG-Achse (-00:05) gezogen.



Diese Verbindungslinie ist die Basis für die Interpolation.

Wird nun für 13:57 Uhr (2. NW in Dover) der entsprechende ZUG für Folkstone gesucht, so muß nur mit dem Kursdreieck eine Parallelverschiebung dieser Verbindungslinie auf 13:57 Uhr durchgeführt werden.



Für 13:57 Uhr (knapp unter 14:00 Uhr) läßt sich jetzt der ZUG: -00:15 ablesen.

Ergebnis:

Das 2. HW tritt am 14. Januar 2005 also um 13:57 Uhr – 00:15 gleich 13:42 Uhr ein.

Diese Dreiecksmethode ist sicher am schnellsten zu zeichnen. Bei nicht zu flachen Schnittwinkeln und nicht zu kurzen Skalenachsen ist eine hinreichend genaue Wertermittlung möglich.

Wenn man beim Zeichnen etwas Platz für die Achsenbeschriftungen läßt, kann man sogar gleich mehrere Inter- / Extrapolationen in ein Diagramm einzeichnen.

8.3 Gezeitengrundwerte für Anschlußorte berechnen

Die folgende rechnerische Methode beschreibt die Inter- bzw. Extrapolation der Zeit- bzw. Höhendifferenzen zwischen Bezugs- und Anschlußorten mit Formeln. Dabei werden jeweils die Abstände der Referenzzeitpunkte bzw. Referenzgezeitenhöhen in Bezug zu dem jeweiligen Zeit- bzw. Höhenunterschieden gebracht. Die folgenden Formeln sehen zwar etwas „wüst“ aus, stellen aber je nur drei Abstände zueinander in Bezug. Es ist reine Dreisatzrechnung.

Formel für Zeitunterschiede für Hoch- oder Niedrigwasser:

$$ZUG = ZUG_1 + (ZUG_2 - ZUG_1) \times \frac{|T \leftrightarrow T_1|}{|T_2 \leftrightarrow T_1|}$$

Formel für Höhenunterschiede eines Hochwassers:

$$HUG_{HW} = HUG_{MHWN} + (HUG_{MHWS} - HUG_{MHWN}) \times \frac{HWH - MHWN}{MHWS - MHWN}$$

Formel für Höhenunterschiede eines Niedrigwassers:

$$HUG_{LW} = HUG_{MLWN} + (HUG_{MLWS} - HUG_{MLWN}) \times \frac{LWH - MLWN}{MLWS - MLWN}$$

Im Folgenden werden die Eingangswerte für die Formeln erklärt. Dazu werden die Werte aus dem vorherigen Beispiel noch einmal herangezogen.

Beispiel:

Wann und wie hoch tritt das Mittagshochwasser und wie hoch das Abendniedrigwasser in Folkestone am 14. Januar 2005 ein?

Lösungsansatz:

Wir wissen bereits das Dover der Bezugsort ist und haben die Gezeitengrundwerte für Dover herausgefunden.

14	0127	6.8
	0909	0.7
F	1357	6.5
	2127	1.0

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 14.01.2005

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water		Low Water		MHWS	MHWN	MLWN	MLWS
89	Dover.....	0000	0600	0100	0700	6.8	5.3	2.1	0.8
		and 1200	and 1800	and 1300	and 1900				
88	Folkestone.....	-0020	-0005	-0010	-0010	+0.4	+0.4	0.0	-0.1

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 14.01.2005

14	0127	6.8
	0909	0.7
F	1357	6.5
	2127	1.0

Formel für Zeitunterschiede für Hoch- und Niedrigwasser:

$$ZUG = ZUG_1 + (ZUG_2 - ZUG_1) \times \frac{|T \leftrightarrow T_1|}{|T_2 \leftrightarrow T_1|}$$

T = Uhrzeit des Hochwassers am Bezugsort = 13.57 Uhr

T₁ = Uhrzeit der vier möglichen Referenzzeitpunkte für ein Hochwasser am Bezugsort, die der Uhrzeit T (13.57) unmittelbar vorausgeht = 12.00 Uhr

T₂ = Uhrzeit der vier möglichen Referenzzeitpunkte für ein Hochwasser am Bezugsort, die der Uhrzeit T (13.57) unmittelbar folgt = 18.00 Uhr

ZUG₁ = Zeitdifferenz am Anschlußort, die in derselben Spalte wie T₁ steht = -00.20

ZUG₂ = Zeitdifferenz am Anschlußort, die in derselben Spalte wie T₂ steht = -00.05

↔ = bedeutet die Zeitdifferenz zwischen zwei Zeitpunkten, sinnvoll in Minuten

Werte in die Formel eingesetzt:

$$ZUG = [-00.20] + ([-00.05] - [-00.20]) \times \frac{|13.57 \leftrightarrow 12.00|}{|18.00 \leftrightarrow 12.00|}$$

$$ZUG = [-20 \text{ Minuten}] + ([+15 \text{ Minuten}]) \times \frac{|117 \text{ Minuten}|}{|360 \text{ Minuten}|} = -15,125 \text{ Minuten}$$

$$ZUG = [-20 \text{ Minuten}] + 4,875 = -15,125 \text{ Minuten}$$

Ergebnis:

Das 13.57 Uhr Hochwasser in Dover tritt bereits um 13.42 Uhr in Folkestone ein.

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water	Low Water	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS		
89	Dover.....	0000	0600	0100	0700	6.8	5.3	2.1	0.8
		and 1200	and 1800	and 1300	and 1900				
88	Folkestone.....	-0020	-0005	-0010	-0010	+0.4	+0.4	0.0	-0.1

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 14.01.2005

14	0127	6.8
	0909	0.7
F	1357	6.5
	2127	1.0

Formel für Höhenunterschiede eines Hochwassers:

$$HUG_{HW} = HUG_{MHWN} + (HUG_{MHWS} - HUG_{MHWN}) \times \frac{HWH - MHWN}{MHWS - MHWN}$$

HWH = Höhe des Hochwassers am Bezugsort = 6,5m

MHWS = Mittlere Hochwasserhöhe zu Springzeit (Mean High Water Spring) als Referenzwert am Bezugsort = 6,8m

MHWN = Mittlere Hochwasserhöhe zu Nippzeit (Mean High Water Neap) als Referenzwert am Bezugsort = 5,3m

HUG_{MHWN} = Höhenunterschied am Anschlußort für MHWN = + 0,4m

HUG_{MHWS} = Höhenunterschied am Anschlußort für MHWS = + 0,4m

$$HUG_{HW} = HUG_{MHWN} + (HUG_{MHWS} - HUG_{MHWN}) \times \frac{HWH - MHWN}{MHWS - MHWN}$$

$$HUG_{HW} = [+ 0,4m] + ([+ 0,4m] - [+ 0,4m]) \times \frac{6,5m - 5,3m}{6,8m - 5,3m}$$

$$HUG_{HW} = [+ 0,4m] + (0m) \times \frac{1,2m}{1,5m} = + 0,4m$$

Ergebnis:

Das Hochwasser in Dover (6,5m) wird in Folkestone mit 6,9m eintreten.

Tip: Sind die beiden Unterschiedswerte (HUGs) gleich, somit der Klammerausdruck Null, wird dann die Rechnung durch die Multiplikation mit Null abgekürzt.

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water	Low Water	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS		
89	Dover.....	0000 and 1200	0600 and 1800	0100 and 1300	0700 and 1900	6.8	5.3	2.1	0.8
88	Folkestone.....	-0020	-0005	-0010	-0010	+0.4	+0.4	0.0	-0.1

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

Abb.: Gezeitengrundwerte für Dover am 14.01.2005

14	0127	6.8
	0909	0.7
F	1357	6.5
	2127	1.0

Formel für Höhenunterschiede eines Niedrigwassers:

$$HUG_{LW} = HUG_{MLWN} + (HUG_{MLWS} - HUG_{MLWN}) \times \frac{LWH - MLWN}{MLWS - MLWN}$$

LWH = Höhe des Niedrigwassers am Bezugsort = 1,0m

MLWS = Mittlere Niedrigwasserhöhe zu Springzeit (Mean Low Water Spring) als Referenzwert am Bezugsort = 0,8m

MLWN = Mittlere Niedrigwasserhöhe zu Nippzeit (Mean Low Water Neap) als Referenzwert am Bezugsort = 2,1m

HUG_{MLWN} = Höhenunterschied am Anschlußort für MLWN = 0,0m

HUG_{MLWS} = Höhenunterschied am Anschlußort für MLWS = -0,1m

$$HUG_{LW} = HUG_{MLWN} + (HUG_{MLWS} - HUG_{MLWN}) \times \frac{LWH - MLWN}{MLWS - MLWN}$$

$$HUG_{LW} = [0,0m] + ([-0,1m] - [0,0m]) \times \frac{1,0m - 2,1m}{0,8m - 2,1m}$$

$$HUG_{LW} = [0,0m] + ([-0,1m]) \times \frac{-1,1m}{-1,3m} = -0,085m \approx -0,1m$$

Ergebnis:

Das Abendniedrigwasser in Dover (1,0m) wird in Folkestone 0,9m hoch eintreten.

Der Vergleich der beiden Methoden (6.1 graphisch und 6.2 mathematisch) zeigt, daß annähernd gleiche Ergebnisse herauskommen. Die Ergebnisse der mathematischen Methode sind gelegentlich etwas genauer.

Für die Praxis kommt es meist jedoch nicht auf eine auf Zentimeter genaue Höhenangabe bzw. auf Minuten genaue Zeitangabe an. Besser scheint es nach verhältnismäßig kurzer Wertebetrachtung in den Gezeitenunterlagen zu einem hinreichend genauen Ergebnis zu kommen.

Für die Prüfung zum SSS und SHS wird in der Regel eine Lösungstoleranz von ± 10 Minuten bei Zeiten und ± 10 Zentimeter bei Höhenangaben gewährt. Dies ist meist auch mit der graphischen Methode oder sogar durch „scharfen Blick“ auf die Zahlen durch Schätzen zu erreichen.

9. Jahreszeitliche Schwankungen (Seasonal Changes)

Die Gezeitengrundwerte beruhen auf vorausgerechneten und beobachteten astronomischen und hydrologischen Einwirkungen. Einer der astronomischen Einflüsse ist die Entfernungsschwankung zwischen Erde und Sonne auf Grund der elliptischen Bahn der Erde um die Sonne im Laufe eines Jahres. Diese jahreszeitlichen Schwankungen werden im englischen als *Seasonal Changes (SC)* bezeichnet.

Diese saisonalen Einflüsse sind in den kalendarisch aufgeführten Gezeitengrundwerten der Bezugsorte für das gesamte Jahr bereits eingerechnet.

Sollen jedoch diese Gezeitengrundwerte der Bezugsorte für die Bestimmung von Höhenunterschieden zu Anschlußorten herangezogen werden, so müssen diese zusätzlichen bereits eingerechneten saisonalen Einflüsse erst wieder aus den Basiswerten herausgerechnet werden, damit die reinen Ursprungswerte wieder nutzbar werden. Nur so können die Prinzipien der HUG-Bestimmung mit den Tabellen *Time and Height Differences* angewendet werden.

Die saisonalen Einflüsse sind als Auflistung unterhalb der Tabellen für *Time and Height Differences* nach Nummern der Bezugs- und Anschlußorte sortiert aufgeführt und immer für den 1. des jeweiligen Monats angegeben.

Wird ein Tagesdatum ab der Mitte eines Monats (z.B. der 20. May für den Ort: 1602) gebraucht, muss somit schon der Folgemonat (hier: Juni) ausgelesen werden.

SEASONAL CHANGES IN MEAN LEVEL										
No	Jan 1	Feb 1	Mar 1	Apr 1	May 1	June 1	July 1	Aug 1	Sep 1	Oct 1
1540 - 1571	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1581b - 1602	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	+0.1	+0.1

Abb.: Auszug aus *Time and Height Differences*

An einem Beispiel wird das vollständige Vorgehen zur Bestimmung der Gezeitenhöhe eines Anschlußortes veranschaulicht.

Beispiel:

Wie hoch tritt das Abendhochwasser am Anschlußort Barfleur (No 1599) am 22. März 2005 ein?

Abb.: Gezeitengrundwerte für Cherbourg am 22.03.2005

22	0126	2.5
	0658	5.2
TU	1348	2.1
	1927	5.3

Lösungsweg:

Bezugsort für Barfleur ist Cherbourg (No 1600). Für beide Orte gelten saisonalen Einflüssen. Das Abendhochwasser tritt in Cherbourg um 19.27 Uhr MEZ mit 5,3m ein.

Bevor der Höhenunterschied für das Hochwasser bestimmt werden kann, müssen die saisonalen Einflüsse aus dem Hochwasserwert von Cherbourg entfernt werden.

Die SC für No. 1599 und 1600 für den 1. April (näher am 22.03.) lauten: -0,1m.

SEASONAL CHANGES IN MEAN LEVEL										
No	Jan 1	Feb 1	Mar 1	Apr 1	May 1	June 1	July 1	Aug 1	Sep 1	Oct 1
1540 - 1571	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1581b - 1602	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	+0.1	+0.1

Abb.: Auszug aus *Seasonal Changes in Time and Height Differences*

Gezeitengrundwert des Hochwassers von Cherbourg von saisonalen Einflüssen bereinigen:

	Höhe am Bezugsort	StP	5,3m
-	Saisonale Einflüsse Bezugsort	- SC _{StP}	- (-0,1m)
=	Eingangshöhe für HUG-Bestimmung	= StP _{corrected}	5,4m

Beachte: Minus x Minus = Plus

Nun liegt der von den saisonalen Einflüssen bereinigte Gezeitengrundwert des Bezugsortes vor. Die bereinigte Hochwasserhöhe (StP_{corrected}) von Cherbourg beträgt 5,4m.

Gezeitenberechnungen mit A.T.T.

Mit dieser bereinigten Höhe des Bezugsortes ($StP_{corrected}$) wird nun der Höhenunterschied (HUG) für den Anschlußort wie bereits erlernt bestimmt.

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water		Low Water		MHWS	MHWN	MLWN	MLWS
1600	CHERBOURG..	0300	1000	0400	1000	6.4	5.0	2.5	1.1
		and 1500	and 2200	and 1600	and 2200				
1599	Barfleur.....	+0110	+0055	+0052	+0052	+0.1	+0.3	0.0	0.0

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

Berechnung des Höhenunterschiedes (HUG) zwischen Bezugs- und Anschlußort:

$$HUG_{HW} = HUG_{MHWN} + (HUG_{MHWS} - HUG_{MHWN}) \times \frac{HWH - MHWN}{MHWS - MHWN}$$

$$HUG_{HW} = [+0,3m] + ([+0,1m] - [+0,3m]) \times \frac{5,4m - 5,0m}{6,4m - 5,0m}$$

$$HUG_{HW} = [+0,3m] + (-0,2m) \times \frac{0,4m}{1,4m} = +0,2m$$

Der Höhenunterschied für das Hochwasser beträgt also +0,2m.

Mit diesem HUG_{HW} kann die obige Tabelle erweitert werden:

=	Eingangshöhe für HUG-Bestimmung	=	$StP_{corrected}$	5,4m
+	Höhenunterschied HW	+	HUG_{HW}	+ (+0,2m)
=	Höhe am Anschlußort ohne SC	=	$SecP_{uncorrected}$	5,6m

Abschließend werden die saisonalen Einflüsse des Anschlußortes (SC_{SecP}) eingebracht:

=	Höhe am Anschlußort ohne SC	=	$SecP_{uncorrected}$	5,6m
+	Saisonale Änderung Anschlußort	+	SC_{SecP}	+ (-0,1m)
=	Höhe am Anschlußort	=	$SecP$	5,5m

Die vollständige Tabelle, also die Zusammenstellung der drei oben dargestellten Einzeltabellen, sieht wie folgt aus:

	Höhe am Bezugsort		StP	5,3m
-	Saisonale Änderung Bezugsort	-	SC _{StP}	- (-0,1m)
=	Eingangshöhe für HUG-Bestimmung	=	StP _{corrected}	5,4m
+	Höhenunterschied HW	+	HUG _{HW}	+ (+0,2m)
=	Höhe am Anschlußort ohne SC	=	SecP _{uncorrected}	5,6m
+	Saisonale Änderung Anschlußort	+	SC _{SecP}	+ (-0,1m)
=	Höhe am Anschlußort	=	SecP	5,5m

Diese Tabelle beinhaltet nun die kalendarischen Ausgangswerte vom Bezugsort, die Entfernung der dortigen saisonalen Einflüsse, die Berechnung der HUG, das Einbringen der saisonalen Einflüsse am Anschlußort bis zum Ergebnis, der Höhe am Anschlußort.

Ergebnis:

Die tatsächliche vorausberechnete Hochwasserhöhe am Abend des 22. März 2005 beträgt in Barfleur somit 5,5m.

Anmerkung:

Die saisonalen Einflüsse des Bezugsortes (-0,1m) und des Anschlußortes (-0,1m) sind hier nur zufällig gleich groß.

Gern wird bei gleichen saisonalen Einflüssen für Bezugs- und Anschlußort der Gedanke gemacht, doch gleich beide „gegeneinander aufzuheben“ und weg zu lassen. Dies geht leider nicht, denn so funktionieren die Bestimmungen der HUGs mit den dann falschen Eingangswerten nicht. *Höhe StP: 5,3m statt Höhe StP_{corrected}: 5,4m*

Anmerkung:

Auch in diesem Beispiel wird deutlich, daß auch ohne die exakte Berechnung mit der Formel für HUG_{HW} durch die „Methode des genauen Hinsehens“ ein ähnlich brauchbares Ergebnis erzielt werden hätte.

Mit dem um saisonale Änderung bereinigten Eingangswert 5,4m in die Tabelle der Zeit- und Höhendifferenzen wäre ein sehr ähnliches Ergebnis ermittelt worden:

No.	Place	Time Differences				Height Differences			
		High Water		Low Water		MHWS	MHWN	MLWN	MLWS
1600	CHERBOURG..	0300	1000	0400	1000	6.4	5.0	2.5	1.1
		and 1500	and 2200	and 1600	and 2200				
1599	Barfleur.....	+0110	+0055	+0052	+0052	+0.1	+0.3	0.0	0.0

Abb.: Auszug aus den *TIME and HEIGHT DIFFERENCES*

5,4m liegen im rechten Drittel zwischen MHWS 6,4m und MHWN 5,0m. Somit ergäbe sich für HUG_{HW} überschlägig ebenfalls +0,2m.

Tip: Oft hilft zuerst die Ausgangswerte anzusehen und zu überschlagen, ob eine genauere Berechnung mit Formeln überhaupt sinnvoll ist.

10. Gezeitenströmungen – Tabelle in Seekarte

Eine sehr praktikable Methode Gezeitenströmungen direkt in Seekarten anzuzeigen, ist die Abbildung mit Strömungsreferenzpunkten. Diese werden durch einen Kennbuchstaben innerhalb einer Raute (in englischer Literatur meist als „diamond“ bezeichnet) dargestellt. Zum Beispiel:



Innerhalb einer Seekarte werden an sinnvollen Positionen derartige Referenzpunkte mit fortlaufender Buchstabierung platziert. Am Rand der Seekarte befindet sich eine Tabelle in der für diese Referenzpunkte die Strömungsinformationen im Stundenraster aufgeführt sind.

Tidal Streams referred to HW at DOVER														
Hours	Geographical Position		A 50°12,5'N 4°05,3'W			B 49°48,7'N 4°01,3'W			C 49°16,8'N 3°58,1'W			D 50°06,4'N 3°19,3'W		
			6	Direction of streams (degreed) Rates at spring tides (knots) Rates of neap tides (knots)	- 6	095	0.9	0.5	081	1.2	0.6	075	2.0	1.1
5	- 5	103	1.0		0.5	079	1.1	0.6	073	1.3	0.7	041	1.3	0.6
4	- 4	118	0.7		0.3	057	0.6	0.3	066	0.5	0.3	048	1.5	0.7
3	- 3	143	0.4		0.2	069	0.2	0.1	254	0.3	0.1	051	1.5	0.7
2	- 2	240	0.1		0.1	244	0.4	0.2	243	1.1	0.6	046	1.0	0.5
1	- 1	270	0.4		0.2	256	0.8	0.4	250	1.8	1.0	057	0.3	0.1
High Water	0	268	0.7		0.3	258	1.1	0.6	240	2.0	1.1	225	0.6	0.3
1	+ 1	271	0.8		0.4	259	1.1	0.6	252	1.6	0.8	222	1.3	0.6
2	+ 2	285	0.8		0.4	254	0.8	0.4	260	0.7	0.4	224	1.7	0.8
3	+ 3	310	0.8		0.4	257	0.4	0.2	355	0.1	0.1	222	1.6	0.8
4	+ 4	333	0.3		0.2	082	0.2	0.1	067	1.0	0.5	229	1.3	0.6
5	+ 5	073	0.6		0.3	076	1.0	0.5	073	2.0	1.1	279	0.2	0.1
6	+ 6	091	0.8		0.4	079	1.2	0.6	077	2.2	1.2	033	0.5	0.3

Abb.: Strömungstabelle in Seekarte

Hinter jedem Referenzpunkt sind seine geografischen Koordinaten aufgeführt. Darunter folgen in 13 Zeilen für die jeweiligen Stromstunden von sechs Stunden vor Hochwasser über Hochwasser bis sechs Stunden jeweils drei Werte. Der erste Wert gibt die Strömungsrichtung in Grad an. Der zweite Wert ist die Stromstärke zu Springzeit, der dritte die Stromstärke zu Nippzeit in Knoten. Die Stromstärke zur Mittzeit muß manuell selbst aus

Gezeitenberechnungen mit A.T.T.

Spring und Nipp gemittelt werden. Unabhängig von ihrer Lage innerhalb der Seekarte beziehen sich alle Angaben auf die Hochwasseruhrzeit eines einzigen festgelegten Bezugshochwassers. In der Beispieltabelle beziehen sich alle Zeiten auf das Hochwasser in Dover. Somit genügt für die gesamte Tabelle und somit für die gesamte Seekarte ein Tidenkalender für den einen Bezugsort.

Beispiel:

Stromrichtung und -stärke für **B** für 4 Stunden vor Hochwasser Dover zu Springzeit:
Ergebnis: 057° mit 0,6 Knoten

Beispiel:

Stromrichtung und -stärke für **C** für 1 Stunden nach Hochwasser Dover zu Mittzeit:
Ergebnis: 252° mit $(1,6 + 0,8) : 2 = 1,2$ Knoten

Mit konkreten Terminen aus Datum und Uhrzeit stellt es sich wie folgt dar:

Beispiel:

Stromrichtung und -stärke für **A** für
den 12.03.2005 um 10.35 Uhr UTC?

Abb.: Gezeitengrundwerte
für Dover am 12.03.2005

12	0011	7.0
	0753	0.3
SA	1235	6.8
	2005	0.5

Ergebnis:

Alter der Gezeit am 12.03.2005 laut ATT: Springzeit

10.35 Uhr ist zwei Stunden vor HW 12.35 Uhr = 2h before HW

Strom: 240° mit 0,1 Knoten.

Beispiel:

Stromrichtung und -stärke für **D** für
den 14.01.2005 gegen 17.00 Uhr

Abb.: Gezeitengrundwerte
für Dover am 14.01.2005

14	0127	6.8
	0909	0.7
F	1357	6.5
	2127	1.0

Ergebnis:

Alter der Gezeit laut ATT: Nachmittags ist schon Mittzeit

17.00 Uhr ist drei Stunden nach HW 13.57 Uhr = 3h after HW

Strom: 222° mit $(1,6 + 0,8) : 2 = 1,2$ Knoten.

11. Gezeitenströmungen – Gezeitenstrom-Atlanten

Eine weitere Darstellungsart der Stromrichtung und –stärke sind die Gezeitenstrom-karten aus den Gezeitstromatlanten. Dabei werden für ein Seegebiet, das in Übersichtskarten skizziert ist, Strömungen durch Pfeile abgebildet. Jedes Seegebiet wird in 13 Stromstundenkarten, jeweils für eine Stromstunde von 6 Stunden vor Hochwasser, über Hochwasser bis 6 Stunden nach Hochwasser mit der entsprechenden Strömungssituation dargestellt.

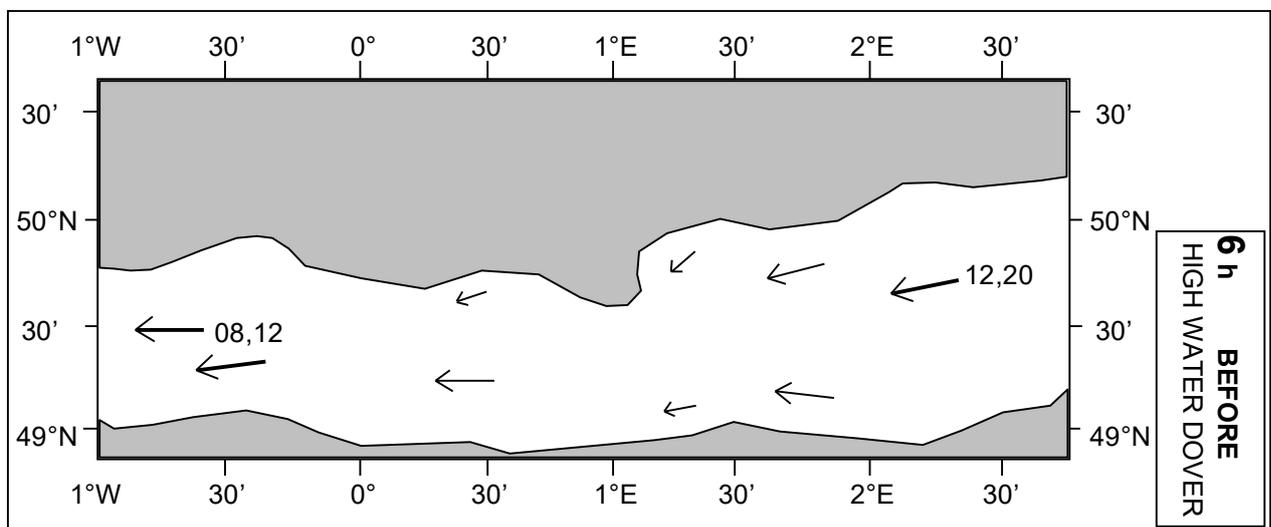


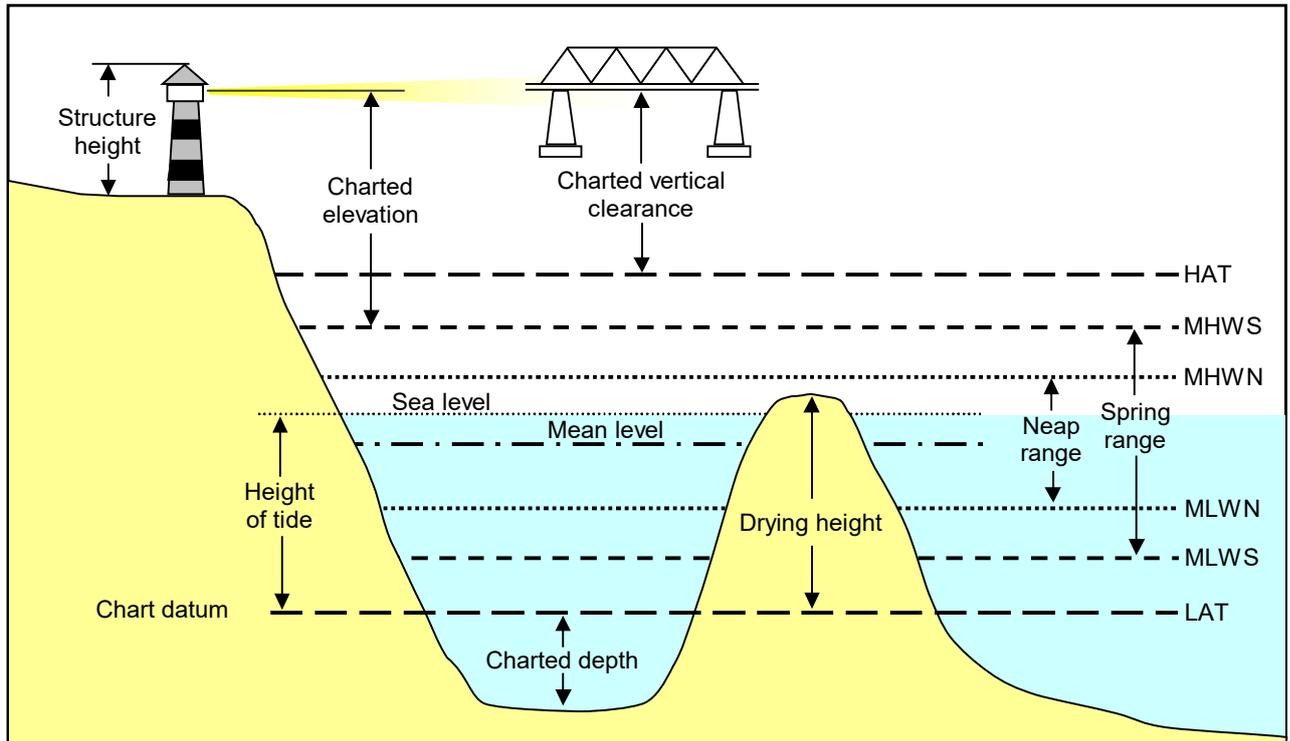
Abb.: Gezeitenstromkarte

Die Größe und Stärke der Pfeile lassen auf die aktuelle Stromstärke schließen. Die Stromrichtung kann mit dem Kursdreieck an den Pfeilen ermittelt werden.

Nicht an sämtlichen Pfeilen stehen Werte für die Stromstärke. Ist eine Angabe vorhanden, ist diese in einer besonderen Form vermerkt. So bedeutet „12,20“, daß an der Position an der das Komma positioniert ist, der Strömungswert gilt.

„12,20“ bedeutet eine Stromstärke von 1,2 Knoten bei Nippzeit und eine Stromstärke von 2,0 Knoten bei Springzeit. Das Komma in der Seekarte ist also ein Trennzeichen zwischen zwei Werten bei denen das eigentliche Dezimaltrennzeichen weggelassen ist.

Anhang A: Höhen- und Tiefenangaben in Seekarte sowie Gezeitenhöhen



Perspektivische Ansicht



Seekartenausschnitt

Abkürzung	englische Bezeichnung	deutsche Bedeutung
	Chart datum	Kartennull = Bezugsebene für Tiefen-/Höhenangaben
	Drying height	Höhe über Kartennull, bei bestimmten Wasserständen trocken fallend, z.B.: 4,8m
	Charted depth	Kartentiefe, diese Wassertiefe wird (mind.) erreicht
	Charted elevation	Leuchfeuerhöhe über MHWS, z.B.: 16m
	Structure height	Gebäudehöhe über Erdboden (länderabhängige Definition)
	Charted vertical clearance	Durchfahrtshöhe bei HAT
	Mean level	mittlerer Wasserstand
H	Sea level	tatsächlicher aktueller Wasserstand / Tidenhöhe
HAT / LAT	highest / lowest astronomical tide	höchst- oder niedrigst möglicher Wasserstand nach astronomischen Berechnungen (ohne Wettereinflüsse)
MHWS / MLWS	mean high / low water spring	mittleres Hoch- / Niedrigwasser zu Springzeit
MHWN / MLWN	mean high / low water neap	mittleres Hoch- / Niedrigwasser zu Nippzeit

Definitionen

Anhang B: Übersetzungen

Englisch	Deutsch
chart datum	Kartennull
charted depth	Kartentiefe
height	Höhe
high water	Hochwasser
intermediate	gemittelt
low water	Niedrigwasser
mean	mittleres
mean level	mittlere Wasserstand
neap	Nipp
negligible	vernachlässigbar
predicted	vorhergesagt
seasonal changes	saisonale Änderungen
secondary port	Anschlußort
spring	Spring
standard port	Bezugsort

Anhang C: Abkürzungen

A.T.T.	engl.	Admiralty Tide Tables
BST	engl.	British Summer Time
GMT	engl.	Greenwich Mean Time
HAT	engl.	Highest Astronomical Tide = höchste mögliche Hochwasser
HUG	deu.	Höhenunterschied der Gezeit zwischen Bezugs- und Anschlußort
HW	engl.	High Water
Lat	engl.	Latitude = Breitengrad
LAT	engl.	Lowest Astronomical Tide = niedrigste mögliche Niedrigwasser
Lon(g)	engl.	Longitude = Längengrad
LW	engl.	Low Water
MHWN	engl.	Mean Highwater Height Neap
MHWS	engl.	Mean Highwater Height Spring
MLWN	engl.	Mean Lowwater Height Neap
MLWS	engl.	Mean Lowwater Height Spring
UT	engl.	Universal Time
Zone	engl.	Zeitzone
ZUG	deu.	Zeitunterschied der Gezeit zwischen Bezugs- und Anschlußort

Anhang D: Formblätter

Die drei folgenden Formblätter sind für die Zusammenstellung aller notwendigen Gezeitenwerte für die vollständige Berechnung sowohl in der Praxis als auch in der Prüfung ausgelegt.

Das erste Formblatt ist für die praxisnahe Interpolationsmethode mit der graphischen Dreiecksmethode zur Bestimmung der ZUG und HUG-Werte gedacht.

Das zweite Formblatt ist mit Millimeterpapier für die zweite graphische Interpolationsmethode.

Das dritte Formblatt ist für die rein rechnerische Methode zur Bestimmung der ZUG- und HUG-Werte.

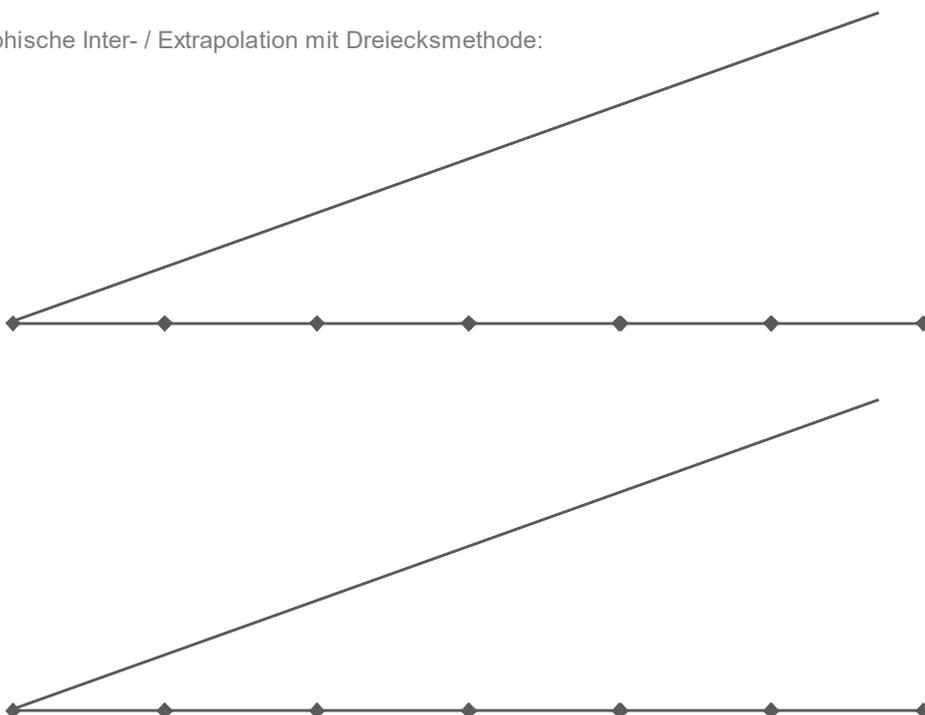
Formblatt ATT-Berechnung

Aufgabe:		Name:	
Standard Port: <i>StP</i>		No:	Seite Begleitheft:
Secondary Port: <i>SecP</i>		No:	Seite Begleitheft:
für Datum:	. .	Neu/Vollmond:	. .
Zeitart am Standard Port:	<i>UTC / MEZ / MESZ</i>	Springversp.:	<i>Spring occur __ days after new / full moon</i>
Zeitart der Aufgabe:	<i>UTC / MEZ / MESZ</i>	AdG:	<i>Spring / Mitt / Nipp</i>

Gezeitenbasiswerte:

	LW		HW		LW	
	Zeit	Höhe	Zeit	Höhe	Zeit	Höhe
StP	<i>T</i>	<i>H_{StP}</i> <i>m</i>	<i>T</i>	<i>H_{StP}</i> <i>m</i>	<i>T</i>	<i>H_{StP}</i> <i>m</i>
- SC_{StP}	-	<i>SC_{StP}</i> <i>m</i>	-	<i>SC_{StP}</i> <i>m</i>	-	<i>SC_{StP}</i> <i>m</i>
= StP_{corrected}	=	<i>H_{StP'}</i> <i>m</i>	=	<i>H_{StP'}</i> <i>m</i>	=	<i>H_{StP'}</i> <i>m</i>
+ Z / HUG	<i>ZUG</i>	<i>HUG</i> <i>m</i>	<i>ZUG</i>	<i>HUG</i> <i>m</i>	<i>ZUG</i>	<i>HUG</i> <i>m</i>
+ SC_{SecP}	+	<i>SC_{SecP}</i> <i>m</i>	+	<i>SC_{SecP}</i> <i>m</i>	+	<i>SC_{SecP}</i> <i>m</i>
= SecP	⊕	<i>m</i>	⊕	<i>m</i>	⊕	<i>m</i>

Platz für graphische Inter- / Extrapolation mit Dreiecksmethode:

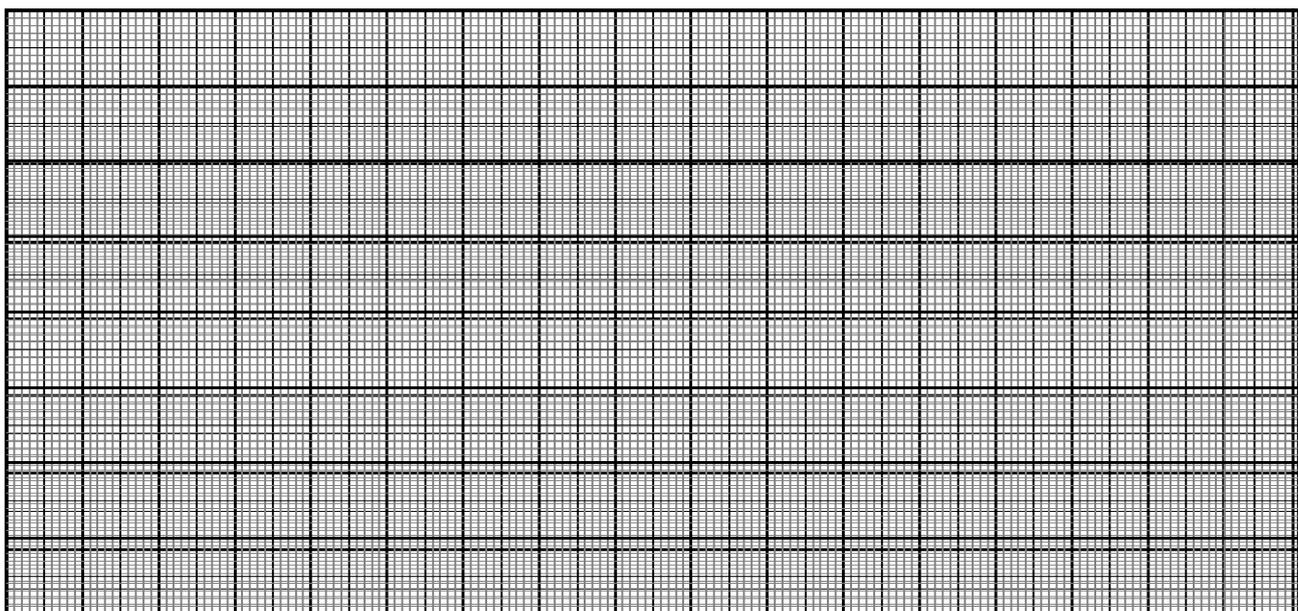


Formblatt ATT-Berechnung

Aufgabe:		Name:	
Standard Port: <i>StP</i>		No:	Seite Begleitheft:
Secondary Port: <i>SecP</i>		No:	Seite Begleitheft:
für Datum:	. .	Neu/Vollmond:	. .
Zeitart am Standard Port:	<i>UTC / MEZ / MESZ</i>	Springersp.: Spring occur ___ days after new / full moon	
Zeitart der Aufgabe:	<i>UTC / MEZ / MESZ</i>	AdG:	<i>Spring / Mitt / Nipp</i>

Gezeitenbasiswerte:

	LW		HW		LW	
	Zeit	Höhe	Zeit	Höhe	Zeit	Höhe
StP	<i>T</i>	<i>H_{StP}</i> <small>m</small>	<i>T</i>	<i>H_{StP}</i> <small>m</small>	<i>T</i>	<i>H_{StP}</i> <small>m</small>
- SC_{StP}	-	<i>SC_{StP}</i> <small>m</small>	-	<i>SC_{StP}</i> <small>m</small>	-	<i>SC_{StP}</i> <small>m</small>
= StP_{corrected}	=	<i>H_{StP'}</i> <small>m</small>	=	<i>H_{StP'}</i> <small>m</small>	=	<i>H_{StP'}</i> <small>m</small>
+ Z / HUG	<i>ZUG</i>	<i>HUG</i> <small>m</small>	<i>ZUG</i>	<i>HUG</i> <small>m</small>	<i>ZUG</i>	<i>HUG</i> <small>m</small>
+ SC_{SecP}	+	<i>SC_{SecP}</i> <small>m</small>	+	<i>SC_{SecP}</i> <small>m</small>	+	<i>SC_{SecP}</i> <small>m</small>
= SecP	⊕	<small>m</small>	⊕	<small>m</small>	⊕	<small>m</small>



Millimeterpapier für HUG / ZUG Inter-/Extrapolation

Formblatt ATT-Berechnung

Aufgabe:		Name:	
Standard Port: <i>StP</i>		No:	Seite Begleitheft:
Secondary Port: <i>SecP</i>		No:	Seite Begleitheft:
für Datum:	. .	Neu/Vollmond:	. .
Zeitart am Standard Port:	<i>UTC / MEZ / MESZ</i>	Springersp.: Spring occur ___ days after new / full moon	
Zeitart der Aufgabe:	<i>UTC / MEZ / MESZ</i>	AdG:	<i>Spring / Mitt / Nipp</i>

Gezeitenbasiswerte:

	LW		HW		LW	
	Zeit	Höhe	Zeit	Höhe	Zeit	Höhe
StP	<i>T</i>	<i>H_{StP}</i> <small><i>m</i></small>	<i>T</i>	<i>H_{StP}</i> <small><i>m</i></small>	<i>T</i>	<i>H_{StP}</i> <small><i>m</i></small>
- SC_{StP}	-	<i>SC_{StP}</i> <small><i>m</i></small>	-	<i>SC_{StP}</i> <small><i>m</i></small>	-	<i>SC_{StP}</i> <small><i>m</i></small>
= StP_{corrected}	=	<i>H_{StP'}</i> <small><i>m</i></small>	=	<i>H_{StP'}</i> <small><i>m</i></small>	=	<i>H_{StP'}</i> <small><i>m</i></small>
+ Z HUG	<i>ZUG</i>	<i>HUG</i> <small><i>m</i></small>	<i>ZUG</i>	<i>HUG</i> <small><i>m</i></small>	<i>ZUG</i>	<i>HUG</i> <small><i>m</i></small>
+ SC_{SecP}	+	<i>SC_{SecP}</i> <small><i>m</i></small>	+	<i>SC_{SecP}</i> <small><i>m</i></small>	+	<i>SC_{SecP}</i> <small><i>m</i></small>
= SecP	⊕	<small><i>m</i></small>	⊕	<small><i>m</i></small>	⊕	<small><i>m</i></small>

Eingangswerte für die Formeln:

<i>T</i>	<i>H</i>	
<i>T₁</i>	<i>H_M</i>	
<i>T₂</i>	<i>H_M</i>	
<i>ZUG₁</i>	<i>HUG_M</i>	
<i>ZUG₂</i>	<i>HUG_M</i>	
<i>ZUG</i>	<i>HUG</i>	