



Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.

DST - Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

**Untersuchung des Überholvorgangs
zwischen zwei Schiffen
auf flachem Gewässer**

**Bericht 1759
Dezember 2004 / Mai 2005**

**Auftraggeber:
Bundesstelle für
Seeunfalluntersuchung,
Hamburg**

Inhalt

1.	Aufgabenstellung	2
2.	Modelle	3
2.1.	Cosco Hamburg	3
2.2.	Nedlloyd Finland	4
2.3.	Geschwindigkeiten	4
3.	Versuchsdurchführung	5
3.1.	Anordnung im Schlepptank	5
3.2.	Versuchsprogramm	7
3.3.	Meßgrößen	8
3.4.	Stationäre Versuche	9
3.5.	Ruder- und Schrägschleppversuche	10
3.6.	Instationäre Versuche	10
4.	Ergebnisse	11
4.1.	Stationäre Versuche	11
4.1.1.	Einfluß der Böschung	12
4.1.2.	Bodendruckverteilung	13
4.1.3.	Kräfte und Schwimmlagen	15
4.1.4.	Ruder- und Driftwinkelversuche	16
4.2.	Instationäre Versuche	17
4.2.1.	Vergleich mit den stationären Versuchen	18
4.2.2.	Vergleich der unterschiedlichen Geschwindigkeiten	20
4.2.3.	Vergleich bei Variation der Längsposition	21
4.2.4.	Vergleich bei Variation der Querposition	23
5.	Schlußfolgerungen	28
6.	Ausblick	29
7.	Symbolverzeichnis	30
8.	Zusammenfassung	31

Abbildungen

Foto-Anlagen

Video-Aufzeichnungen (CD beigelegt)

1. Aufgabenstellung

Das DST erhielt den Auftrag, durch Modellversuche den Überholvorgang zwischen zwei Schiffen auf flachem Wasser zu untersuchen. Der Werkvertrag vom 12.11.2004 bezieht sich auf das Angebot des DST vom 8.10.2004. Dieses umfaßt

- Nachbildung der Uferböschung der Fahrrinne im Schlepptank
- Herstellung von 2 Modellen der beteiligten Schiffe im Maßstab 1:50
- Durchführung von Überholversuchen mit gefesselten Modellen (instationär) mit verschiedenen Schiffsgeschwindigkeiten und Seitenabständen
- Parallelfahrt (stationär) mit gefesselten Modellen in 7 Positionen (Längs- und Querposition)
- Abschätzung des erforderlichen Ruderwinkels und des resultierenden Driftwinkels zur Kompensation der gemessenen Seitenkraft und des Gierrmomentes am kleinen Schiff

Neben den Unterlagen über die beiden beteiligten Schiffe wurde dem DST die „Situationsanalyse des Überholmanövers“ der Hochschule Wismar zur Verfügung gestellt, um die Parameter für die Modellversuche definieren zu können.

2. Modelle

2.1. Cosco Hamburg

Leider lag der Linienriß des großen Containerschiffes „Cosco Hamburg“ nicht vor. Aus diesem Grunde hat das DST ein vergleichbares Schiff mit den Hauptabmessungen des Überholers entworfen und im Maßstab 1:50 aus Holz gebaut. Es wurde davon ausgegangen, daß der Einfluß der genauen Schiffslinien gegenüber der Realisierung der wichtigen Parameter Länge, Breite, Tiefgang, Verdrängung und Wassertiefe gering ist. In Übereinstimmung mit dem Auftraggeber wurde das Modell ohne Eigenantrieb ausgeführt, da angenommen wurde, daß der hauptsächliche Einfluß auf das überholte Schiff aus der Druckverteilung in der Umgebung des Überholers herrührt.

Der Spantenriß und die Seitenansicht des gebauten Modells sind in Anl. 2.1 a, zwei Fotos des Modells in Anl. 2.1 b wiedergegeben.

2.2. Nedlloyd Finland

Die Linien des kleineren Schiffes lagen vor, so daß es (ebenfalls im Maßstab 1:50) genau nachgebildet werden konnte. Wegen der geringen Größe (ca. 2 m) und der geringen Masse (54 kg) wurde das Modell aus Hartschaum hergestellt, mit Glasgewebe überzogen und mit Holz verstärkt. Das Modell besitzt einen eigenen Antrieb sowie ein verstellbares Ruder. Der Spantenriß und eine Seitenansicht finden sich in Anl. 2.2 a, zwei Fotos des Modells in Anl. 2.2 b.

Die wichtigsten Daten der beiden Modelle sind in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben. In den verschiedenen Quellen, die zur Verfügung standen, variieren die Daten der Großausführungen leicht.

		Cosco Hamburg	Nedlloyd Finland
Länge über alles	L _{üa} [m]	5,600	2,020
Länge zw. den Loten	L _{pp} [m]	5,286	1,882
Breite über alles	B _{üa} [m]	0,789	0,364
Tiefgang vorne	T _v [m]	0,226	0,120
Tiefgang hinten	T _h [m]	0,230	0,131
Verdrängung	∇ [m³]	0,565	0,054

2.3. Geschwindigkeiten

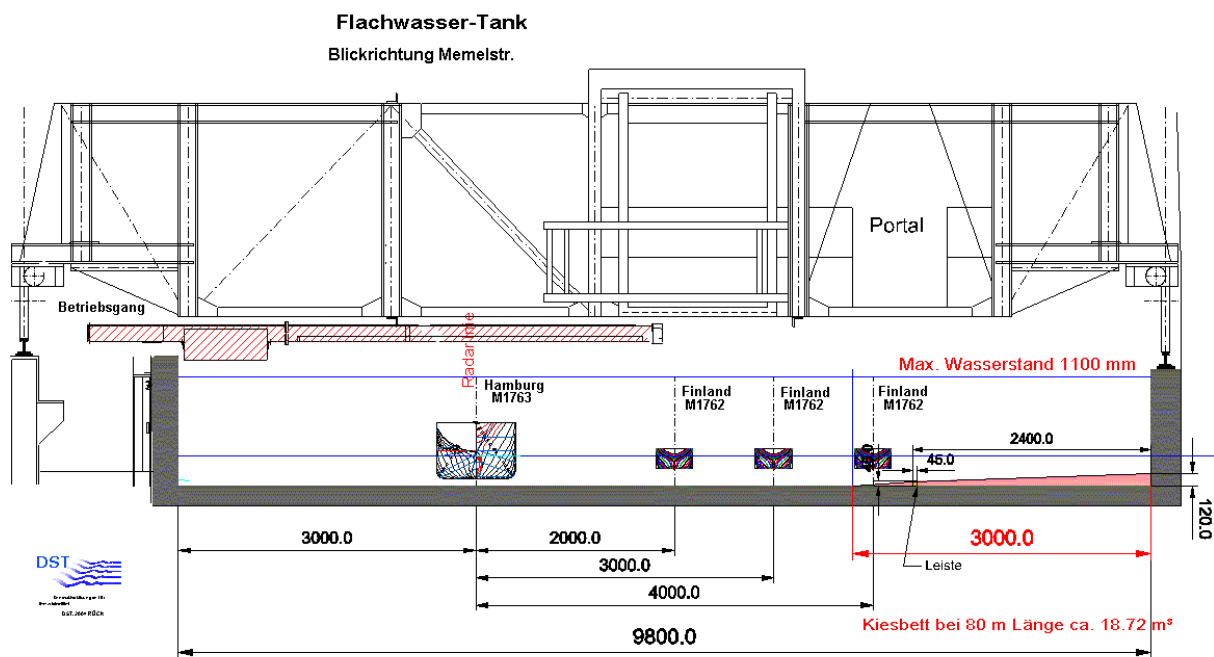
In der Quelle der Hochschule Wismar sind die Geschwindigkeitsverläufe der beiden Fahrzeuge während des Überholmanövers wiedergegeben. Während „Cosco Hamburg“ annähernd konstant 15 kn fuhr, variierte die Geschwindigkeit von „Nedlloyd Finland“ zwischen Werten unter 11 kn und maximal 15 kn. Darauf basierend wurde für die stationäre Parallelfahrt die Geschwindigkeit auf 15 kn festgelegt, wohingegen als Untersuchungsgeschwindigkeiten für das instationäre Überholmanöver 11 kn, 12 kn und 13 kn angesetzt wurden. Eine höhere Geschwindigkeit für das überholte Schiff war wegen der immer geringer werdenden Differenzgeschwindigkeit und der begrenzten Tanklänge nicht möglich, da der Überholvorgang sonst nicht mehr von „beginnende Annäherung“ bis „Abschluß des Überholmanövers“ voll realisiert werden könnte.

3. Versuchsdurchführung

3.1. Anordnung im Schlepptank

Für die Wiedergabe der Umgebung des Überholmanövers eignet sich der Maßstab 1:50 gut, denn er deckt bei einer Tankbreite von fast 10 m die natürliche Gewässerbreite (über 500 m) ab, läßt an den Außenseiten genügend Raum, um Wandeinflüsse vernachlässigen zu können und erlaubt gleichzeitig noch Modelle in einer Größe, die realistische Ergebnisse erwarten lassen.

Die Fahrspur des großen Schiffes „Cosco Hamburg“ wurde im DST-Tank auf 3 m von der linken Mauer festgelegt, also bei ca. 1/3 der Tankbreite. In dem mittleren Drittel befanden sich die verschiedenen Spuren (Seitenabstände von 50 m bis 200 m in der Großausführung) des überholten Schiffes „Nedlloyd Finland“ und das letzte rechte Drittel wurde von einer nachgebildeten Uferböschung eingenommen. Dies ist in der folgenden Abbildung (und größer in Anl. 3.1 a) wiedergegeben.

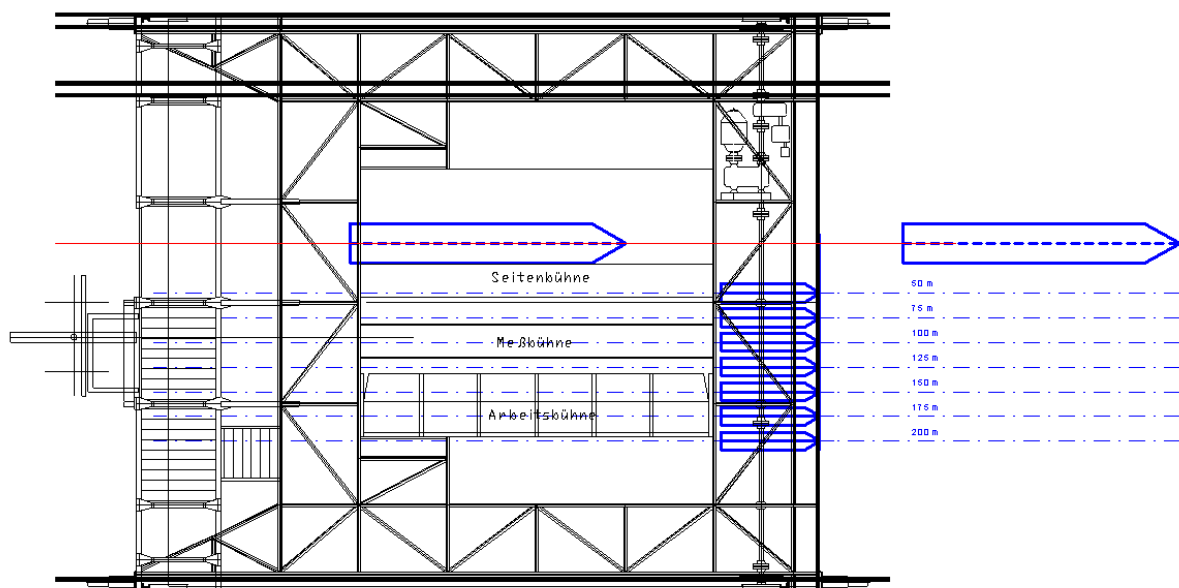


Diese Böschung wurde nach den mittleren Tiefenangaben der Gewässerkarte und nach Rücksprache mit dem Auftraggeber nachgebildet. Über eine Strecke von ca. 85 m wurden am Boden und an der rechten Tankwand Leisten angebracht, zwischen denen feiner Schotter aufgefüllt und verstrichen wurde. Der Übergang zur Tankmitte und die Rampen an beiden Enden wurden manuell modelliert.

Für die Durchführung der Parallelfahrten wurden beide Modelle unter dem großen Schleppwagen befestigt, während bei den Überholmanövern die Schnellschleppanlage (ein unbemannt fahrender Wagen, der unterhalb des großen Schleppwagens passieren kann) eingesetzt wurde. Die Spur des großen Schiffes blieb dabei unverändert, nur die Führung des Modells wurde gewechselt.

In beiden Fällen wurde das kleine Modell wegen des erforderlichen Platzbedarfs in Querrichtung vor der eigentlichen Meßbühne so befestigt, daß es für die Untersuchung der verschiedenen Querabstände an vorhandenen Querholmen seitlich verschoben werden konnte.

Die Darstellung der Positionen der Modelle für das Überholmanöver ist in der folgenden Abbildung (und größer in Anl. 3.1 b) qualitativ wiedergegeben.



Versuchsanordnung mit den verschiedenen Spuren in der Draufsicht

3.2. Versuchsprogramm

Aus den Angaben der Anfrage und des Angebotes wurde ein Versuchsprogramm entwickelt, welches die stationären und die instationären Versuche nacheinander wiedergibt. Es ist (nicht übereinstimmend mit der zeitlichen Abfolge der einzelnen Experimente) in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Vers.- Nr.	Typ	kleines Modell = Schleppwagen				großes Modell = Schnellschleppanlage		Bemerkung
		V [kn]	y- Abstand	ΔtR [°]	Beta [°]	V [kn]	x-Position	
2	stationär					15	0.6	Nur großes Schiff
10	stationär	15	150	0	0			Nur kleines Schiff
5	stationär	15	150	0	0	15	0.6	Beide zusammen
8	stationär	15	150	0	0	15	-0.2	Variation Längsabstand
7	stationär	15	150	0	0	15	0	Variation Längsabstand
6	stationär	15	150	0	0	15	0.3	Variation Längsabstand
5	stationär	15	150	0	0	15	0.6	Variation Längsabstand
9	stationär	15	150	0	0	15	0.8	Variation Längsabstand
14	stationär	15	100	0	0			Variation quer, nur kleines Schiff
10	stationär	15	150	0	0			Variation quer, nur kleines Schiff
17	stationär	15	200	0	0			Variation quer, nur kleines Schiff
15	stationär	15	100	0	0	15	0.8	Variation quer, beide Schiffe
9	stationär	15	150	0	0	15	0.8	Variation quer, beide Schiffe
16	stationär	15	200	0	0	15	0.8	Variation quer, beide Schiffe
11	Drift+Ruder	12	150	0, 10, 20	0			
12	Drift+Ruder	12	150	0, 10, 20	-5			
13	Drift+Ruder	12	150	0, 10, 20	-10			
18	instationär	11	200	0	0	15	überholen	
19	instationär	12	"	"	"	"	überholen	
20	instationär	13	"	"	"	"	überholen	
21	instationär	11	175	0	0	"	überholen	
22	instationär	12	"	"	"	"	überholen	
23	instationär	13	"	"	"	"	überholen	
24	instationär	11	150	0	0	"	überholen	
25	instationär	12	"	"	"	"	überholen	
26	instationär	13	"	"	"	"	überholen	
27	instationär	11	125	0	0	"	überholen	
28	instationär	12	"	"	"	"	überholen	
29	instationär	13	"	"	"	"	überholen	
30	instationär	11	100	0	0	"	überholen	
31	instationär	12	"	"	"	"	überholen	
32	instationär	13	"	"	"	"	überholen	
33	instationär	11	75	0	0	"	überholen	
34	instationär	12	"	"	"	"	überholen	
35	instationär	13	"	"	"	"	überholen	
36	instationär	11	50	0	0	"	überholen	
37	instationär	12	"	"	"	"	überholen	
38	instationär	13	"	"	"	"	überholen	

Die Maße zur Querposition y sind in Meter der Großausführung bezogen auf die Mittellinien der beiden Schiffe angegeben. Bei den Angaben zur Längsposition x handelt es sich um relative Angaben bezogen auf die Länge L_{pp} des großen Schiffes. Hierbei ist „Null“ die Position „Bug an Bug“ und positive Werte bezeichnen eine Lage, bei der sich der Bug des Überholers vor dem des überholten Schiffes befindet.

Es ist zu beachten, daß diese Definition nur für die Planung und die Angaben der Positionen der stationären Experimente verwendet wurde. Bei den Auswertungen der instationären Versuche zeigte sich, daß die Nullposition „Hauptspant an Hauptspant“ die erheblich besser zu handhabende Angabe ist, da sich die Ereignisse punkt- bzw. spiegelsymmetrisch zu diesem neu definierten Nullpunkt verhalten.

3.3. Meßgrößen

Während der Experimente wurden diverse Meßgrößen registriert, und zwar sowohl bei den stationären als auch bei den instationären Experimenten, wobei jedoch nicht immer alle Daten ausgewertet wurden.

Bei den Parallelfahrten ist das Bodendruckfeld ein direkter Indikator für das Wellenbild (das primäre, nicht das sekundäre Wellensystem). Da die Versuchssituation „stationär“ ist, kann aus der Zeitreihe der Druckmessungen mit der Geschwindigkeit V eine Wegskala berechnet werden und so mit einer festen Sondenanzahl in y -Richtung auch das Druckfeld in x -Richtung dargestellt werden. Die Zeitschriebe der anderen Meßgrößen werden gemittelt und so die Daten für die Kräfte und Momente bestimmt.

Bei den instationären Experimenten ist Mittelwertbildung nicht sinnvoll, da sich zu jedem Zeitpunkt die Situation ändert. Aus diesem Grund ist auch die Auswertung der Bodendrucksensoren nicht angebracht, da sich zu jedem Zeitpunkt t eine andere Überholsituation Δx einstellt, die Druckdosen aber fest im Tankboden angebracht sind.

Die Quellen für die verschiedenen Meßgrößen sind:

- Informationen über Zeit t , Geschwindigkeit V und Ort $x \rightarrow$ Schleppwagen.
- Synchronisationssignal und Bodendrucke p_1 bis $p_6 \rightarrow$ Meßprofil im Tankboden.
(Synchronisation: Kontakt an der Fahrschiene des großen Schleppwagens zur Definition des Nullpunktes der Bodendruckmessungen)
- Synchronisationssignale, Kräfte X , Y_v , Y_h , Daten zur Schwimmlage z_1 , z_2 , Schub T , Drehmoment Q und Drehzahl $n \rightarrow$ kleines Modell.

(Synchronisation: Lichtschranken an Bug und Heck des kleinen Modells, korrespondierend dazu Reflektoren an Bug und Heck des Überholers)

Vom großen Modell und von der Schnellschleppanlage wurden keine Meßwerte übernommen, da nur die Reaktionen des überholten Schiffes gefragt waren und die Position des Überholers aus den Lichtschrankendurchgängen exakt rekonstruiert werden kann.

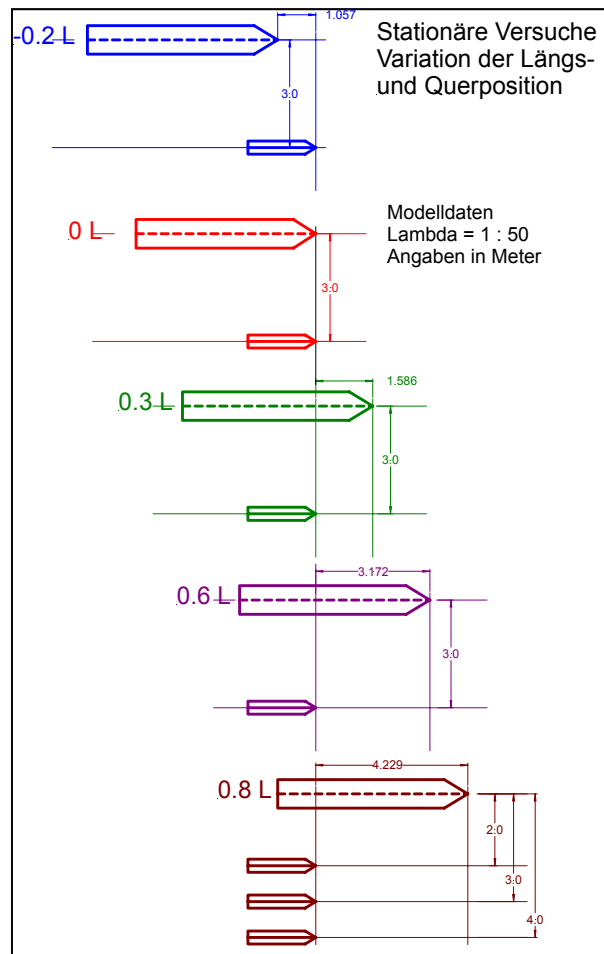
Aus dem Modell des kleinen Schiffes wurden die Informationen für die Kräfte und Momente aus drei Kraftmeßgliedern X , Y_v und Y_h übertragen, die jeweils über Gelenke sowie Kugellager und Kugelbüchsen so angeordnet sind, daß sämtliche Verspannungen vermieden werden und die beiden Freiheitsgrade Trimm und Absenkung freigegeben sind. Die Krängung mußte wegen der hohen Schwerpunktslage des Modells blockiert werden, denn es hätten sonst unnatürliche Rollwinkel oder Rollschwingungen auftreten können.

Aus den 2 Größen Y_v und Y_h wurde durch Addition die Gesamtseitenkraft Y und aus der Differenz unter Berücksichtigung der Hebelarme das Drehmoment N um den Bezugspunkt (Hauptspant) berechnet.

Die beiden freigegebenen Bewegungsarten Trimm und Absenkung wurden mit Laser-Distanzmessern aufgezeichnet. Auch hier wurde durch Addition bzw. Subtraktion mit Berücksichtigung der Hebelarme die mittlere Absenkung am Hauptspant und der Trimmwinkel bestimmt.

3.4. Stationäre Versuche

Die Anordnung der Modelle bei den stationären Versuchen (beide Modelle vom großen Schleppwagen geführt) ist in der nebenstehenden Abbildung (und größer in Anl. 3.4) schematisch dargestellt. Dabei wurde „Cosco Hamburg“ in Längsrichtung und „Nedlloyd Finland“ in Querrichtung unter dem Schleppwagen verschoben.



3.5. Ruder- und Schrägschleppversuche

In der gleichen Anordnung wie bei den stationären Versuchen wurden auf der Spur „150 m“ Kraftmessungen mit gelegtem Ruder bzw. mit Driftwinkeln durchgeführt. Dabei war das große Modell ausgebaut. Diese Messungen dienten dazu, die dimensionsbehafteten linearen hydrodynamischen Koeffizienten Y_d , N_d , Y_v und N_v zu bestimmen.

Dabei handelt es sich um die Steigungen der Geraden der umgerechneten Meßgrößen Seitenkraft Y und Drehmoment N über die Stellgrößen Ruderwinkel δ und Driftwinkel v .

Anmerkung: Die alternative Bezeichnung δ statt $\Delta\alpha$ bzw. v statt Beta stammt aus den gebräuchlichen Definitionen aus dem Fachgebiet des Manövrierens von Schiffen. Dies kann zu Mißverständnissen führen (siehe Symbolverzeichnis) aber es wurde in Kauf genommen, um die üblichen Bezeichnungen Y_d , N_d , Y_v , N_v trotzdem verwenden zu können.

3.6. Instationäre Versuche

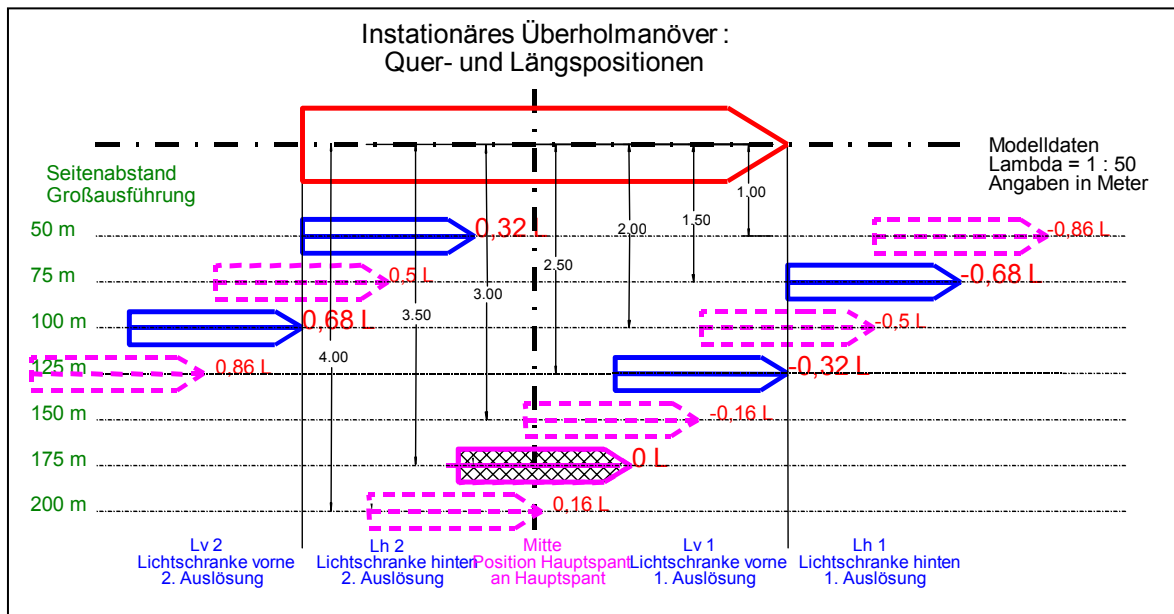
Für die Überholmanöver bei verschiedenen Geschwindigkeiten werden beide Schleppwagen des DST verwendet: der große Schleppwagen und die Schnellschleppanlage. Die Besonderheit besteht darin, daß sie nicht nur unabhängig voneinander operieren, sondern auch für Überhol- und Begegnungsversuche eingesetzt werden können.

Die Bestimmung der jeweiligen Überholsituation erfolgt über die Registrierung von 4 Lichtschrankensignalen:

1. Bug des Überholers erreicht Heck des kleinen Schiffes $\rightarrow Lh1$
2. Bug des Überholers erreicht Bug des kleinen Schiffes $\rightarrow Lv1$
3. Heck des Überholers erreicht Heck des kleinen Schiffes $\rightarrow Lh2$
4. Heck des Überholers erreicht Bug des kleinen Schiffes $\rightarrow Lv2$

Diese Situationen und daraus bestimmte Zwischenpositionen (wobei „Mitte“ die wichtigste ist, da für diese die relative x-Koordinate auf Null gesetzt wird) sind in der folgenden Abbildung (und größer in Anl. 3.6) dargestellt.

Bezogen auf das gezeigte Diagramm wird noch einmal darauf hingewiesen, daß bei den instationären Versuchen eine andere „Nullposition“ verwendet wird, wie es schon im Kapitel 3.2 „Versuchsprogramm“ erläutert wurde.

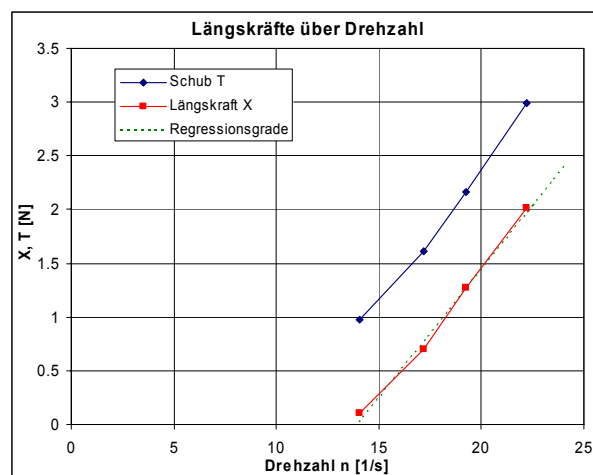


4. Ergebnisse

4.1. Stationäre Versuche

Da das kleine Schiff mit Eigenantrieb ausgestattet wurde, musste zusätzlich zu den vorgesehenen Messungen noch ein abgekürzter Propulsionsversuch durchgeführt werden, um die Propellerdrehzahl von „Nedlloyd Finland“ für die Modellversuche zu definieren. Hierbei ist die tatsächliche Drehzahl nicht relevant, da diese vom verwendeten Propellertyp abhängt, sondern es kommt primär darauf an, den Propulsionpunkt zu definieren, bei dem Schub und Widerstand (abzüglich des Reibungsabzugs nach ITTC 57) im Gleichgewicht stehen.

Als Bezugsgeschwindigkeit wurde für das überholte Schiff 12 kn festgelegt. Dies ist die mittlere Geschwindigkeit bei den instationären Versuchen und kann nach der Quelle der Hochschule Wismar als sinnvolle Annahme für die Ausgangsgeschwindigkeit angesetzt werden. Die durch Subtraktion des Reibungsabzugs verschobene Ordinate des nebenstehenden Diagramms ergibt über die Regressionsgrade den Wert der Pro-



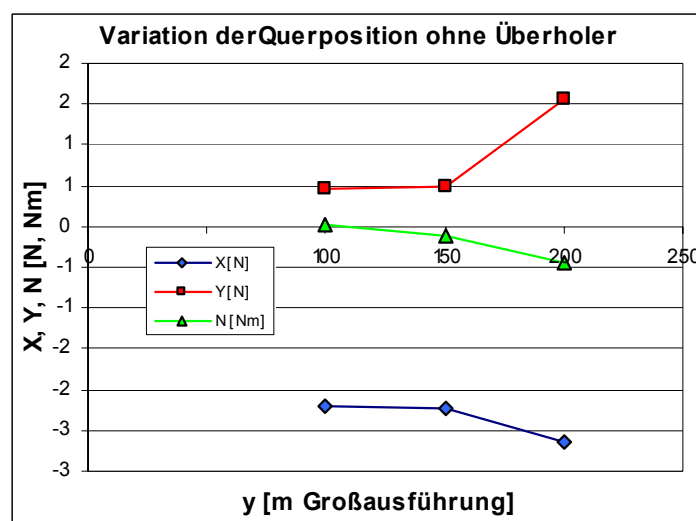
Vereinfachter Propulsionsversuch

propellerdrehzahl für den Propulsionspunkt des Modells. Unter Berücksichtigung der (unbekannten) Sogziffer läßt sich aus den Schubdaten auf den Widerstand des Modells schließen.

Die so definierte Propellerdrehzahl des kleinen Modells von $n = 19.6 \text{ 1/s}$ für 12 kn der Großausführung wurde für alle Versuche eingestellt, weil anzunehmen ist, daß bei dem nachgebildeten Überholmanöver keine Drehzahländerung vorgenommen wurde.

4.1.1. Einfluß der Böschung

Um den Einfluß der Böschung (die im Gegensatz zum glatten Tankboden mit sogenannter „rauher“ Sohle ausgeführt war) zu bestimmen, wurden zusätzlich zum vereinbarten Versuchsumfang Kraftmessungen mit dem kleinen Fahrzeug ohne das große Schiff durchgeführt. Bei der Position $y = 200 \text{ m}$ befindet sich das Modell über dem Fuß der Böschung und hat somit eine geringfügig verminderte Wassertiefe, aber vor allem eine „rauhe“ Sohle. Die bei Variation des Seitenabstandes gemessenen Kräfte und Momente sind in untenstehender Abbildung wiedergegeben.



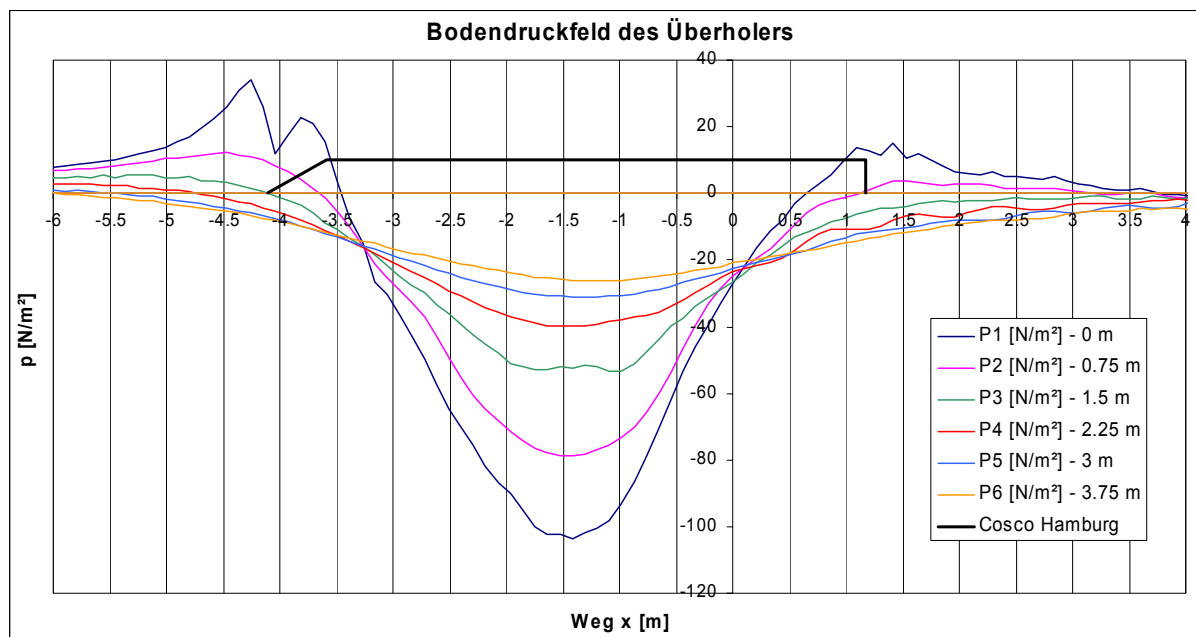
Kräfte und Momente im stationären Versuch (nur „Nedlloyd Finland“)

Die Schwankungen des Momentes N bewegen sich im Bereich der Meßgenauigkeit, was auch erklärbar ist, da es sich um eine Mittelwertbildung der Kräfte nur im Bereich der Böschung handelt. Diese Seitenkräfte Y und die Längskräfte X (deutlich von Null verschieden, da bei 15 kn im Selbstpropulsionspunkt für 12 kn untersucht) jedoch zeigen einen Einfluß, wenn sich das Modell über der rauhen Sohle mit Böschung befindet (siehe Anl. 3.1 a). Dies ist auch zu erwarten, da eine Widerstandserhöhung (größere negative Längskräfte) aus den Erfahrungen des DST bekannt ist und ebenfalls eine unsymmetrische Bodentopographie einen Einfluß zeigen muß.

Außerhalb der Böschung ($y = 150$ m und $y = 100$ m) ist sowohl die Längs- als auch die Seitenkraft annähernd konstant – mehr Meßpunkte hätten dies besser untermauert. Dies läßt trotzdem den Schluß zu, daß für den relevanten Bereich von $y = 150$ bis 50 m der Einfluß der Böschung vernachlässigbar ist. Für spätere Untersuchungen zu diesem Thema ist daher zu empfehlen, auf den kostspieligen Aufbau einer Böschung in dieser (relativ) geringen Ausdehnung zu verzichten.

4.1.2. Bodendruckverteilung

Stationäre Messungen eignen sich, um mit einer begrenzten Anzahl von Sonden in Querrichtung durch die konstante Geschwindigkeit über die Zeit ein 2-dimensionales Zustandsbild aufzuzeichnen. Für die Erfassung des Bodendruckfeldes unter den Schiffen wurden in einer mit dem Tankboden bündigen Schiene 6 Drucksonden befestigt. Ausgehend von der Spur des Überholers befanden sie sich in Abständen von 75 cm und reichten bis zur Böschung.



Die aufgezeichneten Zeitreihen (siehe Beispiel oben) jeder einzelnen Druckdose wurden zu einer Matrix zusammengefaßt ($6 \times \text{ca. } 1000$), der die Koordinaten der Druckdosen bzw. der Längspositionen der Messungen (aus den mit dem Synchronisationssignal verrechneten Wagenpositionen) zugeordnet wurden. Diese Datenfelder wurden mit einem Isolinenprogramm weiterverarbeitet.

Im Anhang sind auf 4 Seiten die Druckfelder der stationären Versuche unter verschiedenen Gesichtspunkten gegenübergestellt. Die Bodendrücke bilden einen sehr guten Indikator für die Wasserspiegelabsenkung durch das fahrende Schiff. Im

Gegensatz zu Wellensonden können sie das Sekundärwellensystem nur schlecht darstellen, dafür kann man mit ihnen aber auch am Ort des Schiffes selbst messen.

4.1.2.1. Variation der Schiffe

In Anlage 4.1.2.1 sind in 4 Darstellungen die Fälle „Nur großes Schiff“, „Nur kleines Schiff“ und zweimal „Beide Schiffe“ für die Positionen $x = 0,6 L$ ($0 = \text{Bug an Bug}$) und $y = 150 \text{ m}$ wiedergegeben. Man kann vermuten, daß sich das Bild für beide Schiffe als Überlagerung der 2 Einzeldruckfelder darstellt. Um dies zu überprüfen, wurden die Einzeldruckfelder miteinander addiert und das Ergebnis im 4. Diagramm wiedergegeben. Diese Vermutung ist nur bedingt zutreffend, da das Unterdruckfeld unter dem kleineren Schiff bei echter Parallelfahrt stärker ausgebildet ist, als bei simpler Addition der Einzelmeßwerte.

4.1.2.2. Variation der Längsposition

Die Variation der Position des Überholers (Phasenaufnahmen des Überholvorgangs, siehe Anl. 4.1.2.2) zeigt, wie die beiden Einzeldruckfelder der Schiffe miteinander verschmelzen und sich durchwandern. Es wird vor allem deutlich, daß die Dominanz klar beim Überholer liegt. Dies liegt unter anderem daran, daß er mit erheblich geringerem Flottwasser fährt und darum einem deutlicheren Flachwassereffekt unterliegt.

4.1.2.3. Variation der Querposition (beide Schiffe)

Anlage 4.1.2.3 zeigt in drei Darstellungen den Einfluß des seitlichen Abstandes (unteres Teilbild in Anl. 3.4) auf die Bodendruckverteilung. Man kann erkennen, daß das Druckfeld des Überholers in nur sehr geringem Maße vom überholten Schiff beeinflusst wird. Dies bestätigt die Annahme, daß der Überholer mit einer über 10-fach größeren Masse vom kleineren Schiff fast nicht beeinflusst wird und begründet den Verzicht auf Kraftmeßglieder im großen Modell.

4.1.2.4. Variation der Querposition (nur das kleinere Schiff)

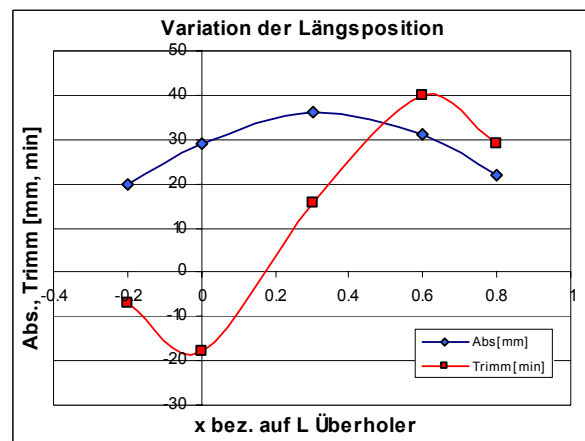
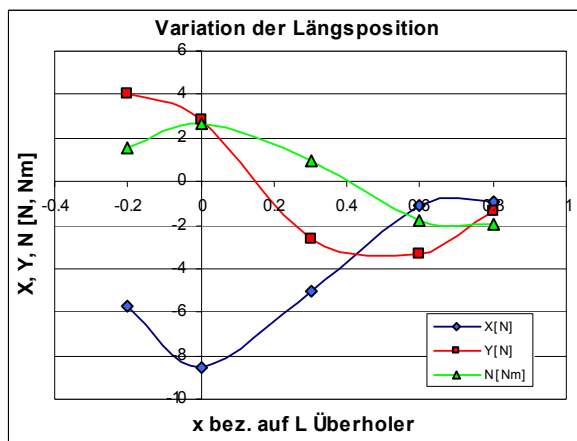
Die Darstellung der Druckfelder für das überholte Schiff ohne den Überholer in Anl. 4.1.2.4 entstammt einer zusätzlich durchgeführten Untersuchung, die Aufschluß über den Einfluß der Böschung auf das kleine Fahrzeug geben soll. Leider konnte in der Böschung kein Druck gemessen werden, so daß die Aussagekraft dieser Darstellungen eher gering ist. Der Vollständigkeit halber seien sie an dieser Stelle jedoch mit aufgeführt.

4.1.3. Kräfte und Schwimmlagen

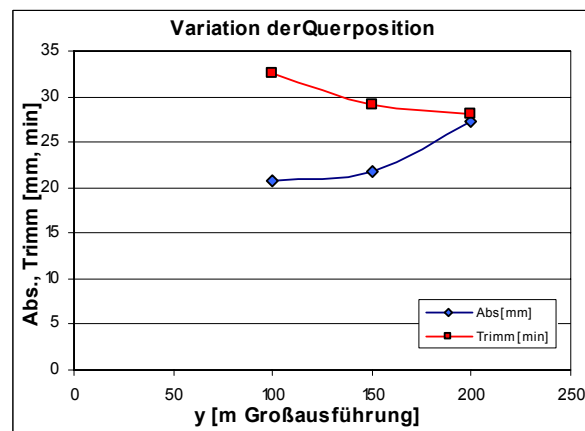
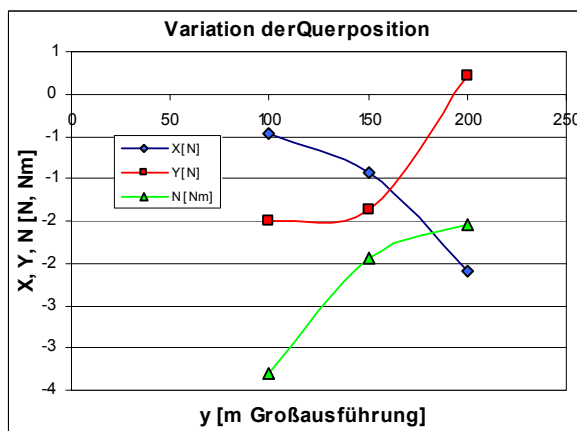
Die Ergebnisse der Experimente für die stationären Messungen (gemittelte Werte) werden an dieser Stelle kommentarlos wiedergegeben, da es sich vor allem um Validierungsdaten für numerische Berechnungen handelt. Bei der Darstellung der instationären Messungen werden diese Daten jedoch in die Diagramme eingefügt und so mit den „echten“ Werten verglichen.

Die hier gezeigten Diagramme sind im Anhang unter Anl. 4.1.3 a und b in größerer Form dargestellt. Die negativen Längskräfte sind durch den Selbstpropulsionspunkt für $V = 12$ kn bei einer Versuchsgeschwindigkeit von 15 kn bedingt.

Anmerkung: Hier ist der Nullpunkt für x der Zustand „Bug an Bug“ !



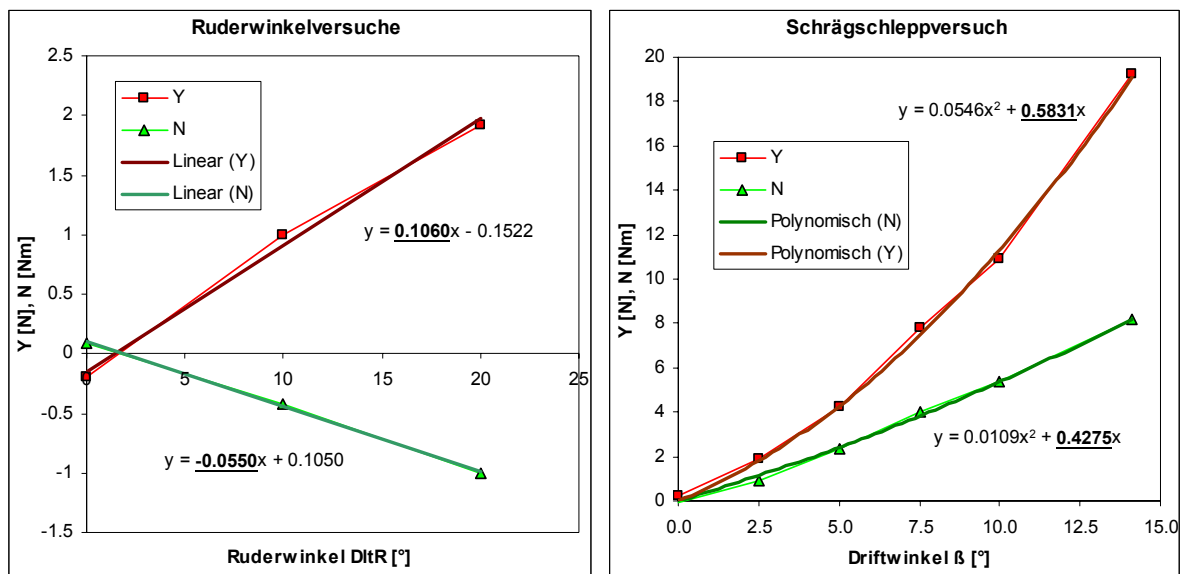
Kräfte, Momente und Schwimmlagen im stationären Versuch : Variation der Längsposition



Kräfte, Momente und Schwimmlagen im stationären Versuch : Variation der Querposition

4.1.4. Ruder- und Driftwinkelversuche

Die Messungen der Kräfte und Momente am kleinen Modell bei Ruderlagen und Driftwinkeln wurden für die Ruderlagen 0°, 10° und 20° und für die Driftwinkel 0°, 5° und 10° durchgeführt. Bei den Ruderwinkeln befindet man sich im linearen Bereich (der ab ca. 30° verlassen wird), bei den Driftwinkeln wird der lineare Bereich für Beta = 10° schon geringfügig verlassen. Die folgenden Abbildungen, die in größerer Darstellung in Anl. 4.1.4 zu finden sind, geben die Ergebnisse dieser Experimente wieder.



Ergebnisse der Ruder- und Driftwinkelversuche: Y und N über d und v

Die hier dargestellten Steigungen der Geraden stellen die dimensionsbehafteten hydrodynamischen Koeffizienten Y_d , N_d , Y_v und N_v dar. Sie geben bei Multiplikation mit dem Ruder- bzw. Driftwinkel des Versuchs (in Grad) die Seitenkraft Y bzw. das Moment N wieder, die am Modell durch Y_v und Y_h gemessen worden sind.

Die Seitenkraft und das Moment am Schiff lassen sich bei rein linearer Betrachtung durch die hier ermittelten hydrodynamischen Koeffizienten unter Vorgabe des Ruder- und Driftwinkels bestimmen.

Hierzu sind die Formeln

$$Y = Y_d \cdot d + Y_v \cdot v \quad \text{bzw.} \quad N = N_d \cdot d + N_v \cdot v$$

anwendbar. Nichtlineare Effekte und bekannte Kopplungen zwischen d und v werden hierbei nicht berücksichtigt.

Für die geforderte Abschätzung der zur Kompensation gegebener Seitenkräfte Y und Momente N erforderlichen Ruderwinkel d und Driftwinkel v müssen die beiden Gleichungen nach d und v aufgelöst werden. Dies führt zu den Formeln

$$d = \frac{N \cdot Y_v - Y \cdot N_v}{Y_v \cdot N_d - Y_d \cdot N_v} \quad \text{und} \quad v = \frac{N \cdot Y_d - Y \cdot N_d}{Y_d \cdot N_v - Y_v \cdot N_d}$$

Hierbei ist die Frage „Erzeugung“ oder „Kompensation“ nur eine Wahl des Vorzeichens. Der Einfachheit halber wurde im Folgenden der direkten Anwendung der Formeln der Vorzug gegeben und somit die vergleichbaren „erzeugenden“ Ruder- und Driftwinkel angegeben.

In den weiteren Auswertungen der instationären Versuche werden diese berechneten Ruder- und Driftwinkel konsequent mit angegeben. Dabei wird keine Überprüfung auf Plausibilität durchgeführt, sondern nur die oben genannten Formeln verwendet. Es muß also implizit immer der Zusatz „**Theoretisch zugeordnete** ...“ verwendet werden.

Es ist zu beachten, daß für Ruderwinkel über ca. 30° und für Driftwinkel über 10° deutlich nichtlineares Verhalten auftritt. Dies ist beim Ruder darin begründet, daß an etwa 30° die Strömung abreißt und die Kräfte und Momente nicht mehr proportional zum Ruderwinkel verlaufen, sondern zusammenbrechen. Außerdem sind deutlich größere Ruderwinkel nicht mehr einstellbar. Für den Driftwinkel bedeutet die Nichtlinearität, daß für Winkel ab ca. 10° oder darunter der Zuwachs ansteigt – es entstehen bei größeren Driftwinkeln größere Kräfte und Momente als nach dem linearen Ansatz.

Als Fazit dazu ist zu bemerken, daß ab ca. 10° der berechnete Driftwinkel zur Kompensation/Erzeugung größer ist, als der tatsächlich erforderliche, aber die angegebenen theoretisch ermittelten Ruderwinkel über einem Wert von ca. 35° nicht mehr verwertbar sind!!!

4.2. Instationäre Versuche

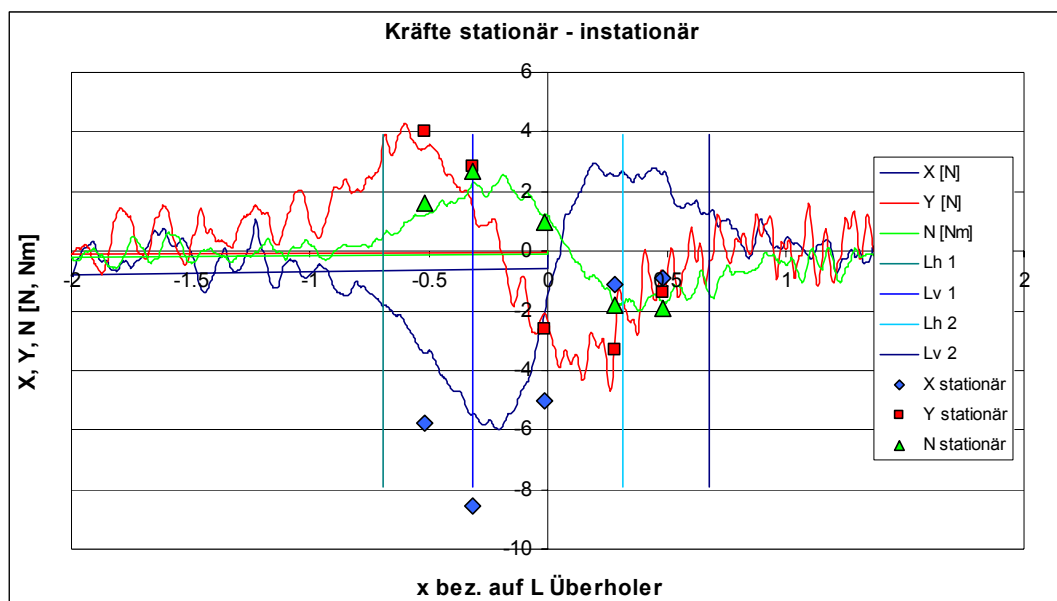
Sowohl die stationären als auch die instationären Versuche wurden durch eine Excel-Applikation ausgewertet, die automatisch alle hineinkopierten Daten (die vorher mit einem speziellen Programm von einer Taktrate von 100 Hz auf 10 Hz reduziert und bezüglich der Bodendrucke von mm Wassersäule auf N/m² umgerechnet wurden) bezüglich der Synchronisationssignale neu skaliert, filtert und für die relevanten x-Koordinaten gemittelte Werte ausgibt. Diese „signifikanten Resultate“ wurden dann in einer weiteren Excel-Anwendungen zu den Ergebnisdiagrammen aufbereitet.

4.2.1. Vergleich mit den stationären Versuchen

Die Ergebnisse der stationären Versuche auf der Spur $y = 150$ m wurden den instationären Messungen aus Fahrt 25 (überholtes Schiff $V = 12$ kn) gegenübergestellt. Hierbei wurden die relativen x-Koordinaten auf das neue Bezugssystem „0 = Hauptspant an Hauptspant“ umgerechnet.

Zum Verständnis der folgenden Darstellungen muß angemerkt werden, daß die Lichtschrankensignale für die in Kapitel 3.6 erläuterten Ereignisse hier als vertikale Striche dargestellt sind. Es wurden die dort eingeführten Abkürzungen verwendet. Die Skala der x-Achse ist immer auf L_{pp} des großen Schiffes bezogen, d.h. der Bereich von -0.5 bis $+0.5$ erstreckt sich auf die Situationen „Bug des Überholers an Hauptspant kleines Schiff“ bis „Heck des Überholers an Hauptspant kleines Schiff“. Die letztgenannte relative Position entspricht ungefähr der Definition „0.8 L“ aus den stationären Versuchen. (vergl. Anl. 3.4)

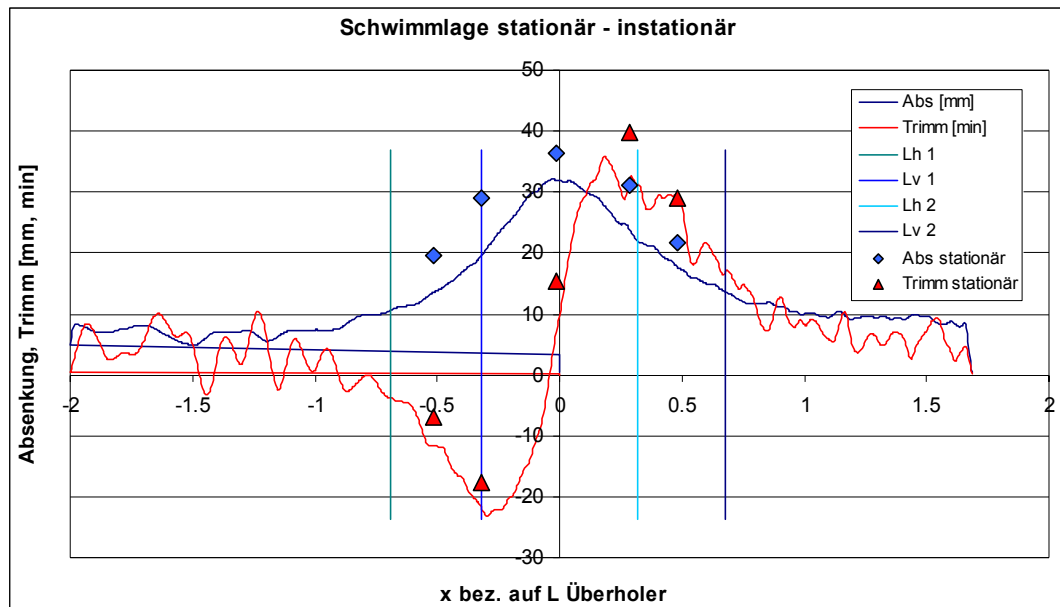
Für die Kräfte und Momente gibt die Gegenüberstellung im unten dargestellten Diagramm eine recht gute Übereinstimmung für Y und N wieder, zeigt jedoch einen deutlichen Versatz für X. Dies ist darin begründet, daß bei den stationären Versuchen auch das kleine Modell die Geschwindigkeit von 15 kn fuhr, die Propellerdrehzahl aber für 12 kn eingestellt war. Der fehlende Schub zeigt sich als Restwiderstand in einem negativen Versatz der blauen Rauten gegenüber dem Verlauf der Längskräfte.



Vergleich X, Y und N stationär und instationär

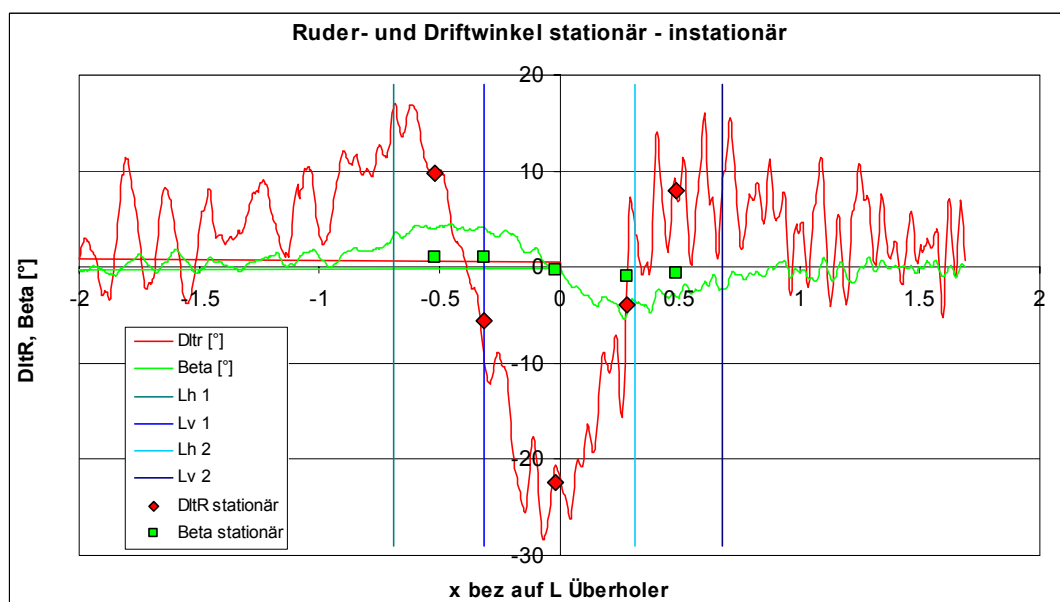
Ähnliches gilt für die Schwimmelage des kleinen Schiffes. Durch die geringere Geschwindigkeit im instationären Versuch ist die Absenkung und in gewissem

Umfang auch der Trimm geringer als im Fall von 15 kn bei den stationären Messungen.



Vergleich Absenkung und Trimm stationär und instationär

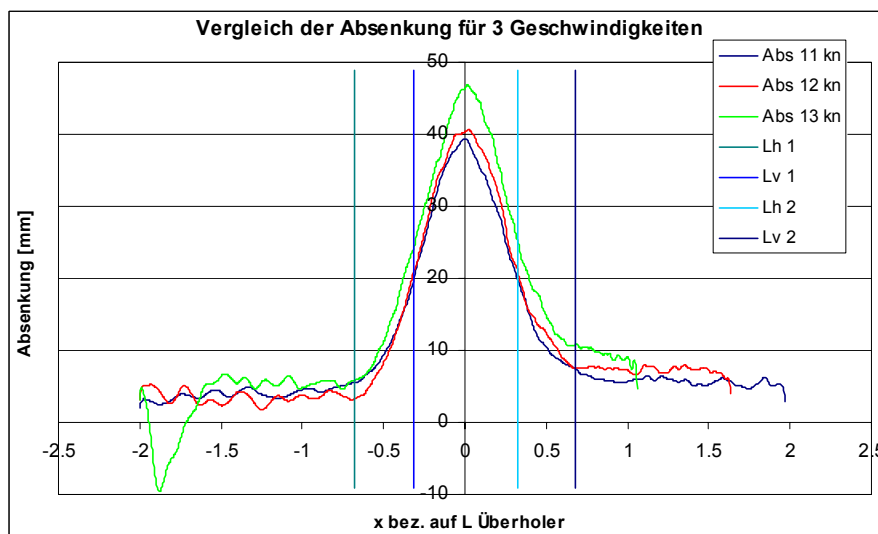
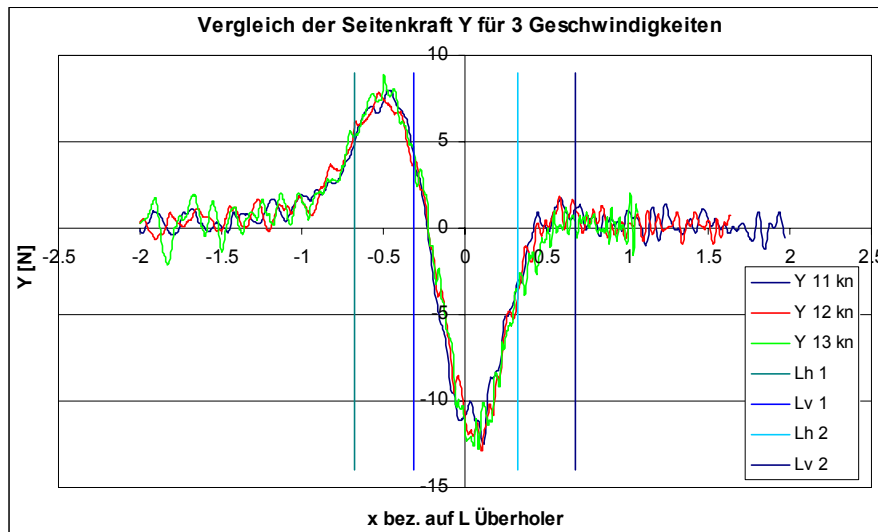
Die Ruderwinkel und Driftwinkel zur Erzeugung / Kompensation der gemessenen Kräfte und Momente geben eine ziemlich gute Übereinstimmung der Hochrechnung aus den stationär gemessenen Daten mit den instationären Ergebnissen wieder. Es ist jedoch wiederum zu bemerken, daß es sich nicht um reale Einstellungen für ein Kompensationsmanöver handelt, sondern nur um die rechnerische Umsetzung des linearen Zusammenhangs zwischen der Kombination von Y und N mit den Bewegungs- und Steuergrößen v und d.



Vergleich Absenkung und Trimm stationär und instationär

4.2.2. Vergleich der unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Eine wichtige Frage für die Bewertung der durchgeführten Untersuchungen, aber auch für die Planung nachfolgender Forschungen, ist die nach dem Einfluß der Geschwindigkeit auf das Überholmanöver. Hierbei ist relevant, wie schnell das überholte Fahrzeug bei konstanter Geschwindigkeit des Überholers fuhr. Aus den vielen Fahrten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit des kleinen Schiffes ist für den seitlichen Passierabstand von $y = 75$ m an dieser Stelle ein Diagramm der Seitenkraft und der Absenkung dargestellt (die vergrößerten Darstellungen für X, Y, N, Abs, Trimm, DltR und Beta sind in den Anl. 4.2.2 a-g wiedergegeben).



Stationäre Versuche mit 3 verschiedenen Geschwindigkeiten

Es zeigt sich, daß nach Umskalierung der Abszisse auf die Synchronisationssignale ein nahezu identischer Verlauf der Seitenkräfte ergibt. Einzig bei der Absenkung (und

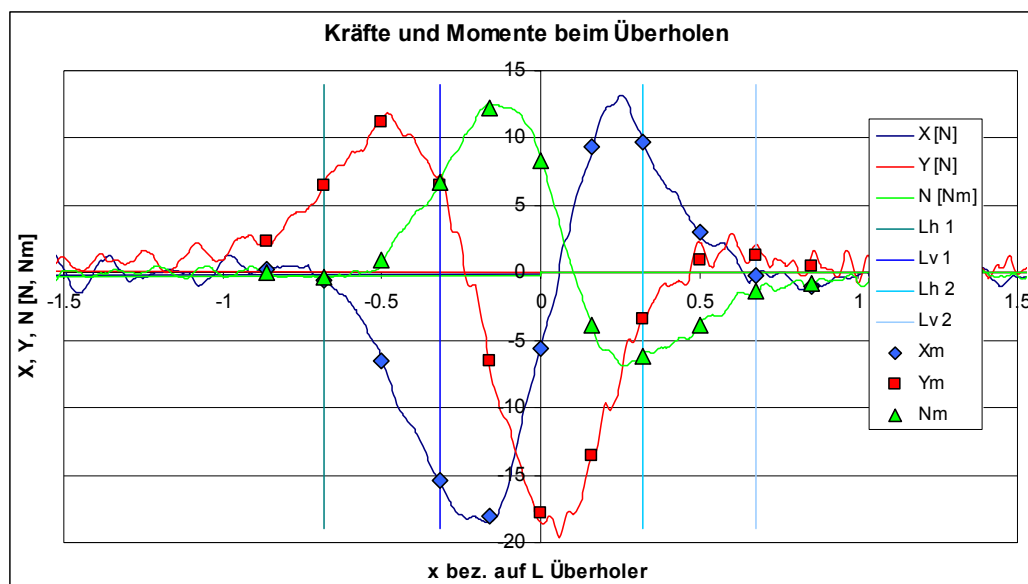
auch in geringem Maße beim Trimm) findet sich der Geschwindigkeitseinfluß wieder, da das kleinere Schiff ja auch sein eigenes durch die begrenzte Wassertiefe bedingtes geschwindigkeitsabhängiges Unterdruckfeld erzeugt.

Daraus kann für spätere Untersuchungen geschlossen werden, daß der Geschwindigkeitsunterschied bei Überholmanövern in dieser Kombination von Schiffsgrößen, Seitenabständen und der Wassertiefe vernachlässigt werden kann. Dies bedeutet nicht, daß er generell vernachlässigt werden kann, da hierfür die Daten nicht umfassend genug sind, um eine solche Aussage zu tätigen.

4.2.3. Vergleich bei Variation der Längsposition

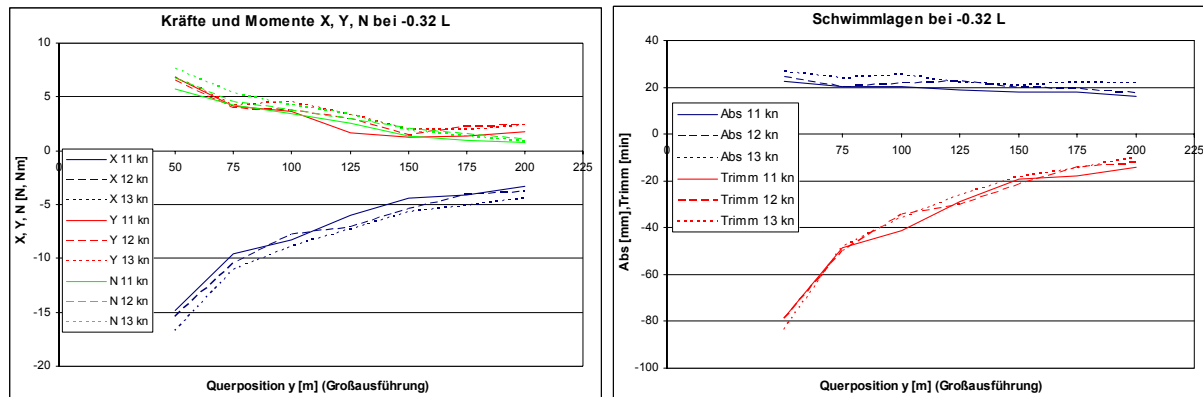
Die bei den Überholmanövern aufgezeichneten Daten wurden numerisch gefiltert und an den Lichtschrankenpositionen und weiteren Zwischenwerten (siehe Anl. 3.6) gemittelte signifikante Werte bestimmt (Datenreduktion).

In der untenstehenden Abbildung, die aus dem Überholmanöver bei $y = 50$ m Seitenabstand für 12 kn des kleinen Schiffes (Fahrt Nr. 37) stammt, sind beispielhaft für alle Fahrten die gefilterten Kräfte und Momente sowie die berechneten signifikanten Werte aufgetragen. Auf eine vollständige Wiedergabe aller Zeitschriebe wird aus Platzgründen verzichtet.



Gemittelte Daten bei den instationären Versuchen an ausgewählten Positionen

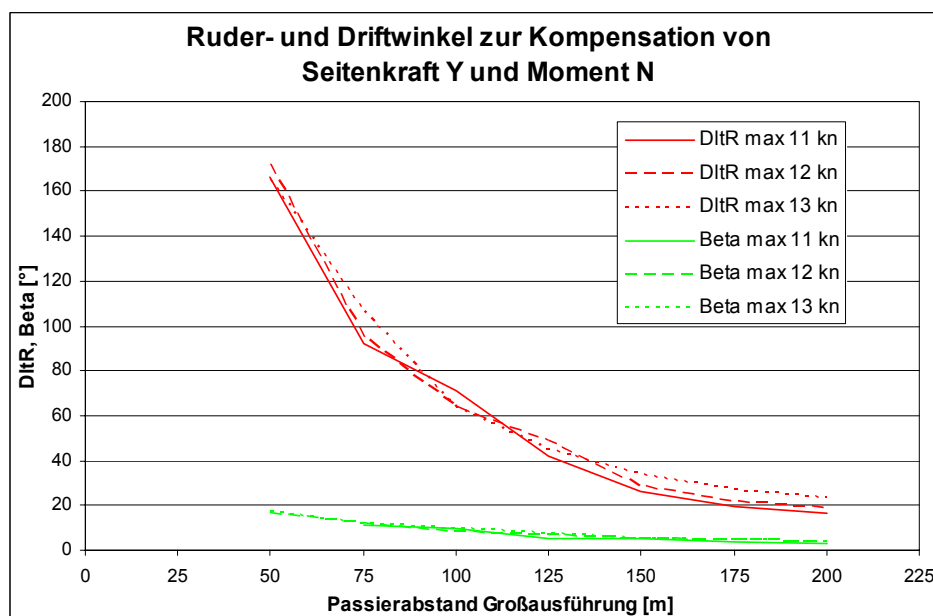
Diese Mittelwerte für X , Y , N , Absenkung und Trimm wurden in Ergebniszeilen zusammengefaßt, um sie über anderen Parametern wie z.B. dem Seitenabstand auftragen zu können. Zur Veranschaulichung ist an dieser Stelle für den Fall „Relative Längsposition $x = -0.32 L$ “ die Darstellung der Kräfte und der Schwimmlagen wiedergegeben.



Kräfte, Momente und Schwimmlagen bei 3 unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Auch in dieser Darstellung zeigt sich wieder die relativ geringe Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des überholten Schiffes – bei anderen Positionen, die im Anhang als Anl. 4.2.3 a-k komplett wiedergegeben werden, ist dies nicht immer so deutlich, da die Daten über dem Auftragsparameter Seitenabstand etwas streuen. Immerhin ist eine Staffelung der Kurven über den Variationsparameter V festzustellen, diese tritt jedoch über dem dominierenden Einfluß des Seitenabstandes in den Hintergrund.

Eine sehr aufschlußreiche Darstellung ist die Auftragung der zur Erzeugung / Kompensation erforderlichen Ruder- und Driftwinkel, die in Anl. 4.2.3 I noch einmal im Original wiedergegeben ist. Es handelt sich hier um die maximalen während des Überholmanövers bestimmten Werte DltR und Beta. Diese sind nicht zeitgleich, sondern der absolute Maximalwert für DltR tritt ungefähr bei der Relativposition 0 L auf, wohingegen die größten absoluten Driftwinkel in der Nähe von $\pm 0.2 L$ zu finden sind.



Theoretisch berechnete Ruder- und Driftwinkel bei 3 unterschiedlichen Geschwindigkeiten

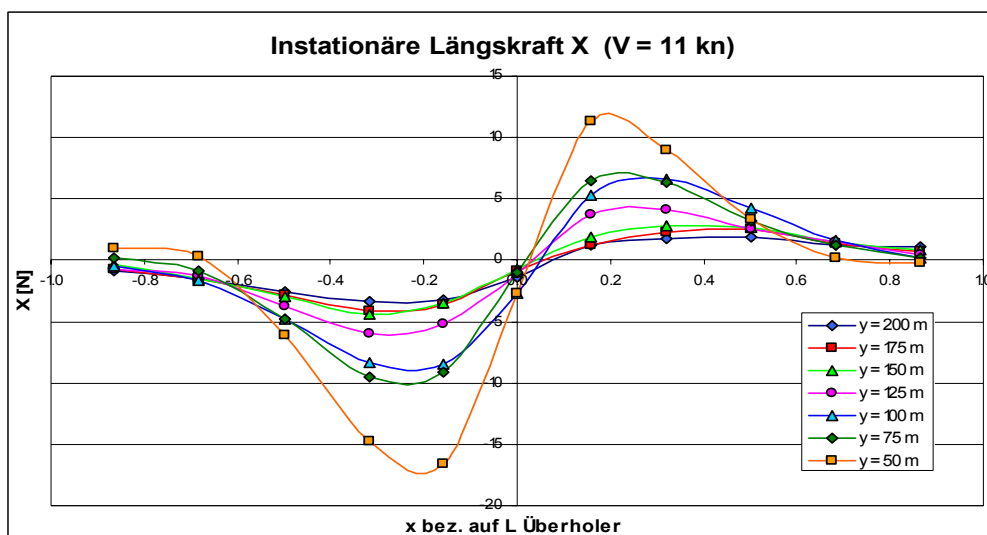
Ab einem Seitenabstand von etwa 170 m wird der lineare Bereich der Ruderkräfte verlassen und schon vor Erreichen des Abstandes 130 m ist die maximale Ruderlage von üblicherweise 35° bis 40° überschritten. Die Driftwinkel sind bei diesen Seitenabständen unproblematisch, da sie erstens noch annähernd linear und zweitens nicht begrenzt wie die Ruderlage sind.

4.2.4. Vergleich bei Variation der Querposition

Um den zeitlichen Verlauf der dargestellten Größen X , Y , N , Abs , $Trimm$, ΔtR und $Beta$ angenähert wiedergeben zu können, wurden die oben erläuterten signifikanten Mittelwerte über den Relativpositionen x als Kurven aufgetragen. Diese Darstellungsform gibt nicht mehr exakt den Verlauf der Meßgrößen wieder, da es sich um eine Reduktion auf 11 Punkte pro Meßwert für das gesamte Überholmanöver handelt. Dafür ist aber eine übersichtliche Darstellung z.B. der Kräfte für jede Längs- und Seitenposition möglich.

Es muß darauf hingewiesen werden, daß hier von der festgestellten Unabhängigkeit der Meßwerte von der Geschwindigkeit des überholten Fahrzeugs Gebrauch gemacht wurde. Es handelt sich um die Daten der Geschwindigkeitsverhältnisse 15 kn / 11 kn. Für andere Geschwindigkeiten sehen die Ergebnisse fast gleich aus.

Die klein dargestellten Abbildungen sind in Anl. 4.2.4 a-g noch einmal in Originalgröße wiedergegeben.



Längskraft bei den instationären Versuchen an ausgewählten Positionen

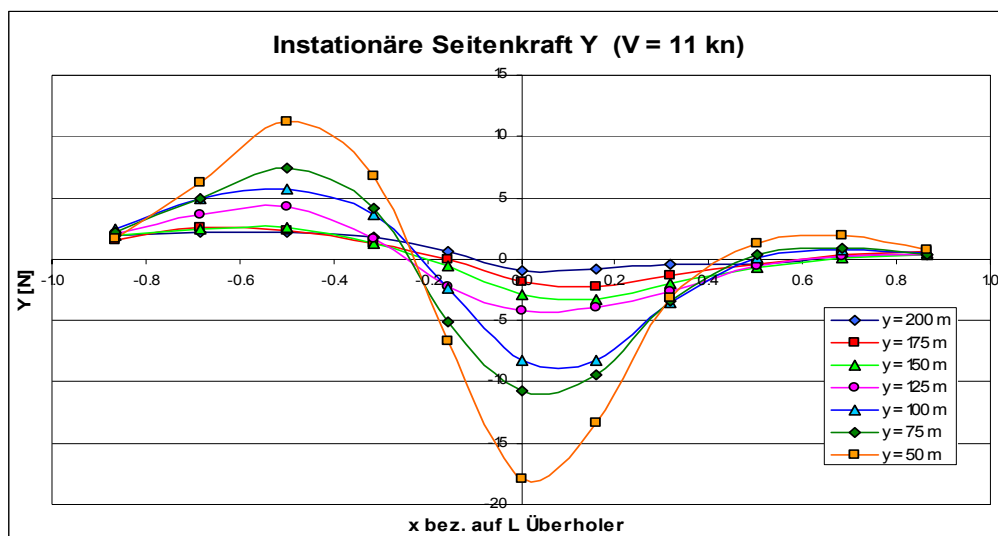
Die Längskraft X zeigt annähernd punktsymmetrisches Verhalten zum Nullpunkt. Bei Beginn des Überholmanövers wird sie deutlich negativ, geht bei der Position Hauptspant an Hauptspant ungefähr durch Null und nimmt danach positive Wert (Kraft

nach vorne) an. Diese Kraftänderungen sind nicht durch den Propeller bewirkt, da er einen konstanten Schub liefert.

Ein Vergleich mit dem Trimm weiter unten bringt Hinweise auf eine mögliche Erklärung. Die Trimmkurven haben einen nahezu identischen Verlauf wie die Längskraftkurven, was den Verdacht nahelegt, daß es sich hier zumindest zum Teil um eine Hangabtriebskraft handelt. Eine Überschlagsrechnung mit einem maximalen Trimm von 2° ($120'$) und einer Masse von 50 kg liefert: $F = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \rightarrow F \approx 17 \text{ N}$!

Dies entspricht ziemlich gut den maximalen Werten für die gemessenen Längskräfte in der Nähe von $\pm 0.2 L$ und liefert eine mögliche Erklärung für das Verzögern und das darauf folgende Beschleunigen des überholten Schiffes.

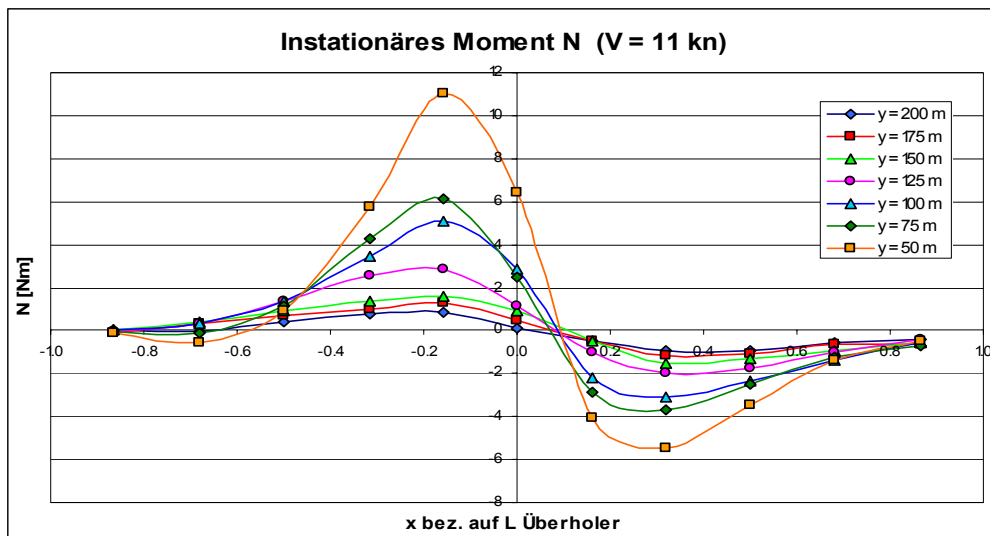
Diese Gefällewirkung ist jedoch nur bei einem deutlichen Längenunterschied der beteiligten Schiffe (hier 1:2,5) zu erwarten, da erst dann das kleine Schiff der Mulde des Größeren folgen kann.



Seitenkraft bei den instationären Versuchen an ausgewählten Positionen

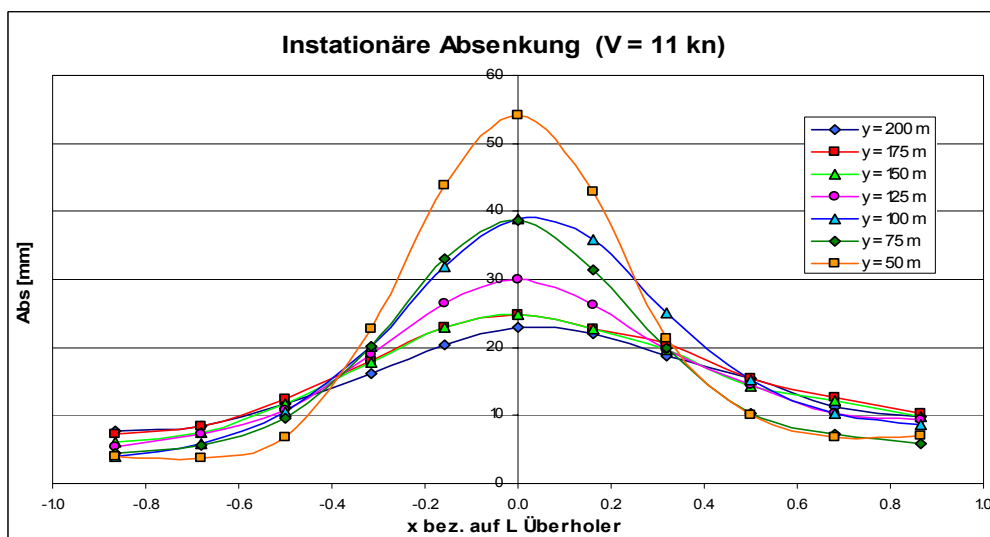
Die Seitenkraft Y zeigt sich annähernd symmetrisch zur Y-Achse, wenn auch etwas in x versetzt. Bei Beginn der Überholung erfolgt eine Abstoßung (positiv nach Steuerbord) mit einer Kraft, die grob etwa 1/50 der Masse des Modells entspricht (Gewichtskraft des Modells $\approx 500 \text{ N}$). Die darauf folgende Ansaugung in ungefähr der gleichen Größenordnung würde das Schiff auf die Ausgangsspur zurückbringen. In der dritten Phase (Überholer passiert das Heck) ist die seitliche Kraftwirkung gering.

Da die Oberflächenneigung in Querrichtung sehr klein ist, sind hauptsächlich hydrodynamische Effekte für diese Kraftwirkung verantwortlich.



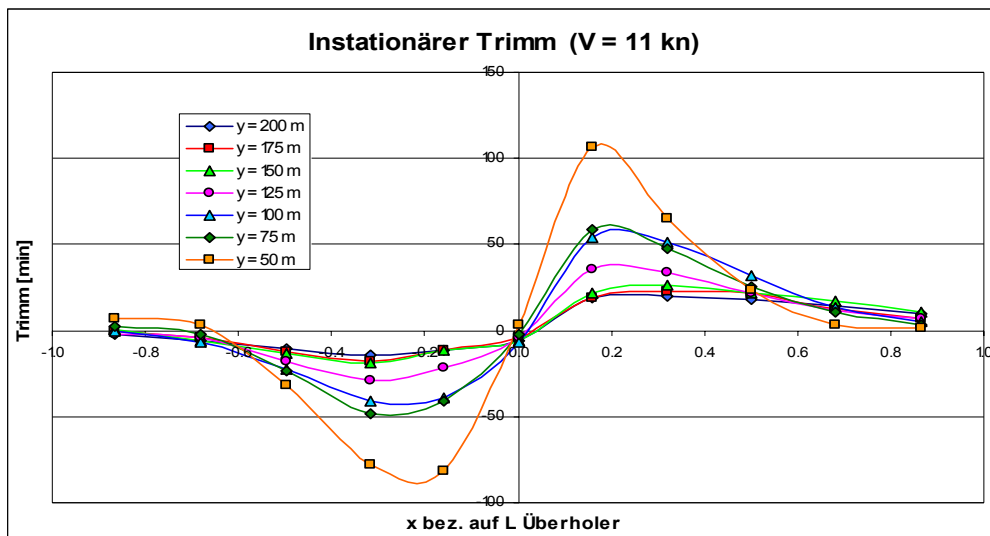
Drehmoment bei den instationären Versuchen an ausgewählten Positionen

Bei Beginn des Überholvorgangs wirkt ein positives (rechtsdrehendes) Moment N auf das kleine Schiff. Dieses dreht es aus dem Ausgangskurs heraus weg vom Überholer. Nach der Mittenposition kehrt sich das Drehmoment um und das Schiff wird wieder zum Überholer hin gezwungen.



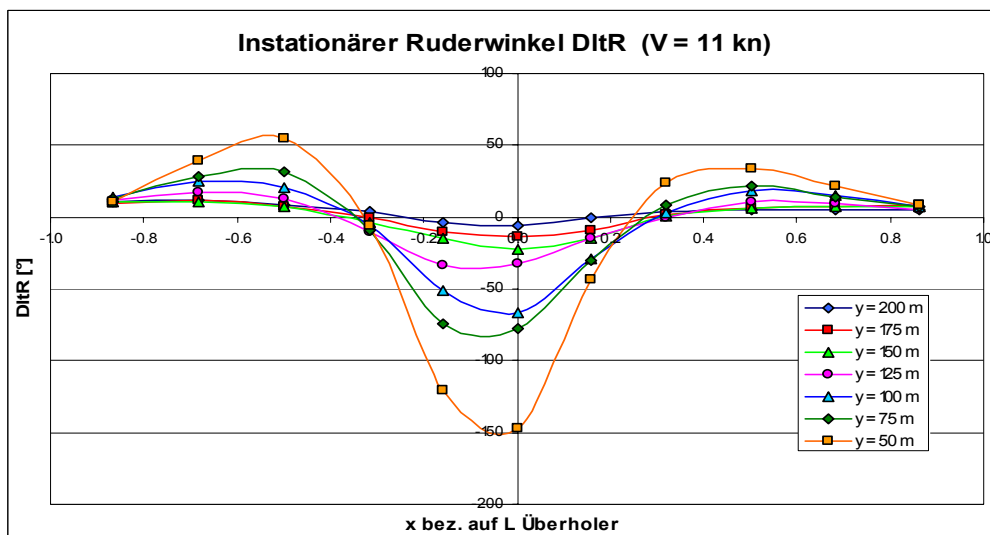
Absenkung bei den instationären Versuchen an ausgewählten Positionen

Die Absenkung ist spiegelsymmetrisch zur Mittenposition. Das Modell befindet sich in der durch die Umströmung des großen Schiffes hervorgerufenen Mulde (Wasserspiegelabsenkung) und folgt ihr nach unten. Ein Vergleich mit den Bodendruckmessungen in Kapitel 4.1.2 bestätigt dies.



Trimm bei den instationären Versuchen an ausgewählten Positionen

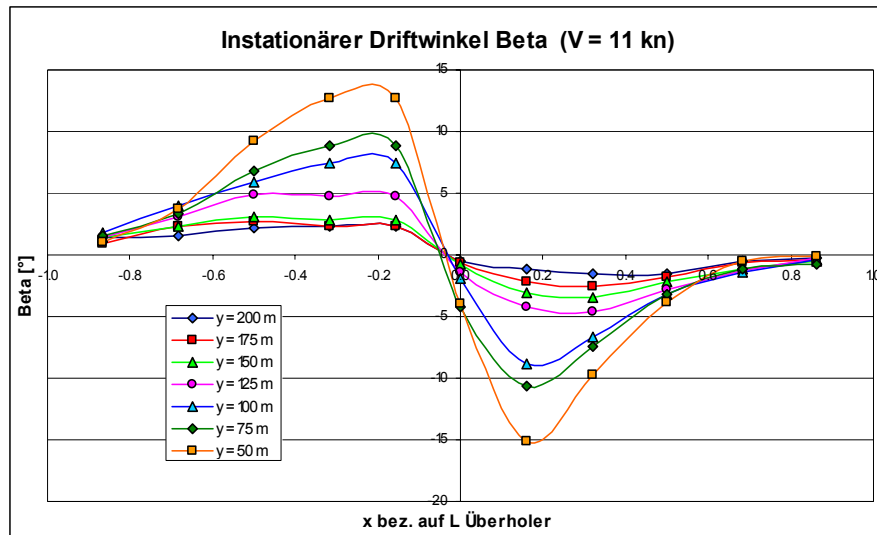
Der Trimm, der schon mit der Längskraft verglichen wurde, wird wie die Absenkung durch die vom Überholer erzeugte Mulde hervorgerufen, indem das Modell dieser schrägen Wasseroberfläche folgt. Ein Vergleich mit dem Surfen drängt sich hier auf, wo die Vortriebskraft aber auch die Bremskraft des Surfboards ganz allein von der Wellenschräge hervorgerufen wird.



Theoretischer Ruderwinkel bei den instationären Versuchen an ausgewählten Positionen

Der Verlauf des kompensierenden Ruderwinkels DltR ist ebenfalls spiegelsymmetrisch, hat aber im Gegensatz zur Absenkung 3 Maxima bzw. Minima. Da er aus der Kombination der gemessenen Seitenkraft Y und des Momentes N rein theoretisch errechnet wird, ist eine Rückführung auf das Überholmanöver direkt nicht möglich. In

diesem Bericht soll auch keine Bewertung vorgenommen, sondern nur die gemessenen und theoretisch berechneten Daten dargestellt und erläutert werden.



Theoretischer Driftwinkel bei den instationären Versuchen an ausgewählten Positionen

Dies gilt ebenso für den kompensierenden Driftwinkel β , der sich hier wieder punktsymmetrisch (mit x -Verschiebung) verhält.

5. Schlußbemerkungen

- Der Einfluß der Böschung am rechten Ufer ist für den hier interessierenden Untersuchungsbereich des Passierabstandes vernachlässigbar.
- Verglichen mit dem Einfluß des seitlichen Abstandes ist der Einfluß der Geschwindigkeit des überholten Fahrzeugs bei konstanter Geschwindigkeit des Überholers auf die Wirkungen gering.
- Die stationären Messungen lassen sich unter Berücksichtigung der physikalischen Unterschiede durchaus mit den instationären Daten vergleichen.
- Bei einer seitlichen Annäherung unterhalb 150 m ist die zur Erzeugung / Kompensation der auftretenden Kräfte und Momente nach linearem Ansatz theoretisch berechnete erforderliche Ruderlage außerhalb des gültigen Ruderwinkelbereichs.
Diese Aussage darf jedoch nicht überbewertet werden, denn die Errechnung dieser Winkel ist ein grobes Hilfsmittel und die gleichzeitige Einstellung einer bestimmten Kombination von Ruder- und Driftwinkel ist in der Praxis kaum möglich.
- Das dominante Ereignis beim Überholen von Schiffen auf flachem Wasser ist neben den hydrodynamisch in der Ebene wirkenden Kräften und Momenten die Wasseroberflächenverformung (hauptsächlich primäres Wellensystem) durch die beteiligten Schiffe.
- Für die Änderung der Längskräfte während des Überholvorgangs ist zumindest teilweise die Gefällekraft durch das Primärwellensystem des Überholers verantwortlich.

6. Ausblick

Die innerhalb dieser Untersuchung durchgeführten Experimente umfaßten ein Minimalprogramm für die Beurteilung der hydrodynamischen Effekte beim Überholen auf flachem Wasser. Trotzdem geben sie eindeutige Hinweise auf mögliche Vereinfachungen und Details, deren Untersuchung vertieft werden sollte. Darüber hinausgehend können noch weitere Untersuchungen vorgeschlagen werden, die angebracht sind, um die Problematik des Überholens eingehender zu erforschen und für künftige Bewertungen bessere Grundlagen und Werkzeuge zu liefern.

- A)** Der Sog eines arbeitenden Propellers hat einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß auf das Druckfeld und die Wasseroberflächenverformung bei geringen seitlichen Abständen. Es ist zu empfehlen, dies anhand von Überholversuchen mit Eigenantrieb des Überholers quantitativ zu überprüfen.
- B)** Die durchgeführten Kraftmessungen mit gefesselten Modellen eignen sich zur theoretischen Untersuchung der Physik des Überholvorganges. Die tatsächliche Reaktion des überholten Schiffes kann nur durch frei gefahrene (ferngesteuerte bzw. mit Autopilot geregelte) Modellversuche betrachtet werden. Die Möglichkeiten zur Durchführung derartiger Experimente sind im DST gegeben.
- C)** In sehr geringem Umfang wurden hydrodynamische Koeffizienten bestimmt (dimensionsbehaftete lineare Derivativa bezüglich der Ruder- und Driftkräfte und -momente). Für eine realitätsnahe Simulation des Bewegungsverhaltens sind sogenannte Planar-Motion-Versuche (Kraftmessungen am bewegten gefesselten Modell) erforderlich. Diese ergeben einen vollständigen nichtlinearen Koeffizientensatz, mit dem Simulationsrechnungen durchgeführt werden können. Dies ist im DST möglich, es ist aber empfehlenswert, für das Modell des Überholers einen größeren Maßstab (1:16 bis 1:20) zu wählen.
- D)** Bei Simulationen eines Überholmanövers ist es erforderlich, die auf das untersuchte Schiff wirkenden äußeren Kräfte und Momente, die durch den Überholer erzeugt werden, durch eine entsprechende mathematische Formulierung bereitzustellen. Eine Grundlage für das mathematische Kräftemodell des Einflusses des Überholers können die in Anl. 4.2.4 a-c dargestellten Diagramme (X, Y, N in Abhängigkeit von x und y) bieten. In einem bmbf-Projekt hat das DST schon ähnliche Modellierungen durchgeführt, indem die Fahrt eines Binnenschiffs unter Beeinflussung eines Bühnenfeldes erfolgreich simuliert werden konnte.

7. Symbolverzeichnis

Größe	Einheit	Erläuterung
Abs	m	mittlere Absenkung z (positiv nach unten)
Beta	°	Driftwinkel (hier verwendet statt der Schreibweise β)
B _{üa}	m	Breite über alles
d	°	Ruderwinkel (eigentlich dimensionslos in rad)
DltR	°	Ruderwinkel (hier verwendet statt der Schreibweise δ_R)
L	m	hier als Kurzform verwendet für L _{pp}
L _{üa}	m	Länge über alles
L _{pp}	m	Länge zwischen den Loten
m	kg	Masse
N	Nm	Drehmoment (positiv im Uhrzeigersinn von oben)
N _d	N/°	Steigung der Momentenkurve über dem Ruderwinkel
N _v	N/°	Steigung der Momentenkurve über dem Driftwinkel
p	N/m ²	Druck
Q	Nm	Drehmoment der Propellerwelle
t	s	Zeit
T	N	Schub
T	m	Tiefgang
T _v	m	Tiefgang vorne
T _h	m	Tiefgang hinten
Trimm	min	Trimmwinkel des Schiffes (kopflastig positiv) (hier verwendet statt der Schreibweise Θ)
v	°	Driftwinkel (eigentlich dimensionslose Quergeschwindigkeit)
V	m/s	Geschwindigkeit im Modellversuch
V	kn	Geschwindigkeit in der Großausführung
x	m	Längskoordinate
X	N	Längskraft (positiv nach vorne)
y	m	Querkoordinate
Y	N	Seitenkraft (positiv nach Steuerbord)
Y _d	N/°	Steigung der Seitenkraftkurve über dem Ruderwinkel
Y _h	N	hintere Seitenkraft
Y _v	N	vordere Seitenkraft
Y _v	N/°	Steigung der Seitenkraftkurve über dem Driftwinkel
z	m	Höhenkoordinate, auch Absenkung
∇	m ³	Verdrängung (bei Süßwasser gleich der Masse in t)
Δx	m	Wegdifferenz

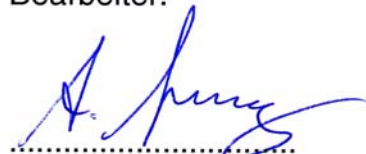
8. Zusammenfassung

Zur Untersuchung des Überholvorgangs von Schiffen auf flachem Wasser wurden vom DST Modellversuche durchgeführt, die sowohl stationäre Parallelfahrt als auch den eigentlichen instationären Überholvorgang umfaßten. Hierbei wurden Längs- und Querposition der Schiffe zueinander sowie die Geschwindigkeit des überholten Schiffes variiert.

Die gemessenen Bodendrücke, Kräfte und Momente am kleinen Schiff sowie dessen Schwimmelage wurden ausgewertet und gegenüber den Variationsparametern dargestellt und erläutert. Die wichtigsten Beobachtungen wurden in Schlußbemerkungen zusammengefaßt.

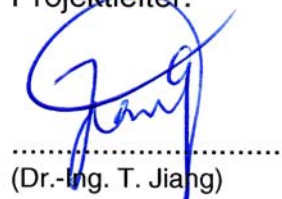
Duisburg, 21.12.2004
Grz/vMa

Bearbeiter:



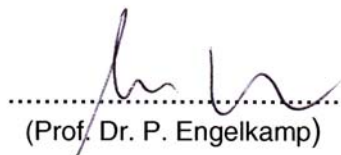
(Dr.-Ing. A. Gronarz)

Projektleiter:



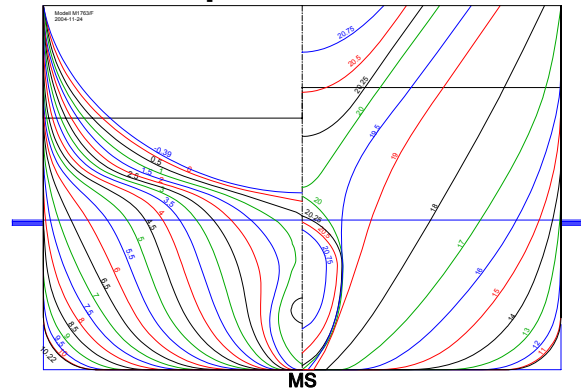
(Dr.-Ing. T. Jiang)

DST - Entwicklungszentrum für
Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.



(Prof. Dr. P. Engelkamp)

Spantenriss

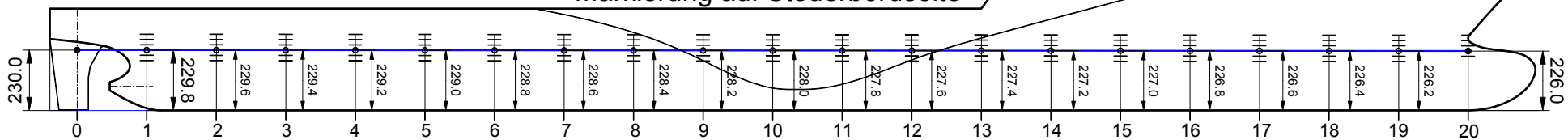


Innovative Lösungen für
Binnen- und Küstenschifffahrt

DST. 2004 RÜCK

SKIZZE : WL - ANRISSPLAN

Markierung auf Steuerbordseite



Modell M1763

Länge 0 - 20 = 5286.0 mm

Breite = 796.0 mm

Tiefgang = Spt. 0 = 230.0 mm Spt. 20 = 226.0 mm

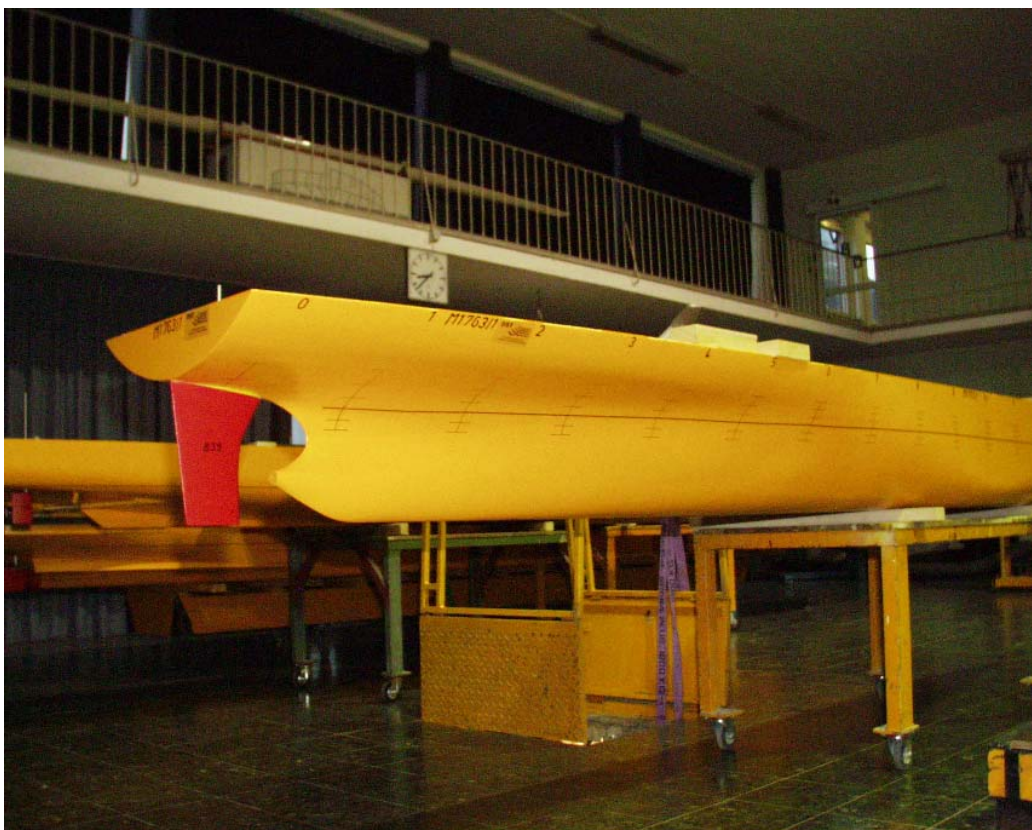
Spantabstand = 264.3 mm

M 1 : 50.0

Tubulenzzeuger

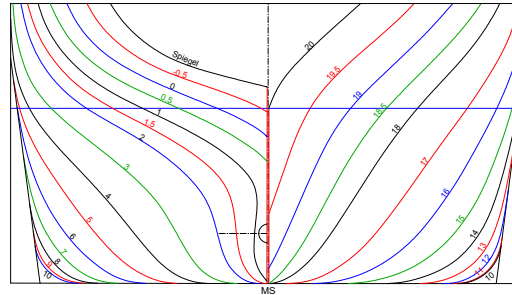
Art : Sandstreifen

Lage : Spt. 17 und 19



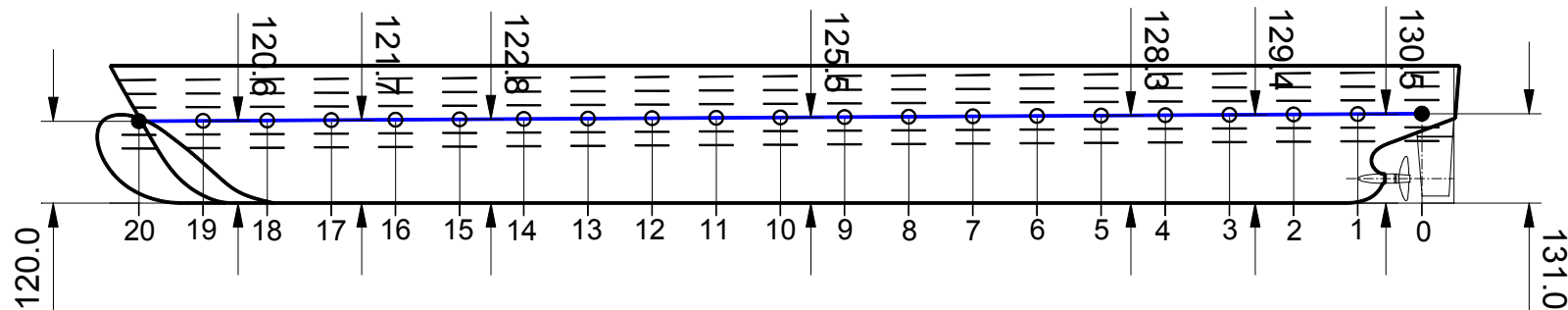
Modell 1763 – „Cosco Hamburg“

Spantenriss



SKIZZE : WL - ANRISSPLAN

Markierung auf Backbordseite



Modell M1762

Tubulenzzerzeuger

Art : Sandstreifen

Lage : Spt. 17 und 19

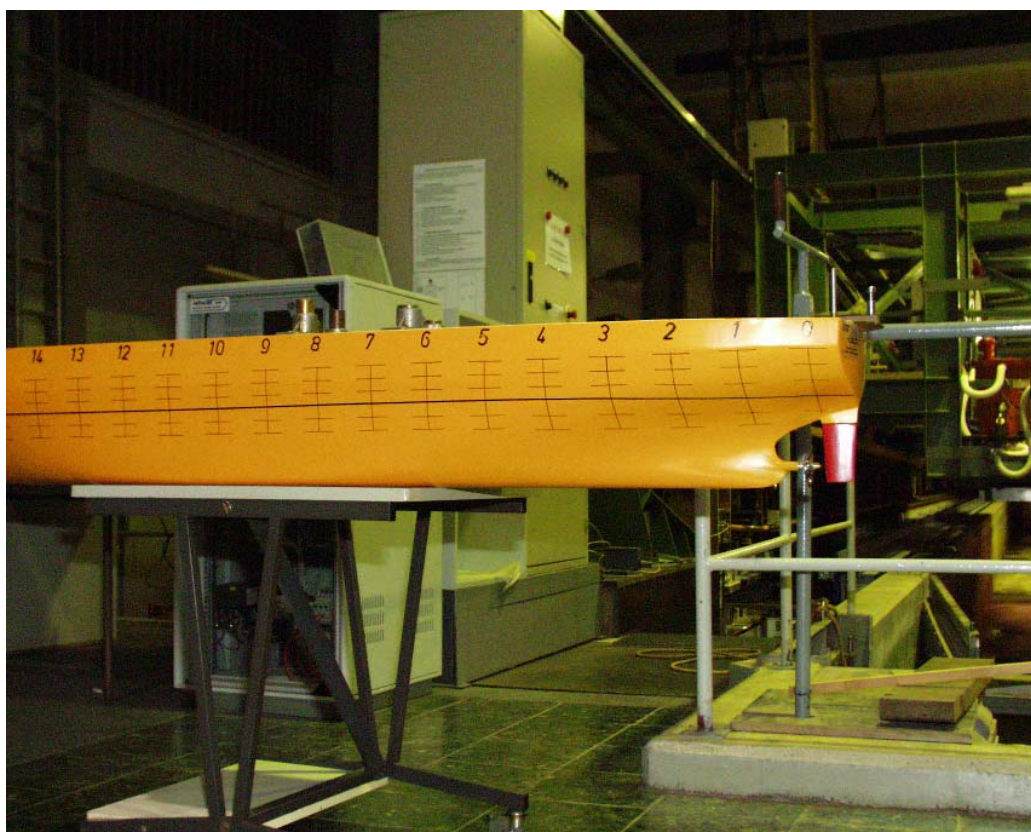
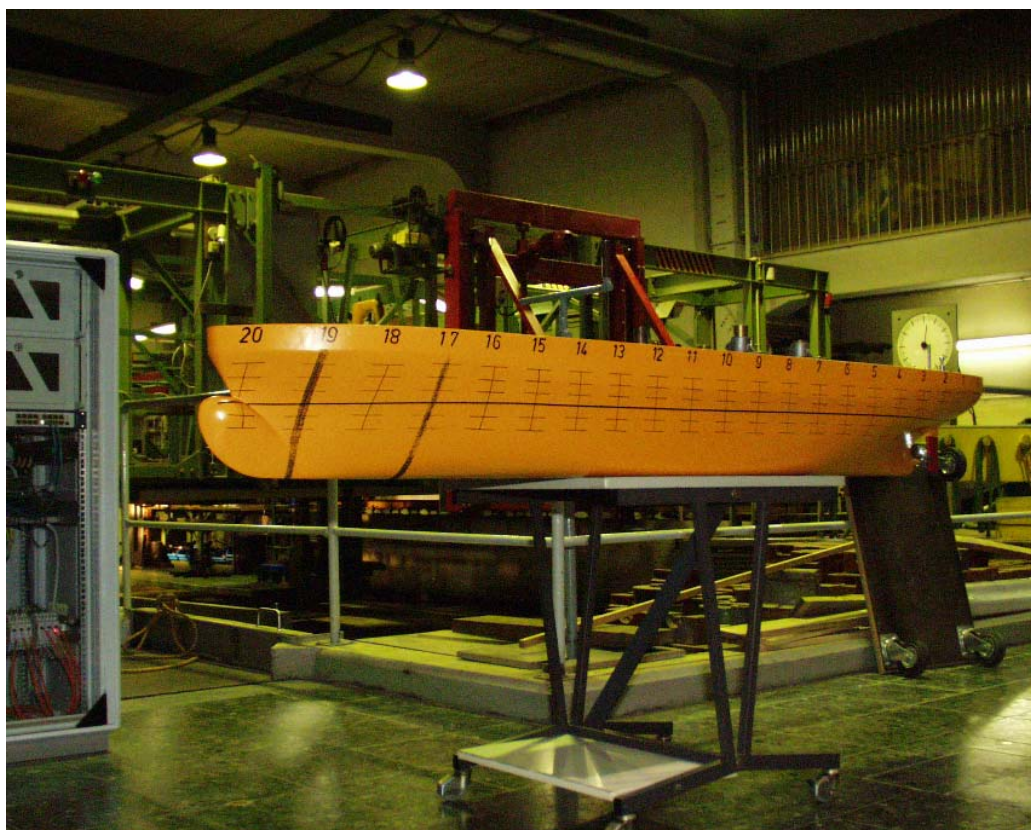
Länge 0 - 20 = 1882.0 mm

Breite = 370.0 mm

Tiefgang = Spt. 0 = 131.0 mm Spt. 20 = 120.0 mm

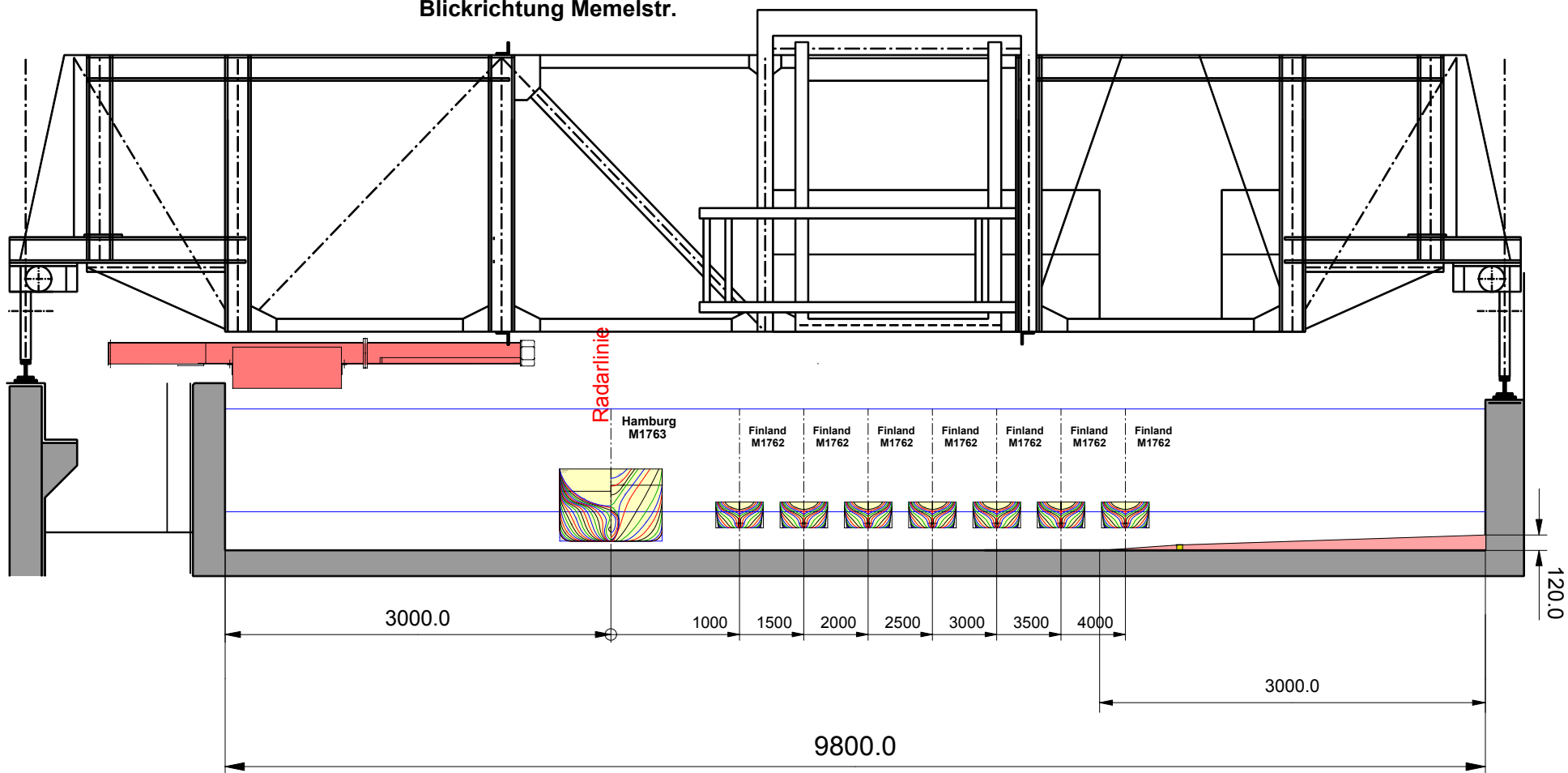
Spantabstand = 94.1 mm

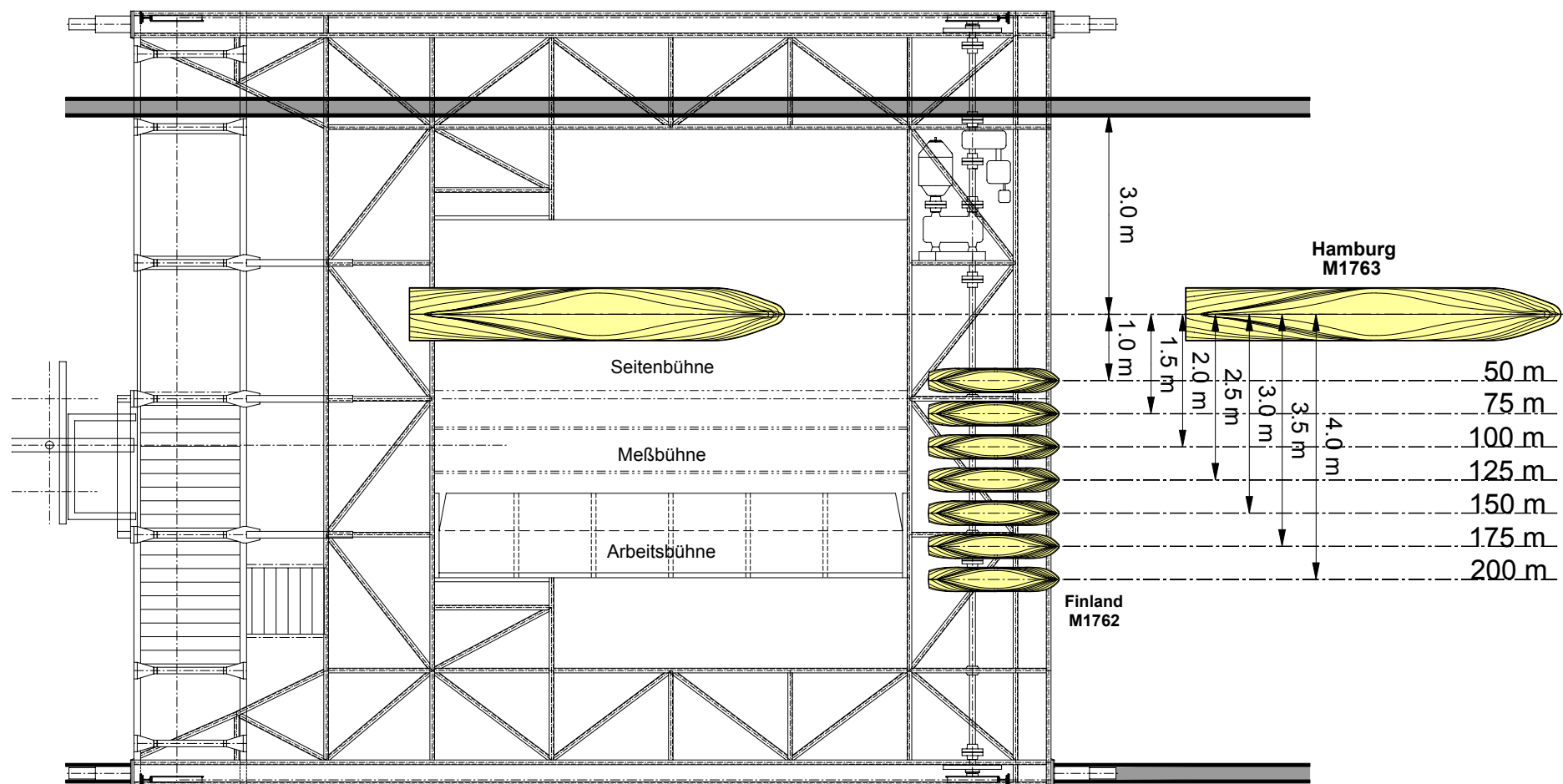
M 1 : 50.0

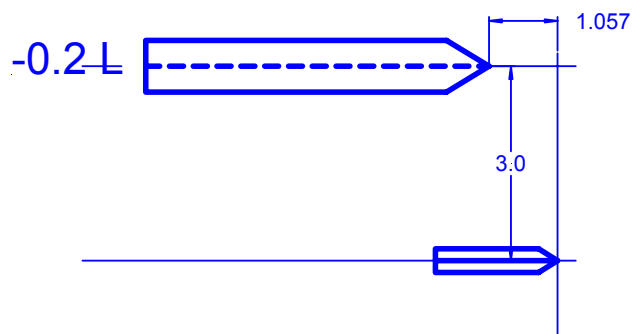


Modell 1762 – „Nedlloyd Finland“

Flachwasser-Tank
 Blickrichtung Memelstr.



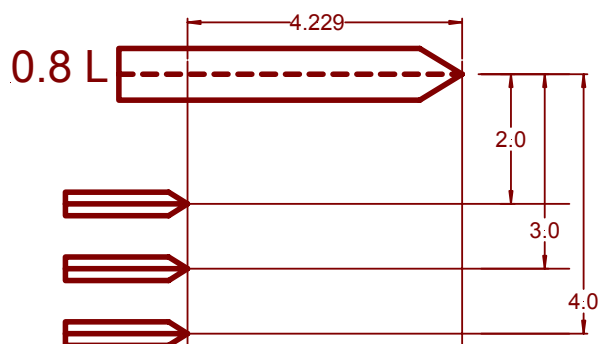
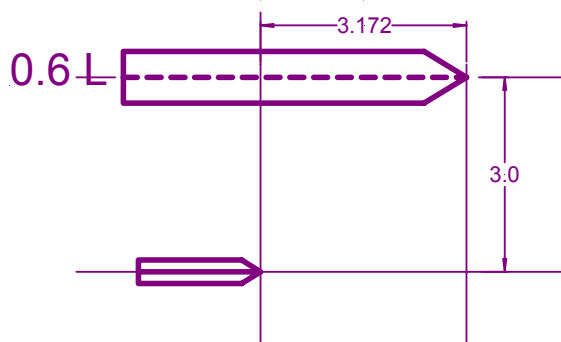
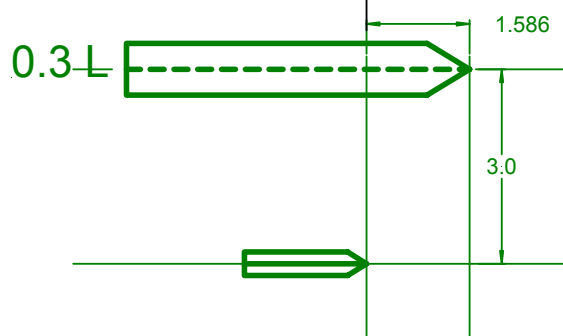




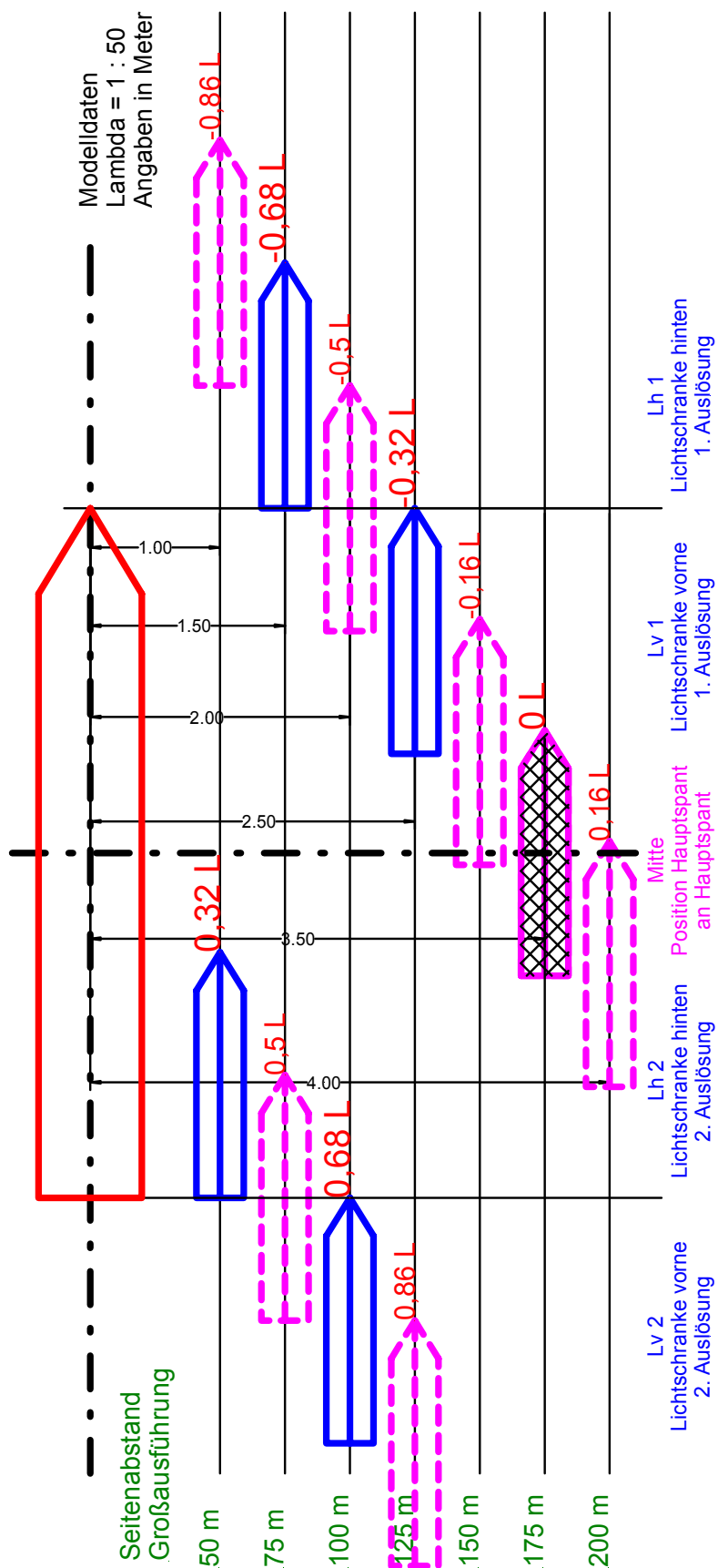
Stationäre Versuche Variation der Längs- und Querposition



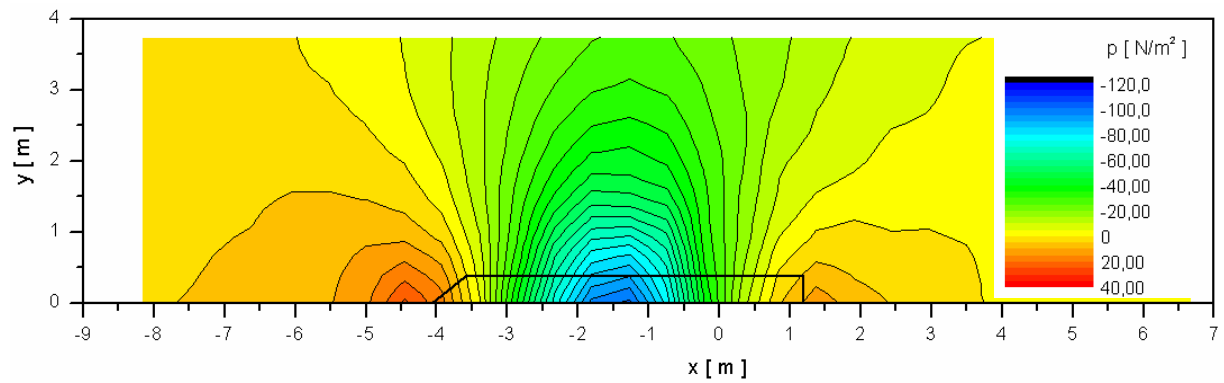
Modelldaten
Lambda = 1 : 50
Angaben in Meter



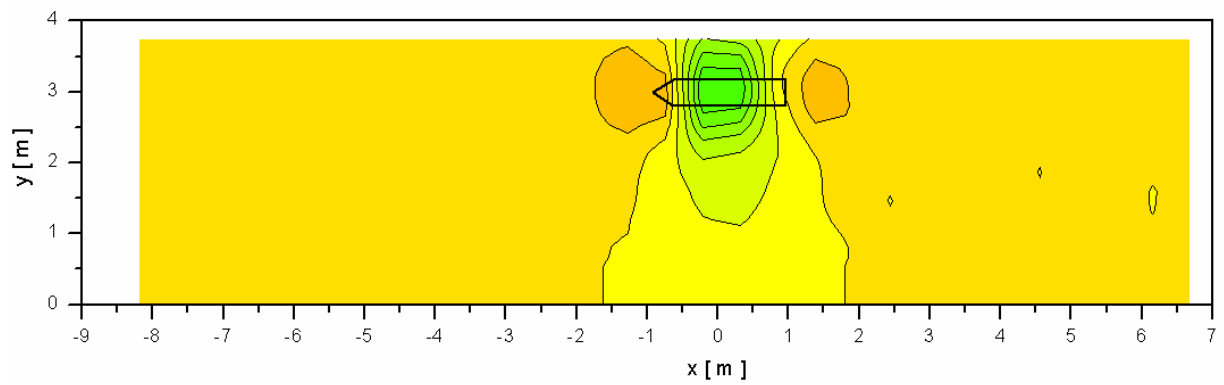
Instationäres Überholmanöver: Quer- und Längspositionen



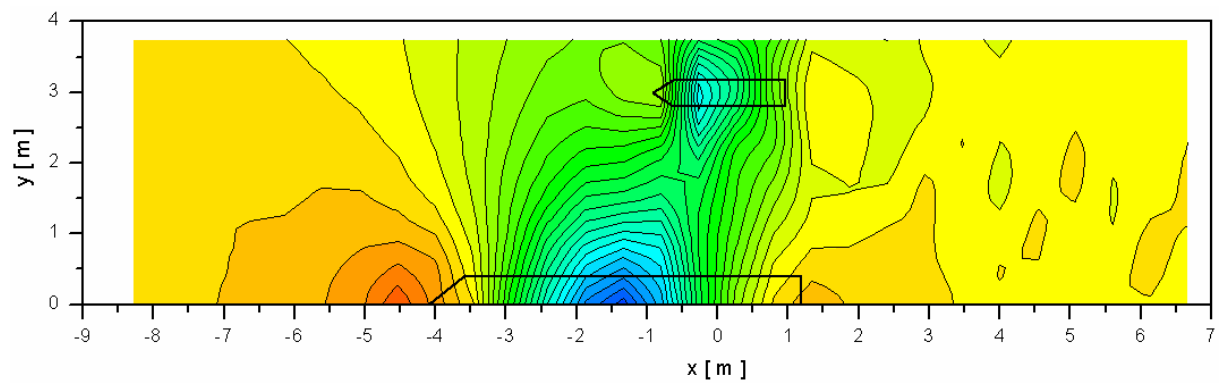
Nur Cosco Hamburg, $y = 150$ m, $x = 0,6L$



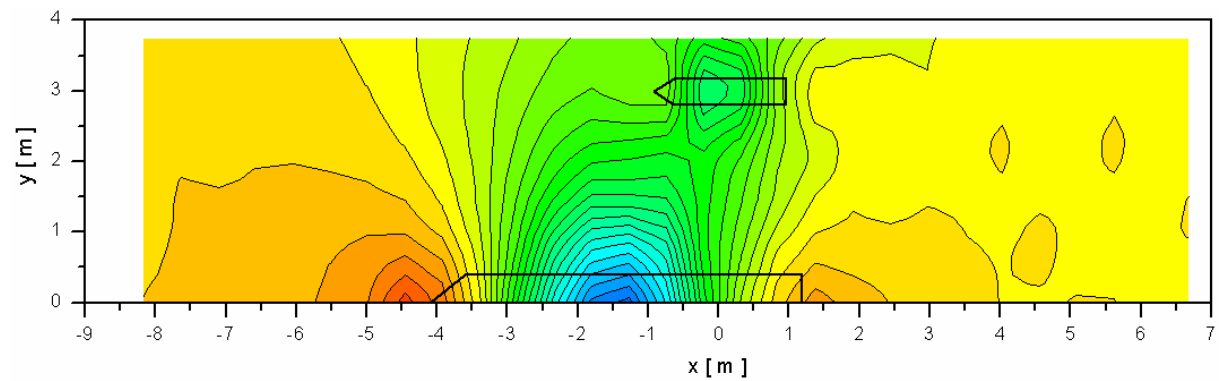
Nur Nedlloyd Finland, $y = 150$ m



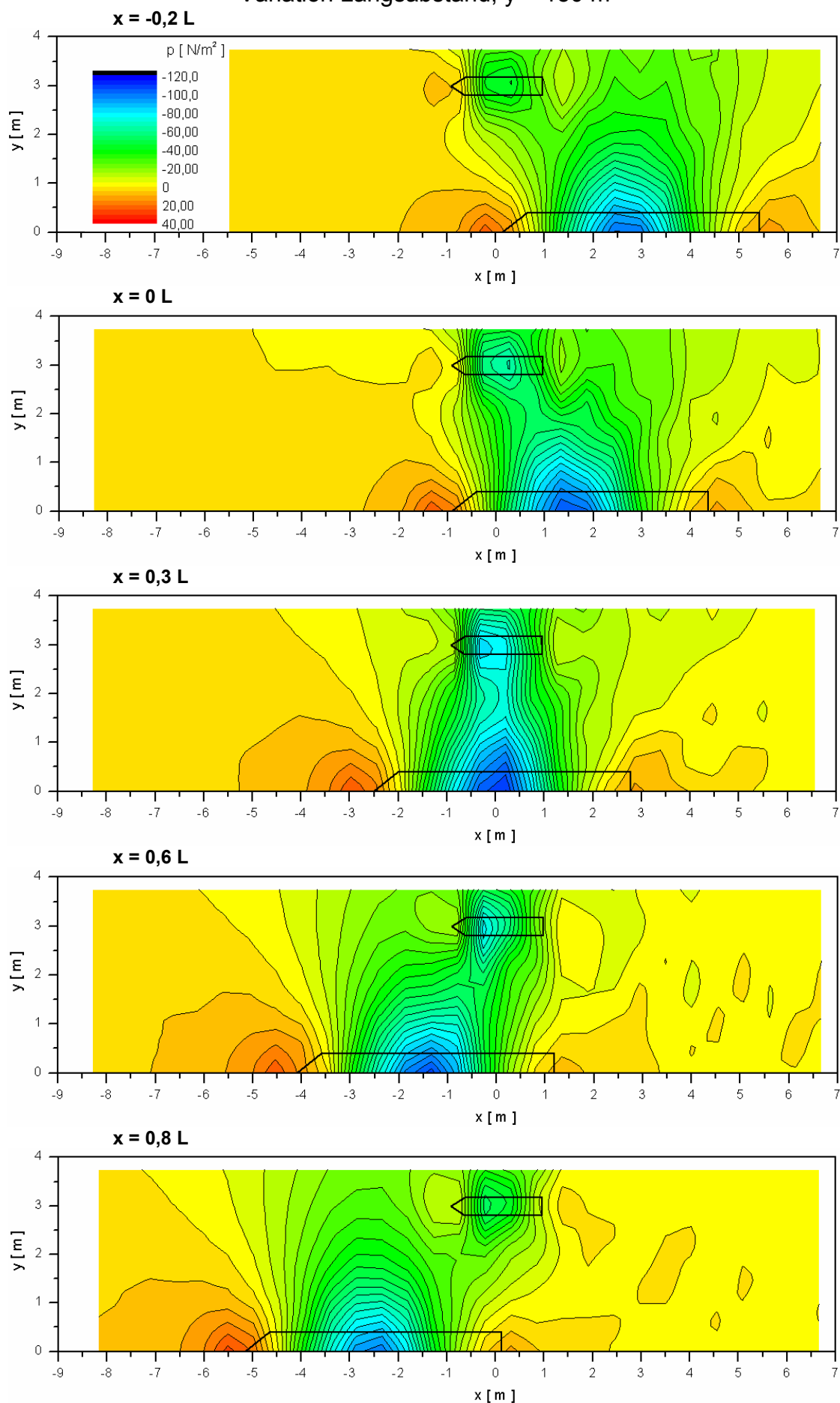
Beide Schiffe zusammen, $y = 150$ m, $x = 0,6L$



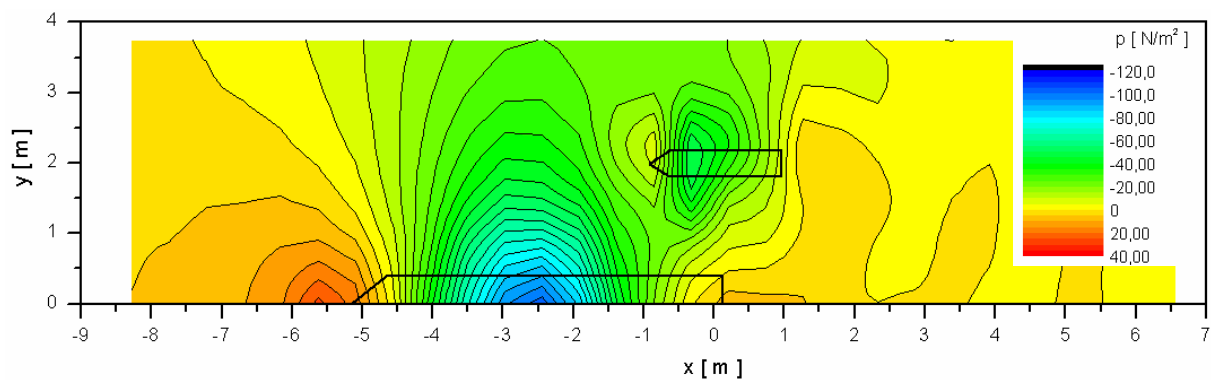
Einzeldaten addiert, $y = 150$ m, $x = 0,6L$



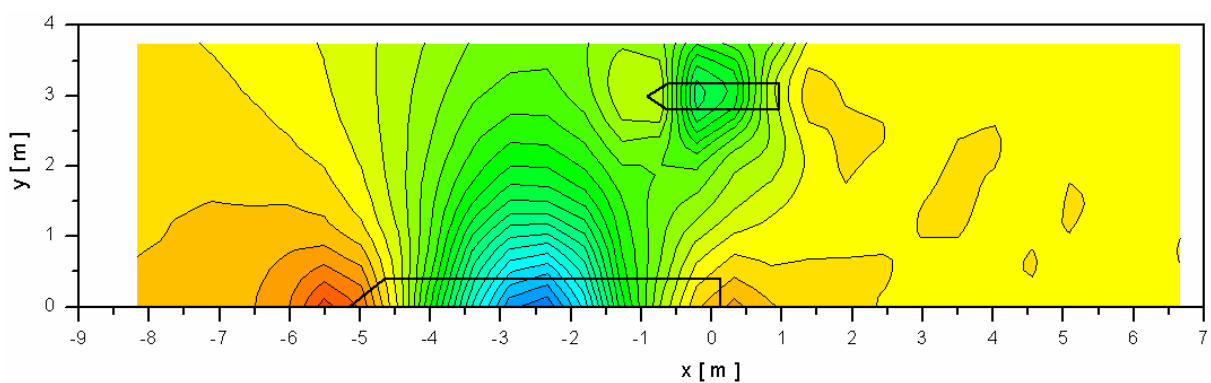
Variation Längsabstand, $y = 150$ m



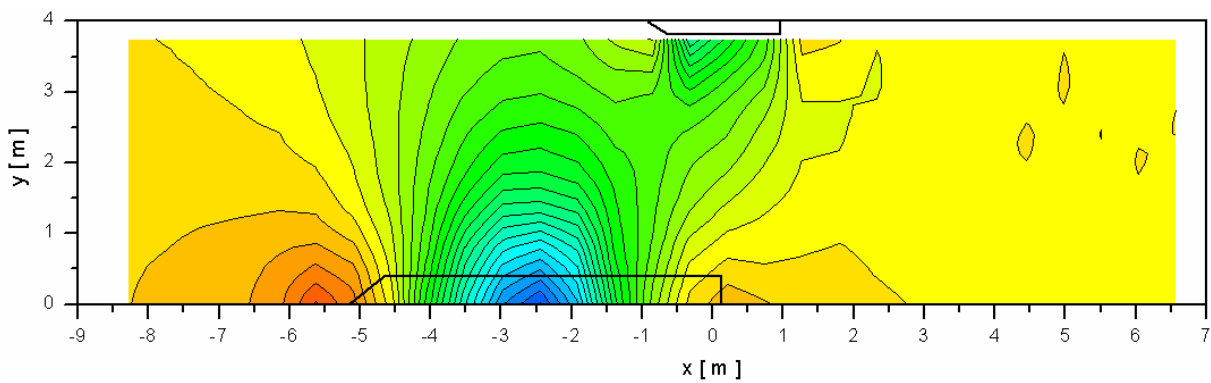
Variation quer, beide Schiffe, $y = 100 \text{ m}$, $x = 0,8L$



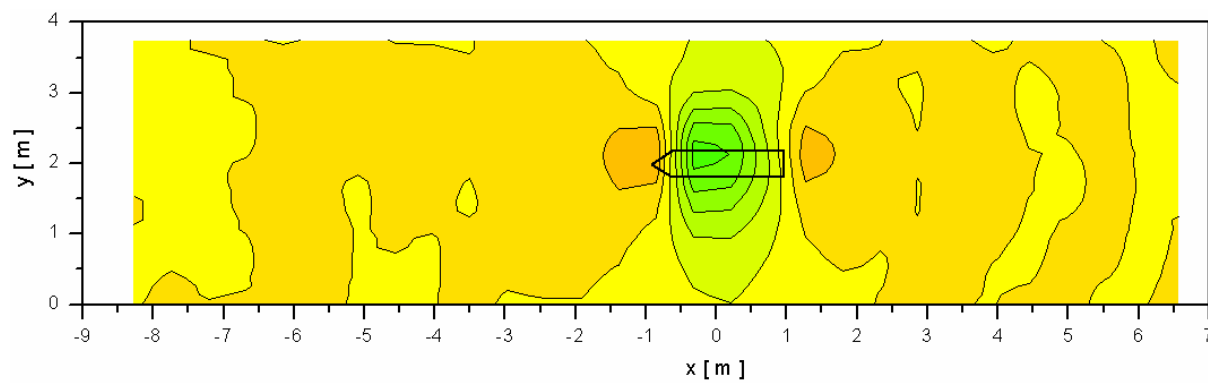
Variation quer, beide Schiffe, $y = 150 \text{ m}$, $x = 0,8L$



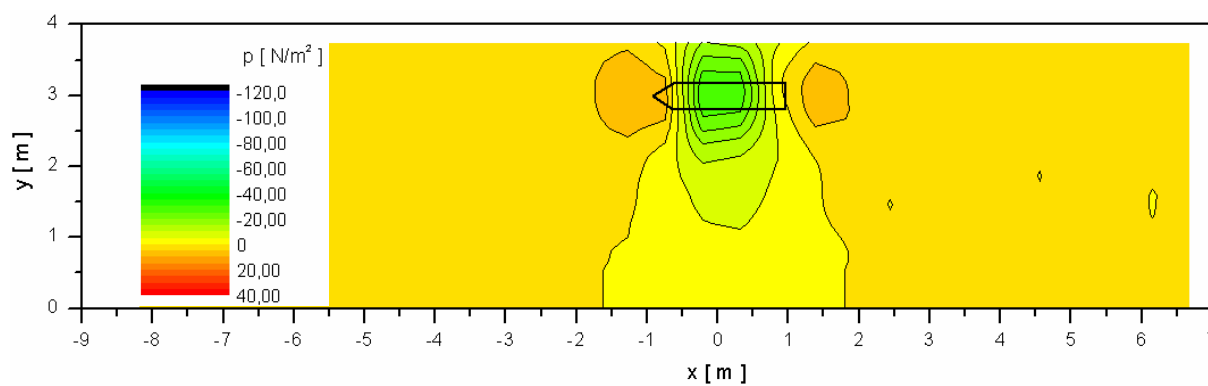
Variation quer, beide Schiffe, $y = 200 \text{ m}$, $x = 0,8L$



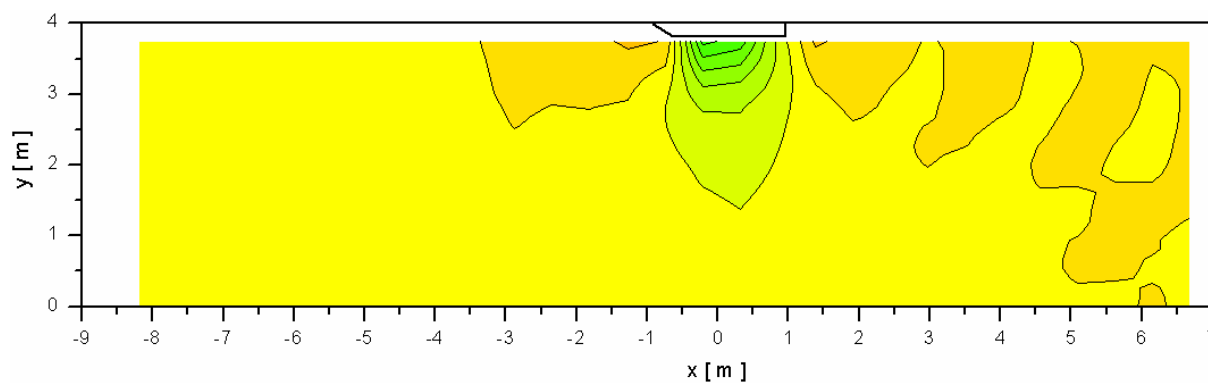
Variation quer, nur Nedlloyd Finland, $y = 100$ m

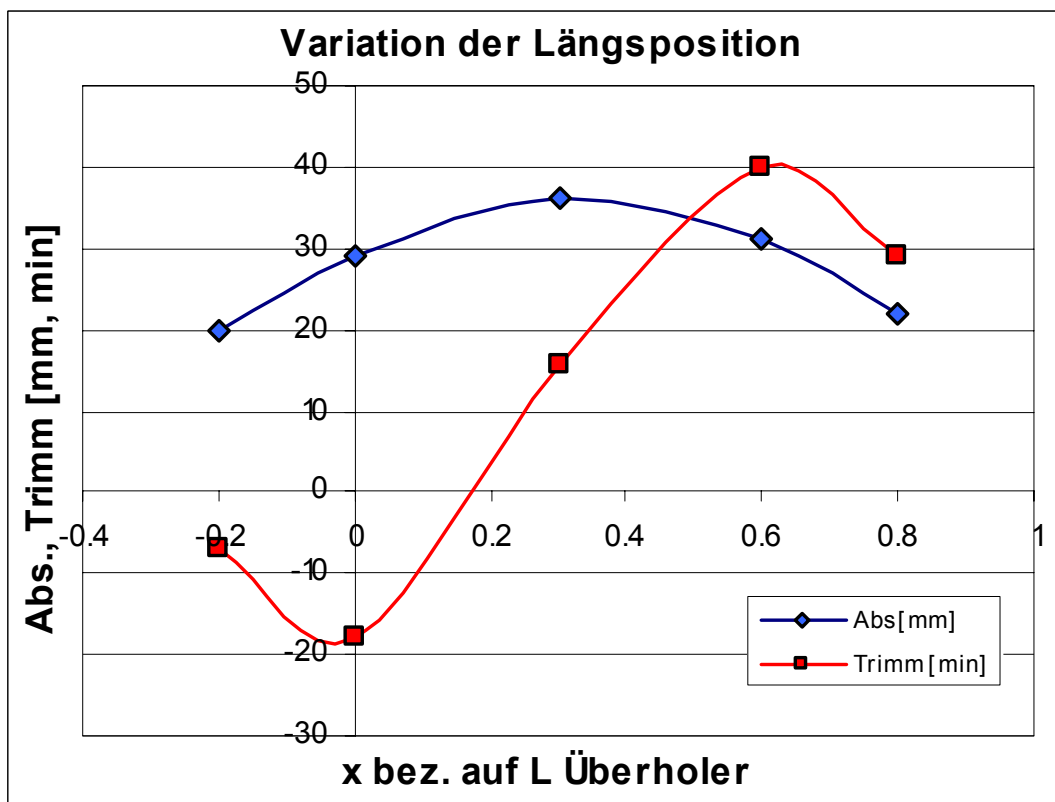
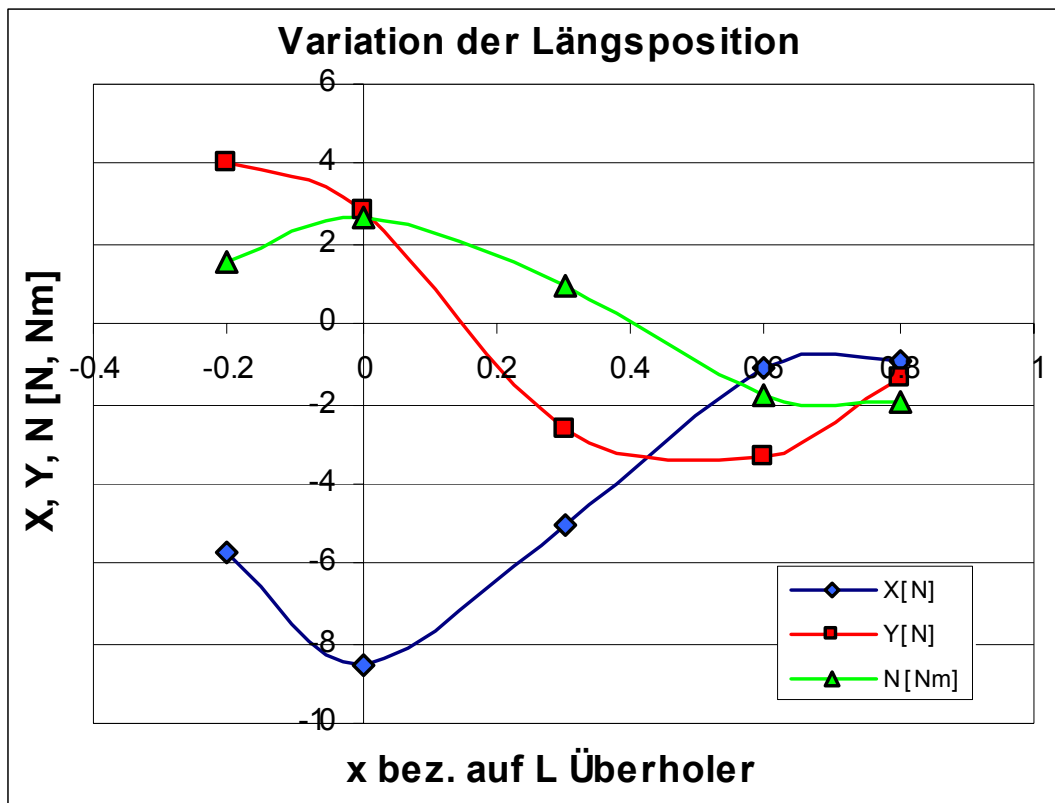


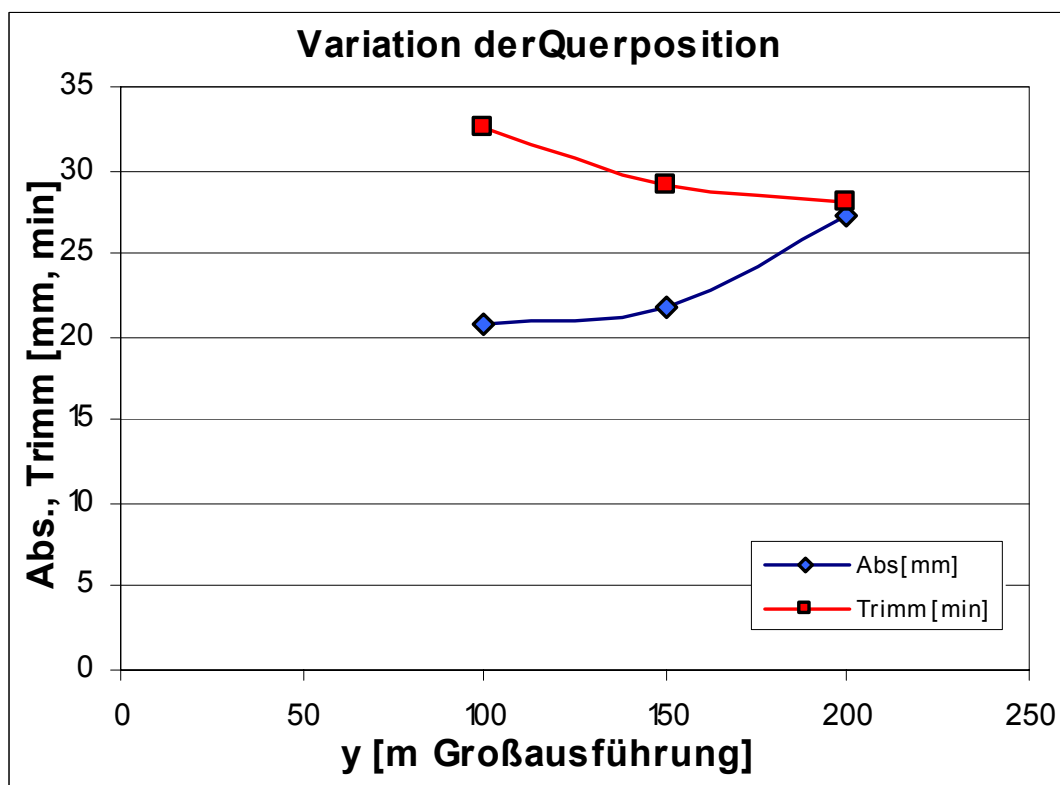
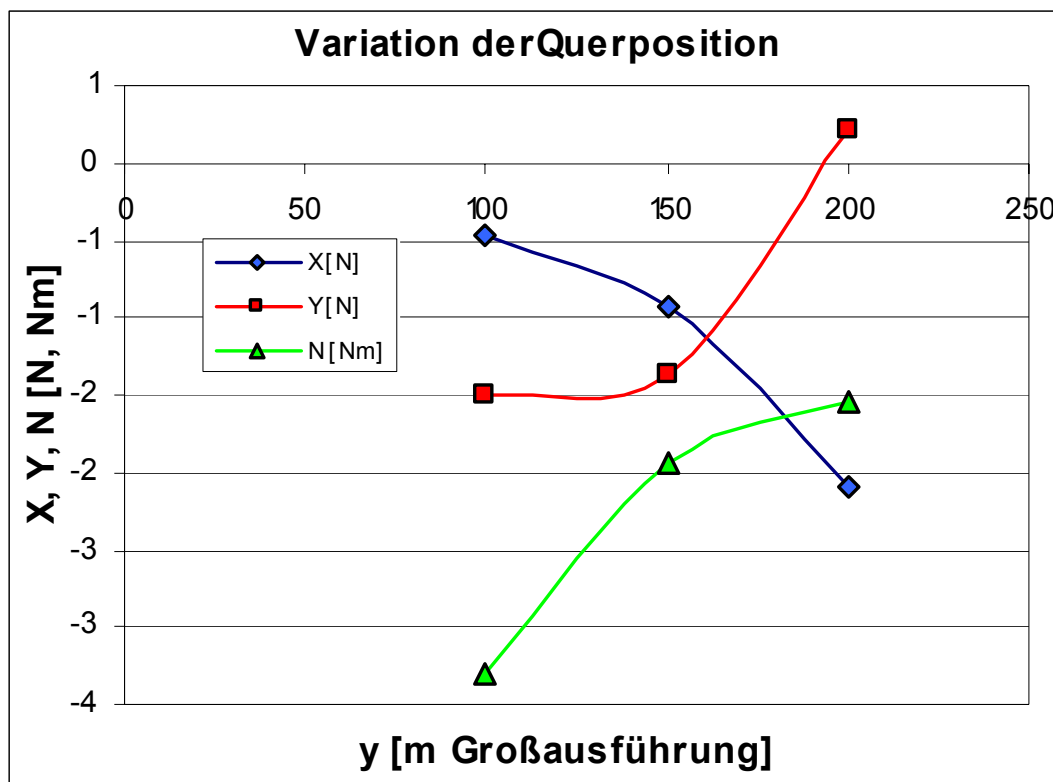
Variation quer, nur Nedlloyd Finland, $y = 150$ m

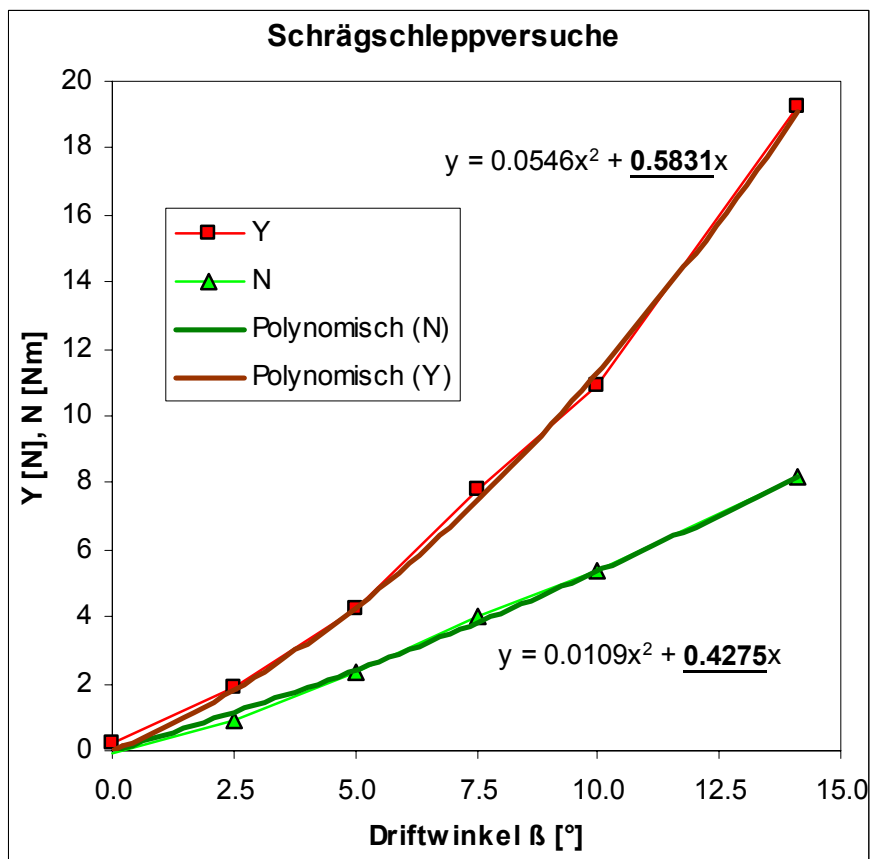
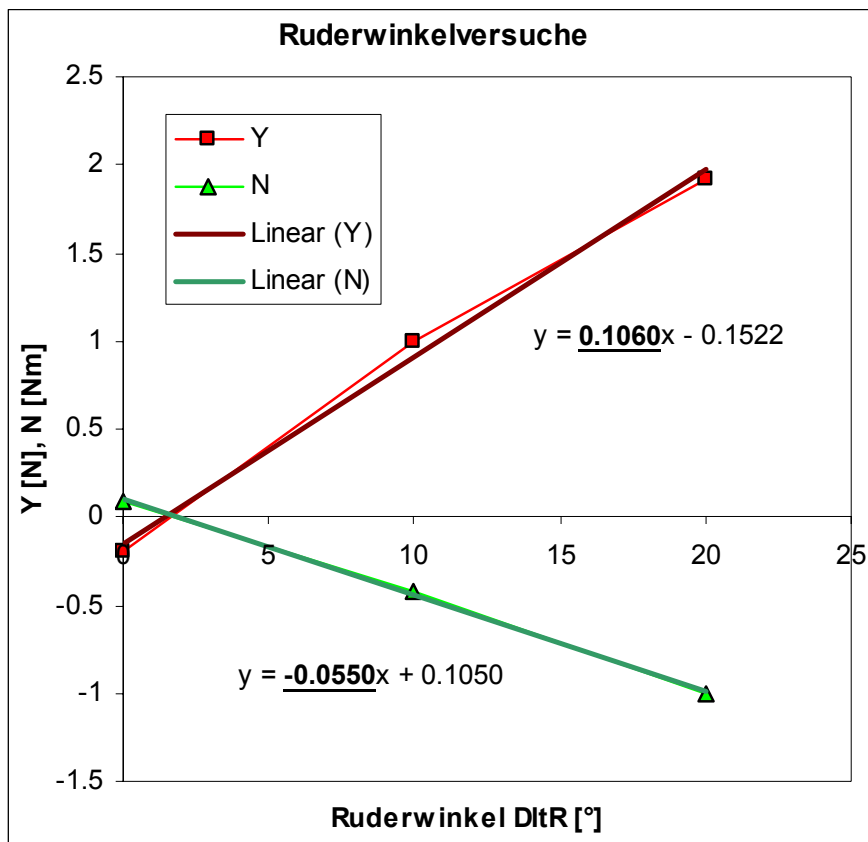


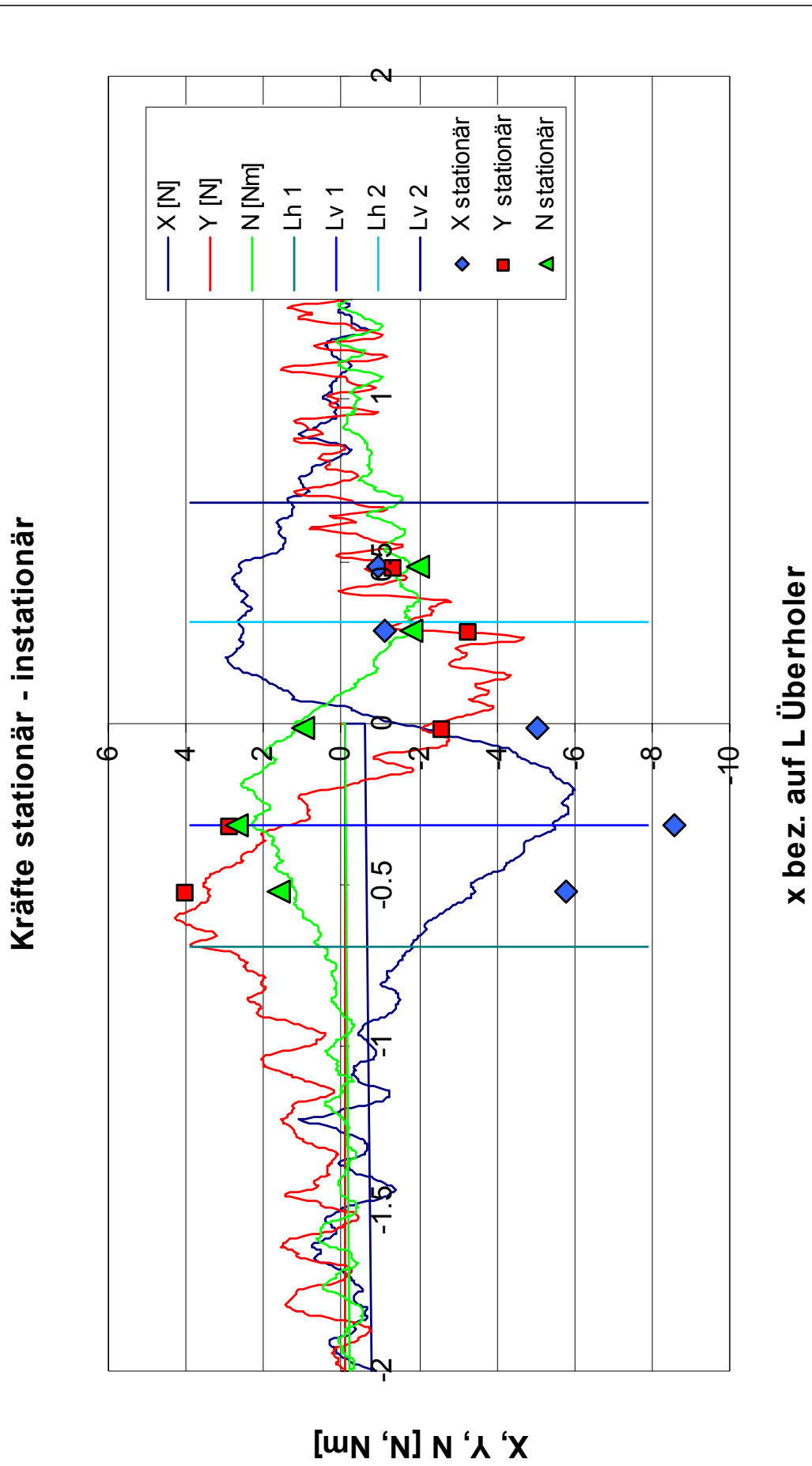
Variation quer, nur Nedlloyd Finland, $y = 200$ m

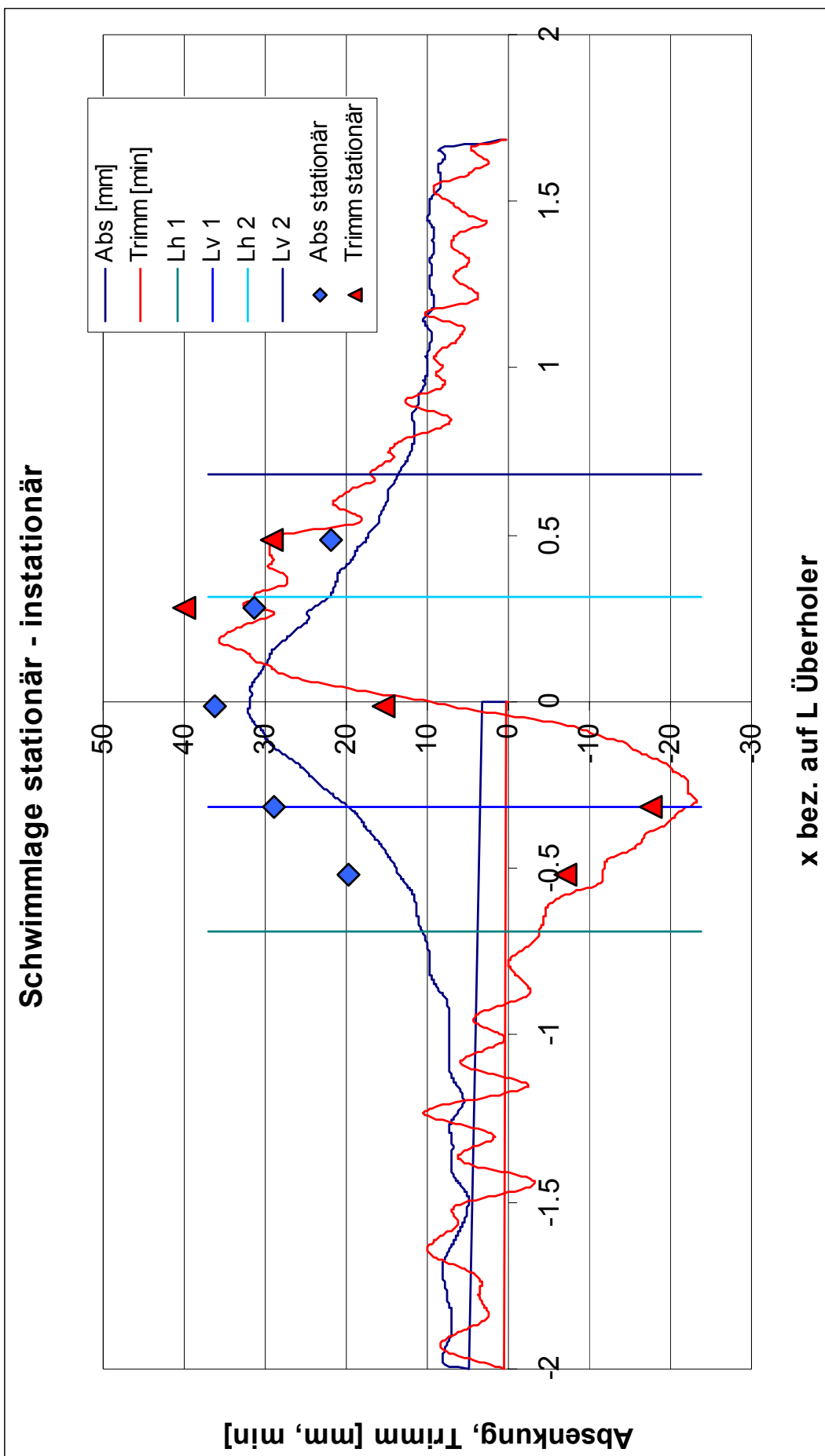




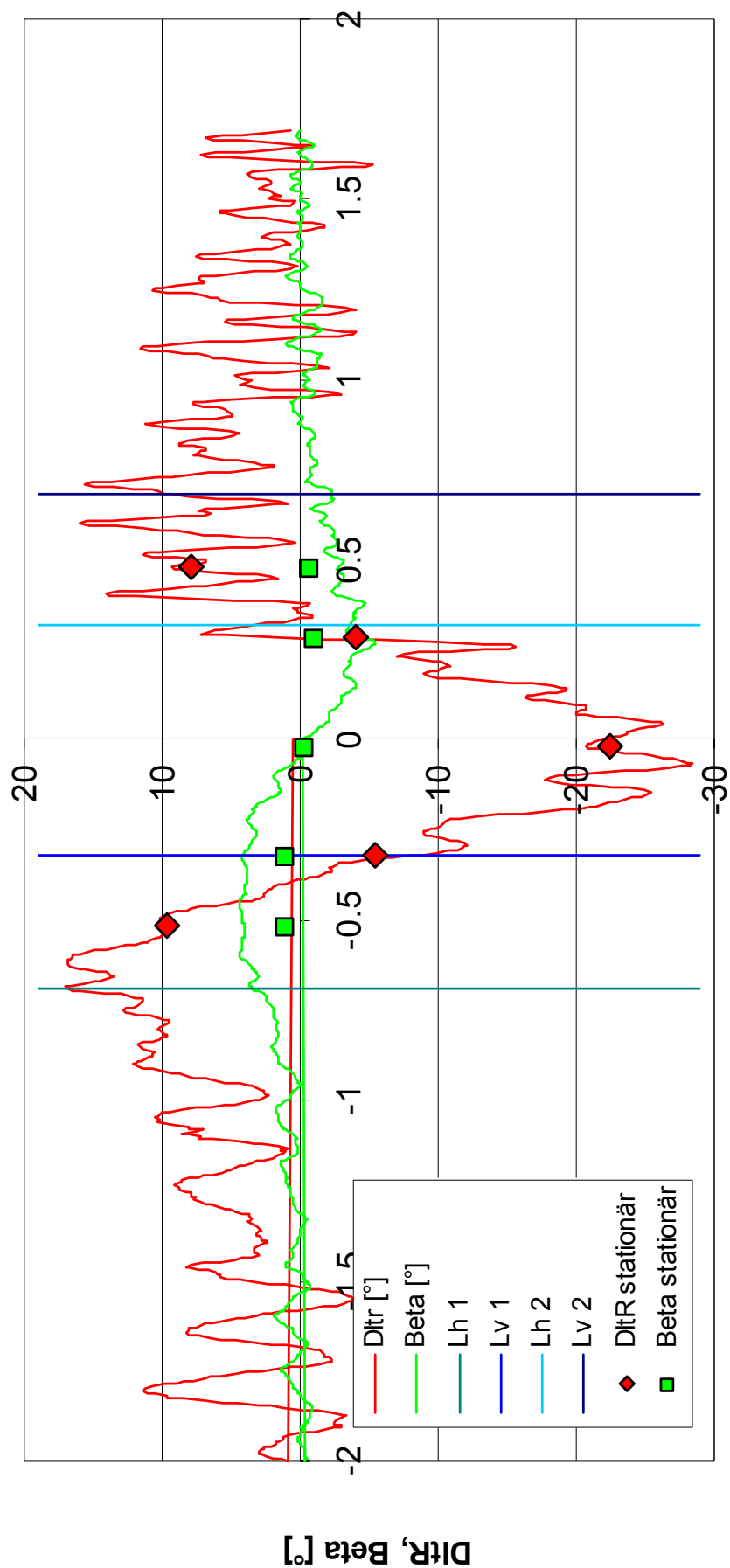




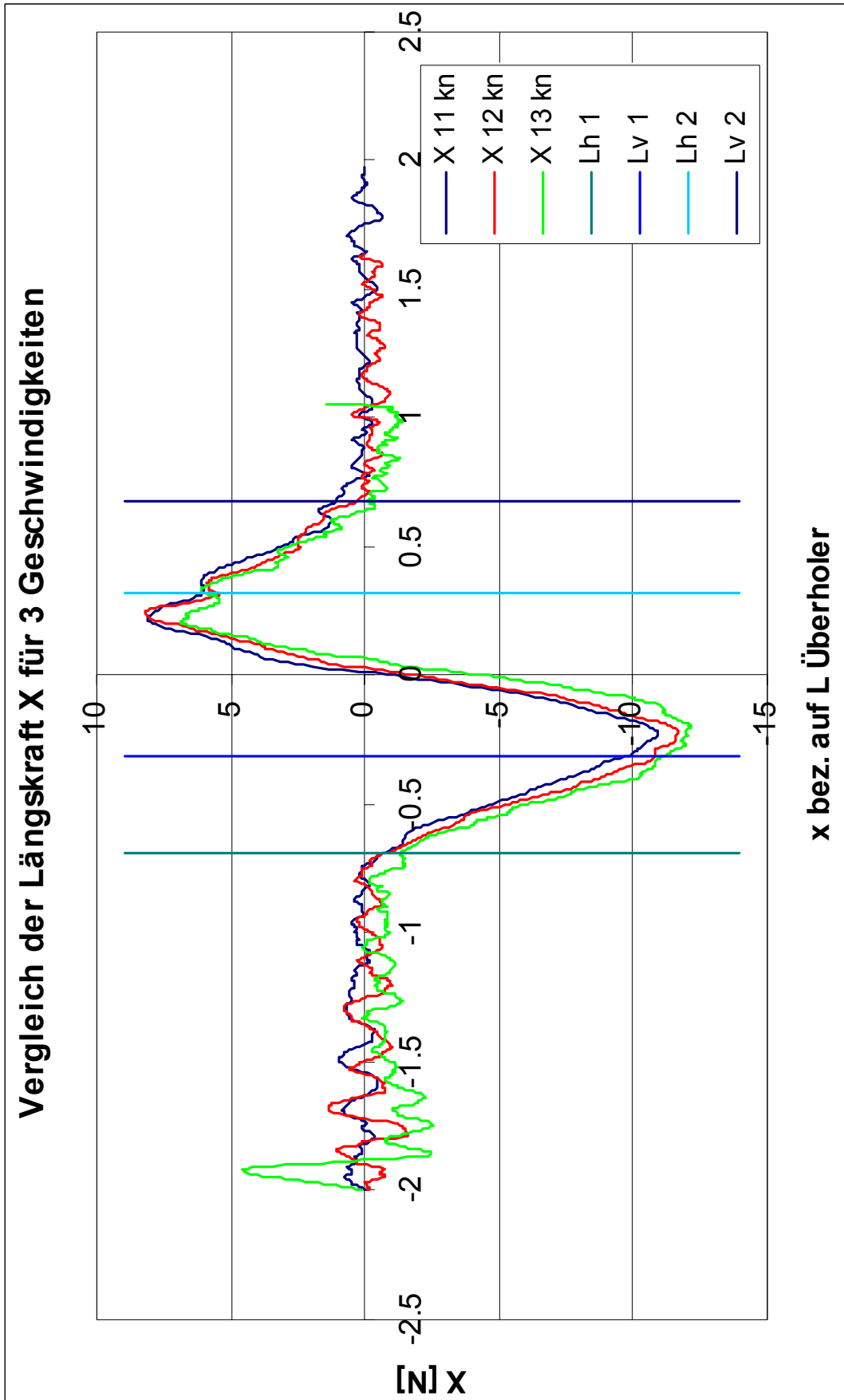


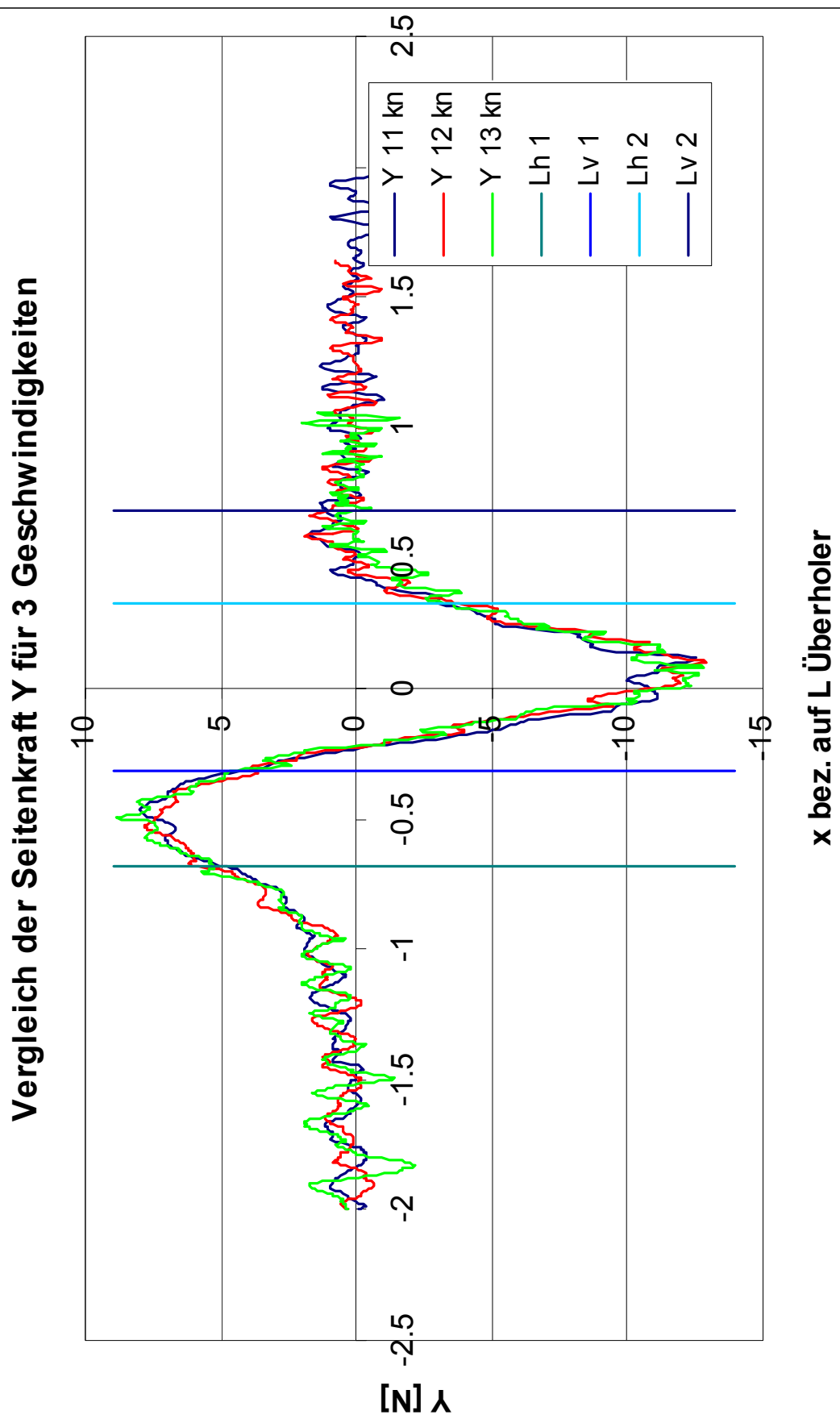


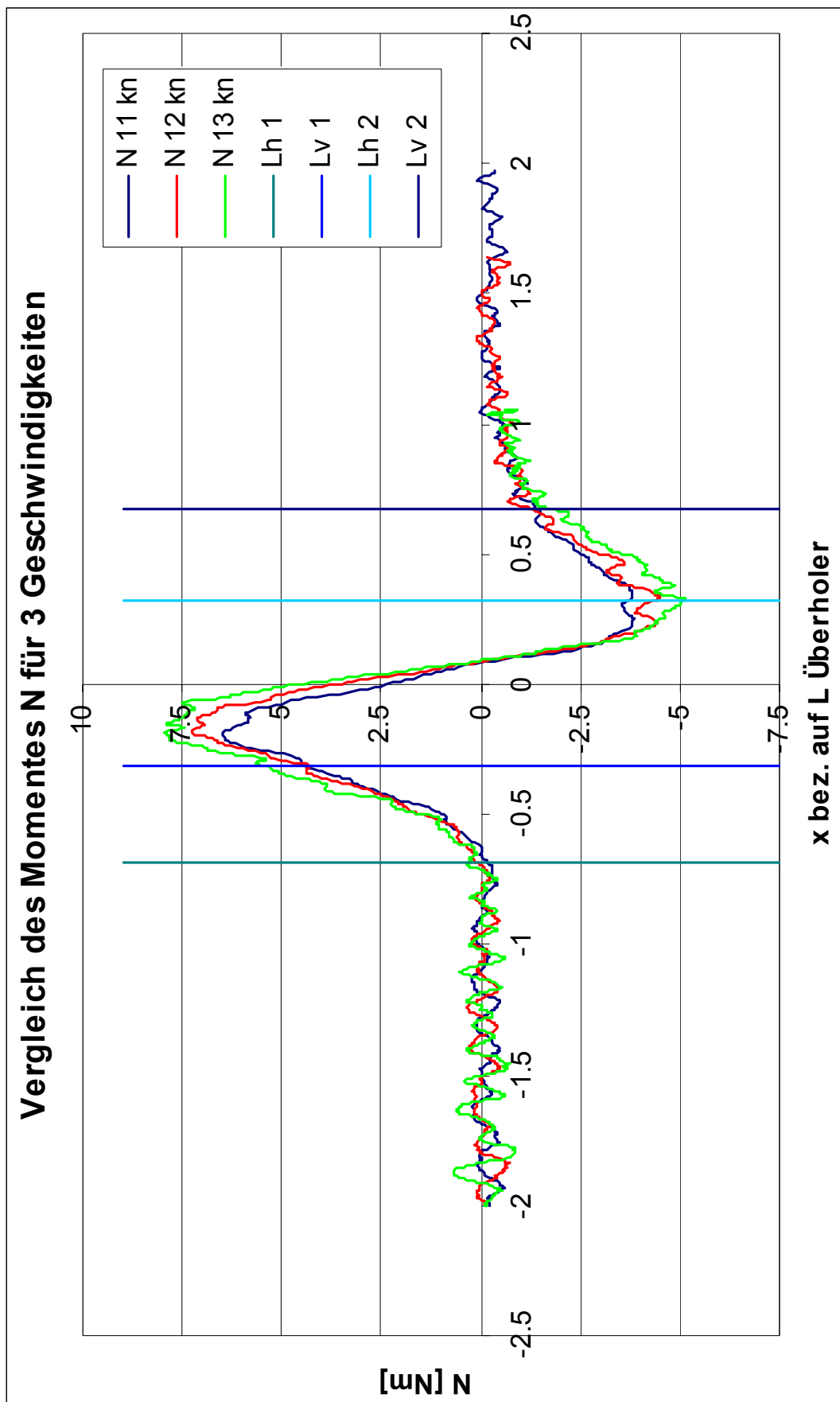
Ruder- und Driftwinkel stationär - instationär



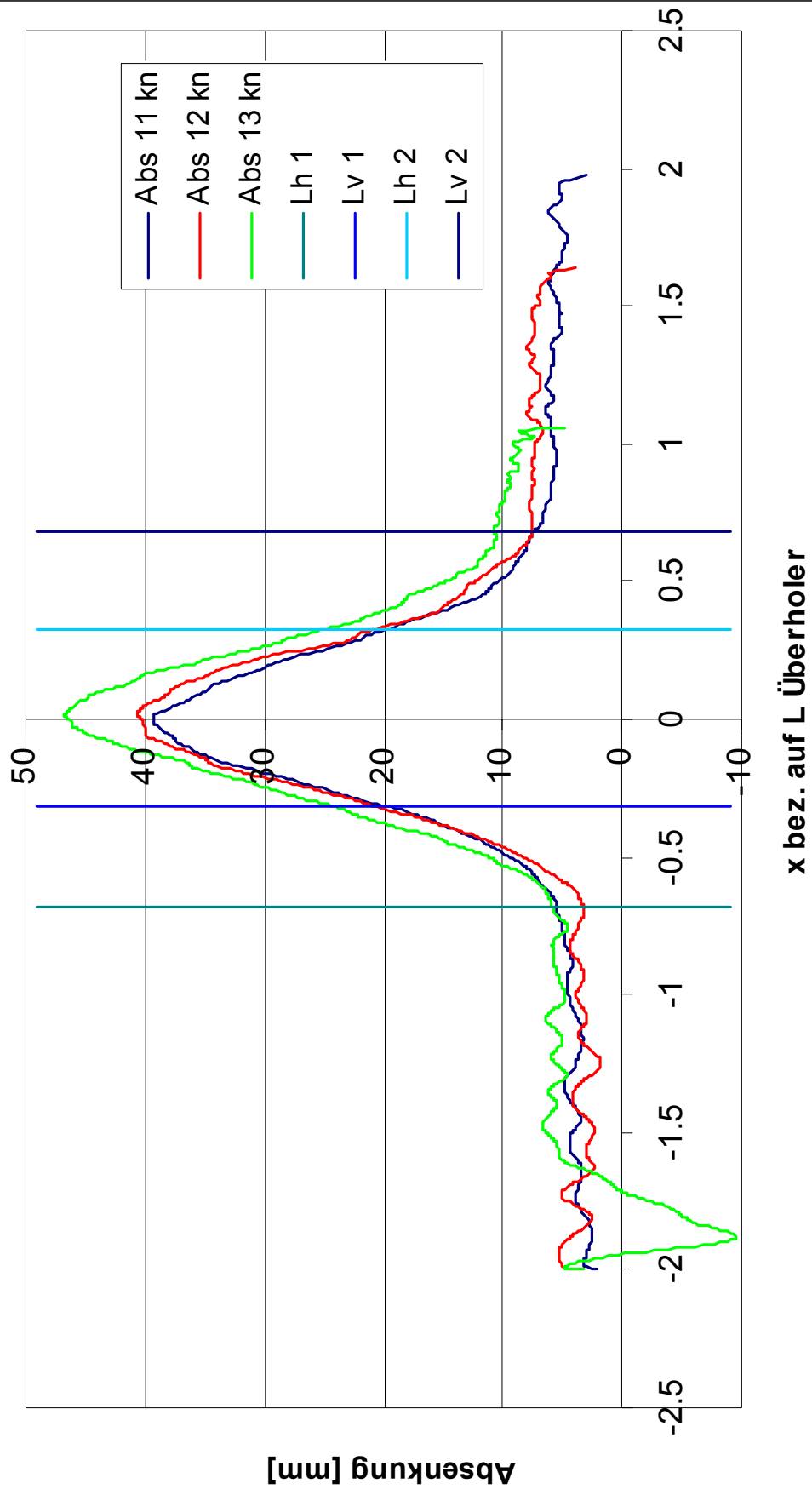
x bez auf L Überholer



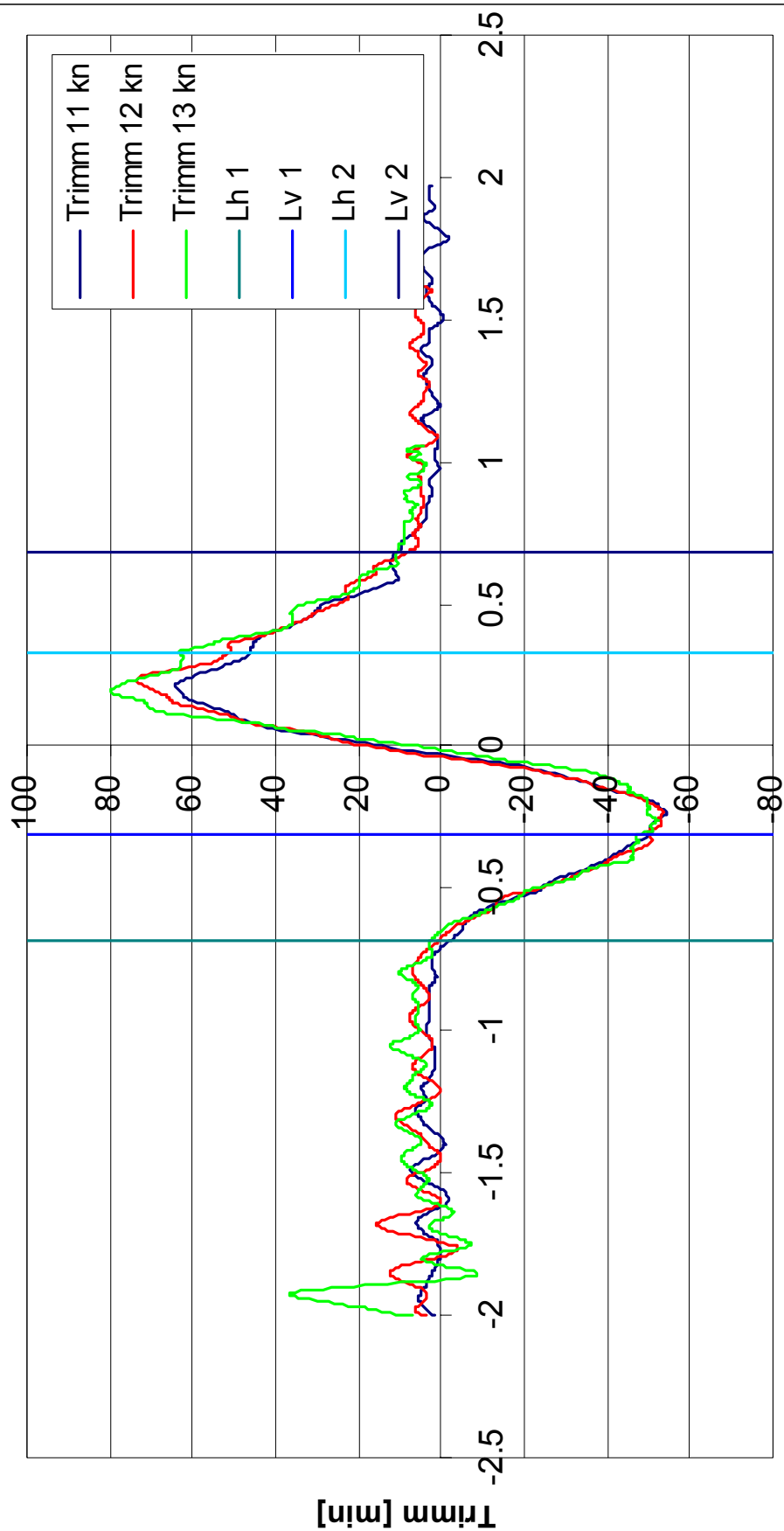




Vergleich der Absenkung für 3 Geschwindigkeiten

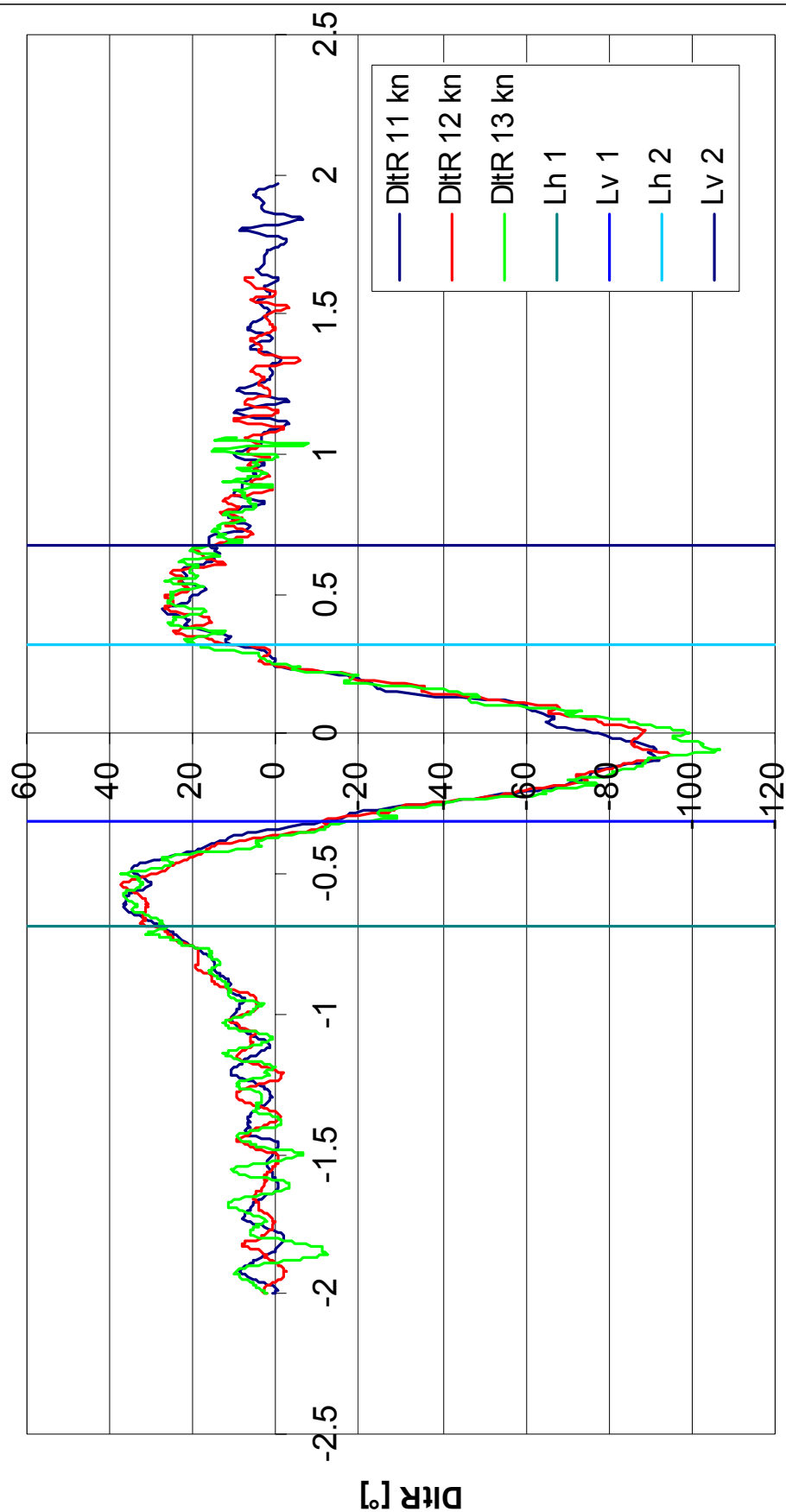


Vergleich des Trimms für 3 Geschwindigkeiten



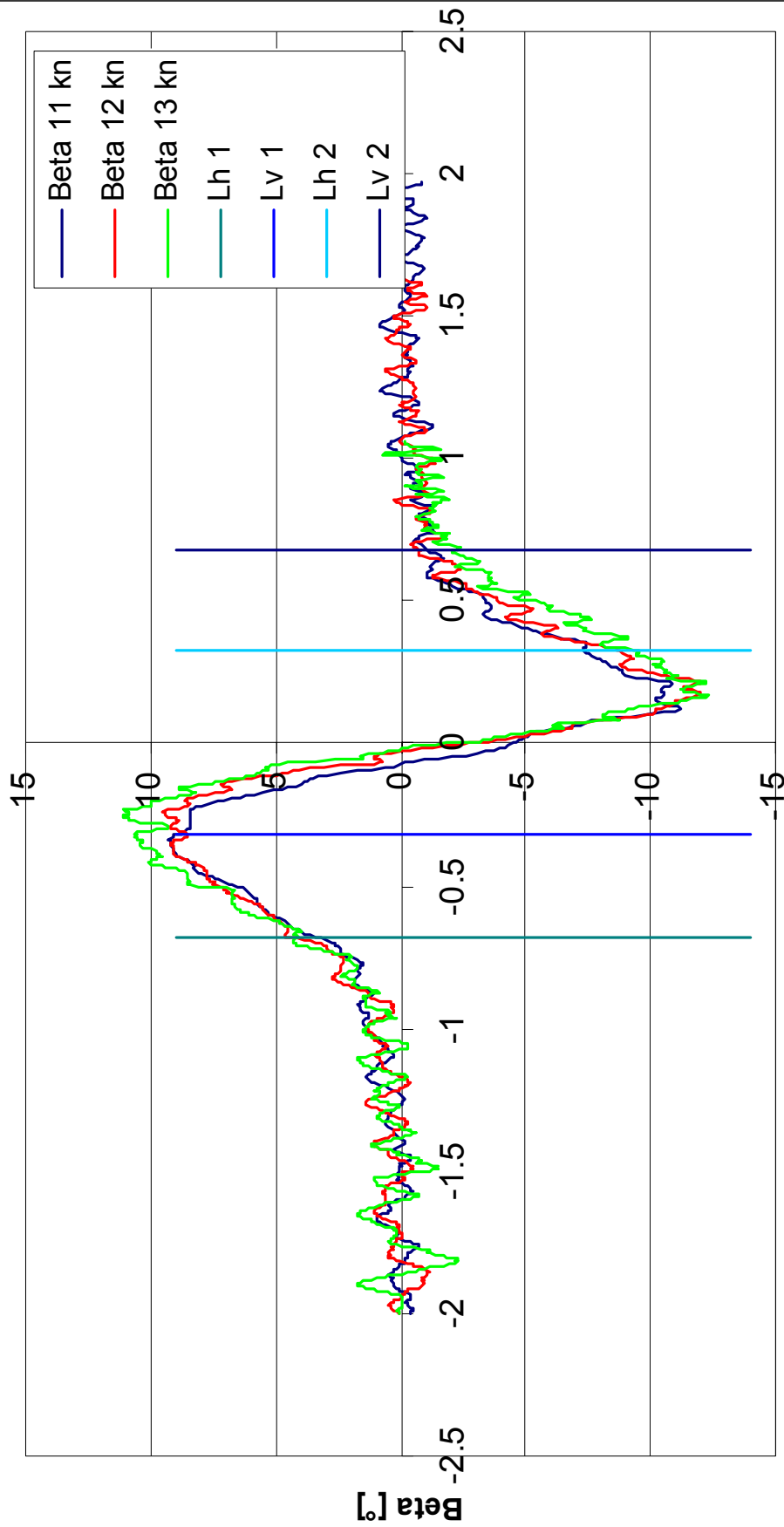
x bez. auf L Überholer

Vergleich des Ruderwinkels DItR für 3 Geschwindigkeiten

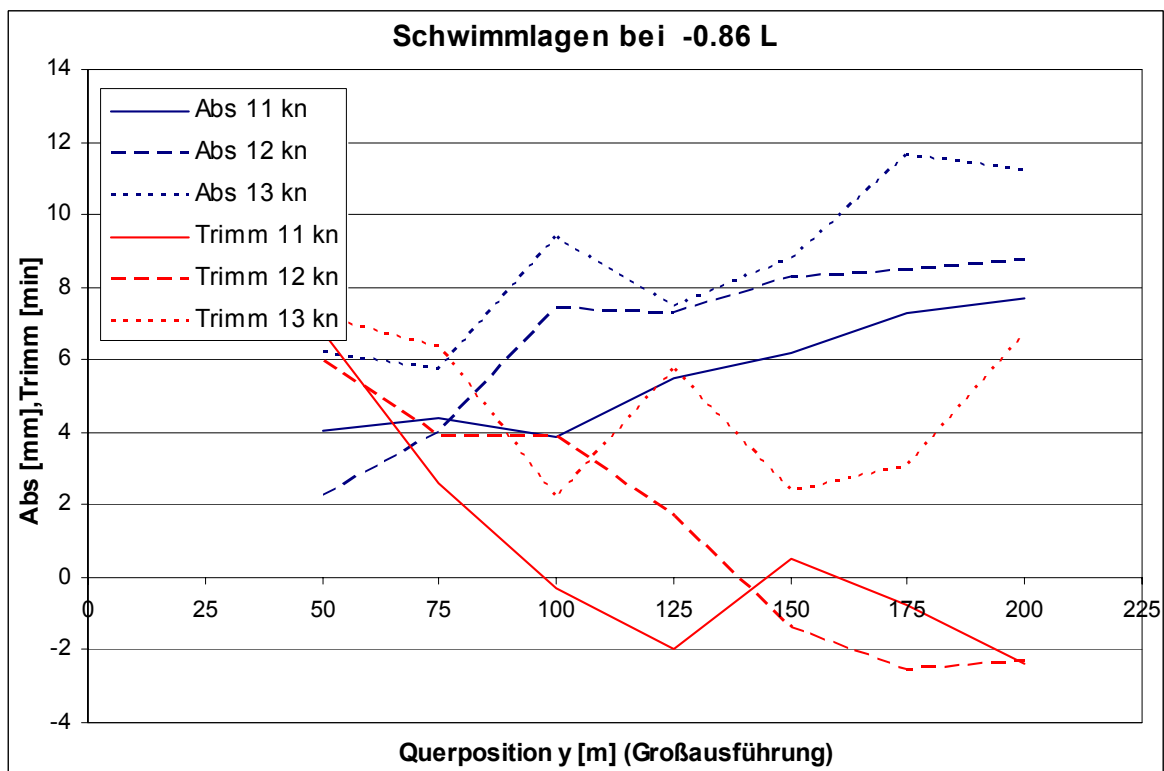
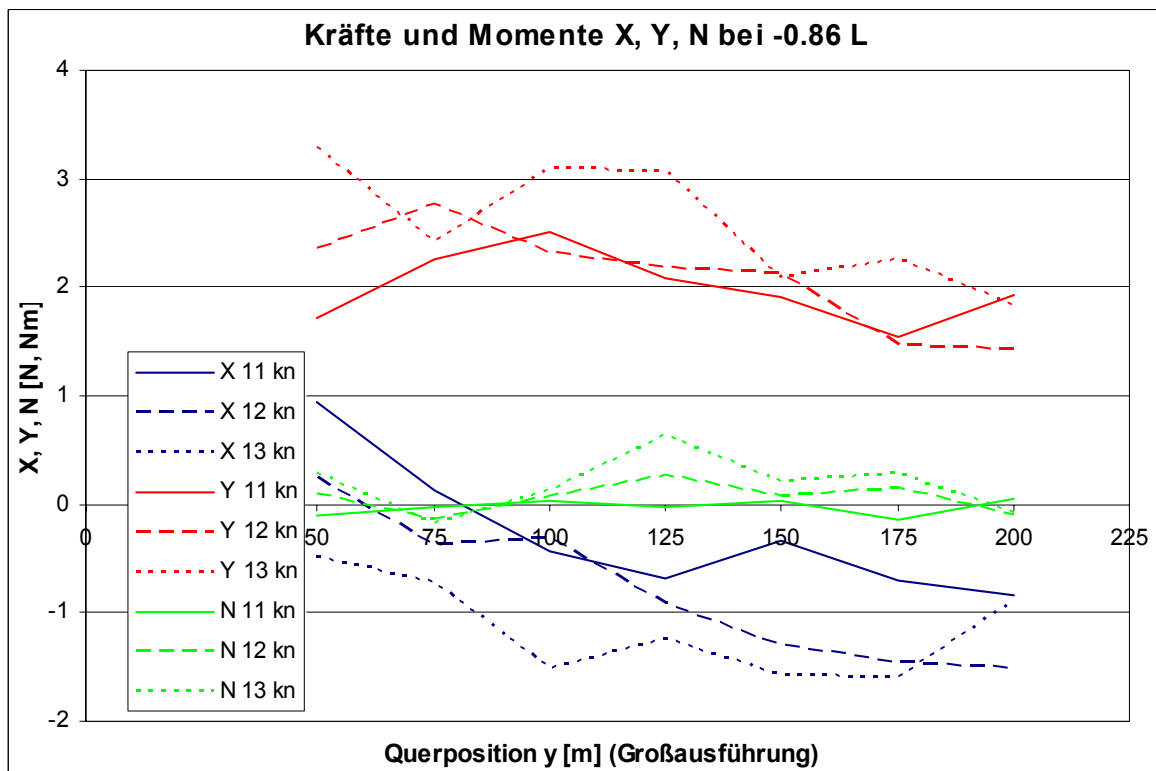


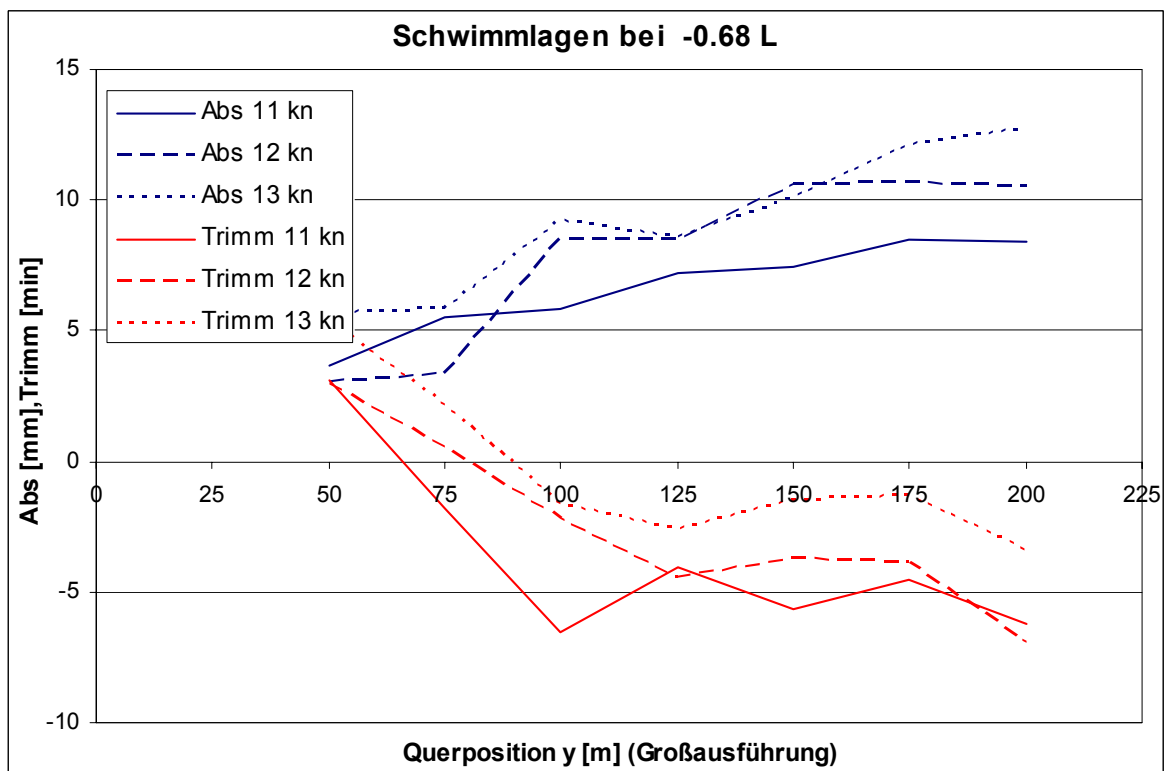
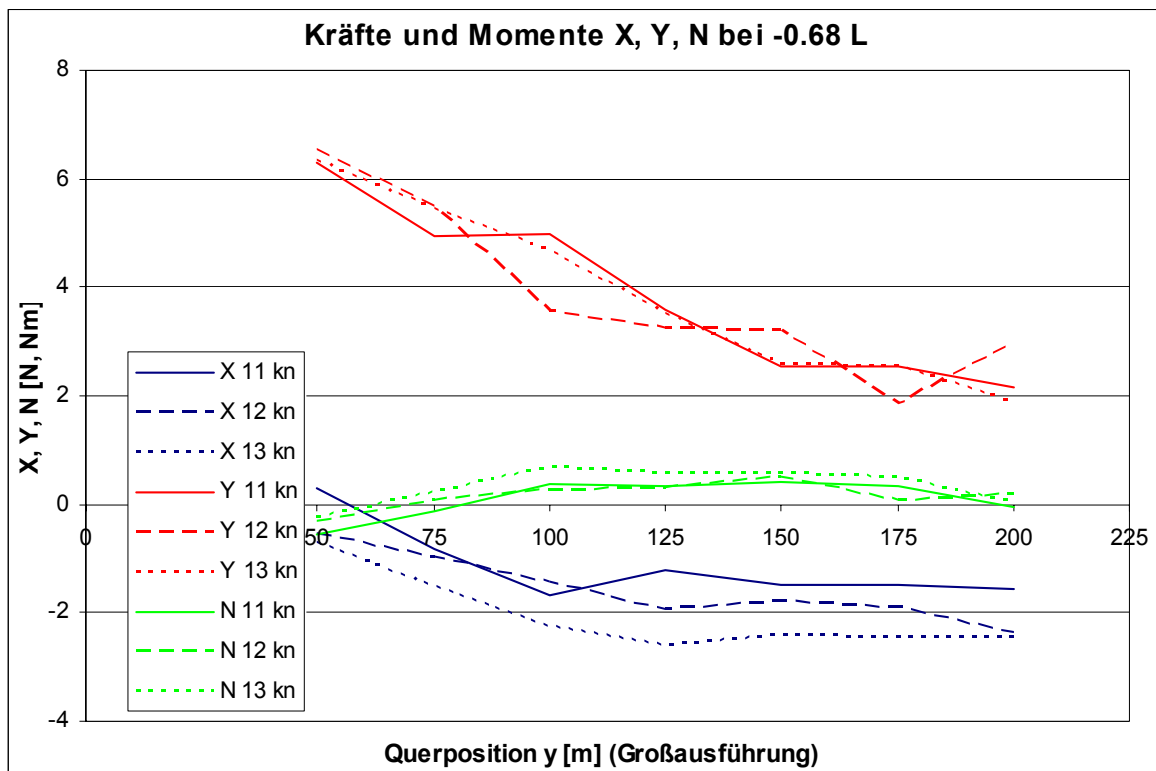
x bez. auf L Überholer

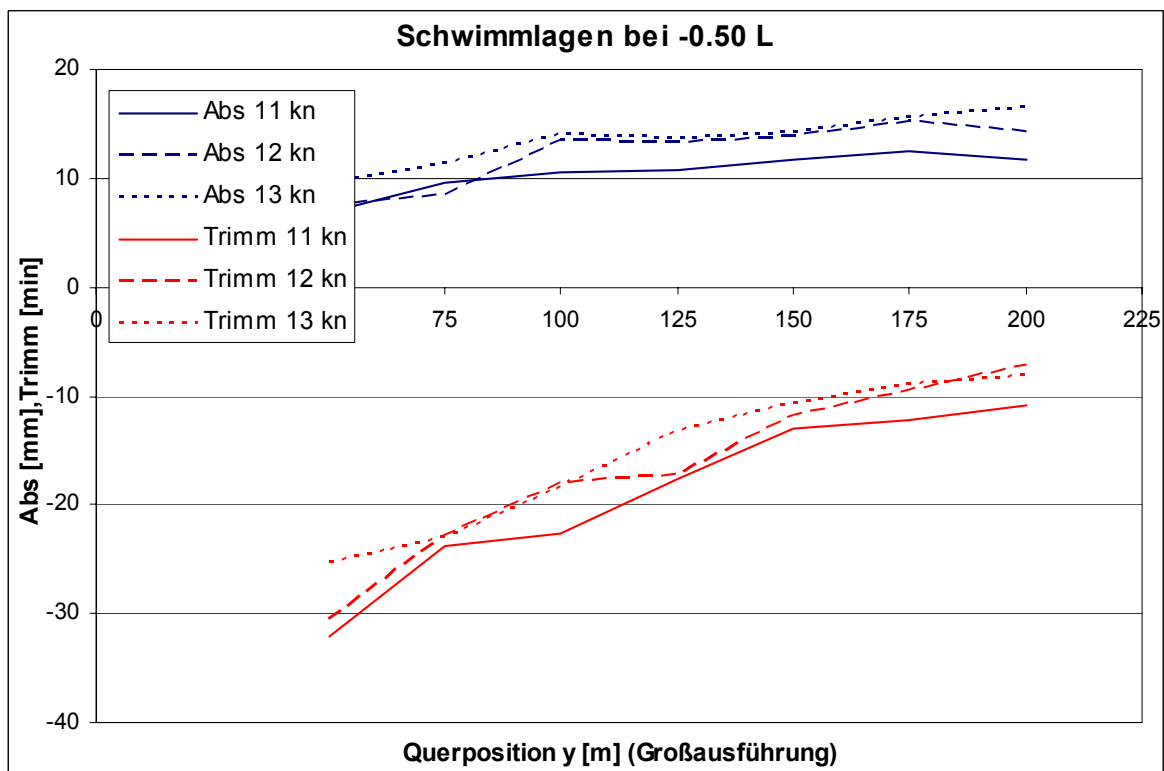
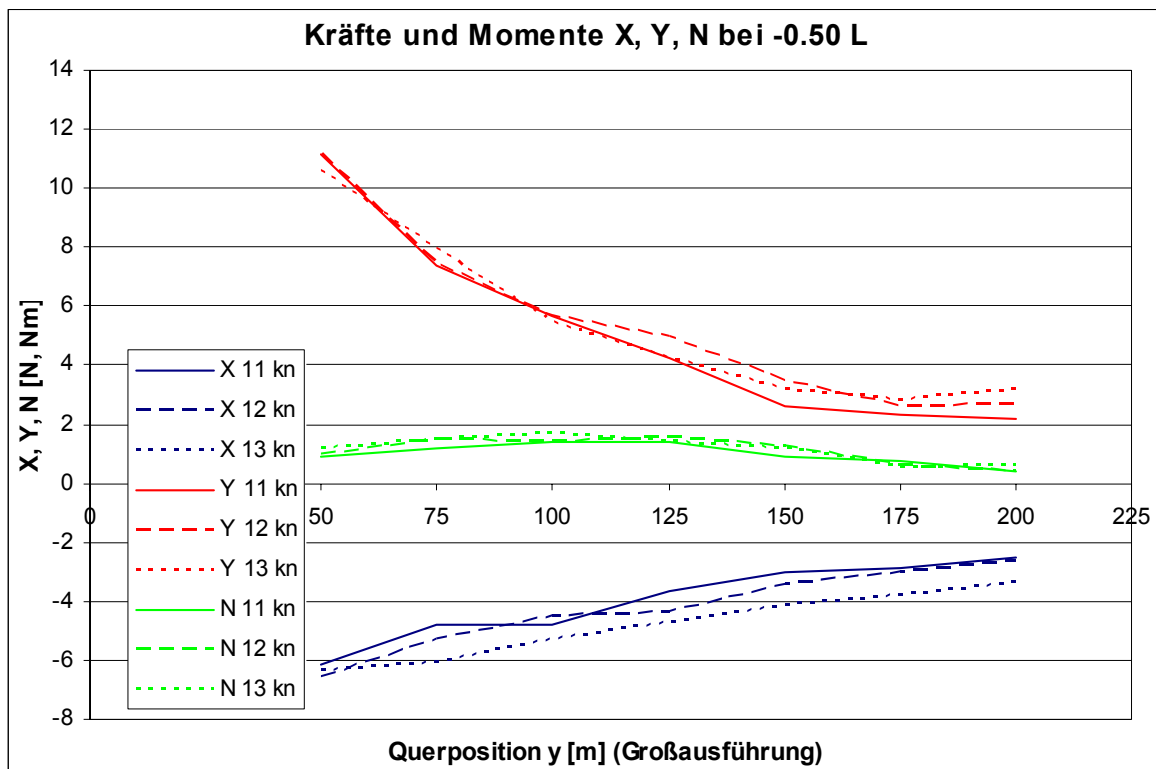
Vergleich des Driftwinkels Beta für 3 Geschwindigkeiten

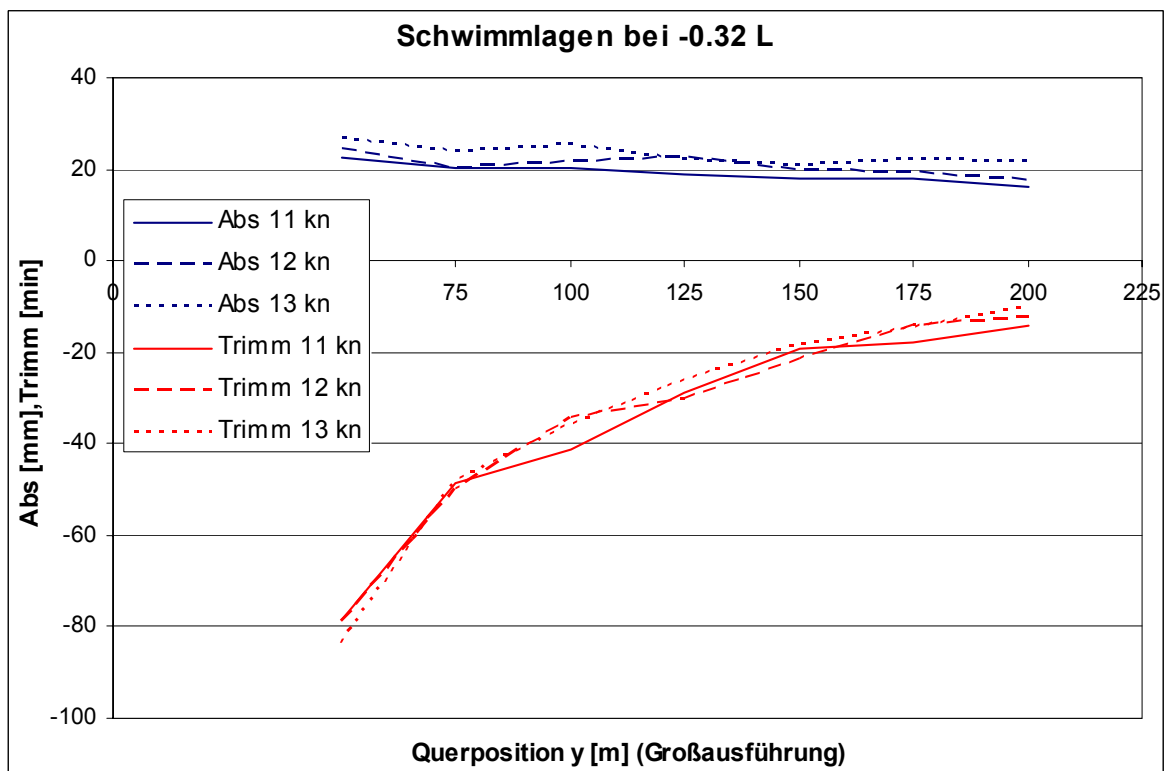
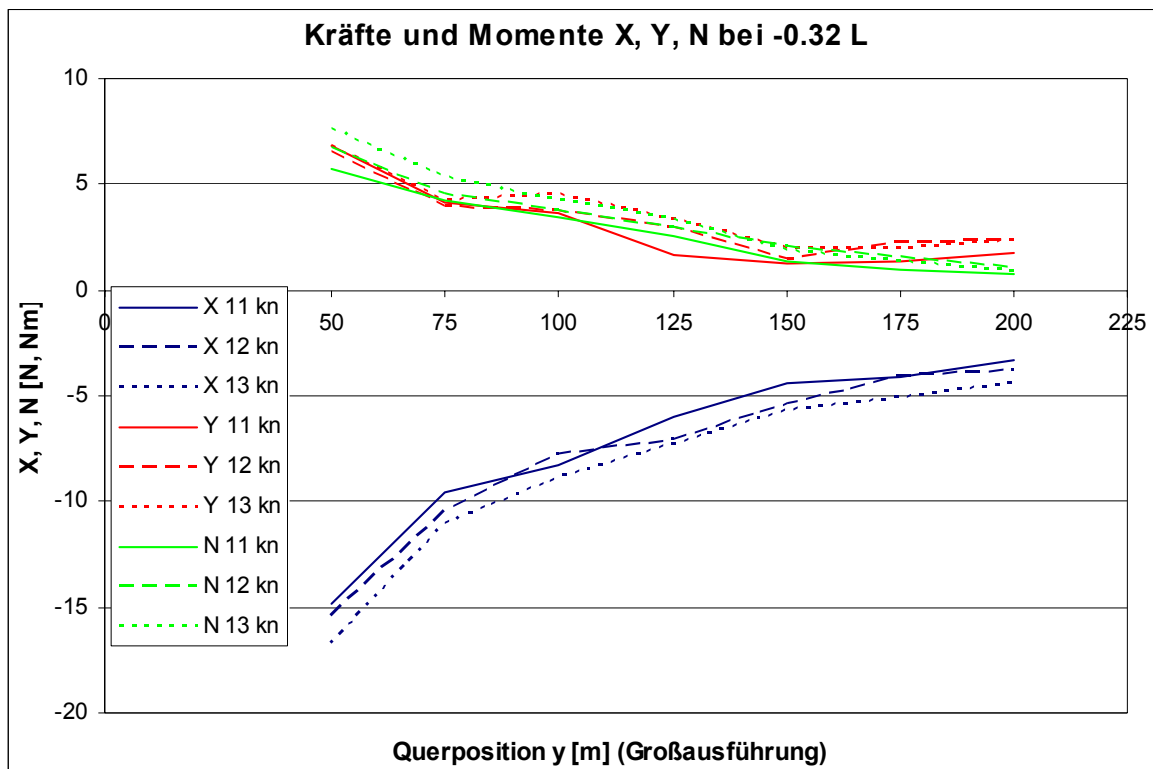


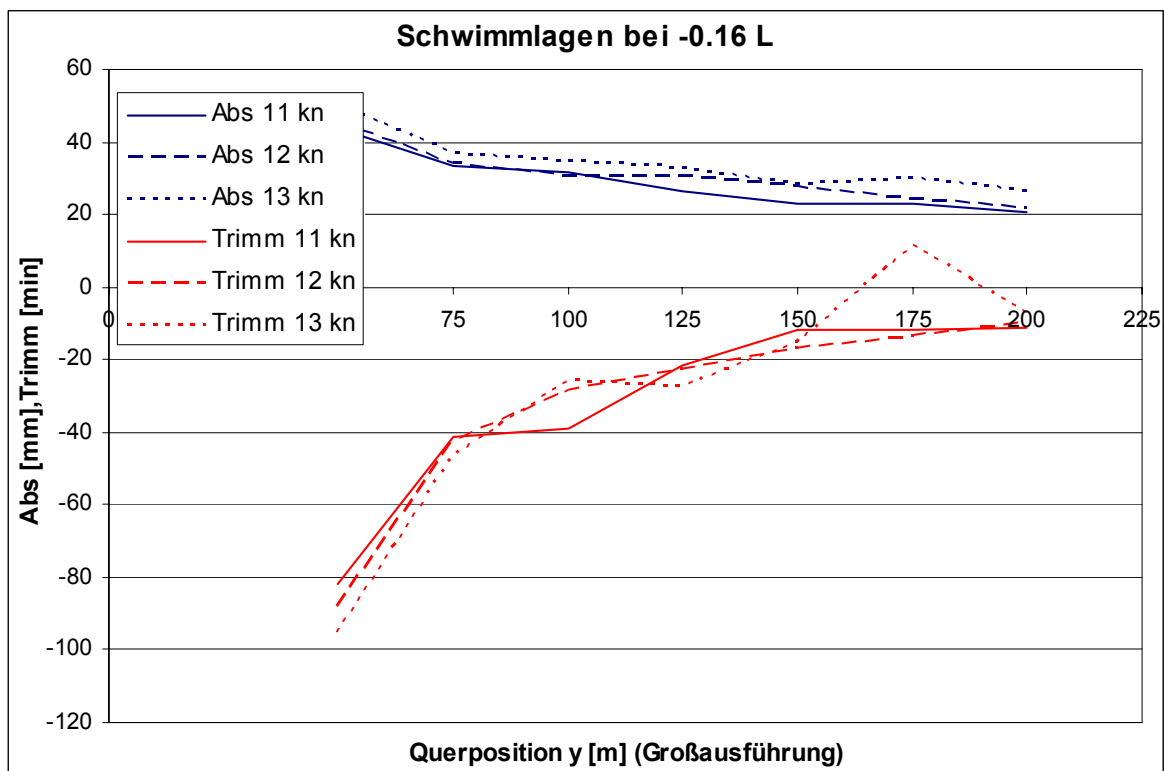
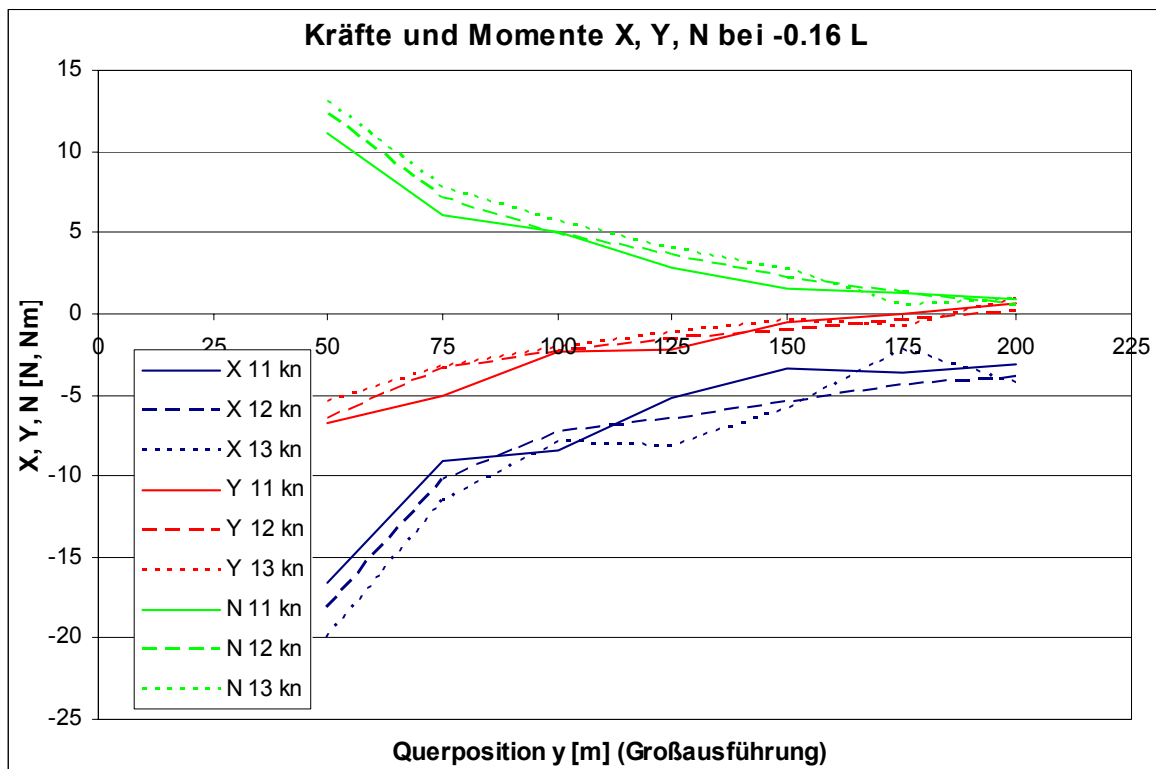
x bez. auf L Überholer

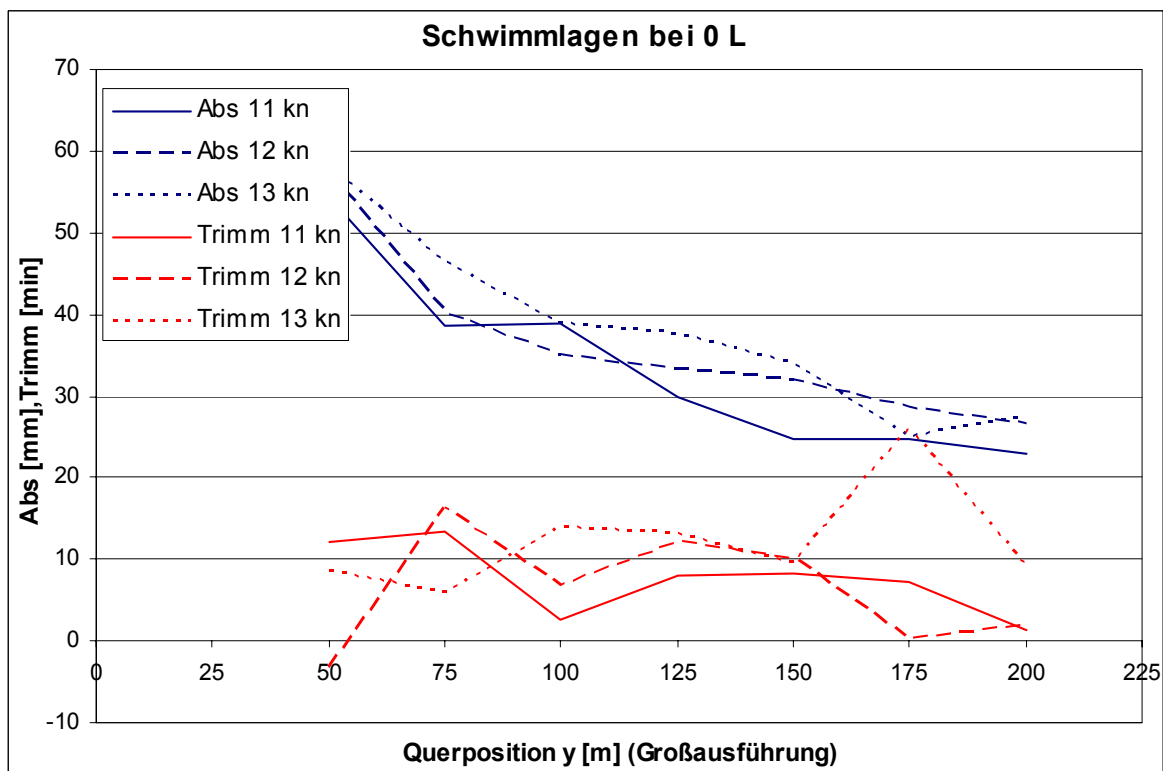
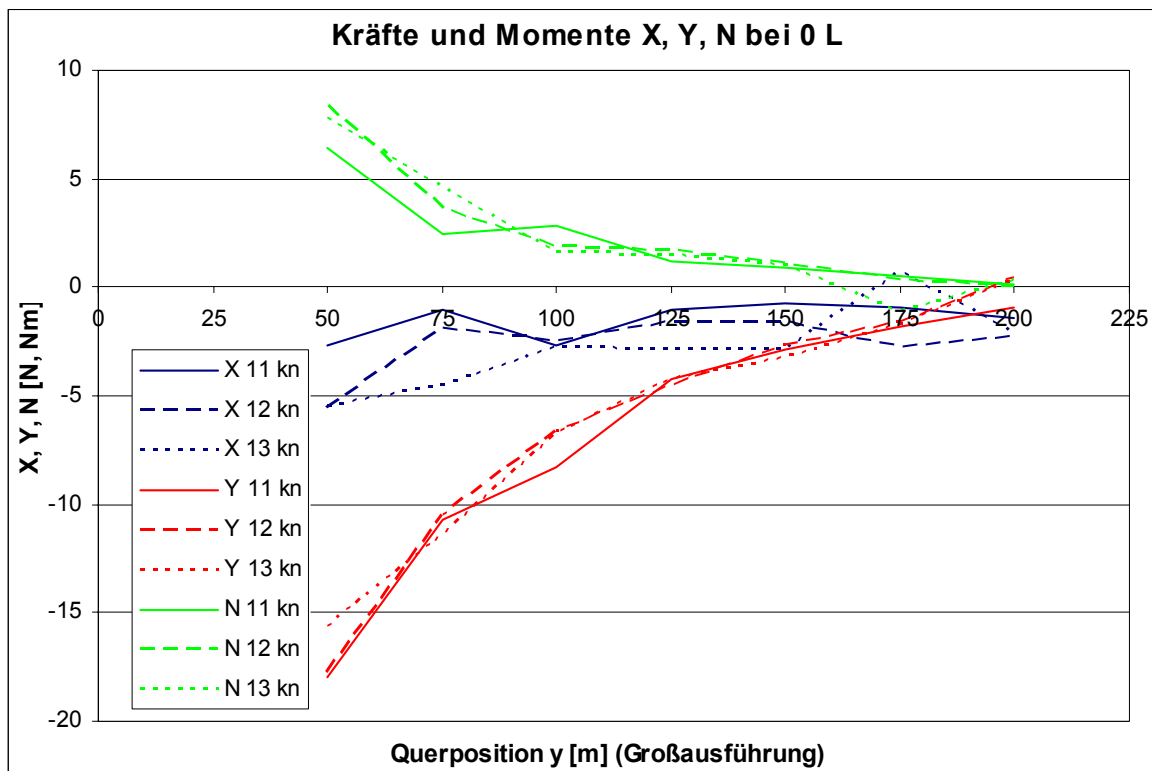


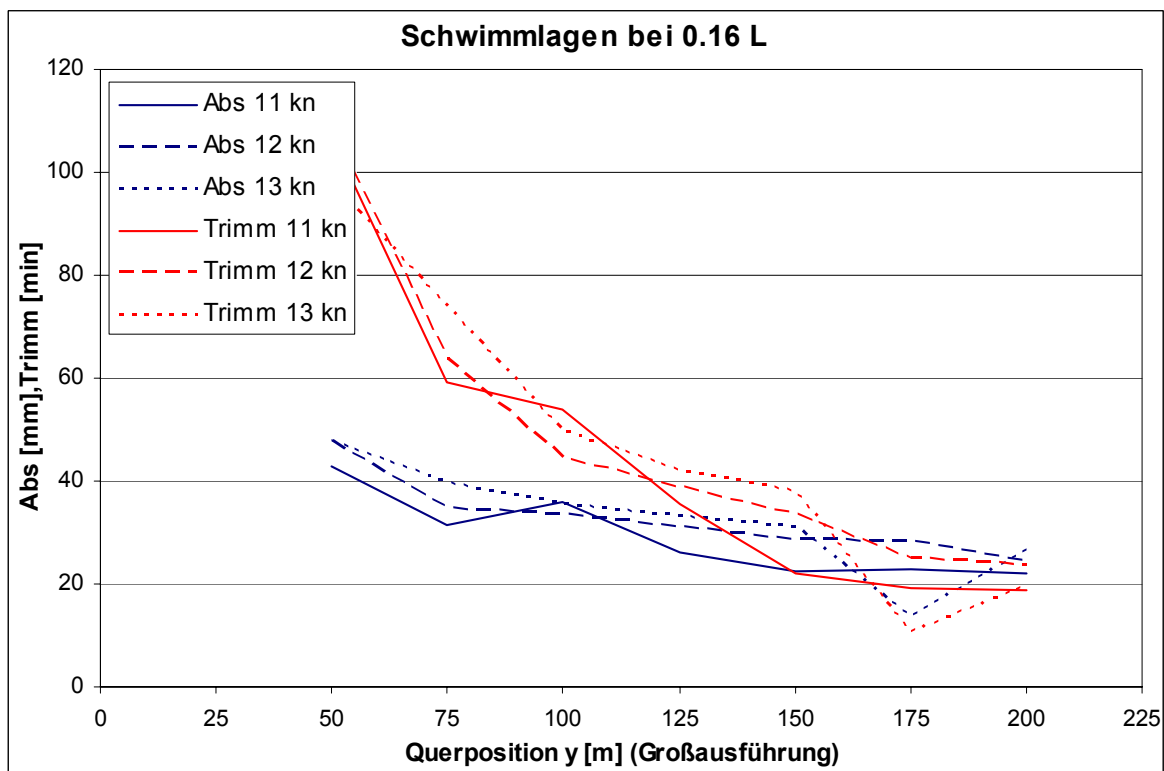
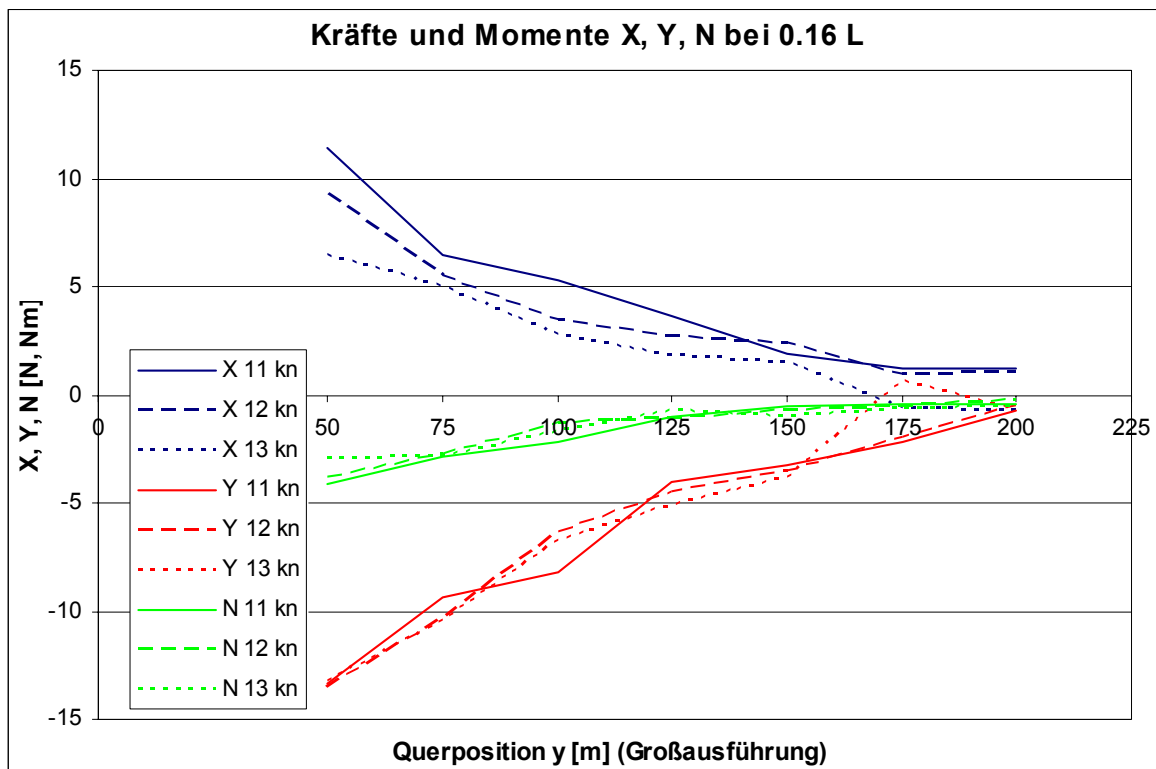


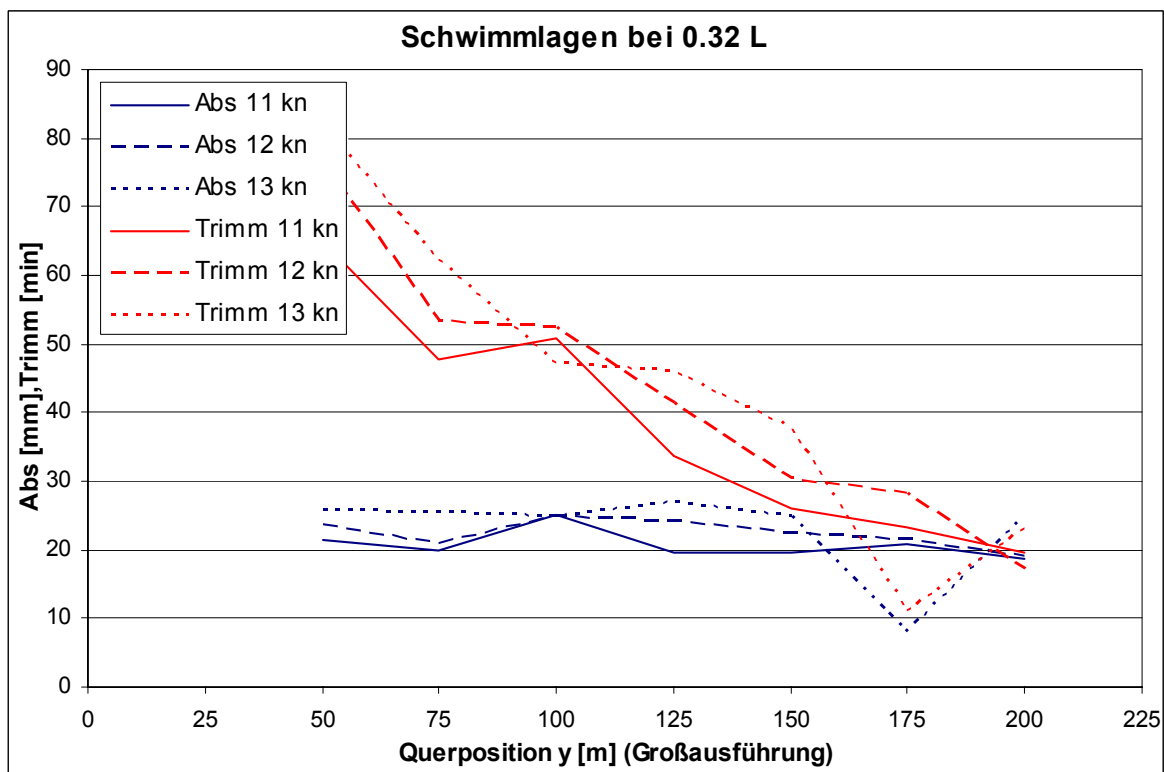
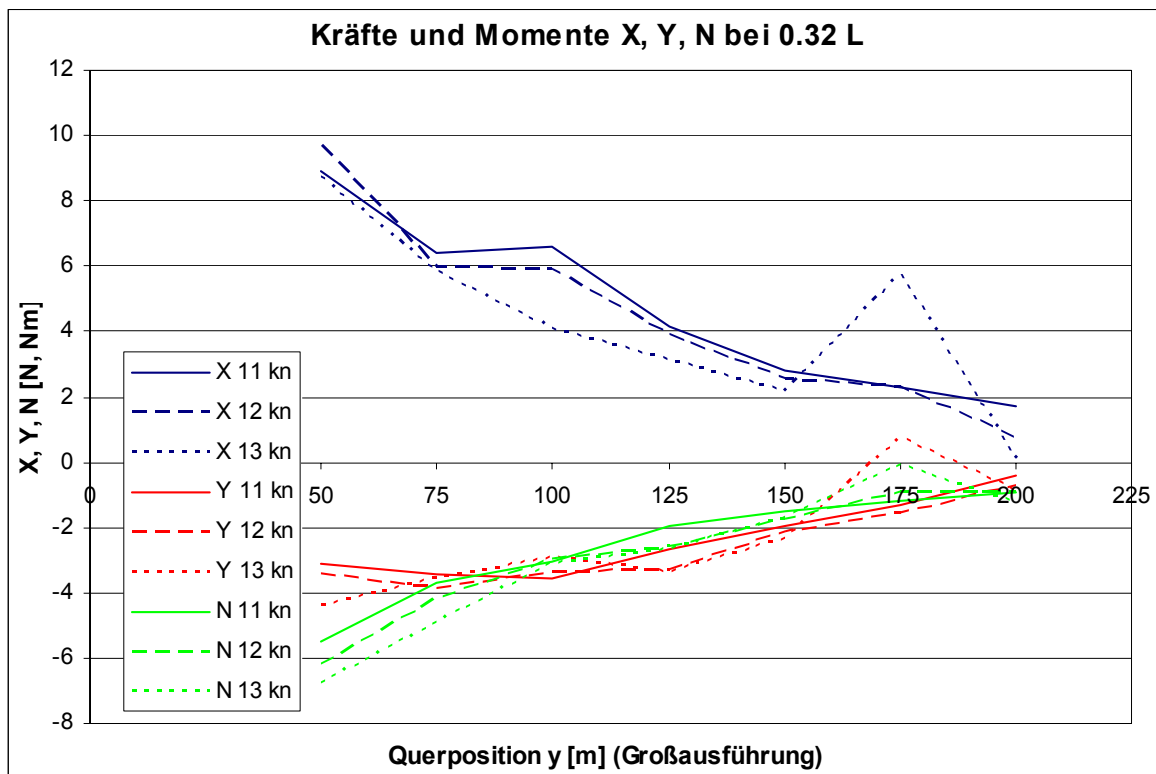


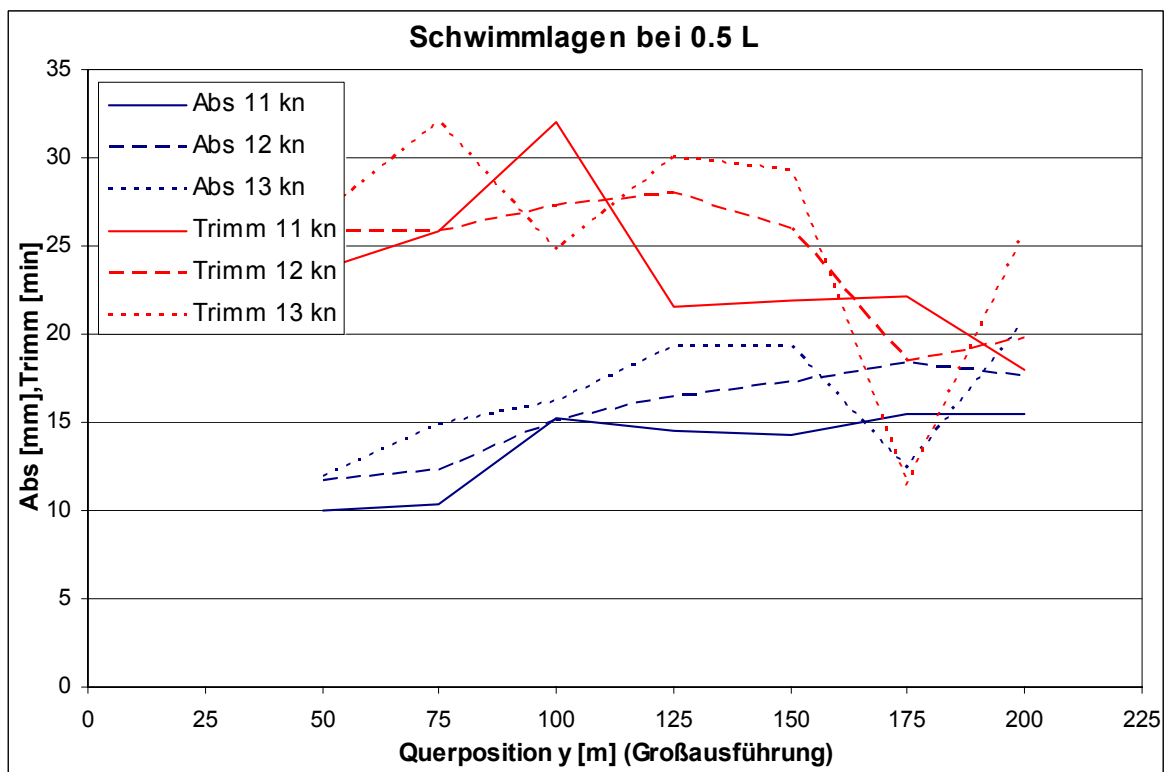
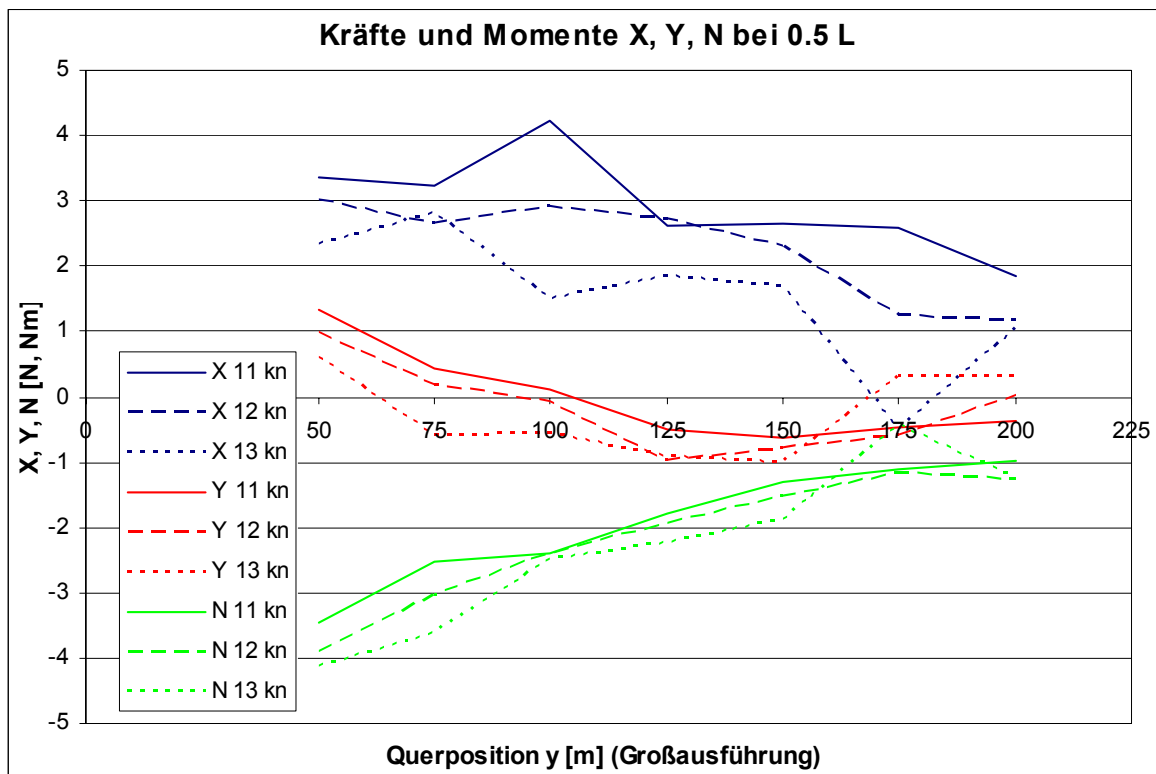


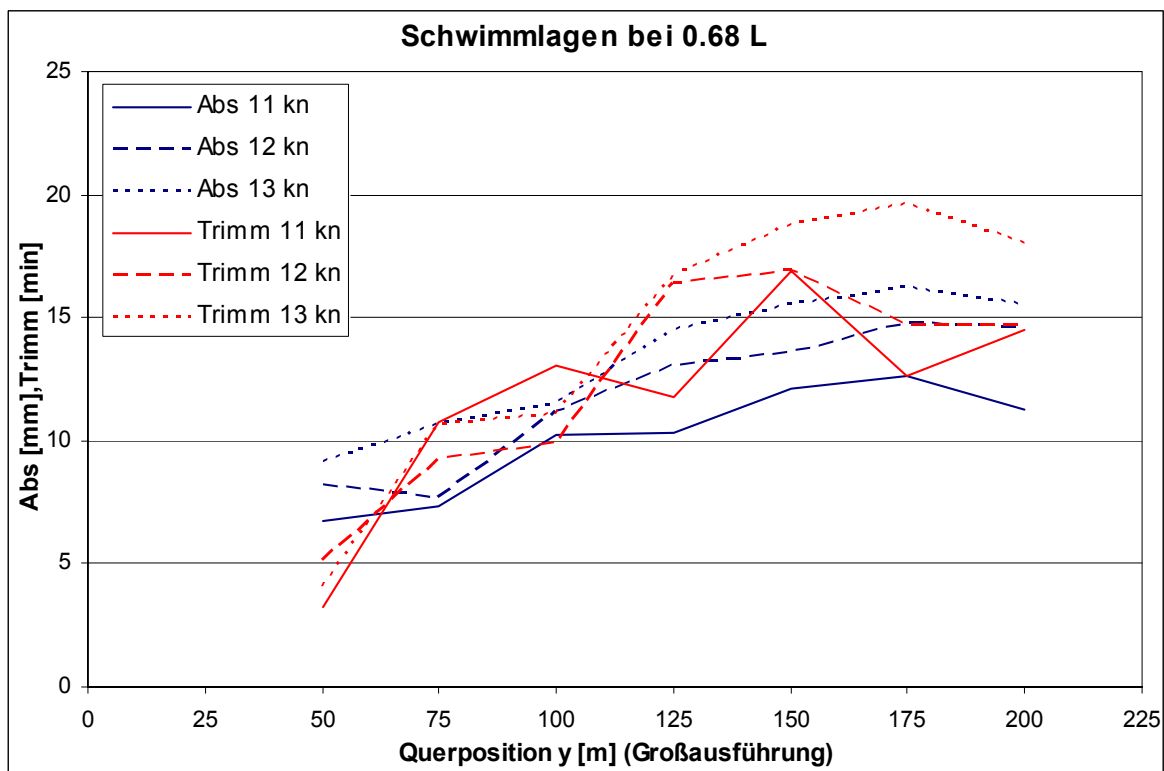
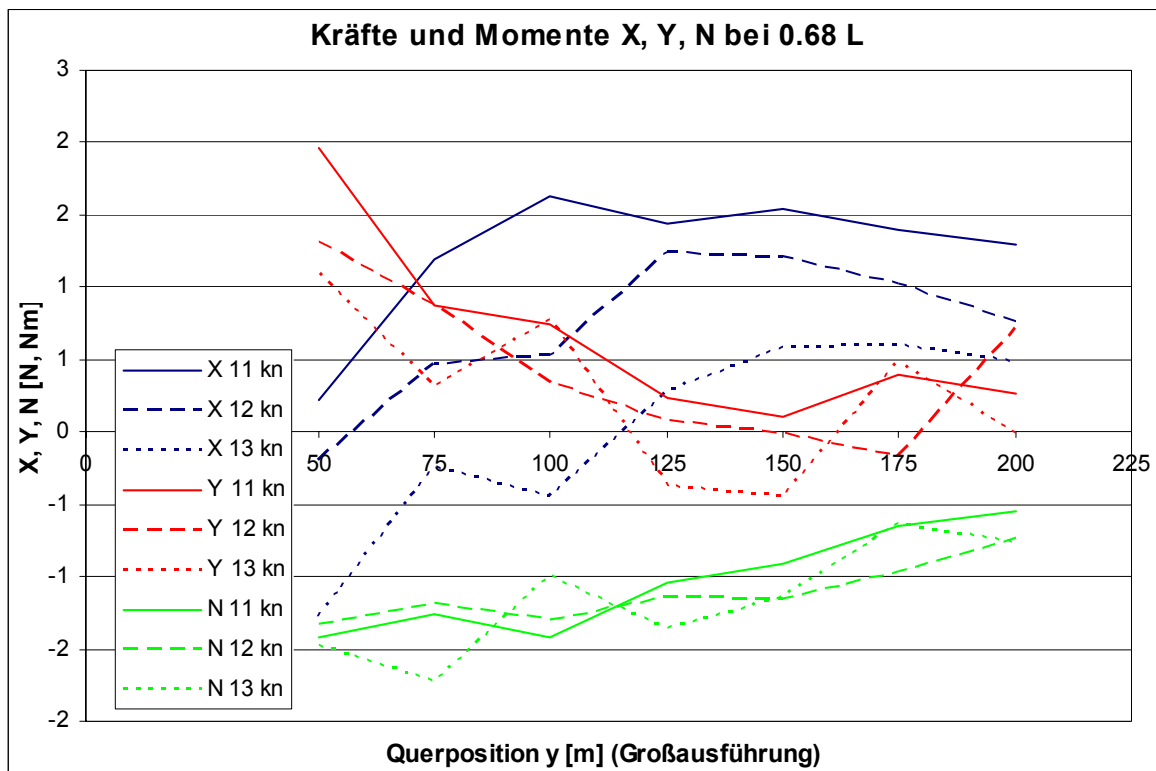


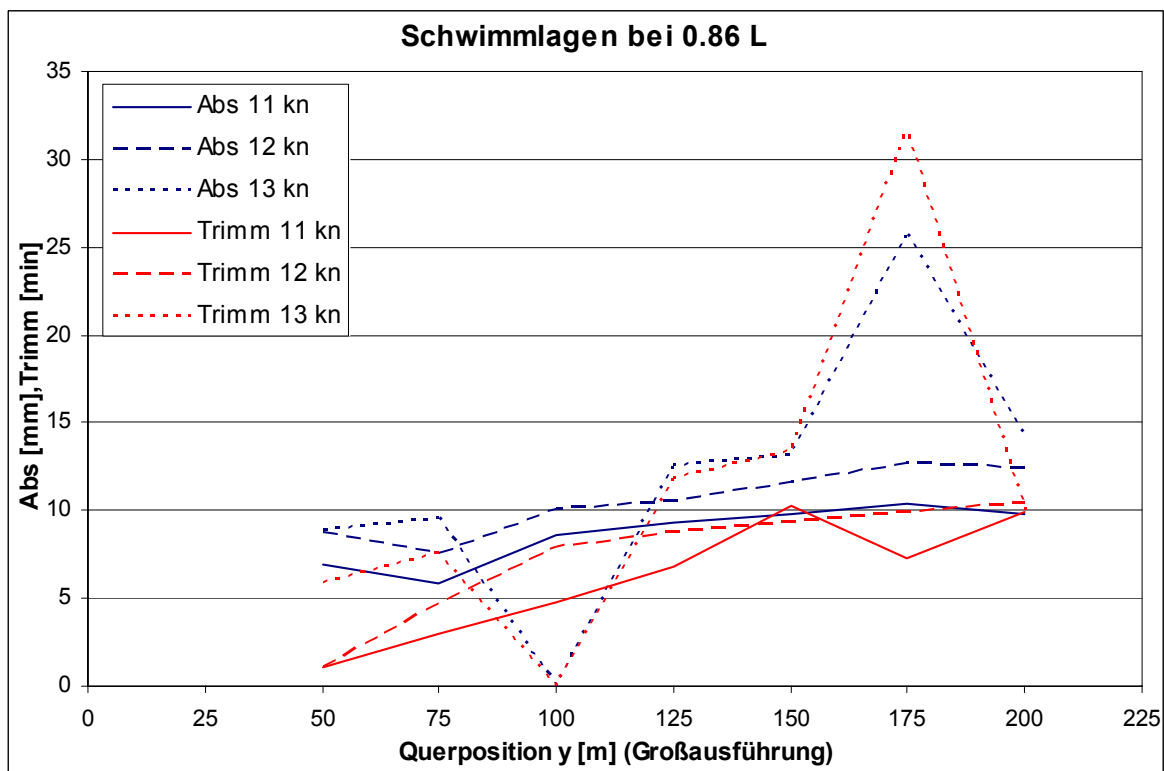
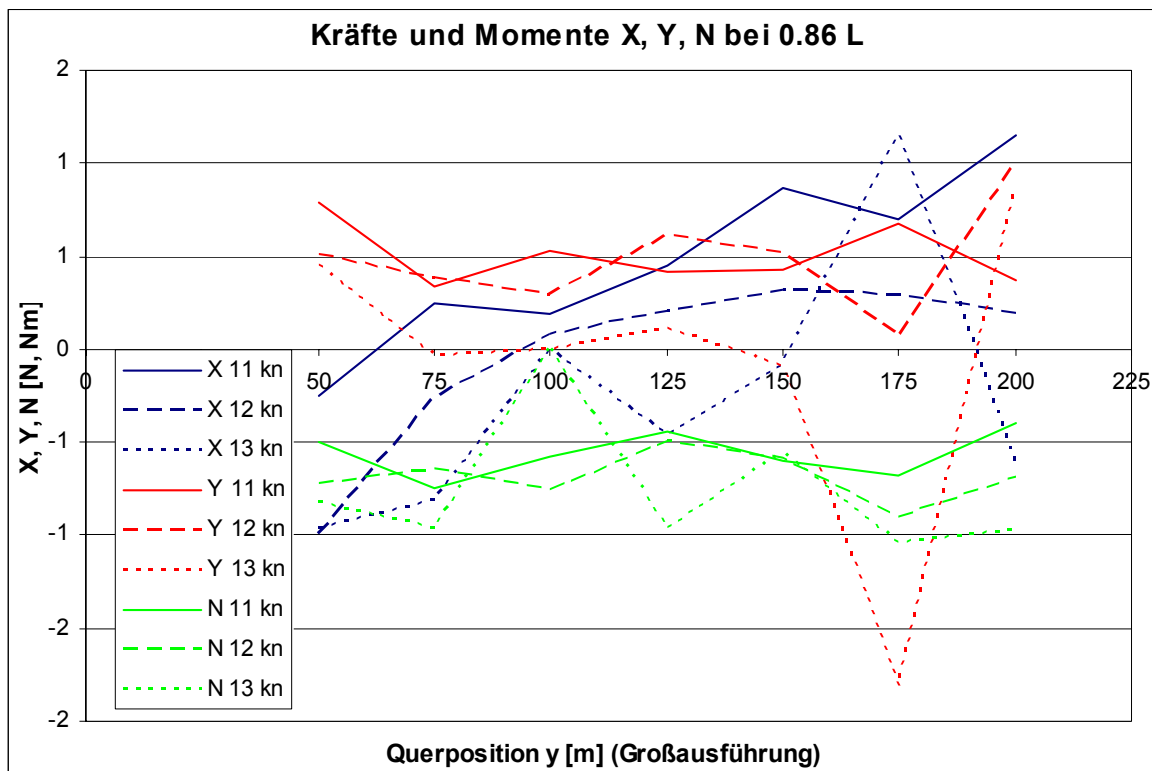


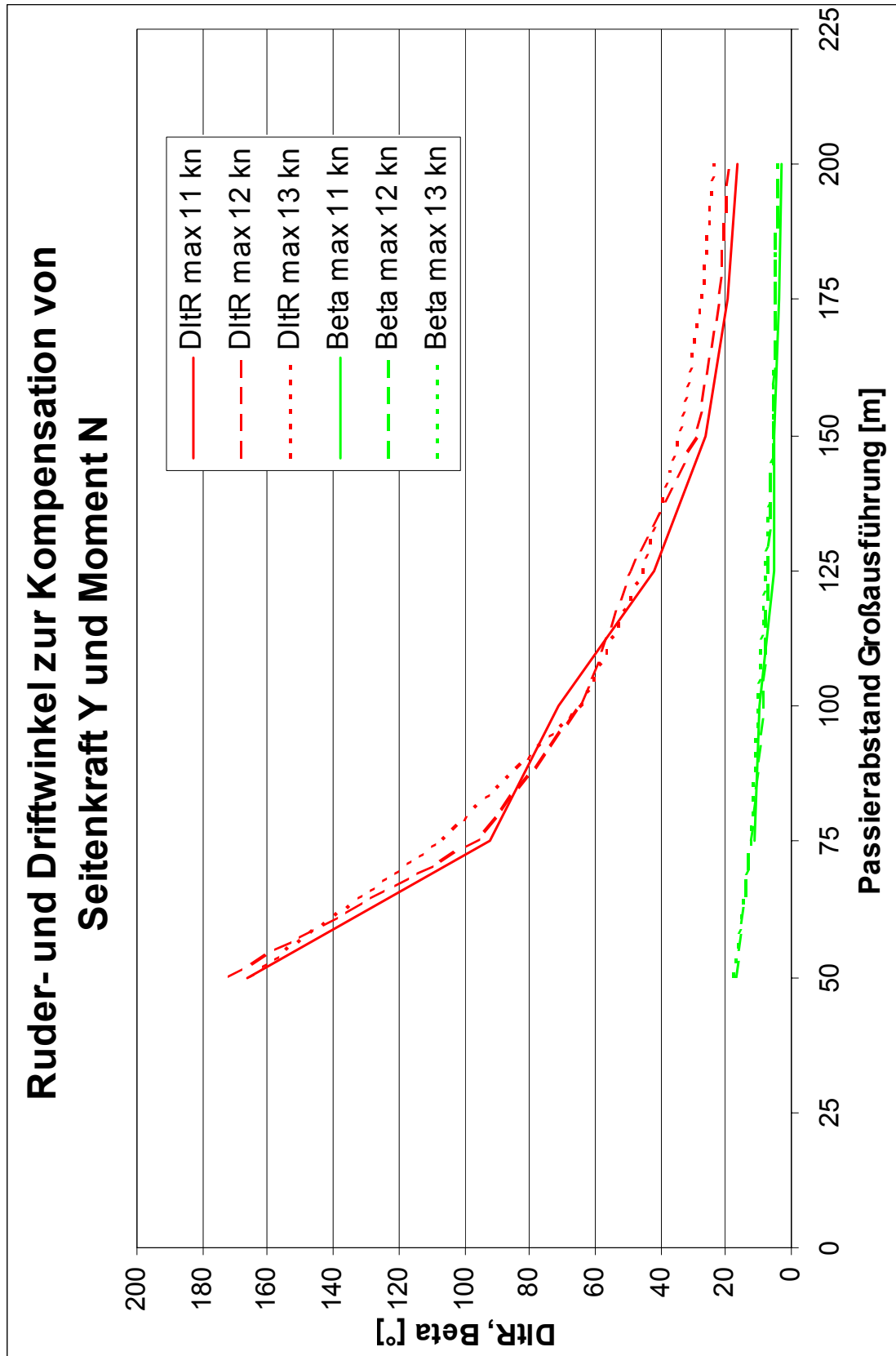


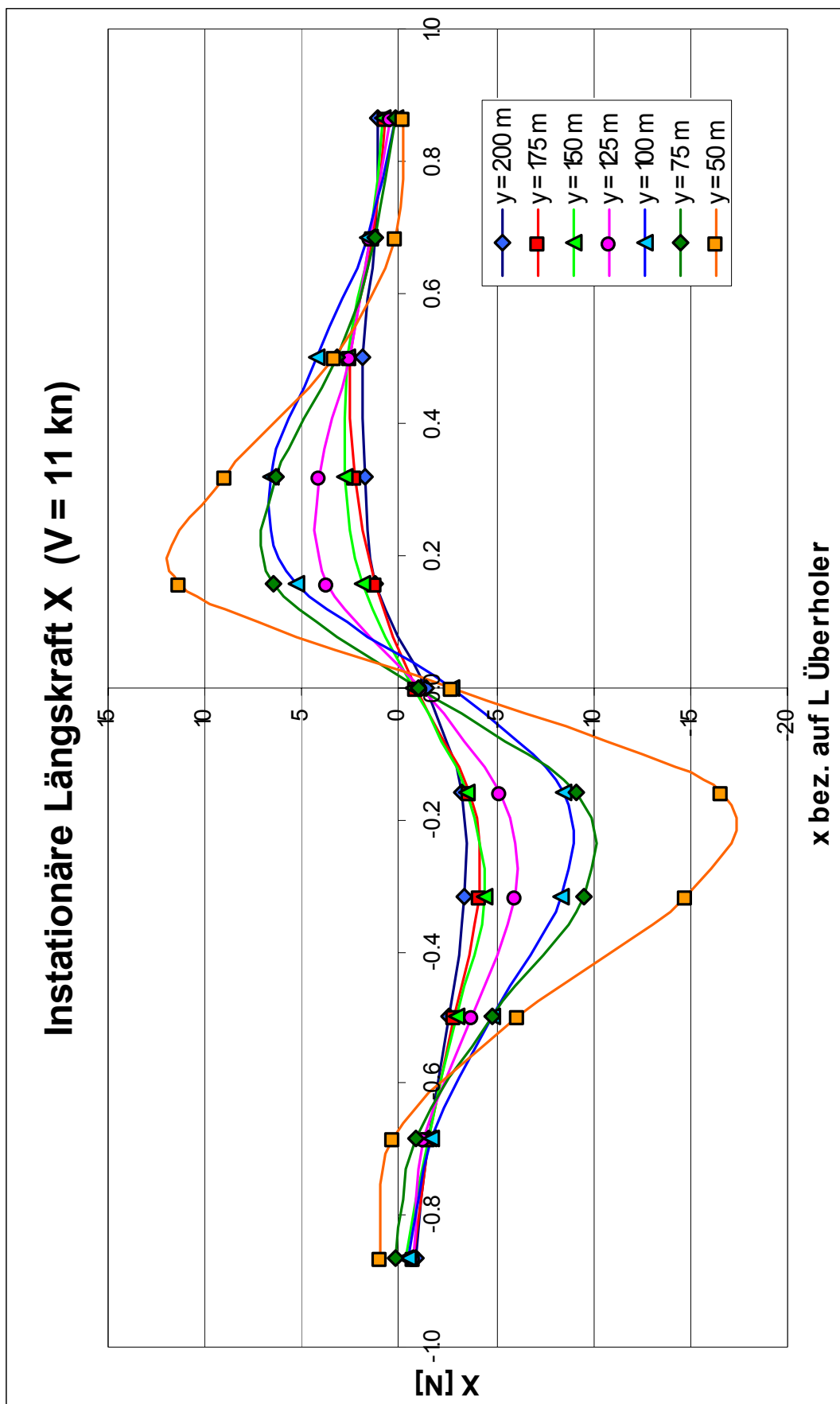


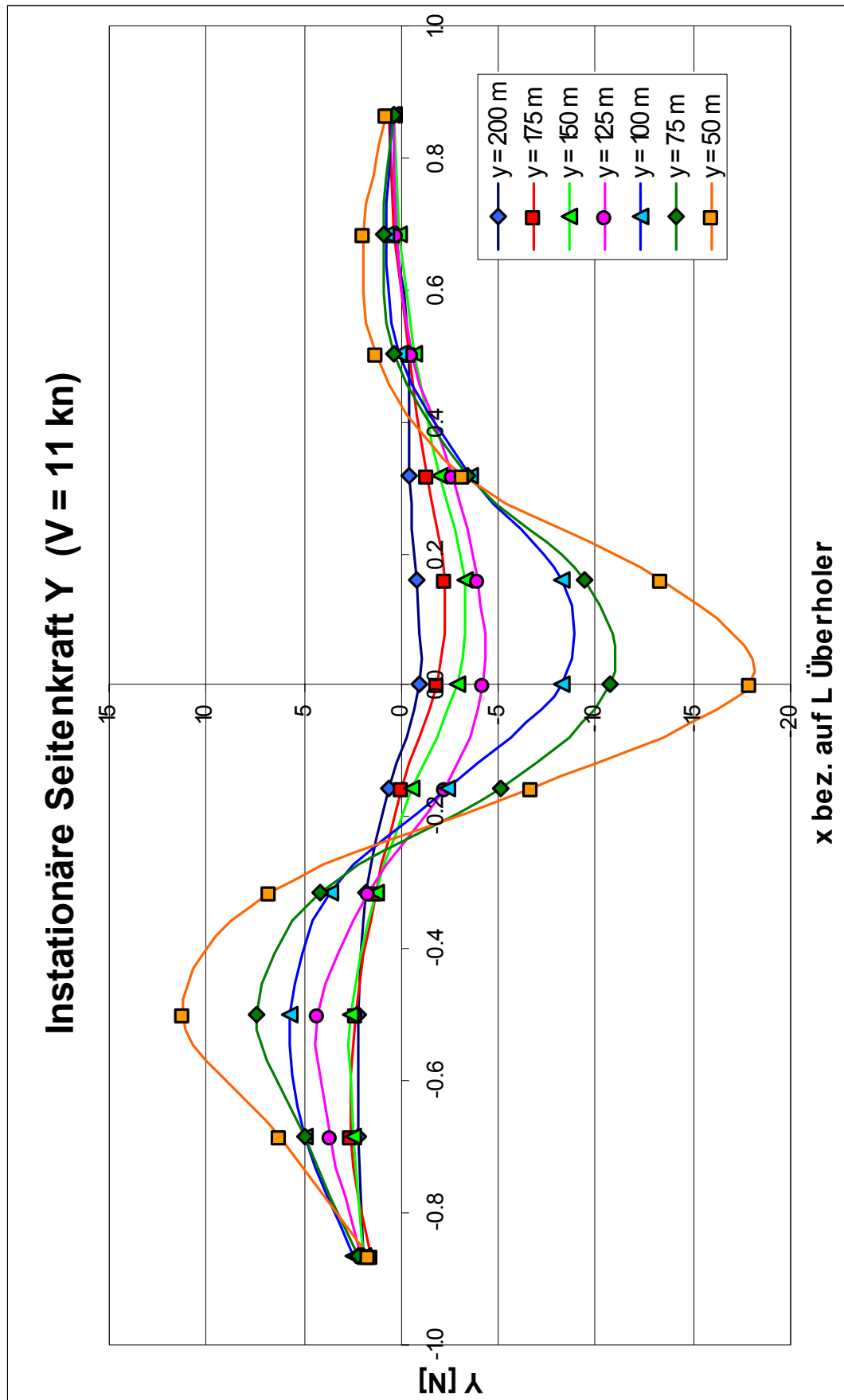




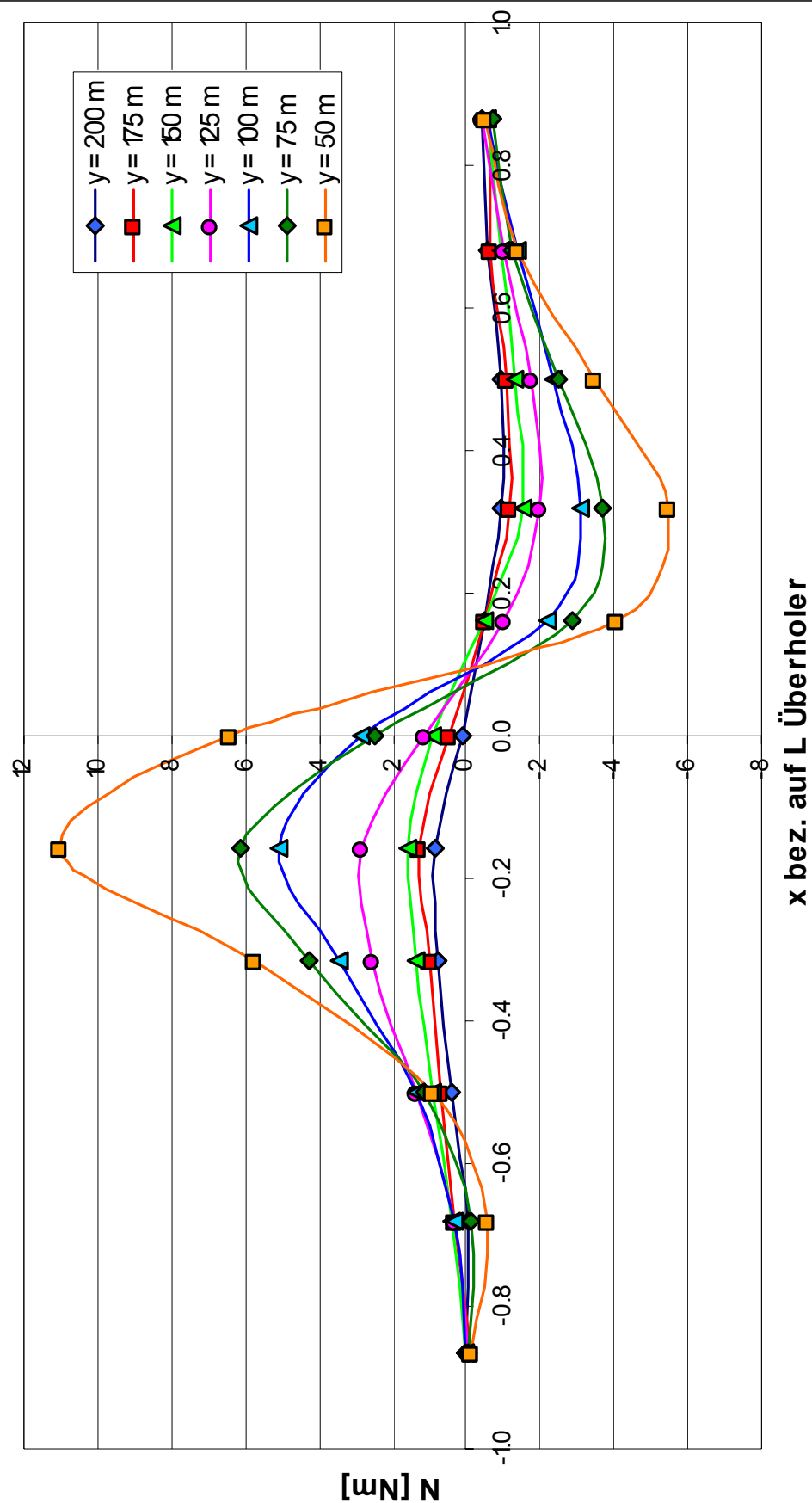


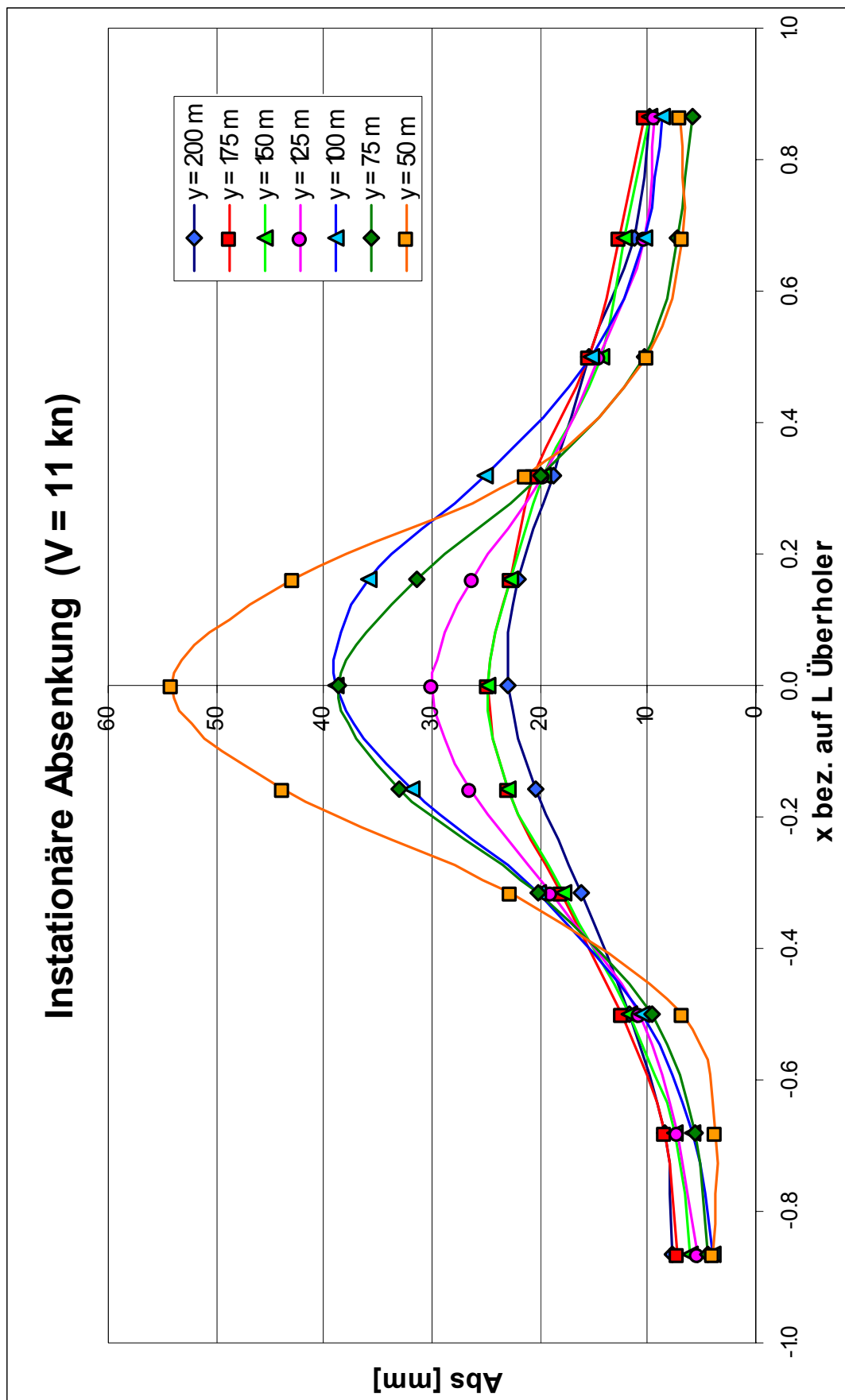


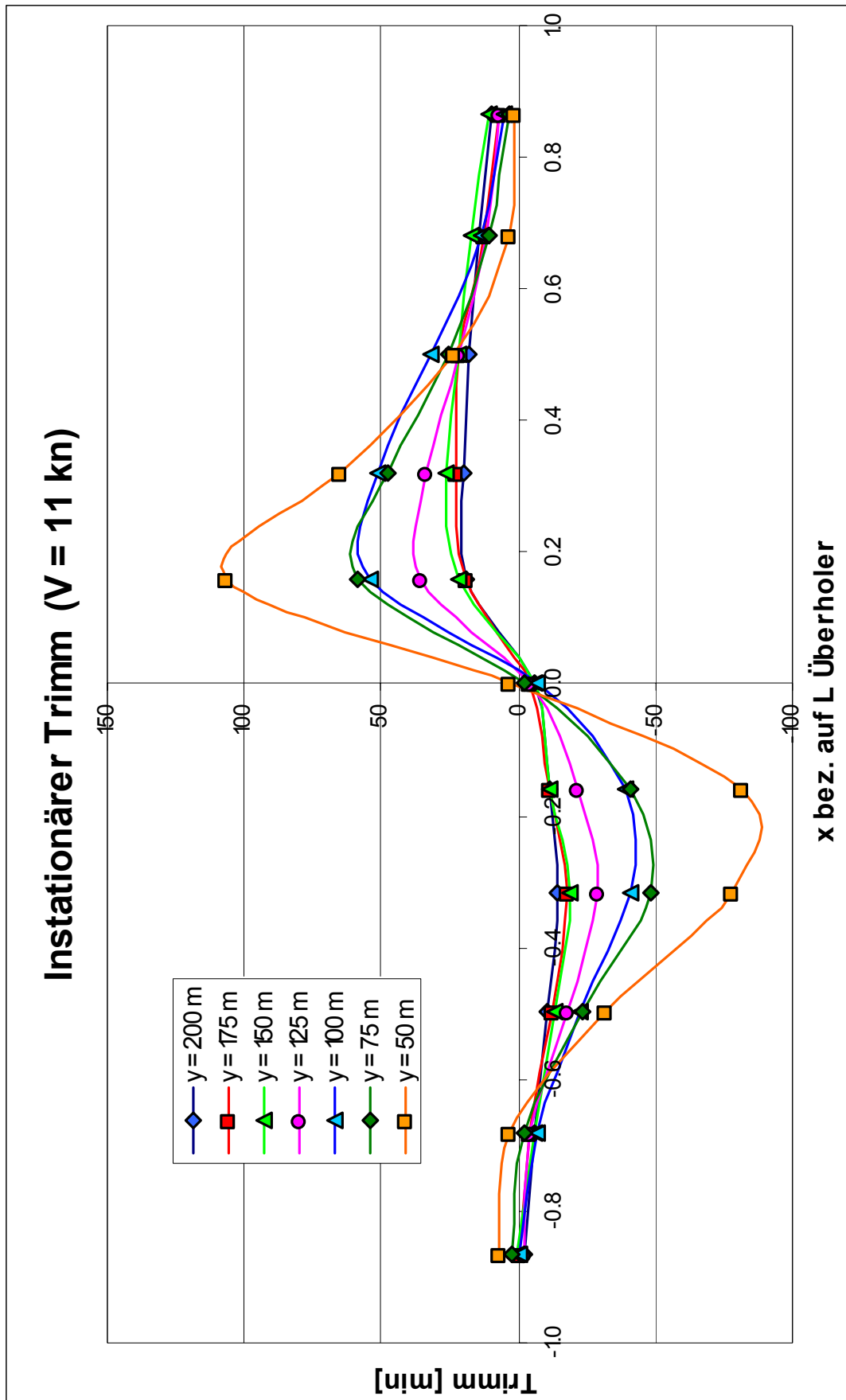




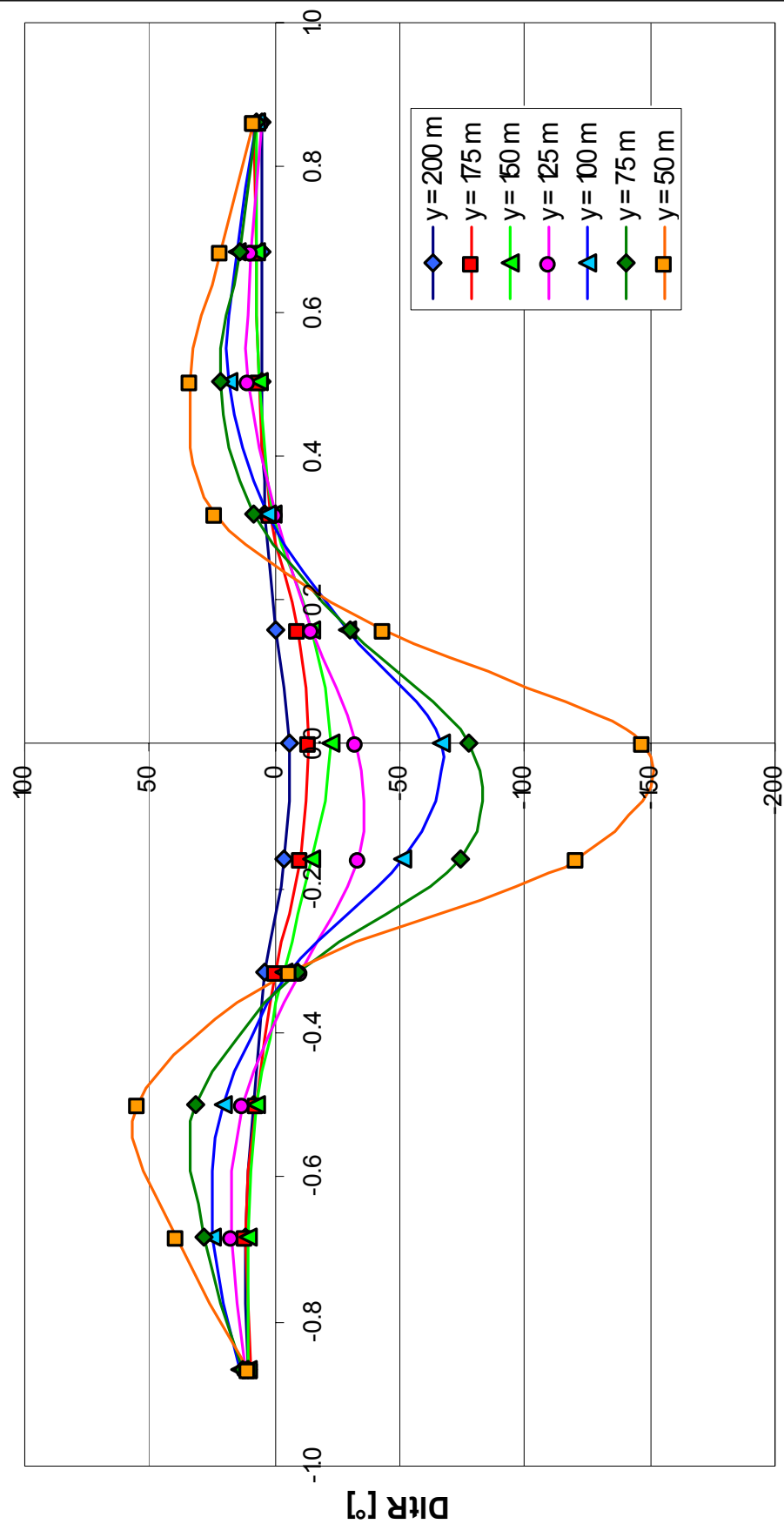
Instationäres Moment N ($V = 11 \text{ kn}$)





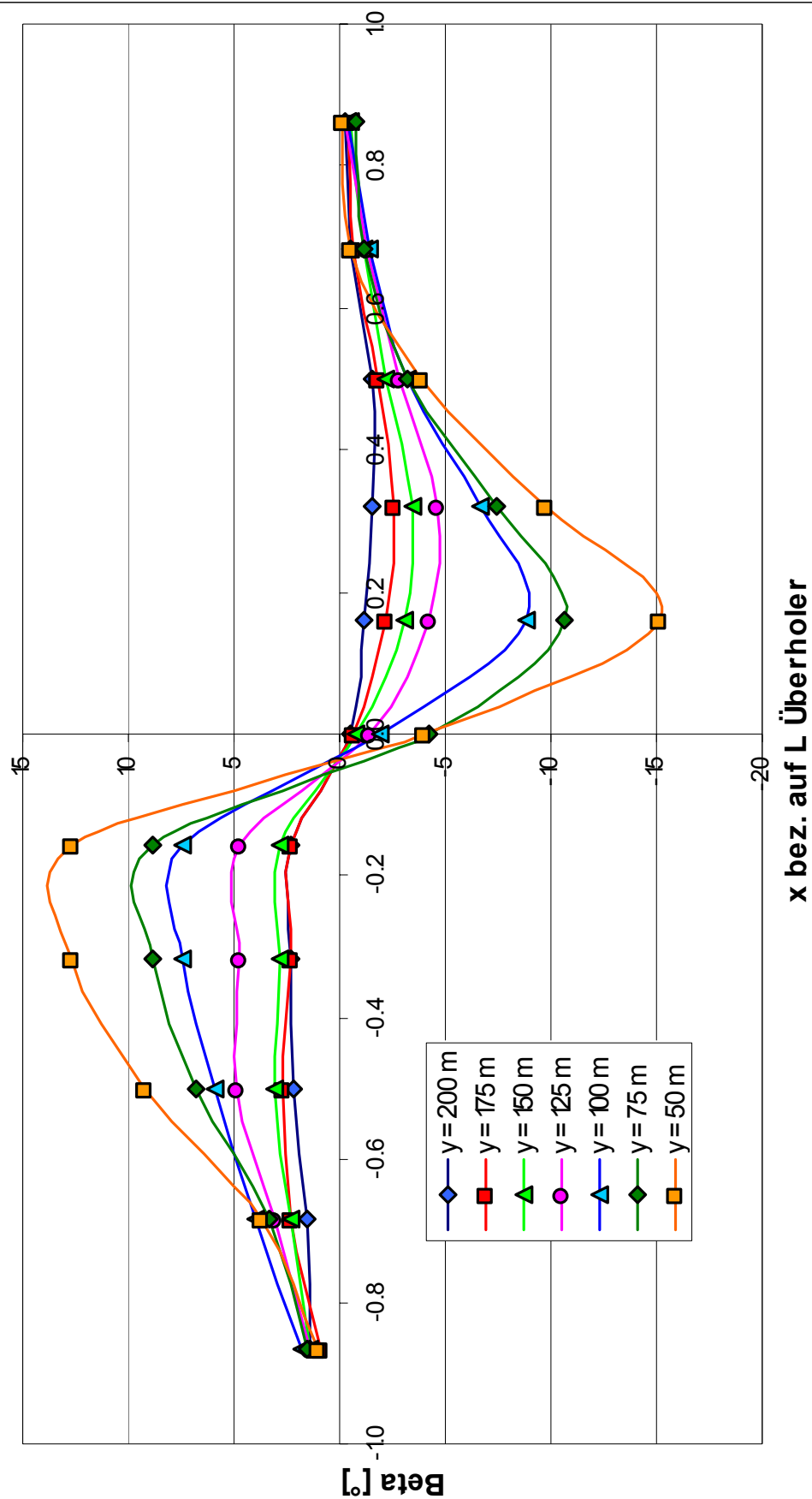


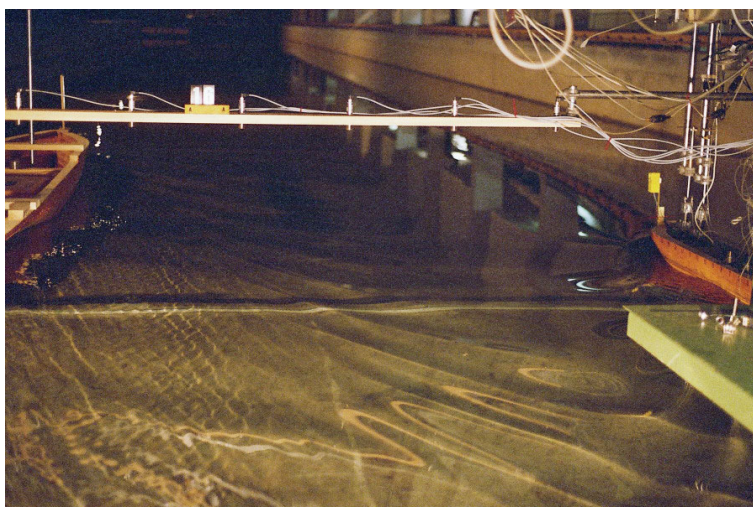
Instationärer Ruderwinkel DItR ($V = 11 \text{ kn}$)



x bez. auf L Überholer

Instationärer Driftwinkel Beta ($V = 11 \text{ kn}$)

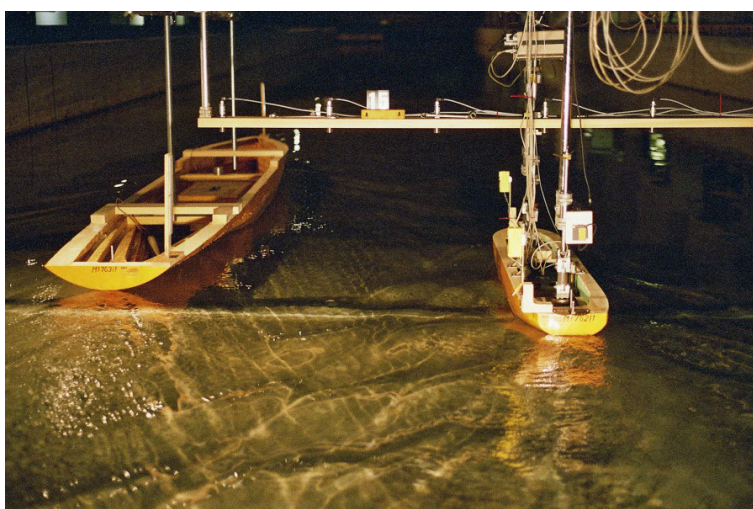




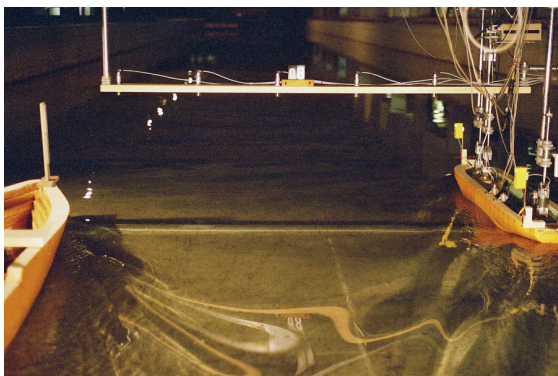
Stationäre Fahrt, $x = 0.8 L$, $y = 200 \text{ m}$



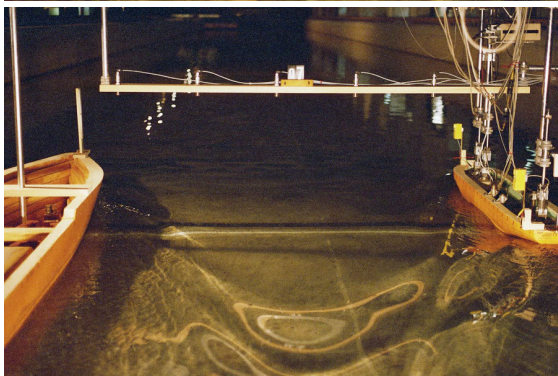
Stationäre Fahrt, $x = 0.8 L$, $y = 150 \text{ m}$



Stationäre Fahrt, $x = 0.8 L$, $y = 100 \text{ m}$



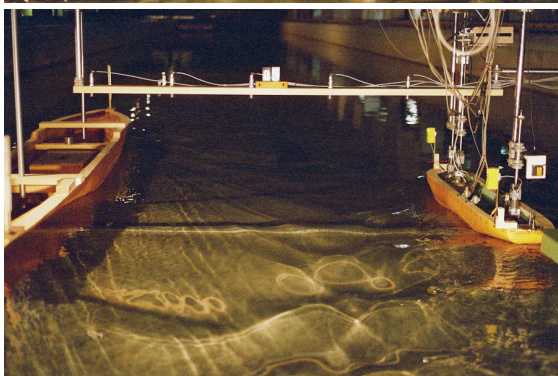
Stationär, $y = 150 \text{ m}$, $x = -0,2 \text{ L}$



Stationär, $y = 150 \text{ m}$, $x = 0 \text{ L}$



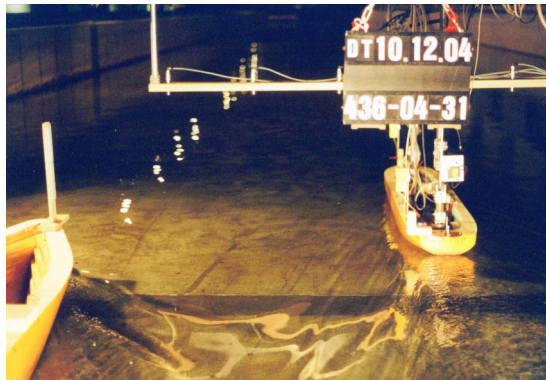
Stationär, $y = 150 \text{ m}$, $x = 0,3 \text{ L}$



Stationär, $y = 150 \text{ m}$, $x = 0,6 \text{ L}$



Stationär, $y = 150 \text{ m}$, $x = 0,8 \text{ L}$



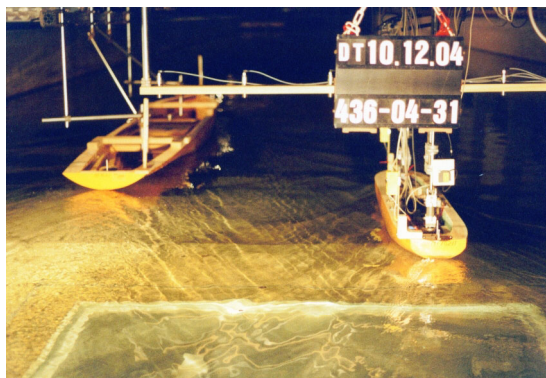
Instationär, $V = 12$ kn, $y = 100$ m, Lichtschränke Lh 1



Instationär, $V = 12$ kn, $y = 100$ m, Lichtschränke Lv 1



Instationär, $V = 12$ kn, $y = 100$ m, Lichtschränke Lh 2



Instationär, $V = 12$ kn, $y = 100$ m, Lichtschränke Lv 2

Fotosequenz vom
Überholmanöver
 $y = 50 \text{ m}$,
 $V = 15 \text{ kn} / 13 \text{ kn}$,
Taktzeit 5 s

