



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen



Hydraulische Belastungen am Ufer aus Schifffahrt und Abfluss

www.baw.de

Hydraulische Belastungen am Ufer...

... aus der laufenden Schifffahrt



... aus dem natürlichen Abfluss



(www.abendblatt.de)

Interaktion Schiff – Wasserstraße

Wechselwirkung am deutlichsten im Kanal bei ufernaher Fahrt

Hier: Naturversuche im Wesel-Datteln-Kanal 2022 mit dem GMS „Main“

(L = 105,00 m, B=11,00 m, T = 1,70 - 2,70 m, P_D = 1200 PS)



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Wechselwirkung am deutlichsten im Kanal bei ufernaher Fahrt

Hier: Naturversuche im Wesel-Datteln-Kanal 2022 mit dem GMS „Main“

(L = 105,00 m, B=11,00 m, T = 1,70 - 2,70 m, P_D = 1200 PS)

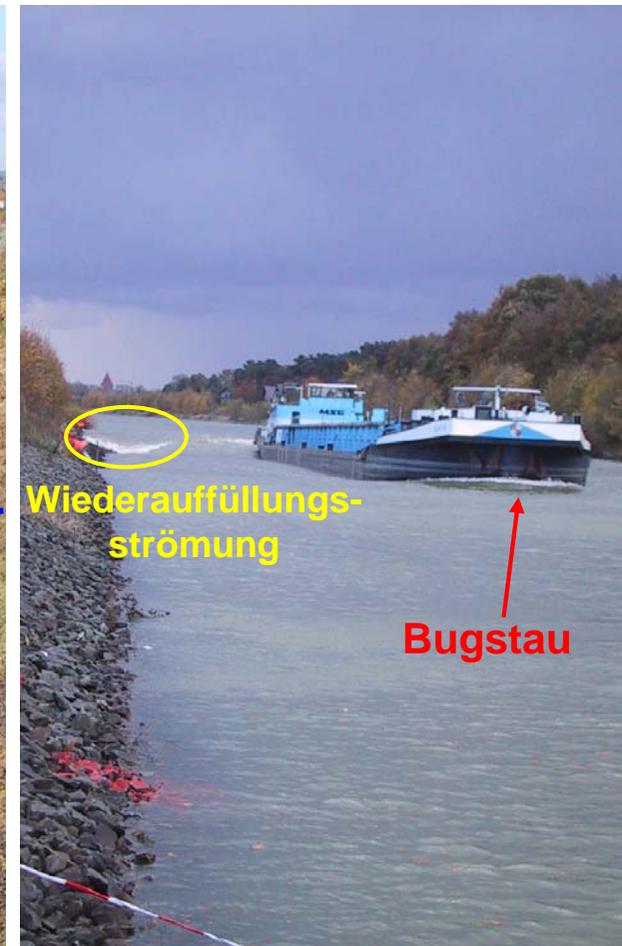


Interaktion Schiff – Wasserstraße

Wechselwirkung am deutlichsten im Kanal bei ufernaher Fahrt

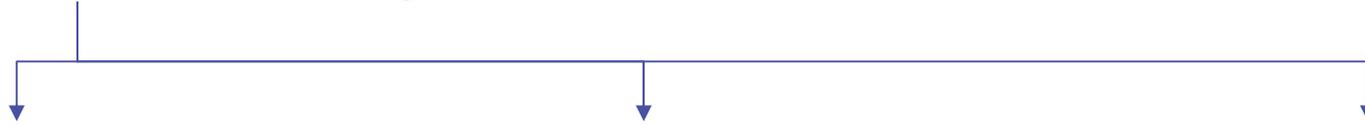
Hier: Naturversuche im Wesel-Datteln-Kanal 2022 mit dem GMS „Main“

(L = 105,00 m, B=11,00 m, T = 1,70 - 2,70 m, P_D = 1200 PS)



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Schiffsinduzierte Belastungen

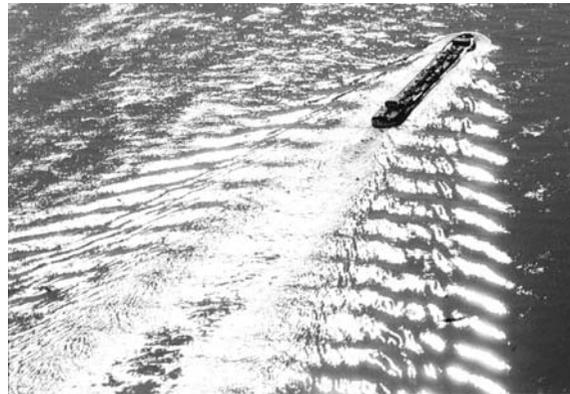


aus dem Primärwellenfeld

- Folge der hydraulischen Wechselwirkung
- Abfolge aus Bugwelle, Absunk und Heckwelle hat den Charakter einer Welle
- Wellenlänge wird durch Schiffslänge bestimmt
- Welle schreitet mit dem Schiff fort
- Signifikante Einflüsse bis zu etwa einer Schiffslänge seitlich um das Schiff herum

aus dem Sekundärwellenfeld

- Folge der Konturänderungen an Bug und Heck
- Schräg- und Querwellen
- Breiten sich vom Schiff aus
- Höhe nimmt nur wenig mit zurückgelegten Weg ab



aus Antriebs- & Steuerorganen

- Schraubstrahl mit hohen Geschwindigkeiten und hoher Turbulenz
- Maßgebende Belastung bei Manöverfahrt
- Je größer die Schiffsgeschwindigkeit desto kleiner die Belastungen
- Belastungen durch Hauptantriebe am Heck und Bugstrahlruder

Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Bugabsunk



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Bugabsunk

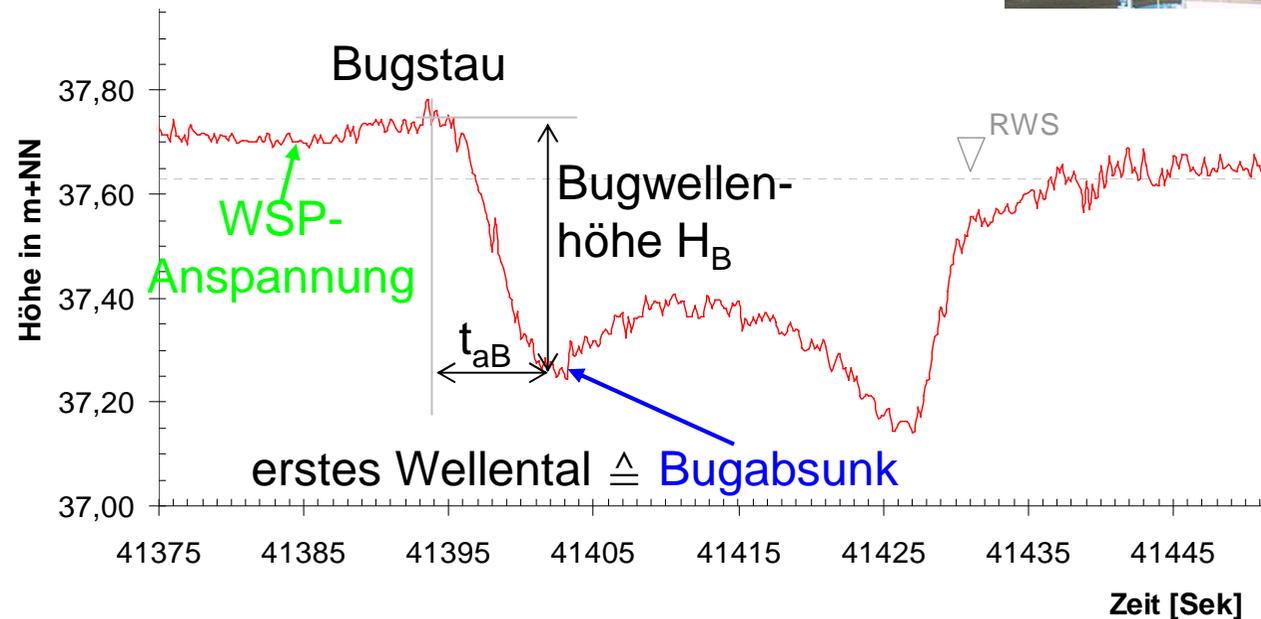
- ausgelöst durch Verdrängungsströmung
- Maximal bei Fahrt in Ufernähe, in der Nähe der kritischen Schiffsgeschwindigkeit oder bei buglastig vorgetrimmten Schiffen
- Schnelle Bugabsenkzeit t_{aB} kann Porenwasserüberdruck im Boden auslösen



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Bugabsenk

- ausgelöst durch Verdrängungsströmung
- Maximal bei Fahrt in Ufernähe, in der Nähe der kritischen Schiffsgeschwindigkeit oder bei buglastig vorgetrimmten Schiffen
- Schnelle Bugabsenkzeit t_{aB} kann Porenwasserüberdruck im Boden auslösen



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Rückströmung



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Rückströmung

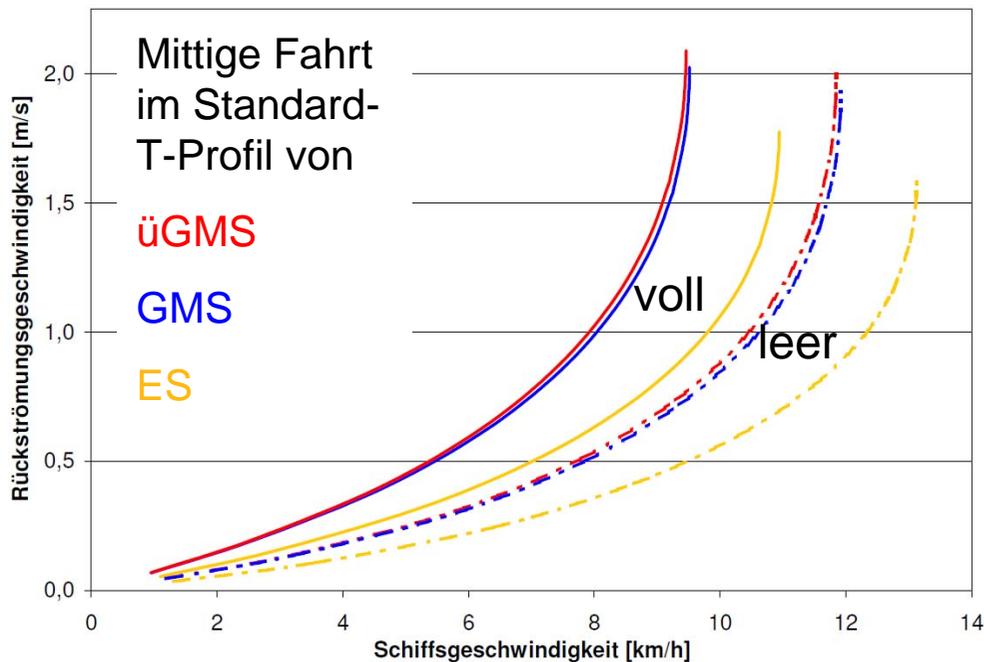
- Breite des Rückströmungsfeldes entspricht in etwa der Länge der Absinkmulde
- Ist in etwa konstant über Breite und Tiefe
- In erster Näherung linear proportional zur Schiffsgeschwindigkeit



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Rückströmung

- Breite des Rückströmungsfeldes entspricht in etwa der Länge der Absunkmulde
- Ist in etwa konstant über Breite und Tiefe
- In erster Näherung linear proportional zur Schiffsgeschwindigkeit



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Heckquerwelle



Interaktion Schiff – Wasserstraße

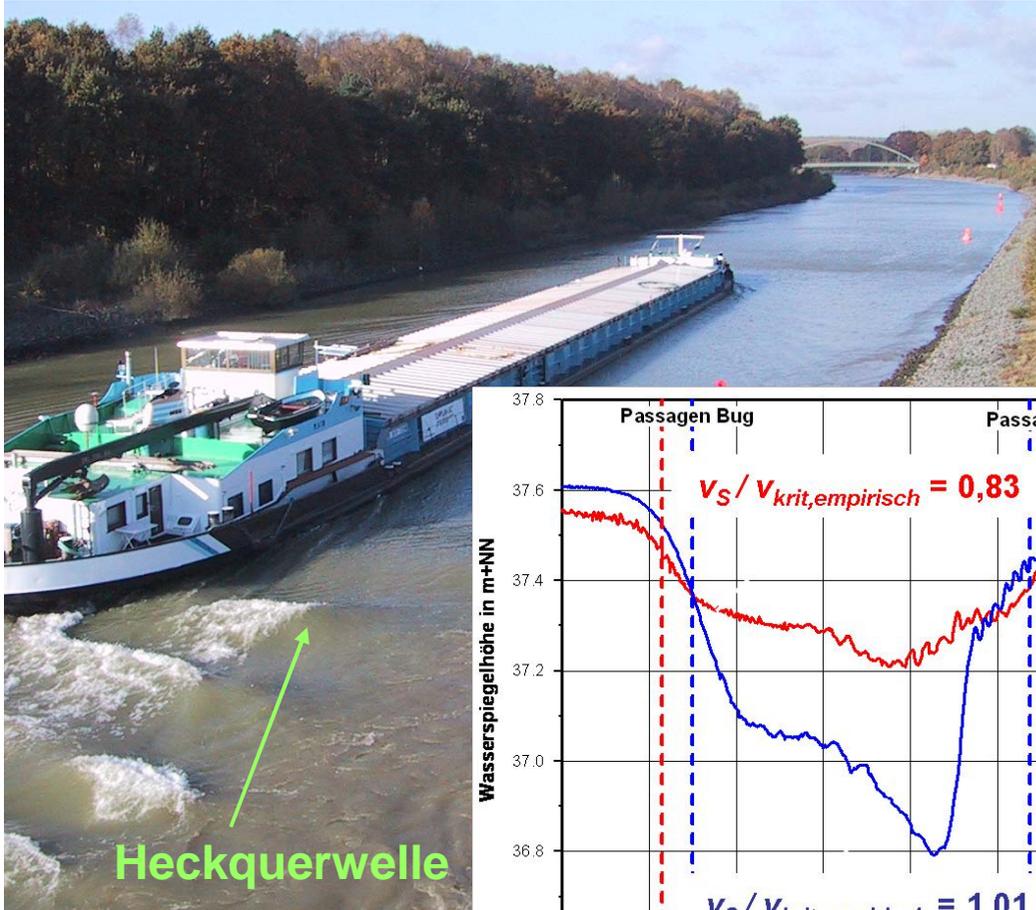
Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Heckquerwelle



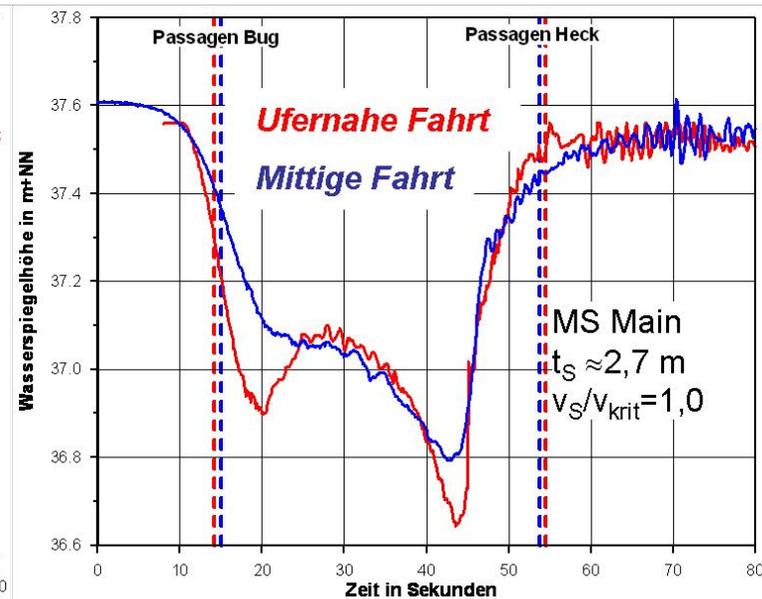
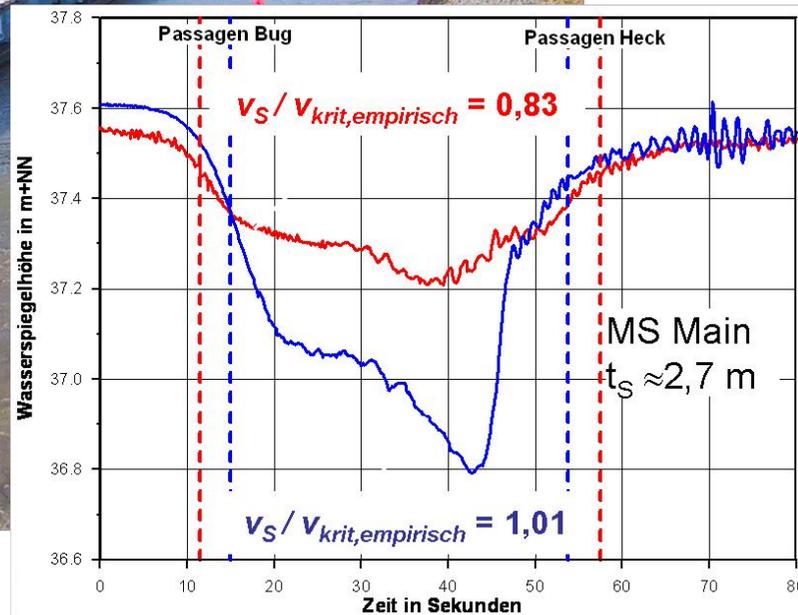
- Ausgleich der Abflussverhältnisse
- Maximal bei kleinen Uferabständen und Fahrt im Bereich der kritischen Schiffsgeschwindigkeit
- Bei Brechen der Heckquerwelle entsteht maximale Wiederauffüllungsströmung

Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Heckquerwelle



- Ausgleich der Abflussverhältnisse
- Maximal bei kleinen Uferabständen und Fahrt im Bereich der kritischen Schiffsgeschwindigkeit
- Bei Brechen der Heckquerwelle entsteht maximale Wiederauffüllungsströmung



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Wiederauffüllungsströmung



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - **Wiederauffüllungsströmung**

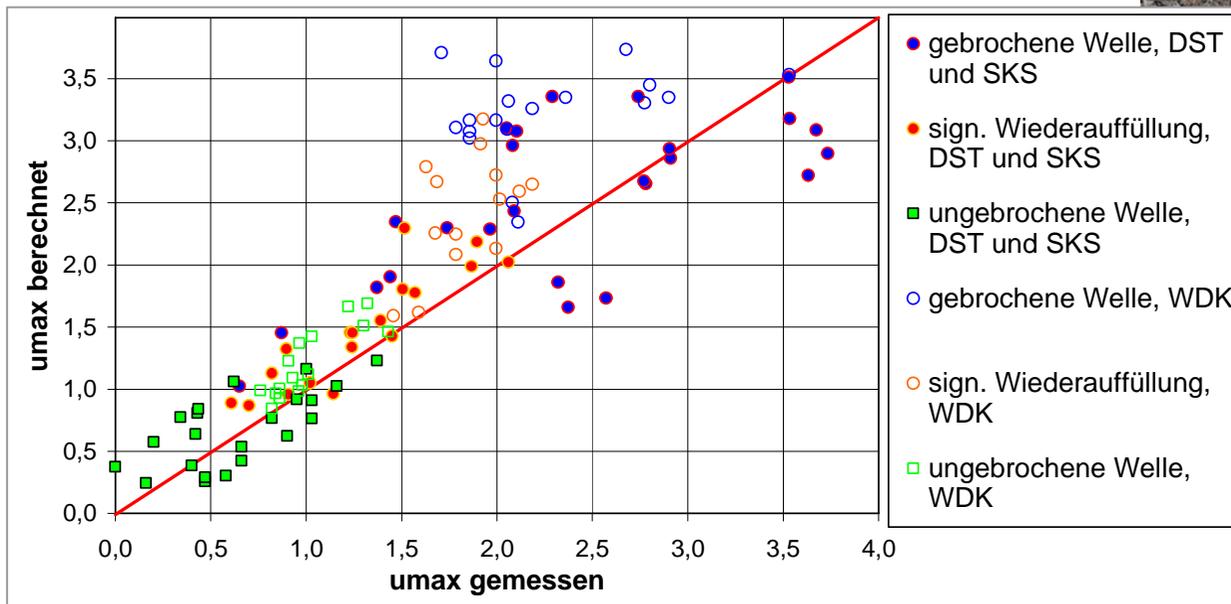
- Füllt die Absunkmulde wieder auf
- Im Extremfall als mitlaufender Rollbrecher zu erkennen
- Strömungsgeschwindigkeit begrenzt durch die Schiffsgeschwindigkeit über Grund



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Primärwellenfeld - Wiederauffüllungsströmung

- Füllt die Absunkmulde wieder auf
- Im Extremfall als mitlaufender Rollbrecher zu erkennen
- Strömungsgeschwindigkeit begrenzt durch die Schiffsgeschwindigkeit über Grund



u_{\max} -Berechnung hier über analytischen Ansatz und Brecherkriterien, kalibriert mit Natur- und Modellversuchsdaten

Interaktion Schiff – Wasserstraße

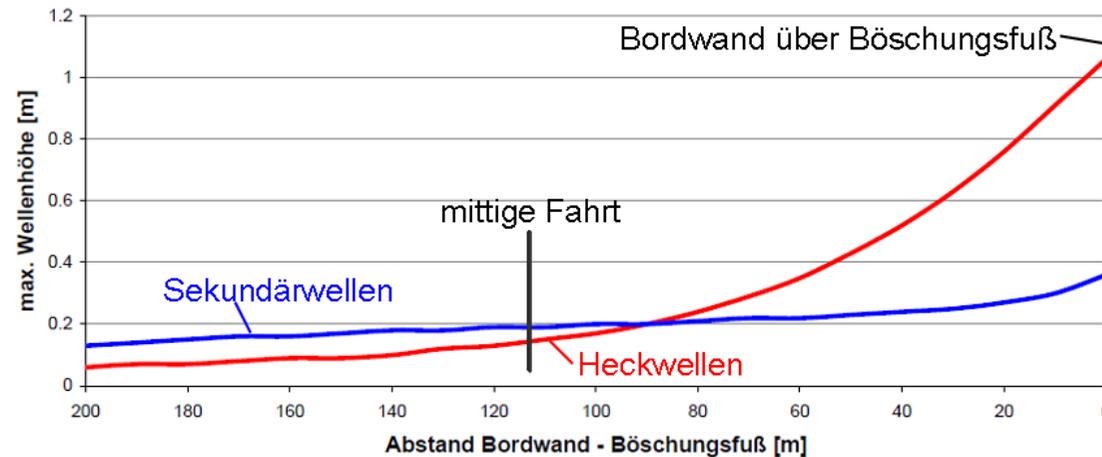
Belastungen aus dem Sekundärwellenfeld



Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus dem Sekundärwellenfeld

- Quer- und Schrägwellen ausgelöst durch Konturänderungen an Bug und Heck des Schiffes
- Relevante Belastungsgröße für große Uferabstände
- Absolutwerte jedoch kleiner als bei ufernaher Fahrt
- Besonders im Bereich der Gleitgeschwindigkeit sehr große Sekundärwellen

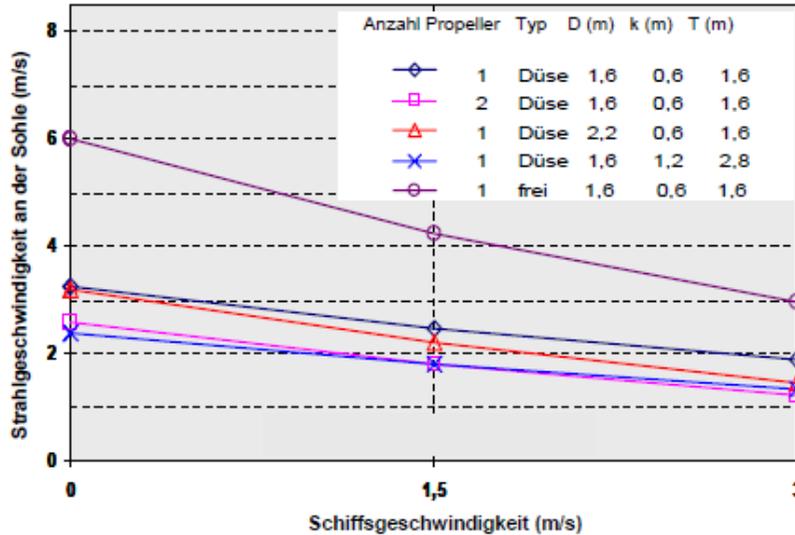


Wellenbelastung auf das rechte Ufer bei Fahrt eines GMS mit 97 % v_{krit} im Trapezprofil ($b_{WS}=250$ m)

Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus Antriebs- und Steuerorganen

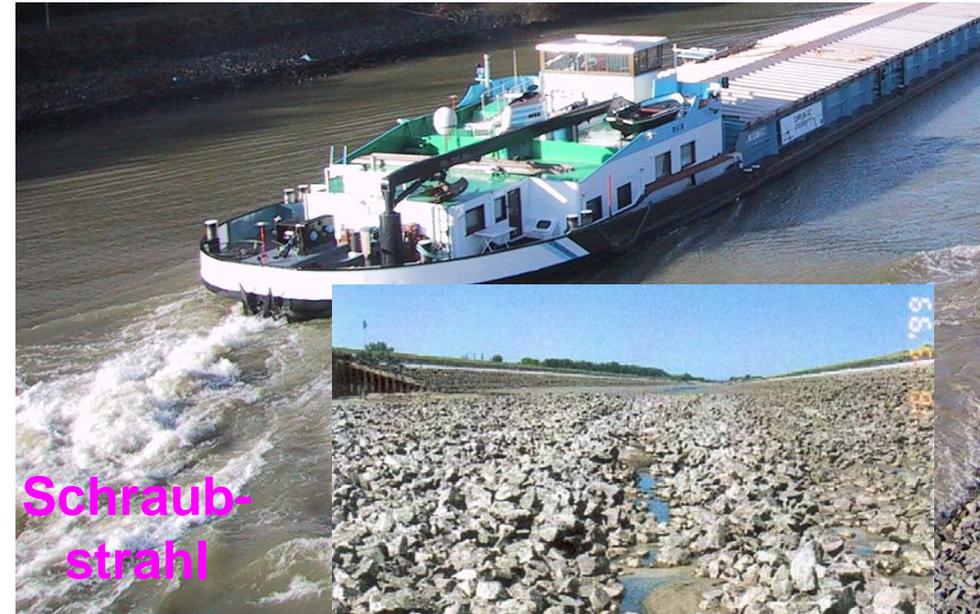
- Schraubstrahlbelastung sehr komplex mit hohen Geschwindigkeiten und Turbulenz
- Maßgebende Belastung bei Manöverfahrt
- Je größer die Schiffsgeschwindigkeit desto kleiner die Schraubstrahlbelastungen
- Belastungen durch Hauptantriebe meist auf Sohle, durch Bugstrahlruder auf die Böschung



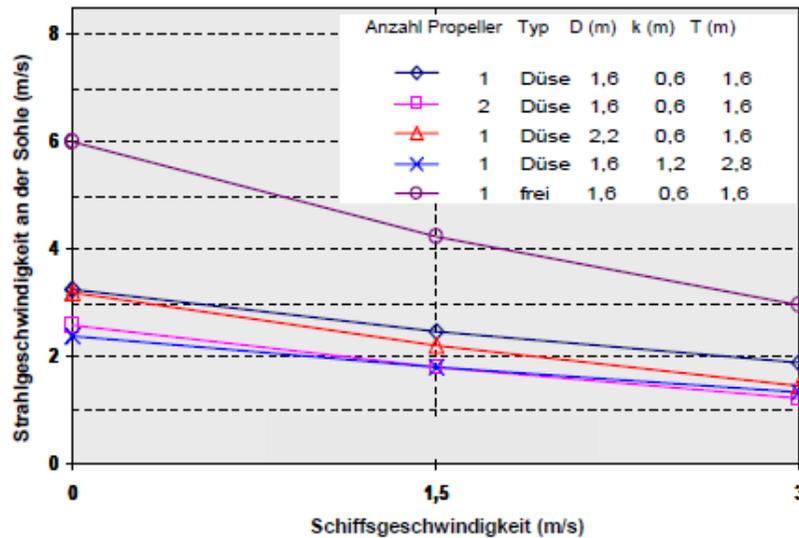
Interaktion Schiff – Wasserstraße

Belastungen aus Antriebs- und Steuerorganen

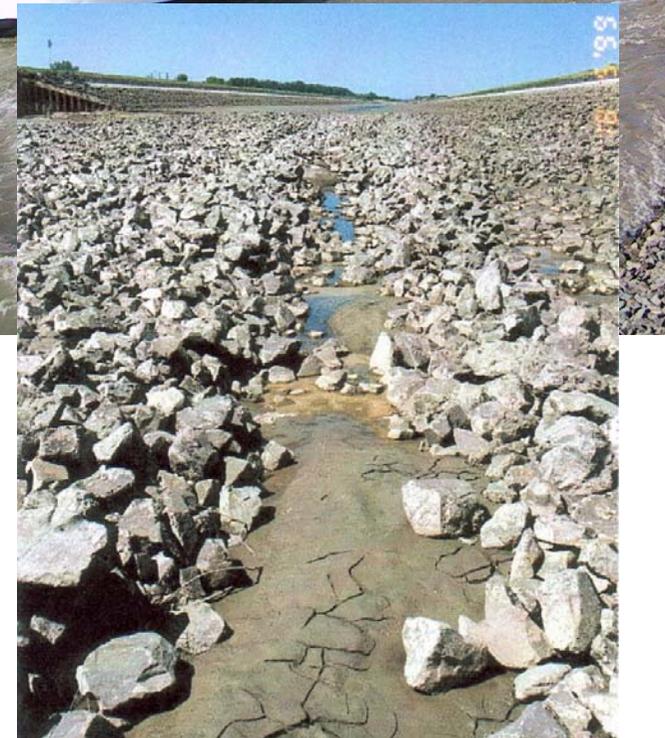
- Schraubstrahlbelastung sehr komplex mit hohen Geschwindigkeiten und Turbulenz
- Maßgebende Belastung bei Manöverfahrt
- Je größer die Schiffsgeschwindigkeit desto kleiner die Schraubstrahlbelastungen
- Belastungen durch Hauptantriebe meist auf Sohle, durch Bugstrahlruder auf die Böschung



Schraubstrahl



Schraubstrahlspuren am MLK



Abflussbedingte Belastungen

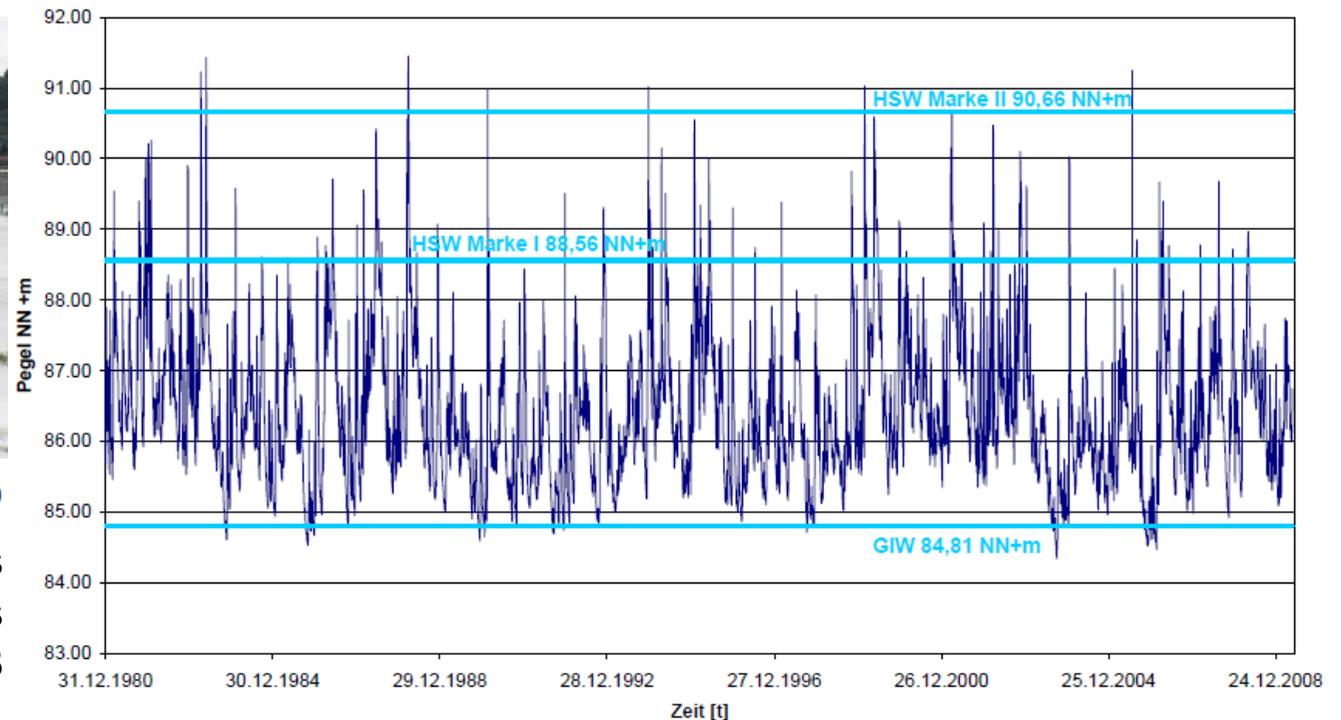
Wasserstandsänderungen

- Schwankungsbreite des Wasserstands regional sehr unterschiedlich
- Überflutungsperioden bei Anwendung von alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen zu berücksichtigen



(www.abendblatt.de)

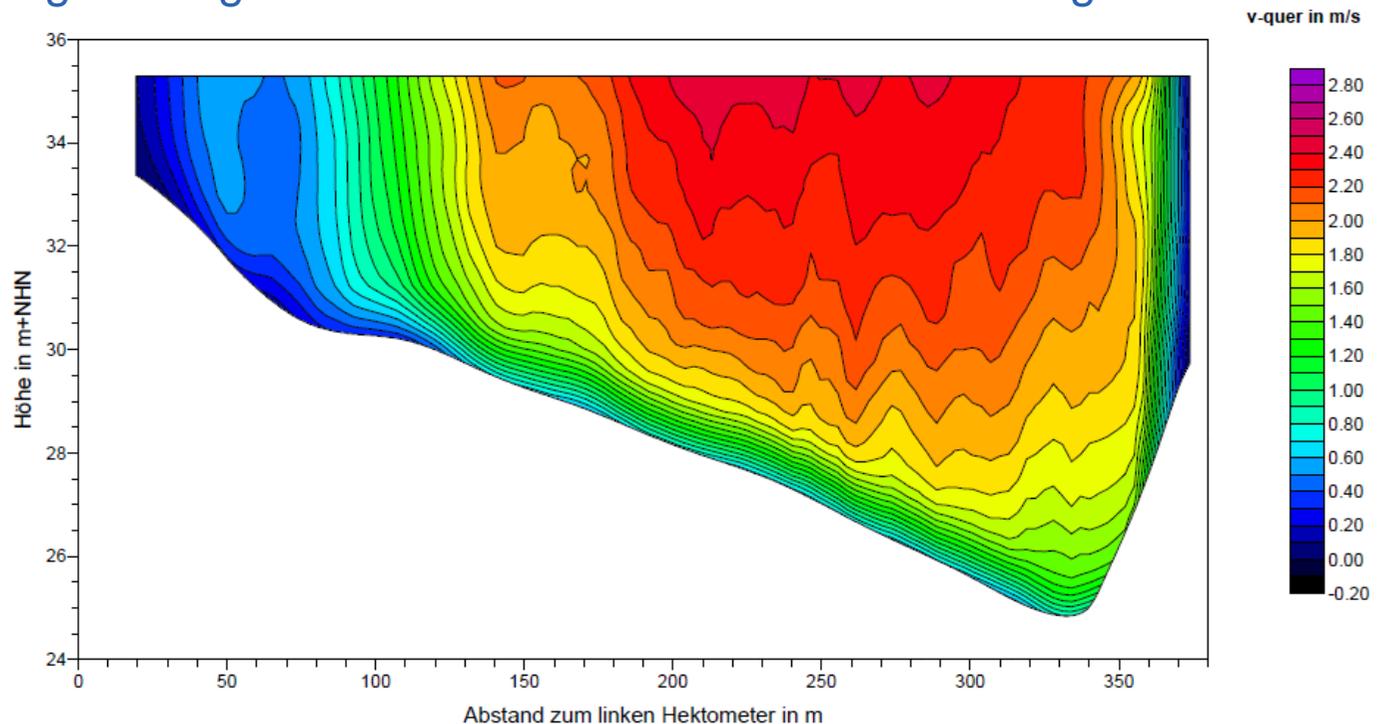
Wasserstandsganglinie des Rheins am Pegel Worms von 1980 bis 2008



Abflussbedingte Belastungen

Strömungsgeschwindigkeiten und Schubspannungen

- Fließgeschwindigkeiten & Schubspannungen überall im Querschnitt unterschiedlich
- Geschwindigkeiten & Schubspannungen schwächen sich zum Ufer und zur Sohle hin ab
- Meist nur im Hochwasserfall bemessungsrelevante Strömungsgeschwindigkeiten
- Natürliche Strömung überlagert sich den schiffsinduzierten Strömungen



Isotachenplan
Rhein-km 738,5



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!