

**RICHTLINIE Nr. 2 für die UNTERSUCHUNGSKOMMISSIONEN  
nach § 1.07 RheinSchUO**

**Anforderungen an Mindestgeschwindigkeit, Stoppeigenschaften  
und Rückwärtsfahreigenschaften**

(§§ 5.06, 5.07 und 5.08 i.V.m. §§ 5.02 Nr. 1, 5.03 Nr. 1, 5.04, 16.06)

1. Mindestgeschwindigkeit nach § 5.06

Die Geschwindigkeit gegen Wasser ist ausreichend im Sinne des § 5.06 Nr. 1, wenn sie mindestens 13 km/h beträgt. Dabei müssen, wie bei der Feststellung der Stoppeigenschaften:

- a) die Bedingungen für die Flottwassertiefe nach 2.1 eingehalten werden
- b) Messung, Protokollierung, Aufzeichnung und Auswertung der Versuchsdaten durchgeführt werden.

2. Stoppeigenschaften und Rückwärtsfahreigenschaften nach §§ 5.07 und 5.08

- 2.1 Schiffe und Verbände können rechtzeitig Bug zu Tal anhalten im Sinne des § 5.07 Nr. 1, wenn das Anhalten Bug zu Tal gegen Grund bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 13 km/h gegen Wasser, einer Flottwassertiefe von mindestens 20 % des Tiefgangs, mindestens jedoch 0,50 m, nachgewiesen wird. Dabei sind folgende Grenzwerte einzuhalten:

- a) In strömenden Gewässern (bei Strömungsgeschwindigkeit 1,5 m/s) muß der Stillstand gegen Wasser auf einer Strecke, gemessen gegen Land, von höchstens:

550 m bei Schiffen und Verbänden mit einer

- Länge  $L > 110$  m      oder
- Breite  $B > 11,45$  m

oder

480 m bei Schiffen und Verbänden mit einer

- Länge  $L \leq 110$  m      und
- Breite  $B \leq 11,45$  m

erreicht werden. Das Stopmanöver endet bei Stillstand gegen Land.

- b) In stillen Gewässern (Strömungsgeschwindigkeit kleiner als 0,2 m/s) muß der Stillstand gegen Wasser auf einer Strecke, gemessen gegen Land, von höchstens:

350 m bei Schiffen und Verbänden mit einer

- Länge  $L > 110$  m      oder
- Breite  $B > 11,45$  m

oder

305 m bei Schiffen und Verbänden mit einer

- Länge  $L \leq 110$  m      und
- Breite  $B \leq 11,45$  m

erreicht werden. Außerdem sind in stillen Gewässern zusätzlich die Rückwärtsfahreigenschaften durch einen Rückwärtsfahrversuch nachzuweisen. Dabei muß bei Rückwärtsfahrt eine Geschwindigkeit von mindestens 6,5 km/h erreicht werden.

Messung, Protokollierung und Aufzeichnung von Versuchsdaten nach a) oder b) sind nach dem in Anlage 1 beschriebenen Verfahren durchzuführen.

Während des gesamten Versuchs muß das Schiff oder der Verband ausreichend manövrierfähig bleiben.

- 2.2 Der Beladungszustand beim Versuch soll nach § 5.04 möglichst 70 - 100 % der maximalen Tragfähigkeit betragen. Dieser Beladungszustand ist gemäß Anlage 2 zu bewerten. Hat das Schiff oder der Verband beim Versuch eine geringere Beladung als 70 %, ist die zugelassene Verdrängung für die Talfahrt entsprechend der vorhandenen Beladung festzulegen, sofern die Grenzwerte gemäß 2.1 eingehalten werden.

- 2.3 Entsprechen beim Versuch die tatsächlichen Werte der Anfangsgeschwindigkeit und der Strömungsgeschwindigkeit nicht den in Nummer 2.1 festgelegten Voraussetzungen, sind die erhaltenen Ergebnisse nach dem in Anlage 2 beschriebenen Verfahren zu bewerten.

Die Abweichung von der vorgegebenen Anfangsgeschwindigkeit von 13 km/h darf höchstens  $\pm 1$  km/h betragen, im strömenden Wasser muß die Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1,3 und 2,2 m/s betragen, andernfalls sind die Versuche zu wiederholen.

- 2.4 Die höchste in der Talfahrt zugelassene Verdrängung oder die sich daraus ergebende größte Beladung oder der maximale eingetauchte Querschnitt der Schiffe und Verbände ist auf der Grundlage der Versuche festzulegen und in das Schiffsattest einzutragen.

## MESSUNG, PROTOKOLLIERUNG UND AUFZEICHNUNG VON VERSUCHSDATEN BEIM STOPPMANÖVER

### 1. Stoppmanöver

Die in Kapitel 5 bezeichneten Schiffe und Verbände müssen auf einer Probefahrtstrecke in strömenden oder stillen Gewässern ein Stoppmanöver durchführen um nachzuweisen, daß sie mit Hilfe ihrer Antriebsanlage ohne Benutzung von Ankern Bug zu Tal anhalten können. Das Stoppmanöver ist grundsätzlich nach dem in Bild 1 dargestellten Ablauf durchzuführen. Es beginnt bei der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit - die möglichst genau 13 km/h gegenüber Wasser betragen soll - mit dem Umsteuern von "voraus" auf "rückwärts" (Punkt A beim Kommando "Stopp") und endet beim Erreichen des Stillstandes gegen Land (Punkt E:  $v = 0$  gegen Land oder Punkt D = Punkt E:  $v = 0$  gegen Wasser und gegen Land bei Stoppmanövern in stillen Gewässern).

Bei Stoppmanövern in strömenden Gewässern müssen auch Standort und Zeitpunkt des Erreichens von Stillstand gegen Wasser (Schiff bewegt sich mit Strömungsgeschwindigkeit Punkt D:  $v = 0$  gegen Wasser) festgehalten werden.

Die Meßwerte sind in einem Meßprotokoll entsprechend der Darstellung in Tabelle 1 zu vermerken. Vor der Durchführung des Stoppmanövers sind die geforderten feststehenden Angaben im Kopf des Meßprotokolls aufzunehmen.

Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit ( $v_{STR}$ ) des Gewässers im Bereich des Fahrwassers ist - soweit bekannt - in Abhängigkeit des Pegelstandes oder durch Messung der Bewegung eines Schwimmkörpers festzustellen und im Meßprotokoll zu vermerken.

Grundsätzlich ist auch die Verwendung von geeichten Meßflügeln zur Erfassung der Schiffsgeschwindigkeit gegen Wasser während des Stoppmanövers zulässig, wenn damit der Bewegungsablauf und die Meßdaten im zuvor beschriebenen Sinne erfaßt werden können.

### 2. Aufnahme der Meßwerte und Protokollierung (Tabelle 1)

Zunächst ist die Anfangsgeschwindigkeit gegen Wasser für das Stoppmanöver festzustellen. Dies kann durch Messung der Zeitintervalle zwischen jeweils zwei Landmarken erfolgen. In strömenden Gewässern ist dabei deren mittlere Strömungsgeschwindigkeit zu berücksichtigen.

Das Stoppmanöver beginnt mit dem Kommando "Stop" A beim Passieren einer Landmarke. Das Passieren der Landmarke ist senkrecht zur Längsachse des Schiffes festzustellen und zu protokollieren. Das Passieren aller weiteren Landmarken während des Stoppmanövers ist auf gleiche Weise festzustellen und die jeweilige Landmarke (z. B. Kilometrierung) und der Zeitpunkt des Passierens im Meßprotokoll (Tabelle 1) festzuhalten. Die Aufnahme der Meßwerte soll möglichst im Abstand von 50 m erfolgen.

Der jeweilige Zeitpunkt des Erreichens der Punkte B und C - soweit feststellbar - sowie die Punkte D und E sind zu vermerken und der jeweilige Standort abzuschätzen. Die im Meßprotokoll vorgesehenen Angaben zur Drehzahl müssen nicht aufgenommen werden, sollten aber zum besseren Einstellen der Anfangsgeschwindigkeit festgehalten werden.

### 3. Darstellung des Ablaufs des Stoppmanövers

Der Ablauf des Stoppmanövers gemäß Bild 1 ist im Diagramm darzustellen. Dazu ist zunächst die Weg-Zeit-Kurve unter Verwendung der Daten des Meßprotokolls der Tabelle 1 zu zeichnen, und die Punkte A bis E sind zu kennzeichnen. Anschließend können die Werte der mittleren Geschwindigkeit zwischen jeweils zwei Meßpunkten ermittelt und die Geschwindigkeit-Zeit-Kurve gezeichnet werden.

Das geschieht folgendermaßen (siehe Bild 1):

Durch Bildung des Quotienten einer Wegdifferenz und der dazugehörigen Zeitdifferenz  $\Delta s/\Delta t$  wird die mittlere Schiffsgeschwindigkeit für eben diese Zeitdifferenz ermittelt.

Beispiel:

Für das Zeitintervall von 0 Sekunde bis 10 Sekunden wird die Wegstrecke von 0 m bis 50 m zurückgelegt.

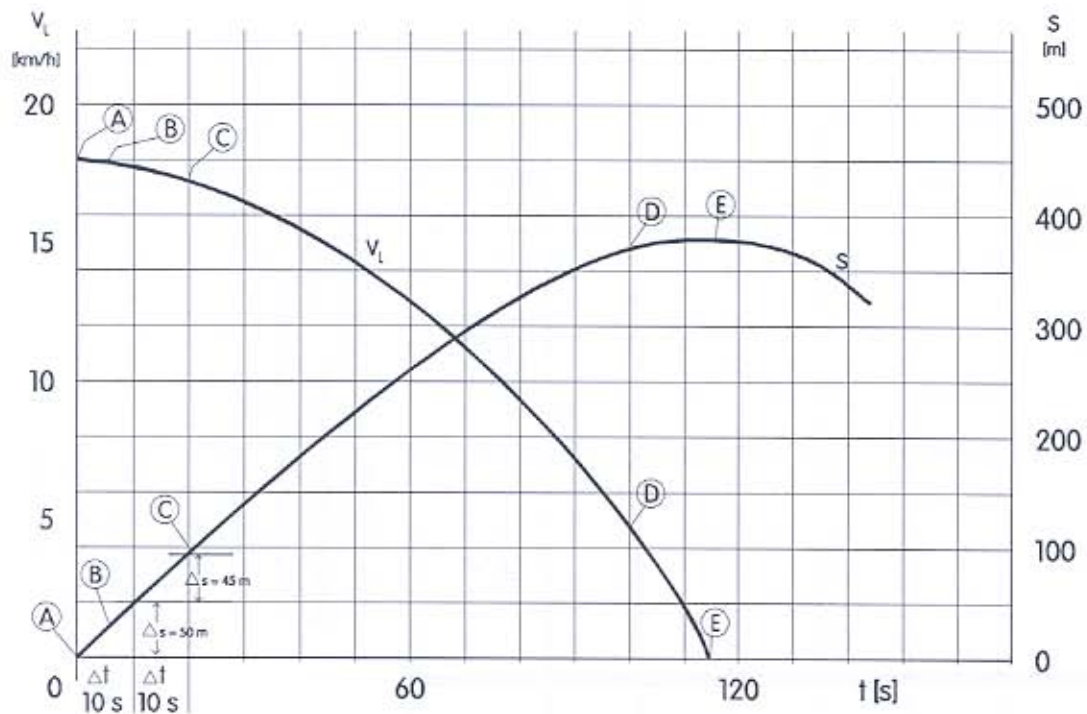
$$\Delta s/\Delta t = 50 \text{ m}/10 \text{ s} = 5,0 \text{ m/s} = 18,0 \text{ km/h}$$

Dieser Wert wird als mittlere Geschwindigkeit über dem Abszissenwert von 5 Sekunden aufgetragen.

Im zweiten Zeitintervall von 10 Sekunden bis 20 Sekunden werden 45 m zurückgelegt.

$$\Delta s/\Delta t = 45 \text{ m}/10 \text{ s} = 4,5 \text{ m/s} = 16,2 \text{ km/h}$$

An der Marke **(D)** steht das Schiff relativ zum Wasser, d. h. die Strömung beträgt ca. 5 km/h.



**Bild 1: Ablauf des Stoppmanövers**

Bezeichnungen in Bild 1:

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| <b>(A)</b> Kommando "Stopp"          | <b>v</b> Schiffsgeschwindigkeit    |
| <b>(B)</b> Propeller steht           | <b>v<sub>L</sub></b> v gegen Land  |
| <b>(C)</b> Propeller dreht rückwärts | <b>s</b> gemessener Weg gegen Land |
| <b>(D)</b> v = 0 gegen Wasser        | <b>t</b> gemessene Zeit            |
| <b>(E)</b> v = 0 gegen Land          |                                    |

Untersuchungs-  
 kommission: .....  
 Datum: .....  
 Name: .....  
 Fahrt Nr.: .....  
 Art des Schiffes  
 oder Verbandes : .....  
 L, B [m] : .....  
 T<sub>Versuch</sub> [m] : .....  
 Beladung : .....  
 (beim Versuch) [t] : .....  
 % der maximalen Tragfähigkeit: .....  
 Motorische Antriebsleistung P<sub>a</sub> [kW]: .....  
 Antriebssystem nach Anlage 2, Tafel 2: .....  
 Strecke : .....  
 Pegel [m]: .....  
 Wassertiefe [m]: .....  
 Gefälle [m/km]: .....  
 v<sub>STR</sub> [km/h]: .....  
 [m/s]: .....  
 Maximale  
 Verdrängung [m<sup>3</sup>]: .....

ORT s [Strom-km]	ZEIT [sek.]	Δs [m]	Δt [sek.]	v <sub>L</sub> [km/h]	DREHZAHL $\overset{n}{n}$ [min <sup>-1</sup> ]	BEMERKUNGEN

Tabelle 1: Meßprotokoll Stoppmanöver

## BEWERTUNG DER ERGEBNISSE DES STOPPMANÖVERS

1. Anhand der aufgenommenen Meßwerte nach Anlage 1 ist die Einhaltung der Grenzwerte festzustellen. Weichen die Bedingungen während des Stoppmanövers wesentlich von den festgelegten Normbedingungen ab oder bestehen Zweifel an der Einhaltung der Grenzwerte, so sind die Meßergebnisse zu bewerten. Hierzu kann das nachfolgend beschriebene Verfahren zur Berechnung von Stoppmanövern angewandt werden.
2. Die theoretischen Stoppwege bei Normbedingungen gemäß Nr. 2.1 der Richtlinie ( $s_{SOLL}$ ) und bei den Bedingungen während des Stoppmanövers ( $s_{IST}$ ) werden berechnet und mit dem gemessenen Stoppweg ( $s_{MESSUNG}$ ) in Beziehung gebracht. Der korrigierte Stoppweg des Stoppmanövers bei Normbedingungen ( $s_{NORM}$ ) ergibt sich wie folgt:

$$2.1 \quad s_{NORM} = s_{MESSUNG} \cdot \frac{s_{SOLL}}{s_{IST}} \leq \text{jeweiliger Grenzwert gemäß Nr. 2.1 a) oder b) der Richtlinie.}$$

Wurde das Stoppmanöver mit einer Beladung von 70-100 % der maximalen Tragfähigkeit nach Nummer 2.2 der Richtlinie durchgeführt, ist für die Ermittlung von  $s_{NORM}$  bei der Berechnung von  $s_{SOLL}$  und von  $s_{IST}$  die Wasserverdrängung ( $D_{SOLL} = D_{IST}$ ) einzusetzen, die der beim Versuch vorhandenen Beladung entspricht.

Ergibt die Ermittlung von  $s_{NORM}$  gemäß Formel 2.1, daß der jeweilige Grenzwert über- oder unterschritten wird, so ist durch Variation von  $D_{SOLL}$  der Wert von  $s_{SOLL}$  soweit zu vermindern oder zu vergrößern, daß der Grenzwert gerade eingehalten wird ( $s_{NORM} = \text{jeweiliger Grenzwert}$ ). Die höchste in der Talfahrt zugelassene Verdrängung ist danach festzulegen.

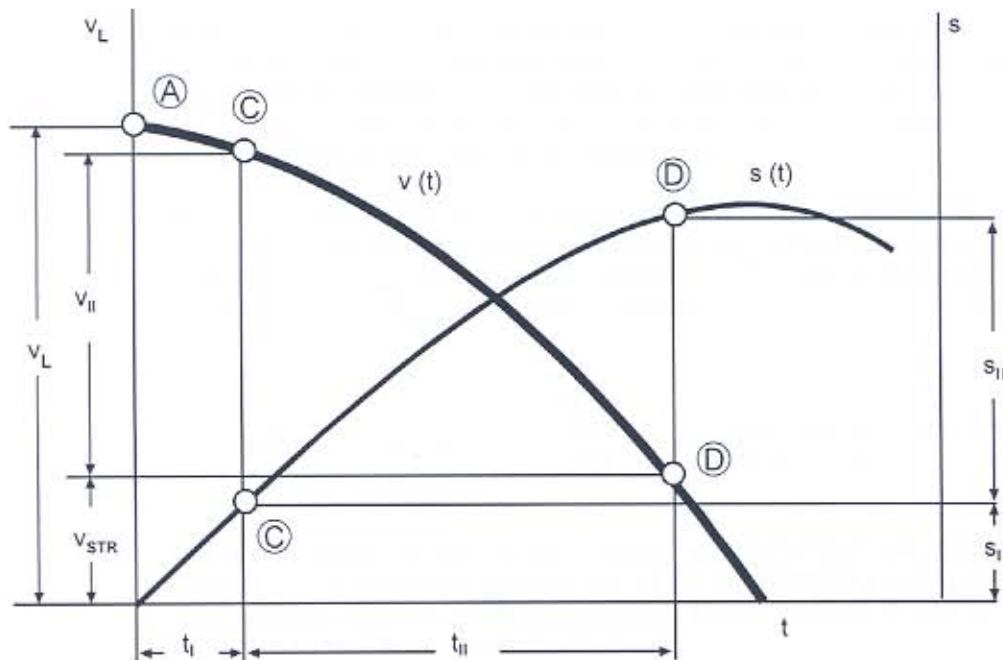
3. Entsprechend der nach Nummer 2.1 Buchstaben a) und b) der Richtlinie festgelegten Grenzwerte sind nur die Stoppwege
  - der Phase I (Umsteuern von "voll voraus" auf "voll rückwärts"):  $s_I$und
  - der Phase II (Ende "Umsteuern" bis "Stillstand relativ zum Wasser"):  $s_{II}$zur berechnen (vgl. Bild 1). Der Gesamtstoppweg ergibt sich dann zu

$$3.1 \quad s_{ges} = s_I + s_{II}$$

4. Die einzelnen Stoppwege werden wie folgt berechnet:

## BERECHNUNG VON STOPPMANÖVERN

Bild 2: SCHAUBILD

Berechnungsformeln:

mit folgenden Koeffizienten

$$4.1 \quad s_I = k_1 \cdot v_L \cdot t_1$$

$$t_1 \leq 20 \text{ s}$$

-  $k_1$  aus Tafel 1

$$4.2 \quad s_{II} = k_2 \cdot v_{II}^2 \cdot \frac{D \cdot g}{k_3 \cdot F_{POR} + R_{TmII} - R_G} \cdot \left( k_4 + \frac{v_{STR}}{v_{II}} \right)$$

-  $k_2, k_3, k_4$  aus Tafel 1

$$4.3 \quad R_{TmII} = (R_T/v^2) \cdot (k_7 \cdot k_6 \cdot (v_L - v_{STR}))^2$$

-  $k_6, k_7$  aus Tafel 1  
-  $R_T/v^2$  aus Tafel 3

$$4.4 \quad R_G = i \cdot D \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6}$$

$$4.5 \quad v_{II} = k_6 \cdot (v_L - v_{STR})$$

-  $k_6$  aus Tafel 1

$$4.6 \quad F_{POR} = f \cdot P_B$$

-  $f$  aus Tafel 2

$$4.7 \quad t_{II} = \frac{s_{II}}{v_{II} \cdot \left( k_4 + \frac{v_{STR}}{v_{II}} \right)}$$

-  $k_4$  aus Tafel 1

in den Formeln 4.1 bis 4.7 bedeuten:

$v_L$	Geschwindigkeit gegen Land bei Beginn des Umsteuerns	(m/s)
$t_I$	Umsteuerzeit	(s)
$v_{II}$	Geschwindigkeit relativ zum Wasser bei Abschluß des Umsteuerns	(m/s)
$D$	Wasserverdrängung	(m <sup>3</sup> )
$F_{POR}$	Pfahlzugkraft rückwärts	(kN)
$P_B$	Motorische Antriebsleistung	(kW)
$R_{TmII}$	mittlerer Widerstand während Phase II	(kN)
$R_G$	Gefällewiderstand	(kN)
$i$	Gefälle (bei fehlender Angabe = 0,16)	(m/km)
$v_{STR}$	mittlere Strömungsgeschwindigkeit	(m/s)
$g$	Erdbeschleunigung (9,81)	(m/s <sup>2</sup> )
$\rho$	Dichte des Wassers, $\rho$ Frischwasser = 1000	(kg/m <sup>3</sup> )
$T$	Tiefgang (des Schiffes oder Verbandes)	(m)
$h$	Wassertiefe	(m)
$B$	Breite	(m)
$L$	Länge	(m)

Die Koeffizienten für die Formeln 4.1, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6 und 4.7 können den folgenden Tafeln entnommen werden:

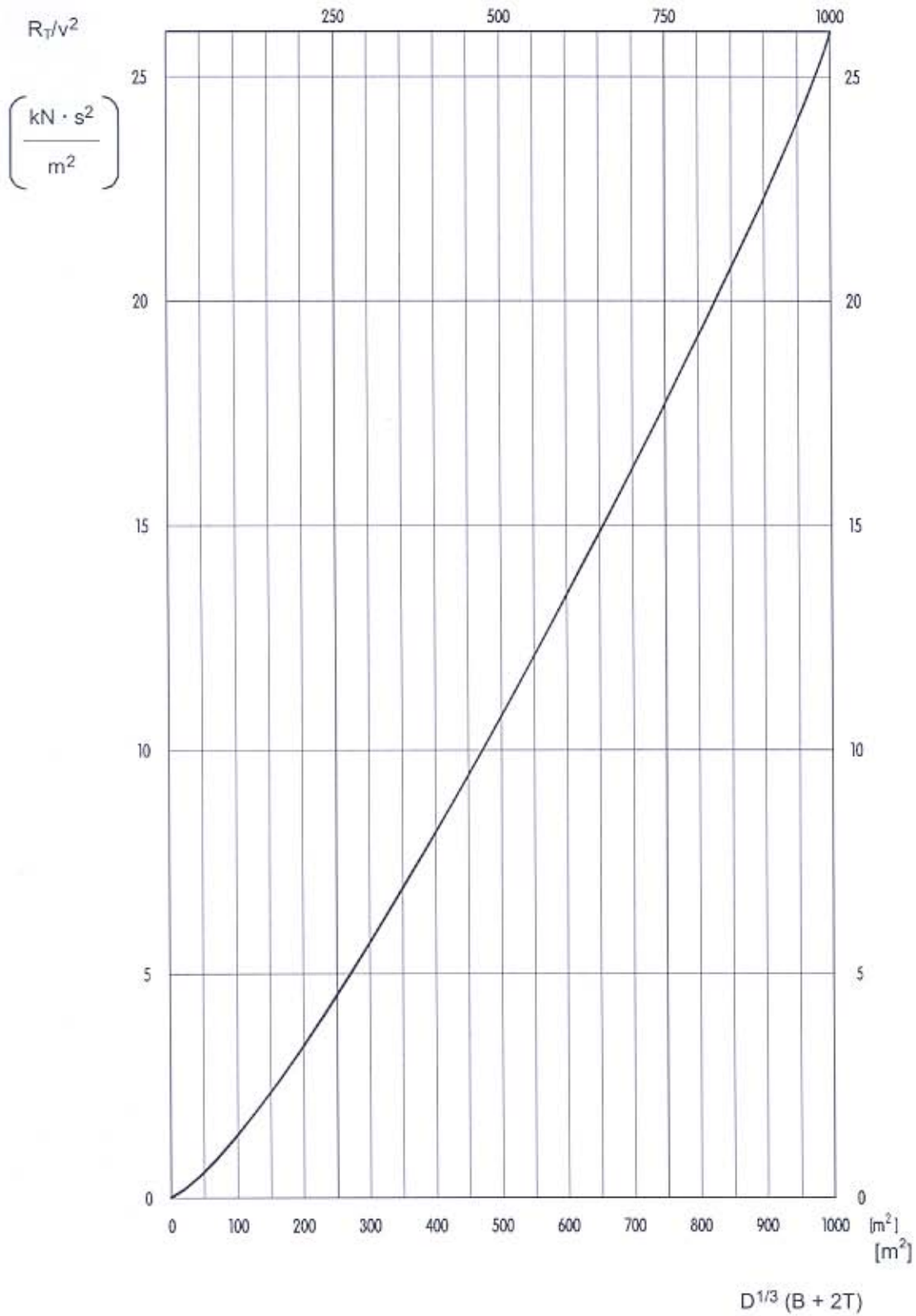
**Tafel 1 : k-Faktoren für**

- a) MOTORSCHIFFE und einspurige SCHIFFSVERBÄNDE
- b) zweispurige SCHIFFSVERBÄNDE
- c) dreispurige SCHIFFSVERBÄNDE

	a)	b)	c)	Dimension
$k_1$	0,95	0,95	0,95	-
$k_2$	0,115	0,120	0,125	$\frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}$
$k_3$	1,20	1,15	1,10	-
$k_4$	0,48	0,48	0,48	-
$k_5$	0,90	0,85	0,80	-
$k_7$	0,58	0,55	0,52	-

**Tafel 2: Koeffizient f für das Verhältnis von Pfahlzugkraft rückwärts zur motorischen Antriebsleistung**

Antriebssystem	f	Dimension
Moderne Düsen mit abgerundeter Hinterkante	0,118	kN/kW
Ältere Düsen mit scharfer Hinterkante	0,112	kN/kW
Propeller ohne Düsen	0,096	kN/kW
Ruderpropeller mit Düsen (üblich: scharfe Hinterkante)	0,157	kN/kW
Ruderpropeller ohne Düsen	0,113	kN/kW

Tafel 3: Diagramm zur Ermittlung von  $R_T/v^2$  in Abhängigkeit von  $D^{1/3} (B + 2T)$ 

**BEISPIELE**  
**ZUR ANWENDUNG DER ANLAGE 2**  
**(BEWERTUNG DER ERGEBNISSE DES STOPPMANÖVERS)**

**BEISPIEL I**

**1. Daten des Verbandes und seiner Fahrzeuge**

Formation: Gütermotorschiff mit einem seitlich gekuppelten Schubleichter (Europa IIa)

	L [m]	B [m]	T <sub>max</sub> [m]	Tgf <sub>max</sub> [t]	D <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> ]	P <sub>B</sub> [kW]
GMS	110	11,4	3,5	2900	3731	1500
SL	76,5	11,4	3,7	2600	2743	-
Verband	110	22,8	3,7	5500	6474	1500

GMS-Antriebssystem: Moderne Düsen mit abgerundeter Hinterkante

\* Tgf = Tragfähigkeit

**2. Meßwerte aus Stoppmanöver**

Strömungsgeschwindigkeit:  $v_{STRIST} = 1,4 \text{ m/s} \approx 5,1 \text{ km/h}$

Schiffsgeschwindigkeit (gegen Wasser):  $v_{SIST} = 3,5 \text{ m/s} \approx 12,5 \text{ km/h}$

Schiffsgeschwindigkeit (gegen Land):  $v_{LIST} = 4,9 \text{ m/s} \approx 17,6 \text{ km/h}$

Umsteuerzeit (gemessen) (Punkt A bis C):  $t_l = 16 \text{ s}$

Stoppweg gegen Wasser (Punkt A bis D):  $s_{MESSUNG} = 340 \text{ m}$

aus Beladungszustand (ggf. Abschätzung):  $D_{IST} = 5179 \text{ m}^3 \approx 0,8 D_{max}$

vorhandener Tiefgang des Verbandes:  $T_{IST} = 2,96 \text{ m} \approx 0,8 T_{max}$

### 3. Grenzwert nach Nummer 2.1 Buchstabe a) oder b) zum Vergleich mit $s_{\text{NORM}}$

Für den Verband muß wegen  $B > 11,45 \text{ m}$  und strömenden Gewässer gemäß Nr. 2.1 Buchstabe a) gelten:

$$s_{\text{NORM}} \leq 550 \text{ m}$$

### 4. Ermittlung des korrigierten Stoppweges bei Normbedingungen

- aus Messung gemäß Anlage 1 (vergl. Punkt 2):

$$s_{\text{MESSUNG}} = 340 \text{ m}$$

- zu berechnen:

$s_{\text{IST}}$  aus der Summe von

$s_{\text{IIST}}$  (nach Formel 4.1 der Anlage 2 mit  $v_{\text{LIST}}$ )

und  $s_{\text{IIIST}}$  (nach den Formeln 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 und 4.6 der Anlage 2 mit  $v_{\text{IIIST}}, v_{\text{STRIST}}, D_{\text{IST}}$ )

$s_{\text{SOLL}}$  aus der Summe von

$s_{\text{ISOLL}}$  (nach den Formel 4.1 der Anlage 2 mit  $v_{\text{LSOLL}}$ )

$s_{\text{IISOLL}}$  (nach den Formeln 4.2 bis 4.6 der Anlage 2 mit den Soll-Geschwindigkeiten nach Nummer 2.1 der Richtlinie sowie, weil die Beladung über 70 % des maximalen Beladungszustandes beträgt ( $\approx 80 \%$ ):

$$D_{\text{SOLL}} = D_{\text{IST}} \quad \text{und} \quad T_{\text{SOLL}} = T_{\text{IST}}$$

- zu prüfen:

$$s_{\text{NORM}} = s_{\text{MESSUNG}} \cdot \frac{s_{\text{SOLL}}}{s_{\text{IST}}} \leq 550 \text{ m}$$

#### 4.1 Koeffizienten für die Berechnung aus Anlage 2

Tafel 1

für $s_{IIST}$ und $s_{ISOLL}$	$k_1 = 0,95$
für $s_{IIIST}$ und $s_{IISOLL}$	$k_2 = 0,12$
	$k_3 = 1,15$
	$k_4 = 0,48$
	$k_6 = 0,85$
	$k_7 = 0,55$

Tafel 2 (für moderne Düse mit abgerundeter Hinterkante)

$$f = 0,118$$

#### 4.2 Berechnung von $s_{IIST}$

a)  $s_{IIST}$  mit den Meßwerten aus dem Stoppmanöver (Formel 4.1):

$$s_{IIST} = k_1 \cdot v_{L_{IIST}} \cdot t_{IIST}$$

$$s_{IIST} = 0,95 \cdot 4,9 \cdot 16 = \underline{74,5 \text{ m}}$$

b) Formel für  $s_{IIIST}$ 

$$s_{IIIST} = k_2 \cdot v_{IIIST}^2 \cdot \frac{D_{IIST} \cdot g}{k_3 \cdot F_{POR} + R_{TmIIIST} - R_G} \cdot \left( k_4 + \frac{v_{STR_{IIST}}}{v_{IIIST}} \right)$$

c) Berechnung von  $R_{TmIIIST}$  nach Tafel 3 und Formel 4.3 der Anlage 2

$$D_{IIST}^{1/3} = 5179^{1/3} = 17,3 \text{ [m]}$$

$$D_{IIST}^{1/3} \cdot (B + 2 \cdot T_{IIST}) = 17,3 \cdot (22,8 + 5,92) = 496,8 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{aus Tafel 3} \quad \frac{R_T}{v^2} = 10,8 \quad \left( \frac{\text{kN} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^2} \right)$$

$$v_{L_{IIST}} - v_{STR_{IIST}} = 4,9 - 1,4 = 3,5 \text{ m/s}$$

$$R_{TmIIIST} = \frac{R_T}{v^2} \cdot (k_7 \cdot k_6 \cdot (v_{L_{IIST}} - v_{STR_{IIST}}))^2 = 10,8 \cdot (0,55 \cdot 0,85 \cdot 3,5)^2 = \underline{28,8 \text{ [kN]}}$$

d) Berechnung des Gefällewiderstandes  $R_G$  nach Formel 4.4

$$R_G = 10^{-6} \cdot (0,16 \cdot D_{IIST} \cdot \rho \cdot g) = 10^{-6} \cdot (0,16 \cdot 5179 \cdot 1000 \cdot 9,81) = \underline{8,13 \text{ [kN]}}$$

e) Berechnung von  $v_{IIIST}$  nach Formel 4.5

$$v_{IIIST} = (k_6 \cdot (v_{L_{IST}} - v_{STR_{IST}})) = (0,85 \cdot 3,5) = 2,97 \text{ [m/s]}$$

$$v_{IIIST}^2 = 8,85 \text{ [m/s]}^2$$

f) Berechnung von  $F_{POR}$  nach Formel 4.6 und Tafel 2

$$F_{POR} = 0,118 \cdot 1500 = \underline{177 \text{ [kN]}}$$

g) Berechnung von  $s_{IIIST}$  unter Verwendung der Formel b) und der Ergebnisse von c), d), e) und f):

$$s_{IIIST} = \frac{0,12 \cdot 8,85 \cdot 9,81 \cdot \left( 0,48 + \frac{1,4}{2,97} \right)}{1,15 \cdot 177 + 28,8 - 8,13} \cdot 5179$$

$$s_{IIIST} = \underline{228,9 \text{ m}}$$

h) Berechnung der Gesamtstrecke nach Formel 3.1

$$s_{IST} = 74,51 + 228,9 = \underline{303,4 \text{ m}}$$

#### Anmerkung

Da die von D abhängige Größe ( $R_{Tmill} - R_G$ ) mit 20,67 kN offensichtlich relativ gering gegenüber  $k_3 \cdot F_{POR}$  mit 203,55 kN ist, kann vereinfachend  $s_{II}$  proportional D, d. h.  $s_{II} = \text{Konst} \cdot D$ , angesetzt werden.

#### 4.3 Berechnung von $s_{SOLL}$

Ausgangswerte:

$$v_{STR_{SOLL}} = 1,5 \text{ m/s} \approx 5,4 \text{ km/h}$$

$$D_{SOLL} = D_{IST} = 5179 \text{ m}^3$$

$$v_{S_{SOLL}} = 3,6 \text{ m/s} \approx 13 \text{ km/h}$$

$$T_{SOLL} = T_{IST} = 2,96 \text{ m}$$

$$v_{L_{SOLL}} = 5,1 \text{ m/s} \approx 18,4 \text{ km/h}$$

$$a) s_{ISOLL} = k_1 \cdot v_{L_{SOLL}} \cdot t_1$$

$$s_{ISOLL} = 0,95 \cdot 5,1 \cdot 16 = \underline{77,50 \text{ m}}$$

$$b) s_{II\text{SOLL}} = k_2 \cdot v_{II\text{SOLL}}^2 \cdot \frac{D_{\text{SOLL}} \cdot g}{k_3 \cdot F_{\text{POR}} + R_{\text{TmlI}\text{SOLL}} - R_G} \cdot \left( k_4 + \frac{v_{\text{STR}\text{SOLL}}}{v_{II\text{SOLL}}} \right)$$

c) Berechnung von  $R_{\text{TmlI}\text{SOLL}}$

$$\frac{R_T}{v^2} = 10,8 \left( \frac{\text{KN} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^2} \right) \quad \text{wie unter 4.2 weil B, D, T unverändert}$$

$$v_{L\text{SOLL}} - v_{\text{STR}\text{SOLL}} = 3,6 \text{ [m/s]}$$

$$R_{\text{TmlI}\text{SOLL}} = \frac{R_T}{v^2} \cdot (k_7 \cdot k_6 \cdot (v_{L\text{SOLL}} - v_{\text{STR}\text{SOLL}}))^2 = 10,8 \cdot (0,55 \cdot 0,85 \cdot 3,6)^2 = \underline{\underline{30,99 \text{ [kN]}}}$$

d) Gefällewiderstand  $R_G$  wie in 4.2

e) Berechnung von  $v_{II\text{SOLL}}$ :

$$v_{II\text{SOLL}} = k_6 \cdot (v_{L\text{SOLL}} - v_{\text{STR}\text{SOLL}}) = 0,85 \cdot 3,6 = \underline{\underline{3,06 \text{ [m/s]}}}, \quad v_{II\text{SOLL}}^2 = 9,36 \text{ [m/s]}^2$$

f)  $F_{\text{POR}}$  wie in 4.2.

g) Berechnung von  $s_{II\text{SOLL}}$  unter Verwendung der Formel b) und der Ergebnisse von c) bis f)

$$s_{II\text{SOLL}} = \frac{0,12 \cdot 9,36 \cdot 9,81 \cdot \left( 0,48 + \frac{1,5}{3,06} \right)}{1,15 \cdot 177 + 30,99 - 8,13} \cdot 5179$$

$$= \underbrace{0,0472}_{\text{Konst}_{\text{SOLL}}} \cdot 5179 = \underline{\underline{244,5 \text{ m}}}$$

h) Berechnung der Gesamtstrecke

$$s_{\text{SOLL}} = s_{I\text{SOLL}} + s_{II\text{SOLL}} = 77,5 + 244,5 = \underline{\underline{322 \text{ m}}}$$

#### 4.4 Prüfung auf Einhaltung des zulässigen Stoppweges bei Normbedingungen $s_{\text{NORM}}$

nach Formel 2.1 der Anlage 2

$$s_{\text{NORM}} = s_{\text{MESSUNG}} \cdot \frac{s_{\text{SOLL}}}{s_{\text{IST}}} = 340 \cdot \frac{322}{303,4} = \underline{360,8 \text{ m} < 550 \text{ m}}$$

#### Beurteilung:

Zulässiger Grenzwert wird deutlich unterschritten, d. h.

- Zulassung für Talfahrt ist im vorgeführten Beladungszustand ( $0,8 \cdot D_{\text{max}}$ ) ohne weiteres möglich,
- größere Zuladung möglich, die nach folgender Position 5. ermittelt werden kann.

#### 5. Mögliche Vergrößerung von $D_{\text{IST}}$ in der Talfahrt

$$(s_{\text{NORM}})_{\text{Grenze}} = s_{\text{MESSUNG}} \cdot \frac{(s_{\text{SOLL}})_{\text{Grenze}}}{s_{\text{IST}}} = 550 \text{ m}$$

$$(s_{\text{SOLL}})_{\text{Grenze}} = 550 \cdot \frac{s_{\text{IST}}}{s_{\text{MESSUNG}}} = 550 \cdot \frac{303,4}{340} = 490,8 \text{ m}$$

Mit  $s_{\text{II SOLL}} = \text{Konst}_{\text{SOLL}} \cdot D$  gemäß Anmerkung unter 4.2 ergibt sich:

$$(s_{\text{SOLL}})_{\text{Grenze}} = (s_{\text{I SOLL}} + s_{\text{II SOLL}})_{\text{Grenze}} = s_{\text{I SOLL}} + 0,0472 \cdot (D_{\text{SOLL}})_{\text{Grenze}}$$

daraus folgt:

$$(D_{\text{SOLL}})_{\text{Grenze}} = \frac{(s_{\text{SOLL}})_{\text{Grenze}} - s_{\text{I SOLL}}}{0,0472} = \frac{490,8 - 77,5}{0,0472} = \underline{8756 \text{ m}^3}$$

#### Folgerung:

Wegen  $(D_{\text{SOLL}})_{\text{Grenze}} > D_{\text{max}}$  ( $8756 > 6474$ ) des Verbandes kann diese Formation (siehe 1) für die volle Abladung in der Talfahrt zugelassen werden.

## BEISPIEL II

1. Daten des Verbandes und seiner Fahrzeuge

Formation: Großmotorschiff schiebend mit

2 Leichtern voraus und  
1 Leichter seitlich gekuppelt.

	L [m]	B [m]	$T_{\max}$ [m]	$T_{\text{gf}}^{\max}$ [t]	$D_{\max}$ [m <sup>3</sup> ]	$P_B$ [kW]
GMS	110	11,4	3,5	2900	3731	1500
je SL	76,5	11,4	3,7	2600	2743	-
Verband	186,5	22,8	3,7	10700	11960	1500

GMS-Antriebssystem: Moderne Düsen mit abgerundeter Hinterkante

\* Tgf = Tragfähigkeit

2. Meßwerte aus Stoppmanöver

Strömungsgeschwindigkeit:  $v_{\text{STRIST}} = 1,4 \text{ m/s} \approx 5,1 \text{ km/h}$

Schiffsgeschwindigkeit (gegen Wasser):  $v_{\text{SIST}} = 3,5 \text{ m/s} \approx 12,5 \text{ km/h}$

Schiffsgeschwindigkeit (gegen Land):  $v_{\text{LIST}} = 4,9 \text{ m/s} \approx 17,6 \text{ km/h}$

Umsteuerzeit (gemessen) (Punkt A bis C):  $t_f = 16 \text{ s}$

Stoppweg gegen Wasser (Punkt A bis D):  $s_{\text{MESSUNG}} = 580 \text{ m}$

aus Beladungszustand (ggf. Abschätzung):  $D_{\text{IST}} = 9568 \text{ m}^3 \approx 0,8 D_{\max}$

vorhandener Tiefgang des Verbandes:  $T_{\text{IST}} = 2,96 \text{ m} \approx 0,8 T_{\max}$

### 3. Grenzwert gemäß Nr. 2.1 Buchstabe a) oder b) der Richtlinie zum Vergleich mit $s_{\text{NORM}}$

Für den Verband muß wegen  $B > 11,45$  m und strömenden Gewässer gemäß Nr. 2.1 Buchstabe a) der Richtlinie gelten:

$$s_{\text{NORM}} \leq 550 \text{ m}$$

### 4. Ermittlung des korrigierten Stoppweges bei Normbedingungen

Gegeben

$$s_{\text{MESSUNG}} = 580 \text{ m}$$

- zu berechnen:

$s_{\text{IST}}$  aus Summe von

$s_{\text{IIST}}$  (nach Formel 4.1 der Anlage 2 mit  $v_{\text{L,IST}}$ )

und  $s_{\text{IIIST}}$  (nach den Formeln 4.2 bis 4.6 der Anlage 2 mit IST-Geschwindigkeit ( $s.o$ ) und  $D_{\text{IST}}$ )

$s_{\text{SOLL}}$ : aus Summe  $s_{\text{ISOLL}} + s_{\text{IISOLL}}$  (nach den Formeln 4.1 bis 4.6 der Anlage 2 mit Soll-Geschwindigkeiten nach Anlage 2 wegen Beladung  $> 70\%$ )

mit  $D_{\text{SOLL}} = D_{\text{IST}}$  und  $T_{\text{SOLL}} = T_{\text{IST}}$ )

- zu prüfen:

$$s_{\text{NORM}} = s_{\text{MESSUNG}} \cdot \frac{s_{\text{SOLL}}}{s_{\text{IST}}} \leq 550 \text{ m} \quad \text{andernfalls}$$

- zu berechnen:

$$s_{\text{NORM}}^* = 550 \text{ m durch vermindern von } D_{\text{IST}} \text{ bis } D^*.$$

#### 4.1 Koeffizienten für die Berechnung aus Anlage 2

Tafel 1

$$\text{für } s_{IIST} \text{ und } s_{ISOLL} \quad k_1 = 0,95$$

$$\text{für } s_{IIIST} \text{ und } s_{IISOLL} \quad \begin{aligned} k_2 &= 0,12 \\ k_3 &= 1,15 \\ k_4 &= 0,48 \\ k_6 &= 0,85 \\ k_7 &= 0,55 \end{aligned}$$

Tafel 2 (für moderne Düse mit abgerundeter Hinterkante)

$$f = 0,118$$

#### 4.2 Berechnung von $s_{IIST}$

a)  $s_{IIST}$  mit den Meßwerten aus den Versuchen:

$$s_{IIST} = k_1 \cdot v_{L_{IIST}} \cdot t_{IIST}$$

$$s_{IIST} = 0,95 \cdot 4,8 \cdot 16 = \underline{73 \text{ m}}$$

b) Formel für  $s_{IIIST}$

$$s_{IIIST} = k_2 \cdot v_{IIIST}^2 \cdot \frac{D_{IIST} \cdot g}{k_3 \cdot F_{POR} + R_{TmIIIST} - R_G} \cdot \left( k_4 + \frac{v_{STR_{IIST}}}{v_{IIIST}} \right)$$

c) Berechnung von  $R_{TmIIIST}$  nach Tafel 3 und Formel 4.3 der Anlage 2

$$D_{IIST}^{1/3} = 9568^{1/3} = 21,2 \text{ [m]}$$

$$D_{IIST}^{1/3} \cdot (B + 2 \cdot T_{IIST}) = 21,2 \cdot (22,8 + 5,92) = 609 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{aus Tafel 3} \quad \frac{R_T}{v^2} = 14,0 \left( \frac{\text{kN} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^2} \right)$$

$$v_{L_{IIST}} - v_{STR_{IIST}} = 4,8 - 1,4 = 3,4 \text{ m/s}$$

$$R_{TmIIIST} = \frac{R_T}{v^2} \cdot (k_7 \cdot k_6 \cdot (v_{L_{IIST}} - v_{STR_{IIST}}))^2 = 14,0 \cdot (0,55 \cdot 0,85 \cdot 3,4)^2 = \underline{35,4 \text{ [kN]}}$$

d) Berechnung des Gefällewiderstandes  $R_G$  nach Formel 4.4 der Anlage 2

$$R_G = 10^{-6} \cdot (0,16 \cdot D_{IIST} \cdot \rho \cdot g) = 10^{-6} \cdot (0,16 \cdot 9568 \cdot 1000 \cdot 9,81) = \underline{15,02 \text{ [kN]}}$$

e) Berechnung von  $v_{IIIST}$  nach Formel 4.5 der Anlage 2

$$v_{IIIST} = k_6 \cdot (v_{L_{IST}} - v_{STR_{IST}}) = 2,89 \text{ [m/s]}$$

$$v_{IIIST}^2 = 8,35 \text{ [m/s]}^2$$

f) Berechnung von  $F_{POR}$  nach Formel 4.6 und Tafel 2

$$F_{POR} = 0,118 \cdot 1500 = \underline{177 \text{ [kN]}}$$

g) Berechnung von  $s_{IIIST}$  unter Verwendung der Formel b) und der Ergebnisse von c), d), e) und f):

$$s_{IIIST} = \frac{0,12 \cdot 8,35 \cdot 9,81 \cdot \left( 0,48 + \frac{1,4}{2,89} \right)}{1,15 \cdot 177 + 35,4 - 15,02} \cdot 9568$$

$$s_{IIIST} = \underline{402 \text{ m}}$$

h) Berechnung der Gesamtstrecke nach Formel 3.1

$$s_{IST} = 73 + 402 = \underline{475 \text{ m}}$$

#### 4.3 Berechnung von $s_{SOLL}$

Ausgangswerte:

$$v_{STR_{SOLL}} = 1,5 \text{ m/s} \approx 5,4 \text{ km/h}$$

$$D_{SOLL} = D_{IST} = 9568 \text{ m}^3$$

$$v_{S_{SOLL}} = 3,6 \text{ m/s} \approx 13 \text{ km/h}$$

$$T_{SOLL} = T_{IST} = 2,96 \text{ m}$$

$$v_{L_{SOLL}} = 5,1 \text{ m/s} \approx 18,4 \text{ km/h}$$

$$a) s_{ISOLL} = k_1 \cdot v_{L_{SOLL}} \cdot t_1$$

$$s_{ISOLL} = 0,95 \cdot 5,1 \cdot 16 = \underline{77,50 \text{ m}}$$

$$b) s_{II\text{SOLL}} = k_2 \cdot v_{II\text{SOLL}}^2 \cdot \frac{D_{\text{SOLL}} \cdot g}{k_3 \cdot F_{\text{POR}} + R_{\text{TmlIISOLL}} - R_G} \cdot \left( k_4 + \frac{v_{\text{STRSOLL}}}{v_{II\text{SOLL}}} \right)$$

c) Berechnung von  $R_{\text{TmlIISOLL}}$

$$\frac{R_T}{v^2} = 14,0 \quad \left( \frac{\text{KN} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^2} \right) \quad \text{wie unter 4.2 weil B, D, T unverändert}$$

$$v_{\text{LSOLL}} - v_{\text{STRSOLL}} = 3,6 \text{ [m/s]}$$

$$R_{\text{TmlIISOLL}} = 14,0 \cdot (0,55 \cdot 0,85 \cdot 3,6)^2 = \underline{\underline{39,6 \text{ [kN]}}}$$

d) Gefällewiderstand  $R_G$  wie in 4.2

e) Berechnung von  $v_{II\text{SOLL}}$ :

$$v_{II\text{SOLL}} = 0,85 \cdot 3,6 = \underline{\underline{3,06 \text{ [m/s]}}}, \quad v_{II\text{SOLL}}^2 = 9,36 \text{ [m/s]}^2$$

f)  $F_{\text{POR}}$  wie in 4.2.

g) Berechnung von  $s_{II\text{SOLL}}$  unter Verwendung der Formel b) und der Ergebnisse von c) bis f)

$$s_{II\text{SOLL}} = \frac{0,12 \cdot 9,36 \cdot 9,81 \cdot \left( 0,48 + \frac{1,5}{3,06} \right)}{1,15 \cdot 177 + 39,6 - 15,02} \cdot 9568$$

$$s_{II\text{SOLL}} = \underbrace{0,04684}_{\text{Konst}_{\text{SOLL}}} \cdot 9568 = \underline{\underline{448 \text{ m}}}$$

h) Berechnung der Gesamtstrecke

$$s_{\text{SOLL}} = s_{\text{ISOLL}} + s_{II\text{SOLL}} = 77,5 + 448 = \underline{\underline{525,5 \text{ m}}}$$

#### 4.4 Prüfung auf Einhaltung des zulässigen Stoppweges bei Normbedingungen $s_{\text{NORM}}$

nach Formel 2.1 der Anlage 2

$$s_{\text{NORM}} = s_{\text{MESSUNG}} \cdot \frac{s_{\text{SOLL}}}{s_{\text{IST}}} = 580 \cdot \frac{525,5}{475} = \underline{641 \text{ m} > 550 \text{ m}}$$

#### Beurteilung:

Zulässiger Grenzwert wird deutlich überschritten, daher Zulassung für die Talfahrt nur mit verminderter Zuladung möglich, die nach der folgenden Nummer 5 ermittelt werden kann.

#### 5. Zulässiges $D^*$ in der Talfahrt

nach Formel 2.1 der Anlage 2

$$s_{\text{NORM}} = s_{\text{MESSUNG}} \cdot \frac{s_{\text{SOLL}}^*}{s_{\text{IST}}} = 550 \text{ m}$$

Daraus folgt:

$$s_{\text{SOLL}}^* = 550 \cdot \frac{s_{\text{IST}}}{s_{\text{MESSUNG}}} = s_{\text{I SOLL}} + s_{\text{II SOLL}}^*$$

$$s_{\text{II SOLL}}^* = \text{Konst}_{\text{SOLL}} \cdot D^* = 0,04684 \cdot D^*$$

$$D^* = \frac{550 \cdot \frac{475}{580} - 77,5}{0,04684} = 7950 \text{ [m}^3\text{]}$$

#### Folgerung:

Da die in der Talfahrt zulässige Verdrängung  $D^*$  nur 7950 m<sup>3</sup> beträgt, ist näherungsweise

$$\frac{\text{zul. Tgf}}{\text{max. Tgf}} = \frac{D^*}{D_{\text{max}}} = \frac{7950}{11960} = 0,66$$

Zulässige Tragfähigkeit ist in dieser Formation (siehe 1)

$$0,66 \cdot 10700 = 7112 \text{ t}$$

-----