



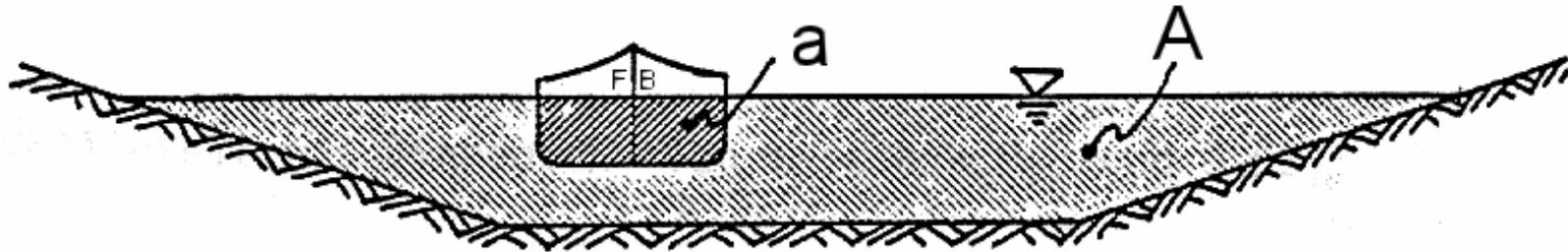
- Schiffserzeugte Strömungen
- Schraubenstrahlerosionen
- Wellenschlag (vergl. Dichtungen und Deckwerke)
- Wellensunk (vergl. Dichtungen und Deckwerke)
- Eiswirkungen (vergl. Dichtungen und Deckwerke)
- Auftrieb (bei künstlichen Dichtungen,
vergl. Dichtungen und Deckwerke)
- Sedimentation (Verschlammungen, Ablagerungen)
- Unfälle (Schiffsauflauf, Notankerungen,
vergl. Dichtungen und Deckwerke)

Alle genannten Einflüsse sind bestimmend für Querschnittsform und -größe.

Von besonderer Bedeutung sind bei künstlichen Wasserstraßen aber die schiffserzeugten Strömungen.



Schiffserzeugte Rückströmungen



a = eingetauchter Schiffsquerschnitt

A = gesamter Querschnitt des Profils

Flächenverhältnis:

$$n = \frac{A}{a}$$

Empfohlene Werte:

Stichkanäle:

$$n \geq 3,5$$

zweischiffige Kanäle:

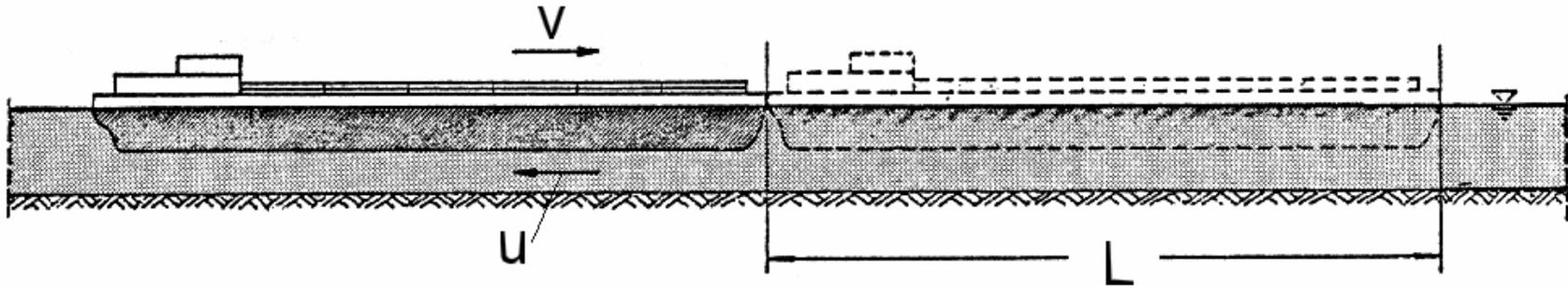
$$n \geq 5$$

zweischiffige Kanäle m.

$$n \approx 7$$

schnellem Verkehr (Kl. IV/Vb):

Begründung für das Flächenverhältnis:



Verdrängtes Wasservolumen bei der Fortbewegung um L ist näherungsweise:

$$V \approx a \cdot L \quad (\text{Völligkeit bei Binnenschiffen } 80 - 95\%)$$

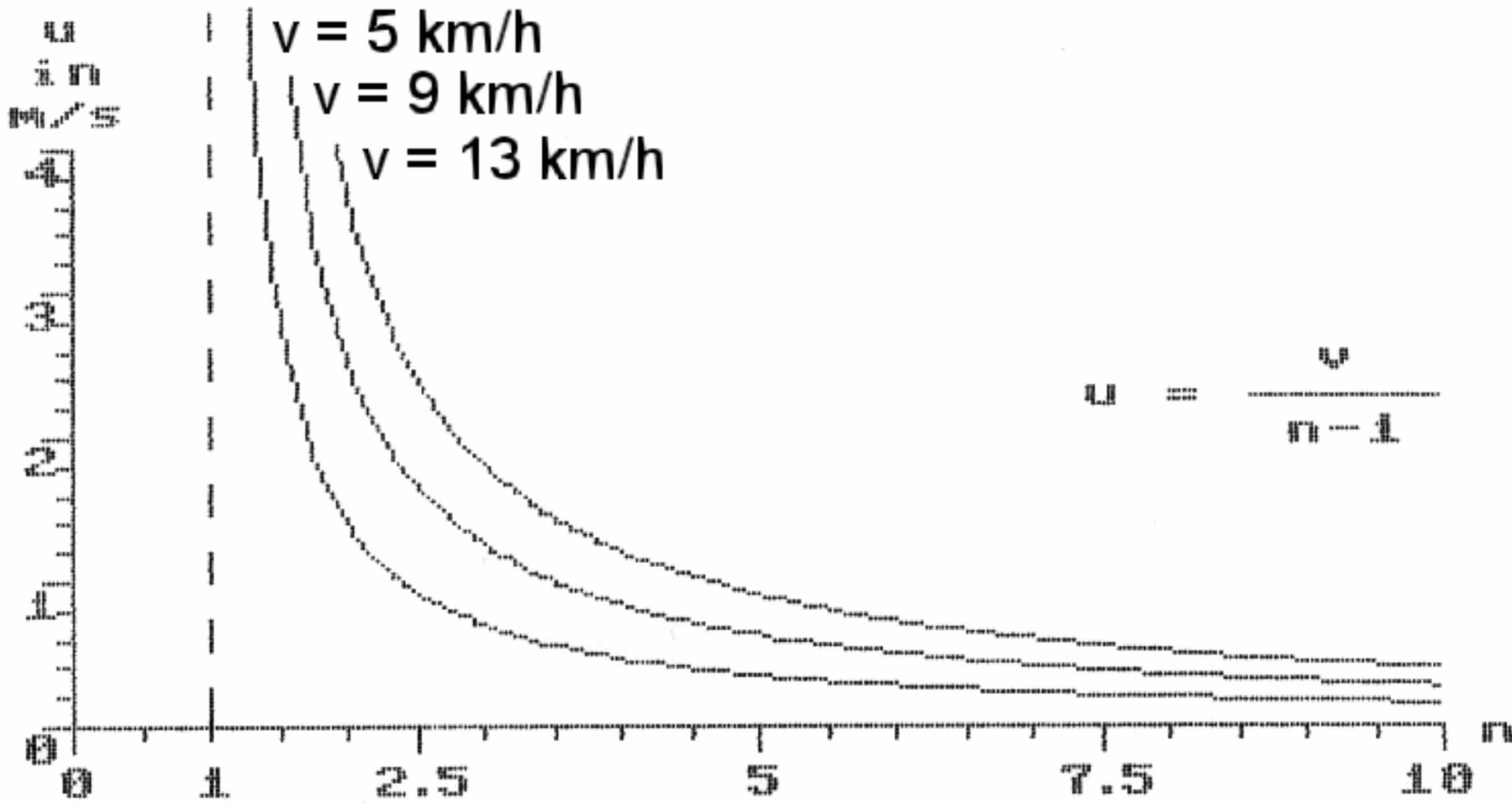
Mit $T =$ Zeit für die Fortbewegung um L wird $v = \frac{L}{T}$

Rückstrom Q (entgegen der Schiffsgeschwindigkeit v):

$$Q = a \cdot v = \frac{a \cdot L}{T} \quad \text{ist auf den Restquerschnitt } (A - a) \text{ zu beziehen.}$$

Die Rückstromgeschwindigkeit u wird demnach:

$$u = \frac{Q}{A - a} = \frac{a \cdot v}{A - a} = \frac{v}{A/a - 1} \quad \text{Mit } n = \frac{A}{a} \text{ wird } \boxed{u = \frac{v}{n - 1}}$$



Für $n = 7$ bleibt bei den zugelassenen Fahrgeschwindigkeiten der Betrag der Rückströmung deutlich unter $u = 1 \text{ m/s}$.



Beispiel: $v = 10 \text{ km/h} = 2,78 \text{ m/s}$

$$n = 3,5: \quad u = \frac{2,78}{3,5 - 1} = 1,11 \text{ m/s}$$

$$n = 5: \quad u = \frac{2,78}{5 - 1} = 0,695 \text{ m/s}$$

$$n = 7: \quad u = \frac{2,78}{7 - 1} = 0,46 \text{ m/s}$$

Einfluss auf die Feststoffbewegung (Erosion) an ungeschützter

Sohle:

Näherungsformel:

$$q = q_0 \cdot \left(\frac{u - u_c}{u_c} \right)^p \quad (\text{auch im Küsten-ingenieurwesen !})$$

q = Feststofftransport [m^3/s]

q_0 = Bodenkonstante [m^3/s]

u = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

u_c = krit. Strömungsgeschwindigkeit [m/s] für Feststoffbewegung

p = dimensionsloser Exponent; meist $p = 4$ gesetzt.



Beispiel:

Fahrgeschwindigkeit $v = 10 \text{ km/h} = 2,78 \text{ m/s}$, obiges Beispiel.

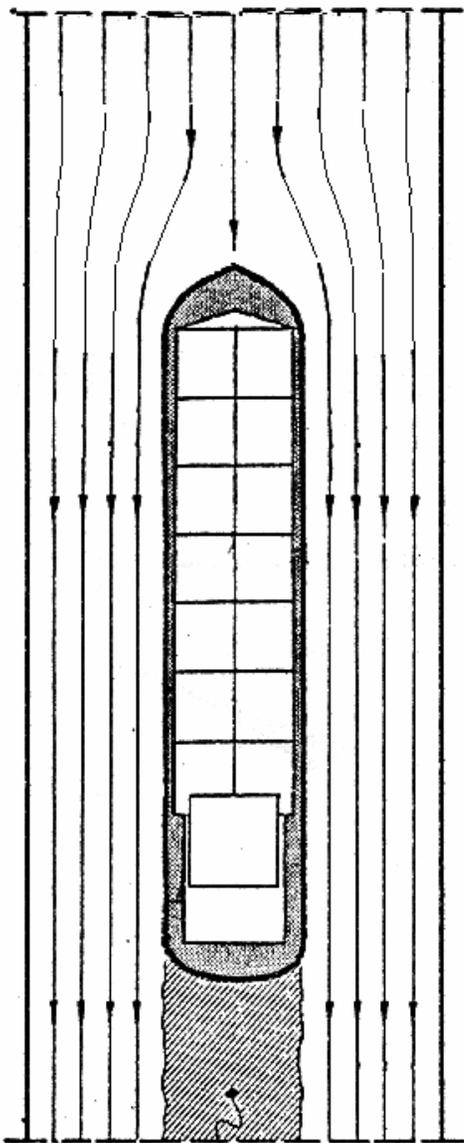
Kritische Geschwindigkeit für Sand $u_c = 0,30 \text{ m/s}$

Es werden die Feststofftransporte für $n = 3,5$ mit dem für $n = 7$ sowie für $n = 5$ mit demjenigen für $n = 7$ verglichen:

$$\frac{q(n = 3,5)}{q(n = 7)} = \left(\frac{1,11 - 0,3}{0,46 - 0,3} \right)^4 \approx 660$$

$$\frac{q(n = 5)}{q(n = 7)} = \left(\frac{0,695 - 0,3}{0,46 - 0,3} \right)^4 \approx 37$$

Ein Kanal mit Flächenverhältnis $n = 3,5$ hat also etwa den 660-fachen Feststofftransport (= Sohlenangriff) desjenigen eines Kanals mit $n = 7$. Bei $n = 5$ beträgt er noch immer etwa das 37-fache. Wie ändern sich die Zahlen, wenn die Fahrgeschwindigkeit nur 8 km/h beträgt ?



Außer der mittleren Rückstömgeschwindigkeit u spielen eine Rolle:

- das Stromlinienbild, vergl. links
- die Beschleunigung
- die Kornzusammensetzung, Durchmesser d
- die Querschnittsform

Allgemein
$$q = f\left(u, \frac{\delta u}{\delta t}, d, A\right)$$

jedoch $u = f(n)$ am stärksten.

An Böschungen verursacht *Waschbewegung* und Schwerkraft eine Materialverlagerung nach unten.



Ablösungen, Schraubenturbulenz, Wellen

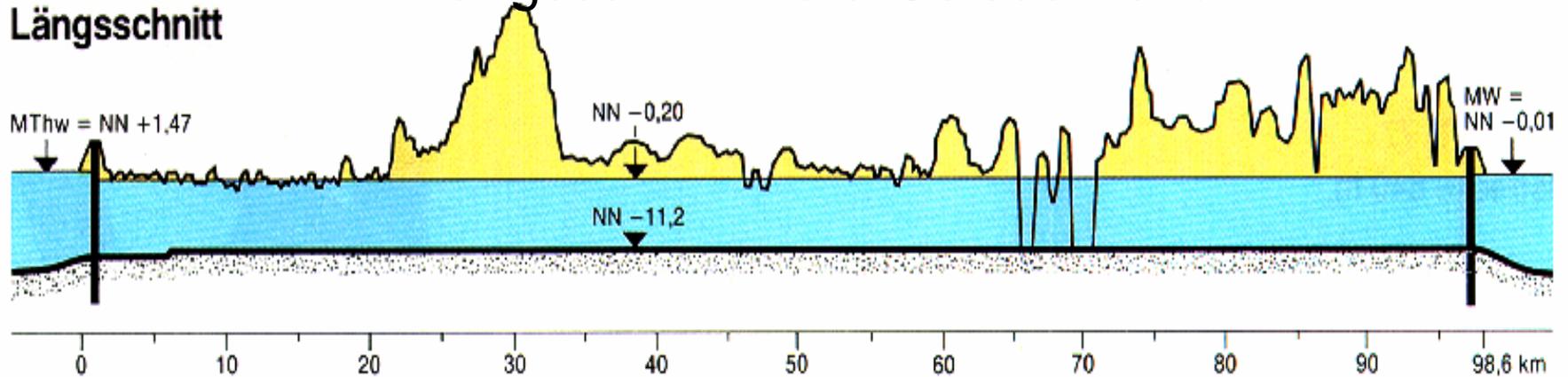
Beispiel NOK

Lageplan

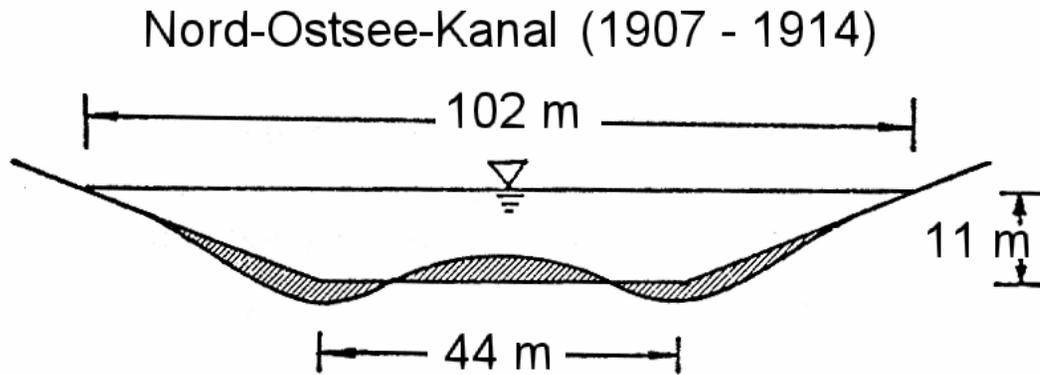


Längsschnitt Nord-Ostsee-Kanal

Längsschnitt



Beanspruchungen vornehmlich durch Schiffsbewegungen.



Erosionen und Sedimentationen am Nord-Ostsee-Kanal (schematisch).

Erosionen haben generell an anderen Stellen Sedimentationen (Ablagerungen, Verschlammungen) zur Folge. An strömungsgeschützten Stellen (Ausweichstellen, Schleusenvorhöfen etc.) werden kostspielige Baggerungen erforderlich.

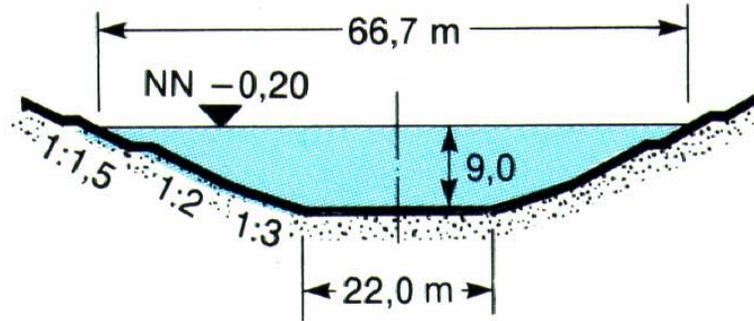
Gemessene Sedimentationsraten (Heinrich (1976)):

Dortmund-Ems-Kanal (Münster)	bis 4,8 cm/Monat
Rhein-Herne-Kanal (Herne)	bis 3,5 cm/Monat
Wesel-Datteln-Kanal (Hünxe)	bis 3,0 cm/Monat

Urquerschnitt und Erweiterungen des Nord-Ostsee Kanals

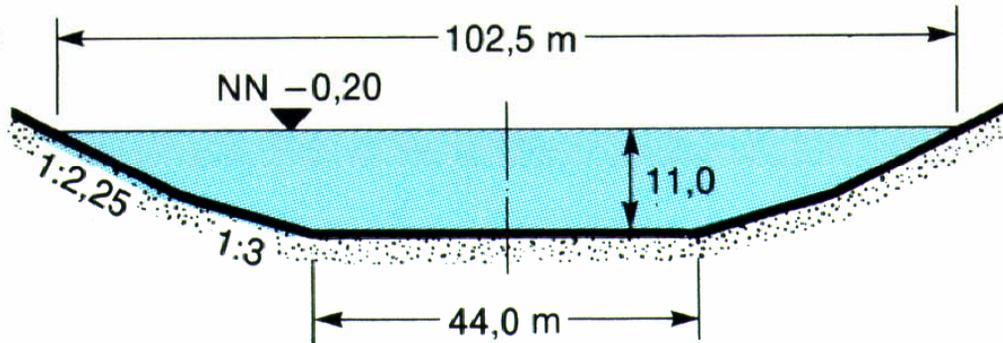


1895 413 m²



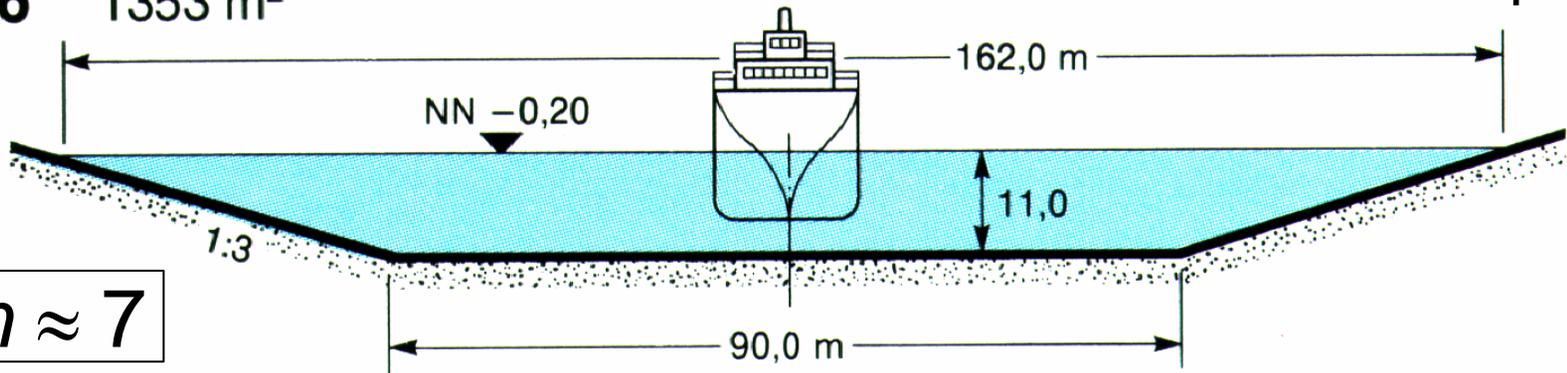
Muldenprofil

1914 828 m²



Muldenprofil

1966 1353 m²

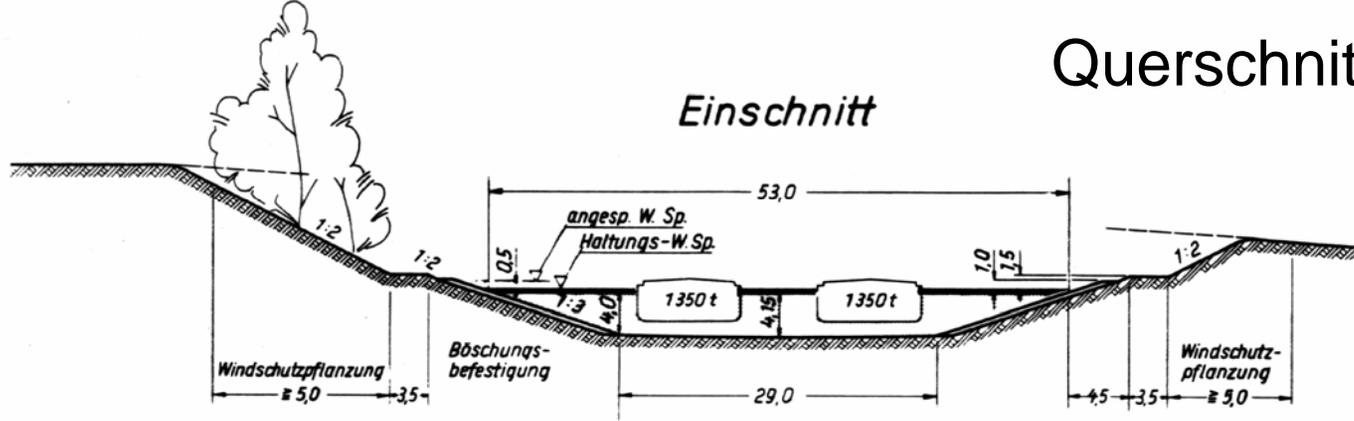


Trapezprofil

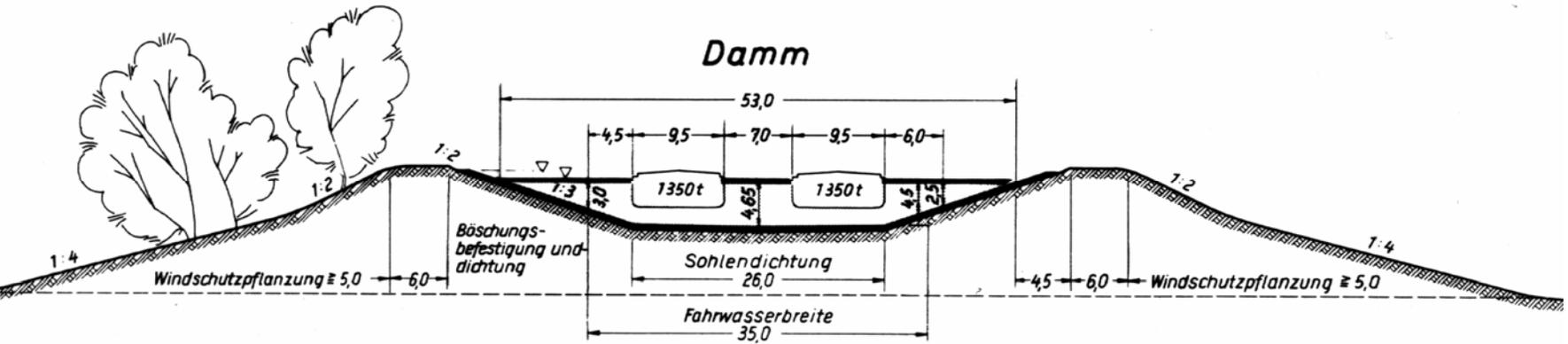
$n \approx 7$



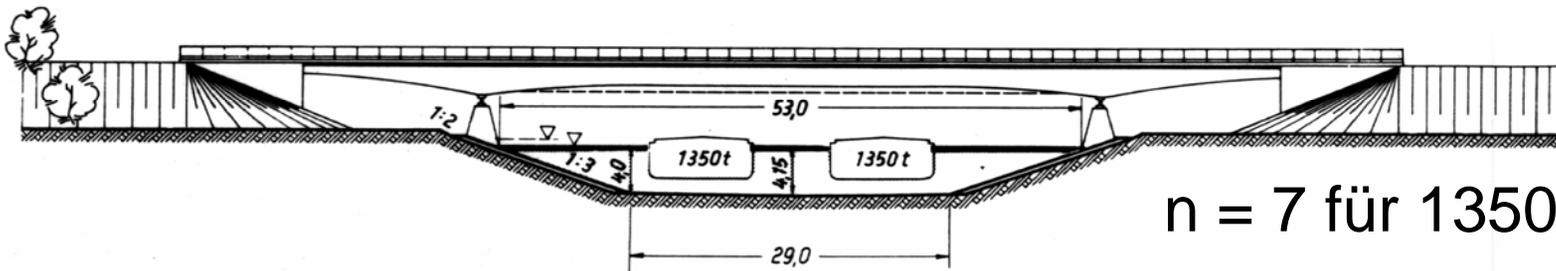
Einschnitt



Damm



Brücke



$n = 7$ für 1350t-Schiff

Großmotorgüterschiff: $n = ?$

Rückströmung $u = ?$