



## Ketten, Leinen, Wassertiefen

Ankern mit Mathematik: Faustformeln zum Thema Ankern gibt es eben soviel wie Lehrbücher. Harald Melwisch hat untersucht, welche Kräfte tatsächlich auf das Ankergeschirr einwirken und wie diese wirksam aufgefangen werden können.

Als Verbindung von Schiff und Anker dienen Ketten, Leinen, Gurte und Kombinationen von Ketten und Leinen. Die Kette ist weit verbreitet, da sie widerstandsfähig gegen Schamfilen ist und sich als „Schüttgut“ meistens gut in Kettenkasten stauen lässt. Leinen sind elastisch und lassen sich – vor allem auf kleinen Booten ohne Ankerwinde – leichter handhaben. Auf kleinen und mittelgroßen Yachten findet man oft eine Kombination von Leine und Kette, bei der die Haltekraft des Geschirrs gegenüber der reinen Leinentrosse größer sein soll. Entscheiden ist in al-

len Fällen, das Trossenlänge und Wassertief sehr gut aufeinander abgestimmt sind, um das Gesamtsystem Schiff-Kette-Anker zu optimieren.

Diese Abstimmung erfolgt in der Regel auf der Basis Schätzungsvermögens und der Erfahrung des Skippers. Lehrbücher und Ausbildung widmen diesem Thema relativ wenig Raum, obwohl die Sicherheit von Schiff und Besatzung davon abhängt. Bei Axel Bark „Segelführerschein BR“ steht zum Beispiel nur, dass für Leinen die fünffache und für Ketten die dreifache Wassertiefe zu

setzen ist. Der Amerikaner Don Casey (boatus.com) schreibt, dass Ketten nur halb so viel Länge brauchen wie Leinen. Earl Hinz „The complete book of Anchoring and Mooring“ meint, dass das Kettengewicht gleich dem Ankergewicht sein sollte.

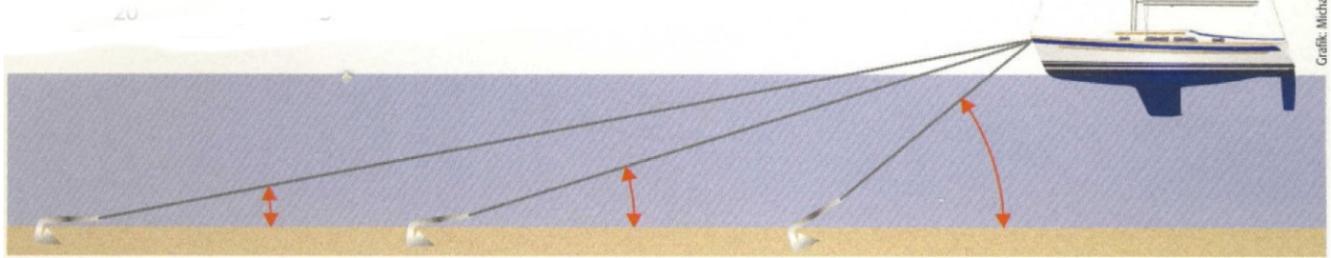
Bei diesen völlig unterschiedlichen Regeln wird meist auch nicht erklärt, warum das denn so sein soll. Je mehr Informationen man sich holt, desto größer wird die Verwirrung. Was stimmt jetzt wirklich? Um das herauszufinden, werden wir der Sache mit ein wenig Physik und Mathe-

Leinenlänge Wassertiefe	Abhebewinkel in Grad
2	30
3	20
4	15
5	12
6	10
8	7
10	6
15	4
20	3

Der Abhebewinkel hängt direkt vom Verhältnis der Leinenlänge zur Wassertiefe

Tabelle 1: verdeutlicht den Abhebewinkel des Ankerschafts.

Ein Beispiel: Die Ziffer 4 in der ersten Spalte steht für die vierfache Leinenlänge im Verhältnis zur Wassertiefe. Bei diesem Verhältnis wird der Ankerschaft um 15 Grad angehoben. Erst bei sechsfacher Leinenlänge ergibt sich der "sichere" Abhebewinkel von 10 Grad.



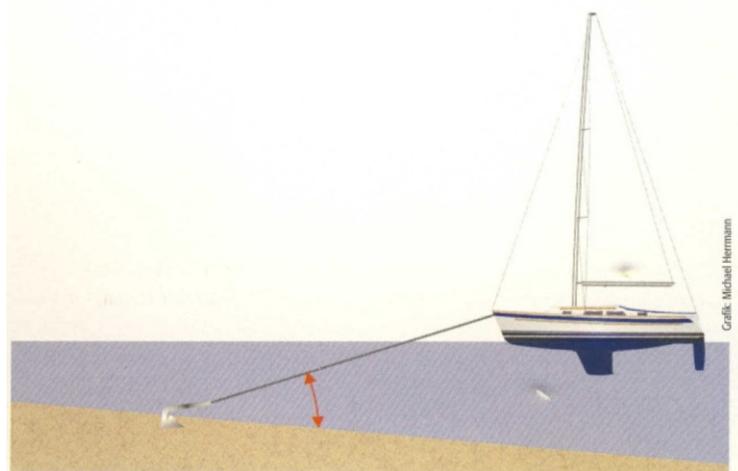
matik angehen und versuchen, damit herauszufinden, wie die Länge der Kette beziehungsweise der Leine im Verhältnis zur Wassertiefe abzustimmen ist.

## Belastungsarten

Zunächst müssen wir von zwei grundsätzlich unterschiedlichen Lastfällen ausgehen, nämlich der statischen und der dynamischen Belastung. Eine statische Belastung liegt vor, wenn die Kraft, die das Schiff auf die Ankerleine oder die Kette ausübt, weitgehend konstant ist und an den Anker weitergegeben wird. Bei der dynamischen Belastung hingegen entsteht die Kraft auf den Anker durch Abbremsen der in Bewegung geratenen Schiffsmasse. Diese beiden Fälle erfordern unterschiedliche Überlegungen bei der Wahl der Leine oder Kette.

## „Statisches Ankern“ mit Leine

Bei konstanter Belastung ist die Dimensionierung einer Leine einfach.



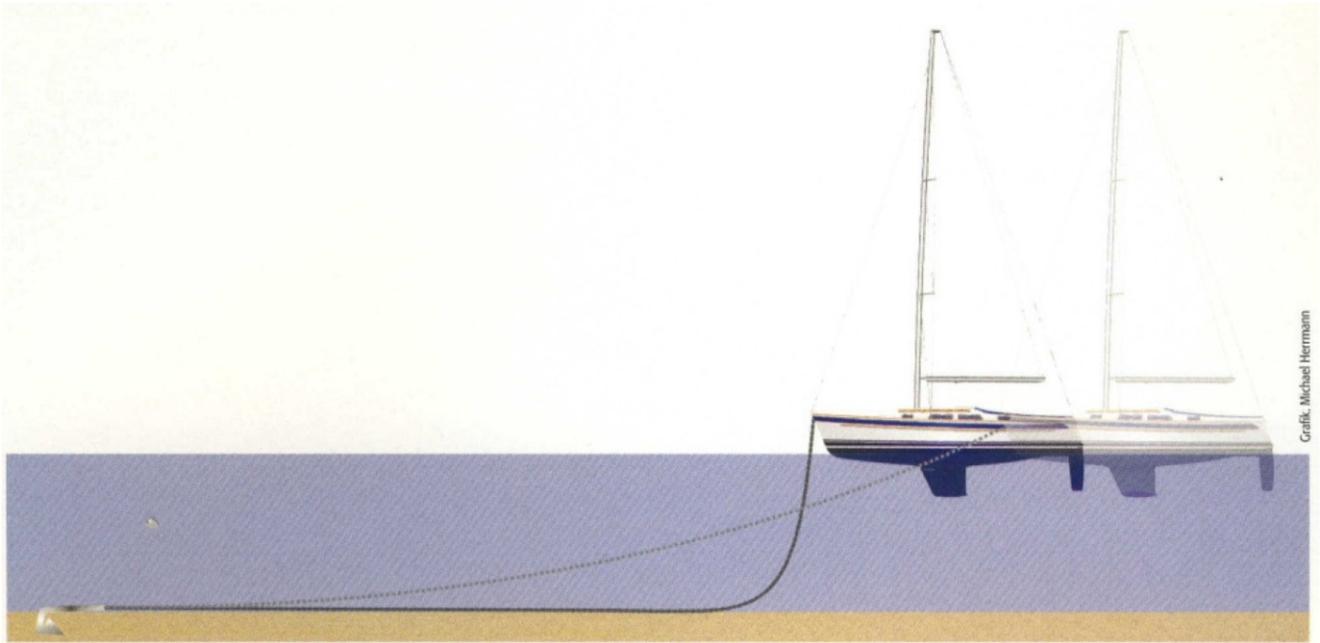
Ist der Ankergrund geneigt, zum Beispiel in Ufernähe, verschlechtert sich das Verhältnis weiter.

Die maximale Zugkraft durch das Schiff sollte die zulässige Gebrauchslast der Leine, meistens etwa 20 Prozent der Bruchlast, nicht übersteigen. Bei typischen Polyester Leinen genügt beispielsweise für Kräfte bis 5.000 Newton eine Leine mit 12 Millimeter Durchmesser, bis 9.000 Newton 10 und bis 14.000 Newton eine mit 20 Millimeter Durchmesser.

Hersteller und Händler geben oft nur die Bruchlast an – wie hoch die zulässige Gebrauchslast ist, steht dann

bestenfalls irgendwo ganz hinten im Katalog.

Die erforderliche Länge der Ankerleine wird in diesem Fall nur dadurch bestimmt, dass sie je nach dem Verhältnis Länge zu Wassertiefe den Ankerschaft abhebt und somit die Haltekraft des Ankers verringert. Die Tabelle 1 zeigt den Abhebewinkel in Abhängigkeit vom Verhältnis Leinenlänge zu Wassertiefe. Will man von der manchmal ohnehin marginalen Haltekraft des Ankers nichts verlieren, dann ist es besser, mit der



Ohne Belastung liegt der größte Teil der Ankerkette auf dem Grund; mit zunehmender Belastung bildet sich die sogenannte "Kettenlinie".

Länge über der 20fachen Wassertiefe zu bleiben. Bei 10 Grad Abhebewinkel verlieren viele Anker schon 30 Prozent ihrer Haltekraft. Dies entspricht einem Verhältnis 1:6, also sechsfache Wassertiefe. Es ist nicht anzuraten, diese Grenze zu überschreiten. Man sollte auch bedenken, dass der

Anker gegen Überbelastung oder verändertem Zugwinkel – zum Beispiel durch eine Winddrehung – ausreißen kann. Dann sollte die Möglichkeit bestehen, dass er sich sofort wieder eingräbt, was mit angehobenem Ankerschaft schlecht gelingt. Die Abbildung zeigt, dass die Neigung des Ankergrundes nicht ver-

nachlässigt werden darf. In Lehrbüchern wird meist nur von horizontalen Verhältnissen ausgegangen, was aber gerade in Ufernähe häufig nicht der Fall ist. Bei einem um 10 Grad geneigten Ankergrund wäre der Grenzfall schon viel früher erreicht.

Wassertiefe m	Kettenlänge für 8-Millimeter-Kette (m)						
	20	30	40	50	60	80	100
	Horizontalkraft (daN) <sup>1)</sup>						
2	119	267	479	749	1.079	1.919	2.999
3	78	178	318	498	718	1.278	1998
4	58	133	238	373	538	958	1.498
5	45	105	189	297	429	765	1.197
6	36	86	156	246	356	636	996
8	25	63	115	183	265	475	745
10	18	48	90	144	210	378	594
15	7	27	55	91	135	247	391
20	0	15	36	63	96	180	288

1) daN = 10 Newton, circa 1 kp

Tabelle 2: Zum Abheben der Kette erforderliche Horizontalkraft für eine 8-Millimeter-Kette.

Wassertiefe m	Kettenlänge für 10-Millimeter-Kette (m)						
	20	30	40	50	60	80	100
	Horizontalkraft (daN) <sup>1)</sup>						
2	194	439	784	1.223	1.762	3.134	4.898
3	128	291	520	814	1.173	2.088	3.264
4	94	217	388	609	878	1.564	2.446
5	74	172	309	485	701	1.250	1.955
6	59	141	255	402	582	1.039	1.627
8	41	102	188	298	433	776	1.217
10	29	78	147	235	343	617	970
15	11	44	90	149	221	403	639
20	0	25	59	103	157	294	470

1) daN = 10 Newton, circa 1 kp

Tabelle 3: Zum Abheben der Kette erforderliche Horizontalkraft für eine 10-Millimeter-Kette.

## „Statisches Ankern“ mit Kette

Eine Kette hat zwei wichtige Eigenschaften, die von der Belastung und der Länge abhängig sind: Erstens hat die Kette eine federnde Wirkung, die imstande ist, Bewegungen der Schiffsmasse durch Abbremsen zu mildern. Zweitens belastet die Kette den Anker in horizontaler Richtung, in der er seine beste Haltekraft hat. Wegen ihres Gewichtes bildet die Kette keine geradlinige Verbindung zwischen Schiff und Ankerschaft, sondern hängt in Form einer „Kettenlinie“ durch. Übt das Schiff keine Kraft auf die Kette aus, dann liegt ein Teil der Kette auf Grund. Mit zunehmender Zugbelastung hebt sich immer mehr Kette vom Grund, bei abnehmender Belastung zieht diese das Schiff wieder zurück. So entsteht

die angenehme federnde Wirkung der Ankerkette, welche zu ruhigeren Bewegungen des Schiffs führt.

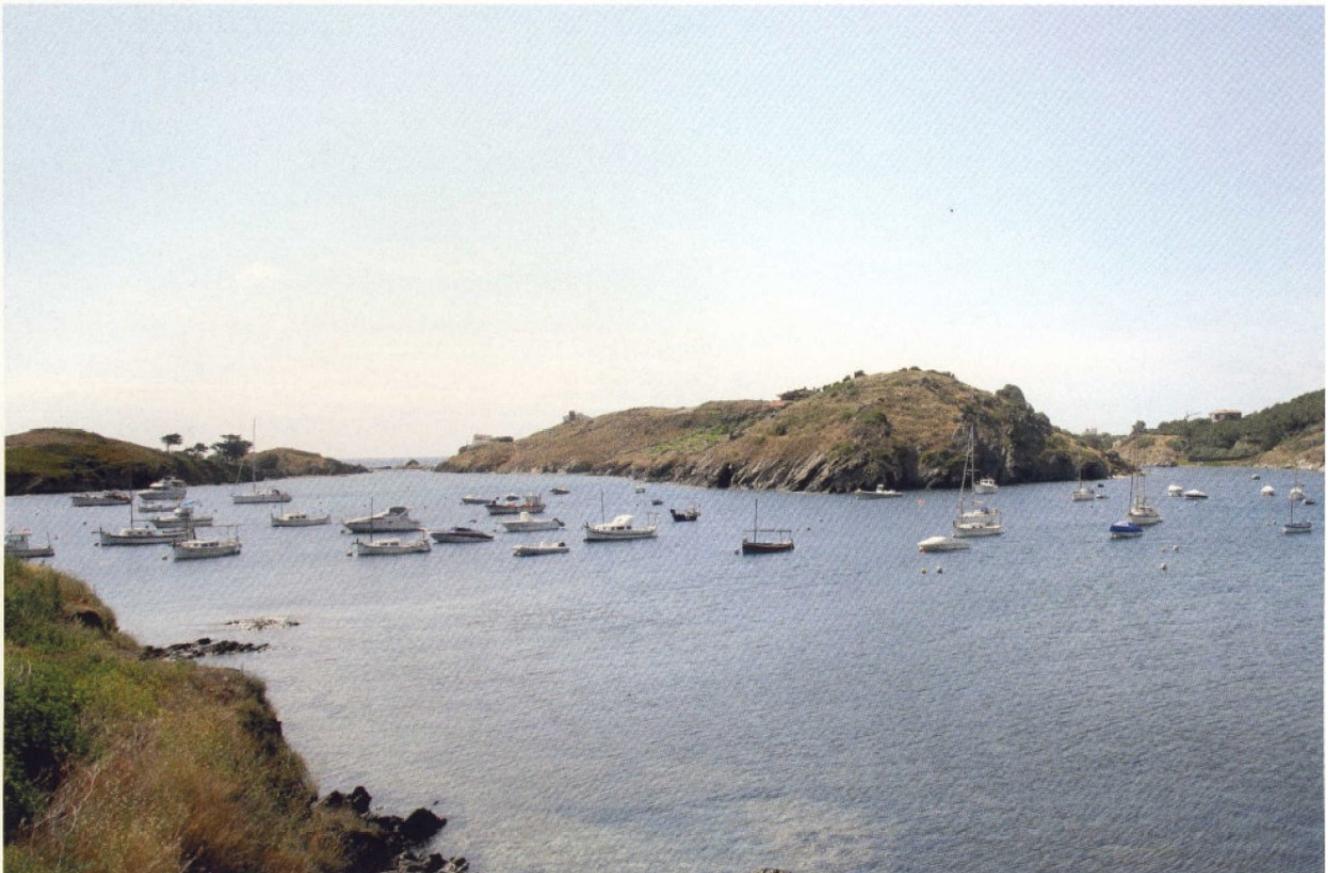
Diese federnde Wirkung ist aber nicht nur angenehm, sondern manchmal lebenswichtig. Wenn die Masse eines Schiffes auch nur mit geringer Geschwindigkeit in das Ankergeschirr fällt, können Zugkräfte entstehen, die den Anker sofort ausreißen – doch davon später mehr.

Die Kette vor dem Ankerschaft liegt normalerweise auf Grund und gibt nur horizontale Kräfte an den Anker weiter. Dadurch bietet er seine bestmögliche Haltekraft und hat gute Chancen, sich weiter, oder nach einem Ausbrechen durch Wind- oder Strom, sich wieder einzugraben. Moderne Anker sind so konzipiert, dass sie sich nicht durch ihr Eigengewicht eingraben, sondern durch ihre Form.

Dafür ist eine horizontale Kraft die beste Unterstützung.

## Grenzzustände beim Ankern mit Kette

Der beschriebene Vorgang hat eine deutliche Grenze: Wenn die Zugbelastung durch das Schiff so groß wird, dass die gesamte Kette vom Grund abhebt, dann ist das Ende ihrer positiven Eigenschaften beinahe erreicht. Bei weiterer Zugbelastung kann die Kette nur mehr mit ihrem eigenen Durchhang federn und wird dadurch so steif, dass dynamische Kräfte den Anker stark belasten. Gleichzeitig beginnt die Kette, den Ankerschaft anzuheben, im Falle von „Steifkommen“ genauso stark, wie dies eine Leine schon viel früher tut.



Die Länge der zu steckenden Kette ist nicht immer realisierbar. Auf beliebten Ankerplätzen tummeln sich die Ankerlieger oft sehr dicht. Wer hier seinen Schwoienkreis nicht einschätzen kann, läuft Gefahr zu kollidieren.

Diejenige Zugbelastung, bei der die gesamte Kette vom Grund abgehoben ist, nennt man „kritische Belastung“. Sie ist abhängig vom Kettengewicht pro Meter, von der Wassertiefe und von der Kettenlänge (das Gesamtkettengewicht ist kein direktes Maß für die „kritische Belastung“).

Die Kettenlänge sollte daher mindestens so gewählt werden, dass die zu erwartende maximale Zugbelastung die kritische Belastung nicht übersteigt. Dabei sind Wassertiefe und Kettengewicht pro Meter Kettenlänge die zu beachtenden Parameter. Das Kettengewicht pro Meter und die Wassertiefe kennen wir, die zu erwartende Zugbelastung müssen wir lernen abzuschätzen.

Ein Beispiel: Die Ankerkette hat unter Wasser ein Gewicht von circa 2 Kilogramm pro Meter, der Ankergrund ist sechs Meter tief und es werden bis zu 400 Dekanewton Zugbelastung durch das Schiff erwartet. Es sollten daher mindestens 50 Meter Kette gesteckt werden, da unter diesen Umständen die Kette bei 402 Dekanewton Zugbelastung voll anhebt.

Die Tabellen 2 und 3 geben an, bei welchen Zugbelastungen abhängig von der Wassertiefe und der Kettenlänge die Kette voll vom Grund abzuheben beginnt.

Tabelle 2 zeigt die Zugbelastungen für 8-Millimeter-Ketten. Diese Ketten haben ein "Netto"-Gewicht, also ein Gewicht im Wasser von circa 1,2 Kilogramm pro Meter. Tabelle 3 zeigt dasselbe für 10-Millimeter-Ketten, Nettogewicht circa zwei Kilogramm pro Meter. Unter "Wassertiefe" ist hier der senkrechte Abstand zwischen Bug und Grund gemeint, also Wassertiefe plus Schiffshöhe.

Sind die Wassertiefe und die Maximal zu erwartende Zugbelastung be-

kannt, kann die nötige Kettenlänge oben abgelesen werden. Bei einer 8-Millimeter-Kette, 5 Meter Tiefe und 300 Dekanewton maximaler Zugbelastung sind das beispielweise 50 Meter. Ankert man bereits auf 5 Meter Wassertiefe mit 50 Meter Kette, dann kann man ablesen, dass nur 300 Dekanewton Belastung erlaubt sind, bevor die "kritische Belastung" erreicht wird. Überschreitet die Zugbelastung die "kritische Belastung" dann wird, so wie bei Leinen, der Ankerschaft angehoben. Ist dann die Kettenlänge kürzer als die sechsfache Wassertiefe, wird der Winkel von 10 Grad überschritten.

In den Tabellen 2 und 3 sind die Felder im linken unteren Bereich, welche eine Kettenlänge von weniger als sechsfache Wassertiefe ergeben, blau gekennzeichnet. In diesen Bereichen muss man damit rechnen, dass im Überlastungsfall der Winkel von 10 Grad für das Ankerschaftabheben überschritten wird.

Im rechten oberen Bereich sind diejenigen Felder rot, bei welchen die Abhebekraft größer ist als die zulässige Gebrauchslast der Kette. Die dazugehörigen Kettenlängen können natürlich gesteckt werden, aber sie sollten dann nicht bis zum vollen Abheben ausgenutzt werden. Es wurde mit Gebrauchslasten von 40 Prozent der Bruchlasten gerechnet, das sind für 8-Millimeter-Ketten circa 1.000, für 10-Millimeter-Ketten circa 1.600 Dekanewton.

Folgende Schlussfolgerungen sind aus den beiden Tabellen 2 und 3 zu ziehen:

1. Zur Bestimmung der erforderlichen Kettenlänge ist es nötig, die maximal zu erwartende Zugbelastung am Anker zu kennen. Dies ist natürlich schwer zu bestimmen, aber die Frage: "Wie viel Kette muss ich stecken?" ist nicht zu beantworten,

wenn diese Abschätzung nicht erfolgt ist. Jeder verantwortungsvolle Skipper sollte das Einwirken von Wind und Strömungskräften auf sein Schiff abschätzen lernen.

2. Für die doppelte Wassertiefe ist nicht die doppelte Kettenlänge nötig. Bei 10 Meter Wassertiefe erhöht sich für die gleiche Abhebekraft die nötige Kettenlänge nur auf 70 Meter gegenüber 50 Meter bei 5 Meter Wassertiefe. Angaben von Kettenlänge als Vielfaches der Wassertiefe (Lehrmeinung) sind für eine Ankerkette nicht zutreffend.

3. Bei hohen Zugbelastungen von mehreren 100 bis über 1.000 Dekanewton, wie sie bei ungünstigen Verhältnissen möglich sind, benötigt man sehr lange Ketten und den dazu nötigen Schwoiraum.

4. Der Gewinn an maximal zulässiger Zugkraft bei Verwendung dickerer Ketten ist linear zur Erhöhung des Kettengewichtes, bei 10-Millimeter-Ketten gegenüber 8-Millimeter-Ketten also circa 1,6-mal.

5. Die erforderliche Kettenlänge wird bei Verwendung dickerer Ketten bei gleicher Belastung aber nicht im selben Maße kleiner, sondern um einen kleineren Faktor (etwa der Quadratwurzel aus dem obigen Verhältnis).

### Dynamisches Ankern

Die Berechnungen in den Tabellen 2 und 3 gehen davon aus, dass der Wind und das Wasser konstante Kräfte auf das Schiff ausüben. Dies ist aber in der Praxis nicht der Fall, Windböen und Wellen setzen das Schiff in Bewegung, es schwoit und bewegt sich hin und her. Jede Bewegung des Schiffes muss letzten Endes vom Ankergeschirr wieder gestoppt werden. Physikalisch bedeutet das: Die Bewegungsenergie

muss von Ankergeschirr aufgenommen werden.

### Welche Bewegungsenergie steckt in einem Boot?

Die Energie, die beim Abstoppen des Schiffes aufgenommen werden muss, wird linear größer mit der Masse (dem Gewicht) des Schiffes und quadratisch größer mit der Geschwindigkeit, die das Schiff erreicht hat.

Tabelle 4 zeigt die Werte für ein Schiff, da von Wind und Wellen in verschiedene Geschwindigkeiten von 0,2 bis 2 Meter je Sekunde versetzt wurde.

Die Energie wird in Joule angegeben, was identisch ist mit Wattsekunden (1.000 Wattsekunden ist die Energie, die erforderlich ist, damit eine Bohrmaschine mit 100

nen eine Fähre vorbeifährt und in eine Bewegung von einem Meter je Sekunde versetzt wird, dann hat sie 5.000 Wattsekunden aufgenommen, die vom Ankergeschirr aufgefangen werden müssen.

Aus Tabelle 4 kann man auch auf andere Gewichtsklassen schließen: Für leichtere Schiffe mit einer Verdrängung von fünf Tonnen sind die Werte mit 0,5 zu multiplizieren, für 15-Tonner mit 1,5. Dabei ist die Tonnage eher aufzurunden - nicht nur, weil natürlich Beladung und volle Tanks mitgerechnet werden müssen, sondern weil auch das Wasser, das vor dem Schiff in Bewegung ist, teilweise abgestoppt werden muss.

### Welche Bewegungsenergie kann das Ankergeschirr aufnehmen?

Die Aufnahme der Bewegungsenergie geschieht durch Federwirkung: Das Ankergeschirr federt zurück und baut dabei eine stetig ansteigende Kraft auf, die der Anker zusätzlich aufnehmen muss. Ein und die selbe Energie kann entweder über einen langen Weg mit einer kleinen Endkraft aufgenommen werden oder bei steifer Feder mit einem kurzen Weg und mit einer großen Endkraft. Ersteres ist für den Anker natürlich angenehmer. Da Anker und Ankerwinde keine Federwirkung haben, bleibt die Arbeit bei der Leine oder der Kette hängen.

### Leinen: Dynamisches Ankern

Ankerleinen haben von Natur aus fast lineare Federwirkung. Tabelle 5 zeigt, wie viele Wattsekunden beispielsweise Polyesterleinen mit 10 Prozent Gebrauchslastdehnung bei verschiedenen Durchmessern und Leinenlängen aufnehmen können.

Die Gebrauchslast wurde mit 20 Prozent der Bruchlast angenommen und die Energie ist dann aufgenommen, wenn die Gebrauchslast erreicht ist. Da bei dickeren Leinen die Bruchlast etwa quadratisch mit dem Durchmesser steigt, ist auch die aufgenommene Energie höher, allerdings steigt auch die dabei entstehende Last entsprechend. Längere Leinen ergeben linear größere Energieaufnahmen.

Die Werte zeigen, dass solche Ankerleinen ziemlich viel Energie aufnehmen können. Schon 20 Meter Leine von 14 Millimeter können unseren Zehntonner aus seiner Geschwindigkeit von einem Meter je Sekunde (5.000 Joule) abstoppen, dabei würde am Anker eine Last von knapp 700 Dekanewton entstehen. Eine dickere Leine mit 20 Millimeter Durchmesser kann das schon mit 10 Meter Länge, erzeugt dabei aber aufgrund halber Länge größeren Dicke eine doppelt so hohe Last von 1.400 Dekanewton!

Bei Verwendung von dicken Leinen muss man sich vergewissern, dass die entstehende Last auch der zulässigen Gebrauchslast aller anderen Bestandteile des Ankergeschirrs entspricht, inklusive Klampen, Kettenvorlauf und natürlich Anker.

Vergleicht man dicke und dünne Leinen, dann ergibt sich für dicke Leinen bei gleicher Länge und Energieaufnahme eine dem Durchmesser verhältnis entsprechende größere Endkraft. Also auch 20 Meter der dickeren 20-Millimeter-Leine würde an unserem Zehntonner nicht 700 Dekanewton wie die 14-Millimeter-Leine erzeugen, sondern 1.000. Auch hier muss der Skipper also zunächst schwierige Aufgaben lösen: Er muss erst abschätzen, welche Geschwindigkeit das Schiff durch Wind, Welle und Strom erreichen

Schiffsgeschwindigkeit m/s	Energieinhalt J
0,2	200
0,3	450
0,4	800
0,5	1.250
0,7	2.400
1,0	5.000
1,5	11.250
2,0	20.000

Tabelle 4: Energieinhalte von einer bewegten Masse von 10.000 Kilogramm.

Watt 10 Sekunden lang bohrt). Die Schiffsmasse wurde mit 10.000 Kilogramm angenommen.

Wenn also an einer ankernden Yacht mit einer Verdrängung von 10 Ton-

Durchmesser	Gebrauchslast	Leinenlänge (m)			
		10	20	50	100
mm	daN	Energieaufnahme (J)			
12	500	2.430	4870	12.170	24.340
14	700	3.310	6.630	16.560	33.120
16	900	4.330	8.650	21.630	43.260
20	1.400	6.760	13.520	33.800	67.600
24	2.000	9.730	19.470	48.670	97.340

Tabelle 5: Energieaufnahme bis zur Gebrauchslast der Leine.



Bei Schwoien ändern sich die projizierten Flächen. Besonders Katamarane bieten dem Wind eine erhebliche Angriffsfläche.

Will man sich ein realistisches Bild von den Kräften machen, die durch Wind oder Strom auf das Ankergeschirr wirken, kann man den Strömungswiderstand des Schiffes annähernd nach folgender Formel berechnen:

$$F_w = 0,5 \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$$

$F_w$  ist hier die Kraft in Newton,  $\rho$  die Dichte des Mediums (Luft 1,2 kg/m<sup>3</sup>, Seewasser 1.030 kg/m<sup>3</sup>),  $c_w$  der berühmter Widerstandswert, A die Angriffsfläche in m<sup>2</sup> und v die Strömungsgeschwindigkeit in m/s. Als Widerstandswert kann man bei Anströmen von vorne (Bild links) bei einem Schiff 0,5, bei seitlicher Anströmung (Bild 2. von links) 0,8 bis 1,0 ansetzen.

Ein Beispiel: Gehen wir bei einer 10-Meter-Segelyacht un Frontalanströmung (Yacht liegt im Wind) von einer Fläche von 6,3 m<sup>2</sup> und einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s (5 Bft) aus, erhalten wir als Kraft  $0,5 \cdot 1,2 \cdot 0,5 \cdot 6,3 \cdot 100 = 189 \text{ N}$ . Da die Geschwindigkeit im Quadrat in die Gleichung eingeht, erhöht sich dieser Wert bei einer Verdoppelung der Windgeschwindigkeit um das Vierfache: Bei acht Beaufort müssen dann 756 N vom Ankergeschirr aufgenommen werden.

wird, und dann die passende Leine wählen.

Schätzt er beispielsweise 1,5 Meter je Sekunde Geschwindigkeit und 10 Tonnen an bewegter Masse insgesamt, dann muss er sich für 11.250 Joule absichern.

Laut Tabelle 5 geht das entweder mit

fast 50 Meter Leine von 12 Millimeter Durchmesser und 500 Dekanewton Last, oder aber auch mit 20 Meter Leine von 20 Millimeter. Letzteres geht aber nur, wenn Anker und restliches Ankergeschirr 1.400 Dekanewton Zugkraft vertragen können!

Die erlaubte Endzugkraft am Anker

und Ankergeschirr bestimmt also den Durchmesser der Ankerleine. Wichtig: Tabelle 5 gilt nur für Ankerleinen mit 10 Prozent Gebrauchslastdehnung (nicht Bruchdehnung, die ist viel höher!). Fallen und Schothen sind für wenig Dehnung entwickelt und haben oft weniger als ein Zehntel dieses Wertes.

Daher können sie auch nur ein Zehntel der Energie aufnehmen und sind für diesen Zweck nicht nur ungeeignet, sondern gefährlich: Wenn man ihnen trotzdem dieselbe Energie aufbürdet, dann entstehen viel zu hohe Kräfte, was die Leinen in kurzer Zeit unbrauchbar macht oder anderen Schaden an der Yacht anrichtet.

Beim Kauf von Ankerleinen ist die Dehnungsfähigkeit die wichtigste Eigenschaft. Wie schon erwähnt, geben viele Hersteller und Händler nur die Bruchlast von Leine an. Interessant sind aber in erster Linie die Gebrauchslast und die Dehnung bei Gebrauchslast, sie bestimmt die am Anker entstehende Kraft.

Verglichen mit der hier angenommenen Gebrauchslastdehnung von 10 Prozent können Polyesterleinen je nach Bauart auch 5 oder 15 Prozent Gebrauchslastdehnung haben. Die Energiewerte bis Gebrauchslast sind dann mit 0,5 oder 1,5 zu multiplizieren.

Leinen haben noch eine vorteilhafte Eigenschaft gegenüber Ketten: Müssen sie durch unvorhergesehene Umstände die vierfache Energie aufnehmen, dann dehnen sie sich weiter und die Gebrauchslast wird nur um 100 Prozent überschritten. Danach sollte man sie zwar nicht mehr für wichtige Zwecke verwenden, aber sie nehmen auch diese Energie auf, ohne zu brechen. Anker und Ankergeschirr müssen natürlich in der Lage sein, diese doppelte Last aufzunehmen.

Wassertiefe	Kettenlänge für 8-Millimeter-Kette (m)						
	20	30	40	50	60	80	100
m	Energie bis Abheben (J)						
2	145	221	300	379	458	614	
3	197	315	433	550	667	903	1138
4	242	397	553	709	866	1.179	1.493
5	274	467	661	856	1.052	1.443	1.836
6	294	525	758	992	1.226	1.696	2.166
8	314	619	923	1.235	1.544	2.169	3.188
10	304	668	1.048	1.433	1.820	2.598	3.379
15	170	657	1.199	1.760	2.330	3.485	4.649
20	0	484	1.148	1.864	2.585	4.121	5.658

Tabelle 6: Energieaufnahme bis zum Abheben einer 8-Millimeter-Kette.

Wassertiefe	Kettenlänge für 10-Millimeter-Kette (m)						
	20	30	40	50	60	80	100
m	Energie bis Abheben (J)						
2	227	355	483	612	739		
3	313	504	696	887	1080		
4	380	633	889	1.145	1.400	1.912	
5	434	749	1.065	1.383	1.703	2.343	2.983
6	465	843	1.221	1.603	1.987	2.753	3.521
8	495	984	1.487	1.992	2.502	3.522	4.544
10	468	1.066	1.688	2.315	2.949	4.218	5.495
15	246	1.043	1.932	2.850	3.782	5.659	7.566
20	0	778	1.848	3.014	4.226	6.697	9.203

Tabelle 7: Energieaufnahme bis zum Abheben einer 10-Millimeter-Kette.

### Kette: Dynamisches Ankern

Wie schon eingangs festgestellt, sind Ketten nur so lange vorteilhaft, bis sie vom Grund abgehoben sind. Ab dieser kritischen Belastung verhalten sie sich steif, sodass jede Energie, die bis dahin nicht aufgenommen wurde, plötzlich hohe Kräfte aufbaut. Dies ist das gefürchtete Steifkommen der Kette, das den Anker stark belastet. Interessant ist daher, wie viel Energie die Kette bis zu ihrer kritischen Belastung aufnehmen kann. Die Tabellen 6 und 7 zeigen diese Energie in Wattsekunden, wieder für 8- und 10-Millimeter-Ketten in Abhängigkeit von der Wassertiefe und der Kettenlänge.

Auch in diesen Tabellen erfüllen die blauen Felder links unten nicht das 1:6-Verhältnis für die Kettenlänge, die roten Felder rechts oben überschreiten die Arbeitslast der Ketten bei vollen Erreichen des Joulwertes. Schnell erkennt man, dass die Werte, verglichen mit Ankerleine, relativ klein sind. Wir schaffen es gerade noch, unseren Zehntonner mit einer Geschwindigkeit von einem Meter je Sekunde auf 10 Meter Wassertiefe mit 100 Meter Kette von 10 Millimeter abzustoppen.

Bei Wassertiefen von 5 bis 8 Metern und Kettenlänge von 50 Metern reicht es gerade, um bei einem Zehntonner Geschwindigkeiten von 0,5 Meter je Sekunde (1.250 Joule) abzubremesen. Dies ist eher Schönwetterankern mit mäßigen Windböen und leichtem Wellenschlag. Während die Zugkraft für das Abheben mit zunehmender Wassertiefe abnimmt (Tabelle 2 und 3), erhöht sich die Energie, die vom Geschirr aufgenommen werden kann (Tabellen 6 und 7).

Es ist daher nicht anzuraten, bei dynamischen Lastverhältnissen in kleinen Wassertiefen von bis drei Metern zu ankern. Dieselbe Kettenlänge auf etwas größerer Tiefe erlaubt die Aufnahme größerer Bewegungsenergie (Tabellen 6 und 7) und liefert am Enden kleinere Kräfte am Anker (Tabellen 2 und 3). Zum Verständnis ein Beispiel: Bei konstantem Starkwind ankert unser Zehntonner mit einer 10 Millimeter dicken Kette auf drei Meter Wassertiefe. Reichliche 60 Meter Kette sind gesteckt, was laut Tabelle 3 Belastungen bis 1.173 Dekanewton zulässt. Mehr Winddruck ist für dieses Schiff auch bei dieser Windstärke nicht zu erwarten. 1.173 Dekanewton sind auch noch gut unter der

zulässigen Gebrauchslast der Kette von 1.600 Dekanewton. Der Skipper kann sich sicher fühlen, solange nicht Fallböen oder Schwell aufkommen. Tabelle 7 zeigt, dass nur 1.080 Joule an Bewegungsenergie genügen, um die 1.173 Dekanewton tatsächlich zu erzeugen. Das entspricht nur knapp 0,5 Meter je Sekunde Schiffsbewegung.

Die Kette auf 100 Meter zu fieren verbessert die Lage nicht. Zwar führt das zu einer graduellen Verbesserung des Joule-Wertes, aber um den Preis, dass dann die Zugkraft am Anker die zulässige Gebrauchslast der Kette überschreitet.

Ein verholen des Schiffes auf 10 Meter Wassertiefe bei gleicher Kettenlänge verbessert die Lage eher: Jetzt können 2.949 Joule abgearbeitet werden und diese erzeugen nur 343 Dekanewton am Anker. Aber es können auch nur 343 Dekanewton an statischer Last gehalten werden, und wir sind knapp an dem Verhältnis von 1:6 mit der Kettenlänge. Damit verlieren wir wertvolle Ankerhaltkraft im Überlastfall, gerade dann, wenn statische und dynamische Belastung gleichzeitig angreifen.

Wirklich verbessert wird die Lage, wenn der Skipper jetzt auf 10 Meter Tiefe 100 Meter Kette steckt. Dann dürfen wieder 970 Dekanewton am



Anker entstehen, und es können 5.495 Joule abgearbeitet werden, also eine Schiffsgeschwindigkeit von circa einem Meter je Sekunde. Wenn die Lage noch unruhiger wird, dann sollte der Skipper auf die Technik zurückgreifen, die im Schleppgeschirr von Hochseeschleppern angewendet wird: Dort wird in die Stahltrosse ein Stück Leine eingebaut, das als Federelement wirkt. Ein Stück Ankerleine muss also in die Kette eingebaut, oder einfach die Kette mit Ankerleine verlängert werden. Dicke und Länge der Leine können mittels Tabelle 5 dimensioniert werden.

Wer nur ein Paar Meter vor einer Steinmole ankert, ist gut beraten durch einen Tauchgang den Sitz des Ankers zu prüfen.