



Entwicklungszentrum für
Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.

Anlage Projekterfolg und –verlauf

zum Projekt

**Reduzierung von Brennstoffverbrauch und Schadstoffemissionen durch
„topografie-orientiertes“ Fahren, Trainingskonzept für Schiffsführer**

Bericht 2124

Juli 2014



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Ziel2.NRW
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Industrie, Mittelstand und Handwerk
des Landes Nordrhein-Westfalen



Schlussbericht – TOPOFAHRT

II. Anlage Projekterfolg und -verlauf

EU-NRW Ziel-2 (EFRE) Förderwettbewerb „Logistik.NRW“ – 2. Call

Projekt: Reduzierung von Brennstoffverbrauch und Schadstoffemissionen
durch „topografie-orientiertes“ Fahren, Trainingskonzept für Schiffsführer

Aktenzeichen: 300224812

Berichtszeitraum: 01.11.2011 – 31.10.2013



Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Industrie, Mittelstand und Handwerk
des Landes Nordrhein-Westfalen



Inhaltsverzeichnis

1.	Ziel der Projektarbeit	5
2.	Erreichte Ergebnisse	5
2.1	Eingesetzte Einrichtungen und hergestellte Prototypen und Nullserien	5
2.2	Neu angeschaffte Anlagen oder an bestehenden Anlagen vorgenommene Änderungen	5
2.3	Getroffene Maßnahmen unter Beifügung der erforderlichen Zeichnungen, Abbildungen, Prinzipskizzen und Ähnliches	6
3.	Beschreibung der durchgeführten Arbeiten	6
3.1	Anpassungen am Simulator	6
3.2	Konzipierung von Qualifizierungsmaßnahmen	18
3.2.1	Theoretischer Lösungsansatz	18
3.2.2	Formulierung der Handlungsempfehlungen	18
3.2.3	Konzipierung von Trainingsinhalten	19
3.2.4	Schulung von Lehrkräften	19
3.2.5	Dokumentation der Ergebnisse	19
4.	Darstellung der Arbeitsschritte, die nicht zum Erfolg geführt haben	20
5.	Bewertung der erzielten Ergebnisse	20
6.	Angaben über Auswertung, Nutzung und Verbreitung der Ergebnisse	20
7.	Auswirkungen auf die Beschäftigten	20
8.	Angaben über Einsatz oder Absatz der geförderten Produkte oder Verfahren	21
9.	Veröffentlichungen und Schutzrechte	21
10.	Zusammenfassung	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modelliertes Übungsgebiet „Swimming-Pool“	7
Abbildung 2: Trainingsstrecke TOPOFAHRT	9
Abbildung 3: Geschwindigkeitsprofil	10
Abbildung 4: Wassertiefenprofil	11
Abbildung 5: Strömungs- und Tiefenprofile in einer Kurve	12
Abbildung 6: Testgebiet TOPOFAHRT	13
Abbildung 7: Verbrauchsanzeige	15
Abbildung 8: Endgeschwindigkeiten	16

1. Ziel der Projektarbeit

Die Ziele der Projektarbeit wurden erreicht und umfassen:

- Einflussnahme auf das Fahrverhalten der Schiffsführer/innen zu einem energetisch optimierten Einsatz der fossilen Brennstoffe unter Nutzung der gegebenen Topografie der Wasserstraßen;
- Erstellung eines Trainingskonzeptes mit einem theoretischen Teil zur Qualifizierung und Quantifizierung der physikalischen Effekte und einem praktischen Teil, bei dem diese Effekte selbstständig zur Energieeinsparung und damit zur Reduzierung der Schadstoffemission genutzt werden;
- Einbringen des topografie-orientierten Fahrens in den täglichen Schiffsbetrieb.

Die Ziele konnten durch eine konstruktive Zusammenarbeit zwischen der Universität Duisburg-Essen (Wirtschafts- und Organisationspsychologie), der Forschungseinrichtung (DST-Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V.) und dem Binnenschiffahrtsgewerbe erreicht werden.

2. Erreichte Ergebnisse

2.1 Eingesetzte Einrichtungen und hergestellte Prototypen und Nullserien

Für das Vorhaben kamen der Flachwasserfahr Simulator „SANDRA“, der in den Räumen des Schiffer-Berufskollegs RHEIN in Duisburg-Homburg stationiert ist, und die Entwicklungsstation zum Simulator im Hause des DST zum Einsatz. Der Flachwasserfahr Simulator ermöglicht die realitätsnahe Schiffsführung mit unterschiedlichen Fahrzeugen auf unterschiedlichen Wasserstraßen.

2.2 Neu angeschaffte Anlagen oder an bestehenden Anlagen vorgenommene Änderungen

Der Flachwasserfahr Simulator „SANDRA“ ist für die Simulation der operativen Schiffsführung konzipiert. Programmierbare Schnittstellen ermöglichen die Installation des Bewegungsverhaltens von ausgewählten Fahrzeugtypen und den Aufbau von realen und synthetischen Fahrgebieten sowie die Implementierung und Konkretisierung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten.

Für eine topografie-orientierte Fahrweise wurden für 4 Fahrzeugtypen die Propulsionscharakteristiken auf Basis von Modellversuchsergebnissen programmiert und installiert. Der Flachwassereinfluss der Fahrzeuge bei der Fahrt auf tiefem und flachem Wasser wurde den physikalischen Gesetzmäßigkeiten angepasst und modifiziert. Es wurden Testgebiete aufgebaut, um sowohl die einzelnen Faktoren als auch die Kombination der Faktoren, die den Energieverbrauch der Fahrzeuge beeinflussen, bei der Simulation zu erkennen. Eine optische Anzeige wurde

programmiert, um bei Fahrt auf der Teststrecke den aktuellen Brennstoffverbrauch des Fahrzeuges direkt ablesen und eine sofortige Schiffsführungshandlung bei unangemessenem Verbrauch veranlassen zu können.

2.3 Betroffene Maßnahmen unter Beifügung der erforderlichen Zeichnungen, Abbildungen, Prinzipskizzen und Ähnliches

Unter Punkt 3 erfolgt eine detaillierte Beschreibung

3. Beschreibung der durchgeführten Arbeiten

3.1 Anpassungen am Simulator

Ein Aufgabenfeld des Vorhabens ist die Anpassung des Flachwasserfahrersimulators an eine realitätsnahe Topografie und die Anzeige der energetischen Parameter der Fahrzeuge, die wiederum von der Topografie der Wasserstraße abhängig sind. Entgegen der ursprünglichen Planung, einen realen Streckenabschnitt des Rheins für das Training mit dem Simulator einzurichten, wurde mit den Verbundpartnern beschlossen, eine synthetische Strecke aufzubauen und die einzelnen Effekte einer energetisch günstigen Fahrweise getrennt herauszuarbeiten, um die physikalischen Einflüsse erkennbar vorführen zu können. Ein synthetischer Streckenverlauf ist weiterhin didaktisch wertvoll, weil die Probanden - sowohl die erfahrenen als auch die nicht so erfahrenen Schiffsführer - gleiche Startbedingungen vorfinden. Verzerrungen aufgrund möglicherweise vorhandener Streckenkenntnisse einzelner Probanden können dadurch vermieden werden.

Herausstellen der einzelnen hydrodynamischen Einflüsse

Für das „Erfahren“ der einzelnen hydrodynamischen Einflüsse (Wassertiefe = h , und Strömung = $V_{Str.}$) wurde ein abstrahiertes Übungsgebiet modelliert, welches auf Bahnen wie in einem Wettkampfschwimmbecken die einzelnen unterschiedlichen Randbedingungen bereitstellt.

Die Bahnen sind 200 m breit und 6 km lang. In jeder Bahn kann eine andere Strömungsgeschwindigkeit eingerichtet werden. Von West nach Ost sind die Geschwindigkeiten beispielsweise in Schritten von 2 km/h gestaffelt (siehe Abbildung 1).

Die Strömung verläuft von Nord nach Süd - beim Start, Abbildung 1 „unten“ mit Kurs 000° fährt man also zu Berg.

Alle 1000 m wechselt die Wassertiefe. Beginnend mit extremem Flachwasser (für abgeladene Schiffe) wird die Wassertiefe in nicht linearen Schritten immer größer (siehe Abbildung 1).

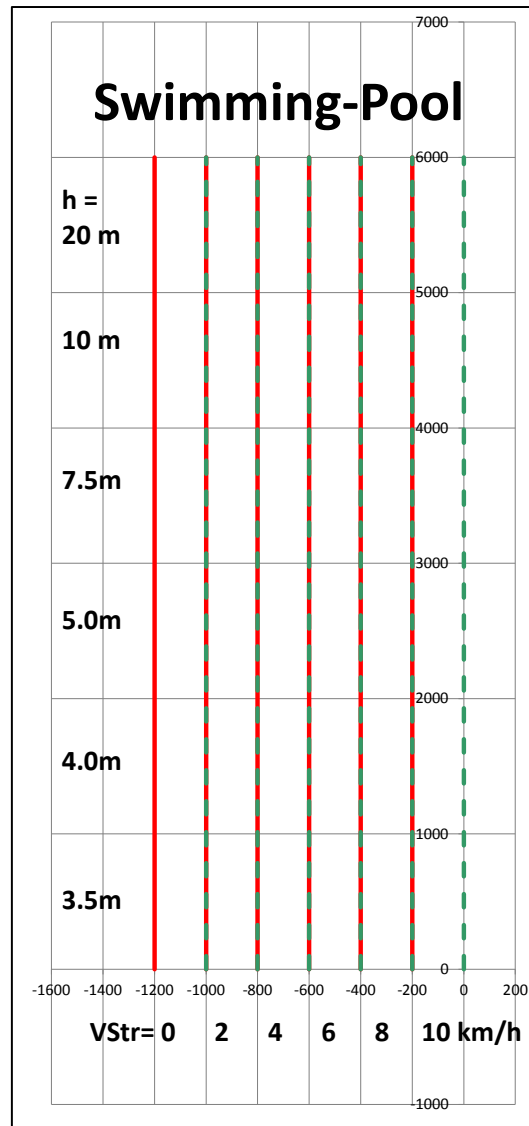


Abbildung 1: Modelliertes Übungsgebiet „Swimming-Pool“

Für die einzelnen Segmente und die bereitgestellten Schiffstiefgänge ergibt sich der Flachwasserparameter T/h (Tiefgang zu Wassertiefe) für das modellierte Übungsgebiet, siehe Tabelle 1. Der Extremfall Tiefgang 3,5 m bei $h = 3,5$ m ist nicht mehr fahrbar.

		Tiefgang T [m]				
		1,7	2,2	2,8	3,2	3,5
Wassertiefe h [m]	3,5	0,49	0,63	0,80	0,91	1,00
	4	0,43	0,55	0,70	0,80	0,88
	5	0,34	0,44	0,56	0,64	0,70
	7,5	0,23	0,29	0,37	0,43	0,47
	10	0,17	0,22	0,28	0,32	0,35
	20	0,09	0,11	0,14	0,16	0,18

Tabelle 1: Flachwasserparameter T/h

Aufbau einer synthetischen Strecke

Für das Training in einem speziellen Übungsgebiet mit unterschiedlicher Breite B, Länge L, Kurvenradius R, Strömungsgeschwindigkeit V_{Str} und Wassertiefe h wurden die Querschnitte, Strömungsvektoren und Tiefenpunkte mit einem speziellen Programm berechnet. Das Gebiet ist in drei Abschnitte unterteilt und angelehnt an den Niederrhein, den Mittelrhein und den Oberrhein (siehe Abbildung 2).

Für einen mittleren Wasserstand gelten folgende Vorgaben:

- I. Niederrhein $h = 4,65 \text{ m}$ $V_{Str} = 1,47 \text{ m/s} \rightarrow 5,3 \text{ km/h}$
- II. Mittelrhein $h = 3,20 \text{ m}$ $V_{Str} = 1,69 \text{ m/s} \rightarrow 6,1 \text{ km/h}$
- III. Oberrhein $h = 3,10 \text{ m}$ $V_{Str} = 1,83 \text{ m/s} \rightarrow 6,6 \text{ km/h}$

Das Gebiet in Abbildung 2 ist so definiert, dass folgende Randbedingungen eingehalten werden:

Oberrhein (III = a)

- Vorlauf gerade $L = 500 \text{ m}$, $B = 150 \text{ m}$
- Rechtskurve 90° mit $R = 500 \text{ m}$
- Linkskurve 90° mit $R = 800 \text{ m}$
- Gerade $L = 500 \text{ m}$, $B = 150 \text{ m}$, Übergang auf $B = 250 \text{ m}$

Mittelrhein (II = b)

- Gerade $L = 1000 \text{ m}$, $B = 250 \text{ m}$
- Rechtskurve 90° mit $R = 1000 \text{ m}$
- Gerade $L = 500 \text{ m}$, $B = 250 \text{ m}$, Übergang auf $B = 300 \text{ m}$

Niederrhein (I = c)

- Gerade L = 500 m, B = 300 m
- Linkskurve 90° mit R = 1000 m
- Nachlauf gerade L = 1000 m, B = 300m

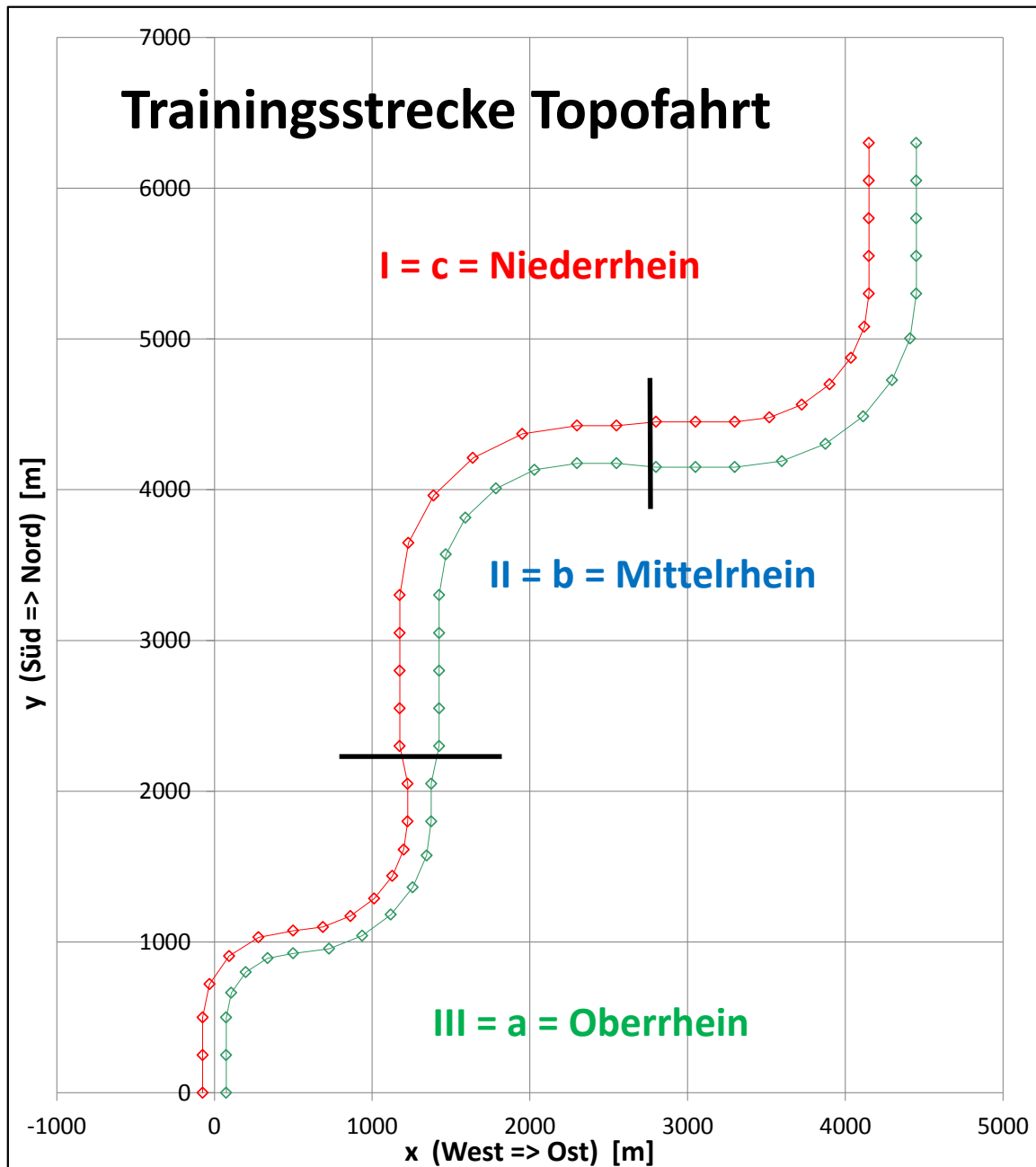


Abbildung 2: Trainingsstrecke TOPOFAHRT

Aus den 38 Punkten in Längsrichtung (siehe Abbildung 2) wurden mit dem Generierungsprogramm für flussähnliche Strömungen durch Interpolation 407 Profilpositionen bestimmt. In Querrichtung wurden auf diesen Profilen 21 Punkte verteilt. Somit wurden 8547 Strömungsvektoren und an diesen Positionen auch die Tiefenpunkte berechnet. Die Länge der Strecke beträgt ca. 9 km, die Strömung fließt (wie der Rhein) von Süd nach Nord.

Geschwindigkeiten

Im Vorlauf herrscht eine Strömung, die sich an einem realen Fluss orientiert. In der Flussmitte ist die Strömungsgeschwindigkeit gleich der Vorgabe (siehe Tabelle 2 unten) und an den Ufern ist sie gleich Null. Daraus ergibt sich mit der Wassertiefe (hier Fall III, $h = 3.1$ m, Oberrhein bei mittlerem Wasserstand) ein Durchfluss, der über das gesamte Fahrtgebiet konstant bleibt.

Aus dieser Randbedingung (Durchfluss $Q = \text{konstant}$) sowie der konstanten maximalen Wassertiefe und der lokalen Breite berechnet sich für alle Stellen des Flusses die Querschnittsfläche und die Strömungsgeschwindigkeit. Für einen sich verbreiternden Fluss folgt bei konstanter Wassertiefe daraus eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit.

Die unterschiedlichen Strömungsprofile an verschiedenen Stellen des Übungsgebietes sind in der folgenden Abbildung 3 wiedergegeben. Die Profile wurden so gewählt, dass sich Fahrrinnenbreiten von rund 92 m, 120 m und 150 m für die Abschnitte III, II und I ergeben.

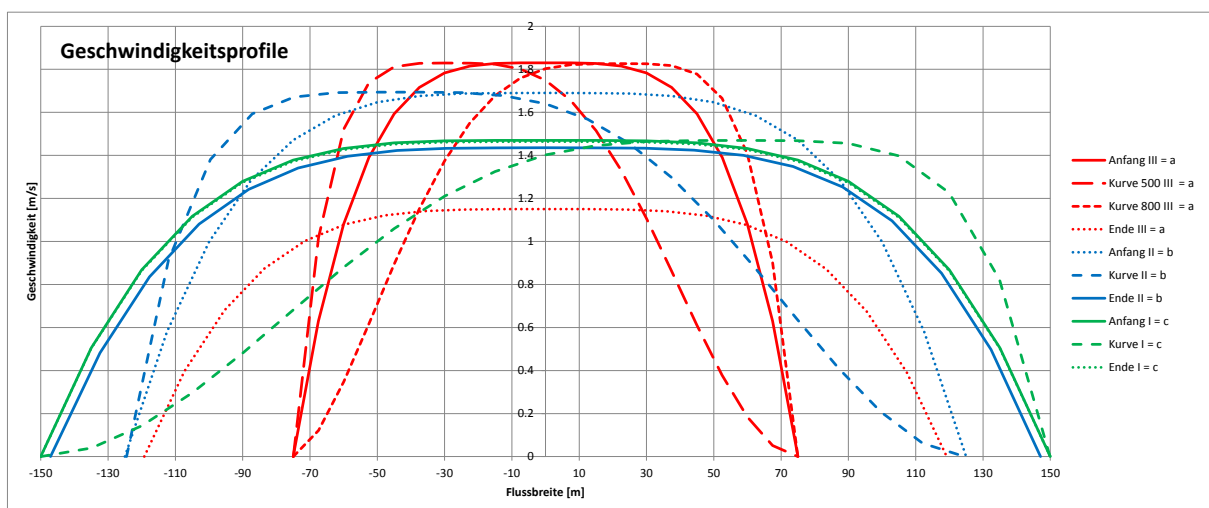


Abbildung 3: Geschwindigkeitsprofil

Wassertiefen

Zwischen den verschiedenen Abschnitten ergeben sich jeweils unterschiedliche Tiefen. Der Unterschied ist zwischen II und III (gepunktet) nur gering, aber zwischen I und II (durchgezogen blau und grün) ist der Unterschied deutlich größer. Dieser große Sprung ist beim Übergang vom Mittelrhein zum Niederrhein gegeben. Wegen der Interpolation von jeweils 11 Zwischenprofilen ist der Übergang bei der Fahrt nur sehr langsam spürbar.

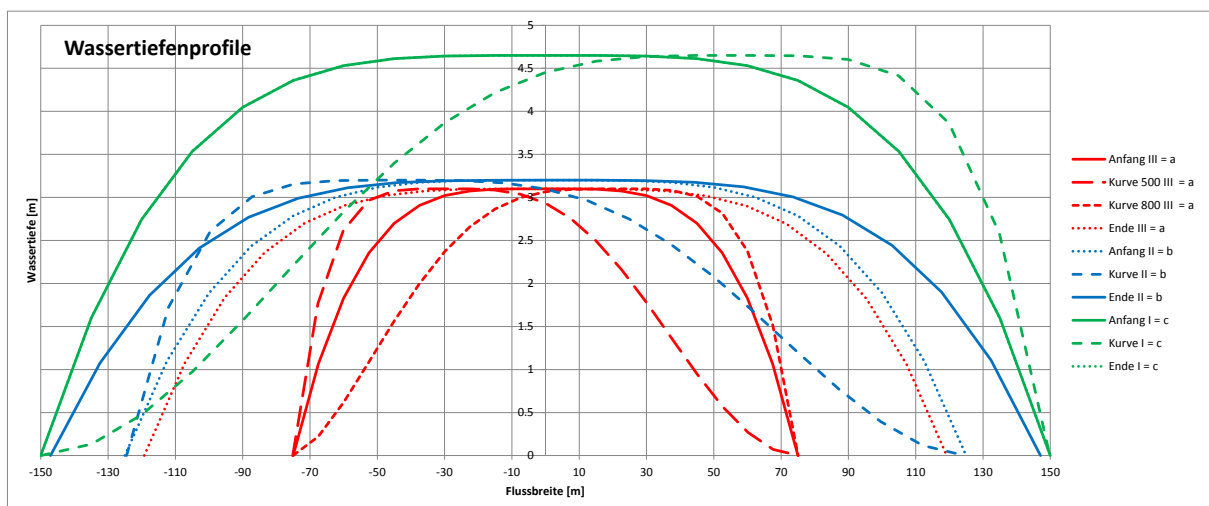


Abbildung 4: Wassertiefenprofil

Bei den durchgeführten Simulationsläufen zeigte sich, dass auf eine Harmonisierung der Übergänge verzichtet werden kann, weil die Schiffe aufgrund ihrer Länge und relativ geringen Geschwindigkeit träge reagieren; der Übergang vollzieht sich also langsam. Dabei nehmen die Einflüsse des neuen Teilstücks stetig zu und die des alten Teilstücks stetig ab. Außerdem wird die daraus resultierende Wirkung (Beschleunigung bzw. Verzögerung) durch Strömung und Wassertiefeneinfluss wegen der Trägheit des Schiffes nicht zu einer sofortigen Reaktion führen, sondern es stellt sich langsam ein neues Gleichgewicht ein.

Abbildung 5 zeigt das Ergebnis der Berechnungen für die Teilstrecke II. Zur besseren Darstellbarkeit wurden hier nur wenige Profile wiedergegeben – in den im Simulator bereitgestellten Datensätzen sind die Profile erheblich dichter verteilt.

In der gezeigten Kurve ist die Ausbildung von Grund (Innenkurve) und Hang (Außenkurve) zu erkennen. Die nutzbare Fahrrinne wandert bei nur geringer Verengung zum Außenbogen hin. Damit können Schiffe mit geringerem Tiefgang die schwächere Strömung im Innenbogen zur Bergfahrt nutzen, wie es in der Realität auch gemacht wird.

Am Übergang zur größeren Gewässerbite (oben rechts) nimmt die Geschwindigkeit aufgrund des sich vergrößernden Querschnittes und der konstanten Durchflussmenge ab.

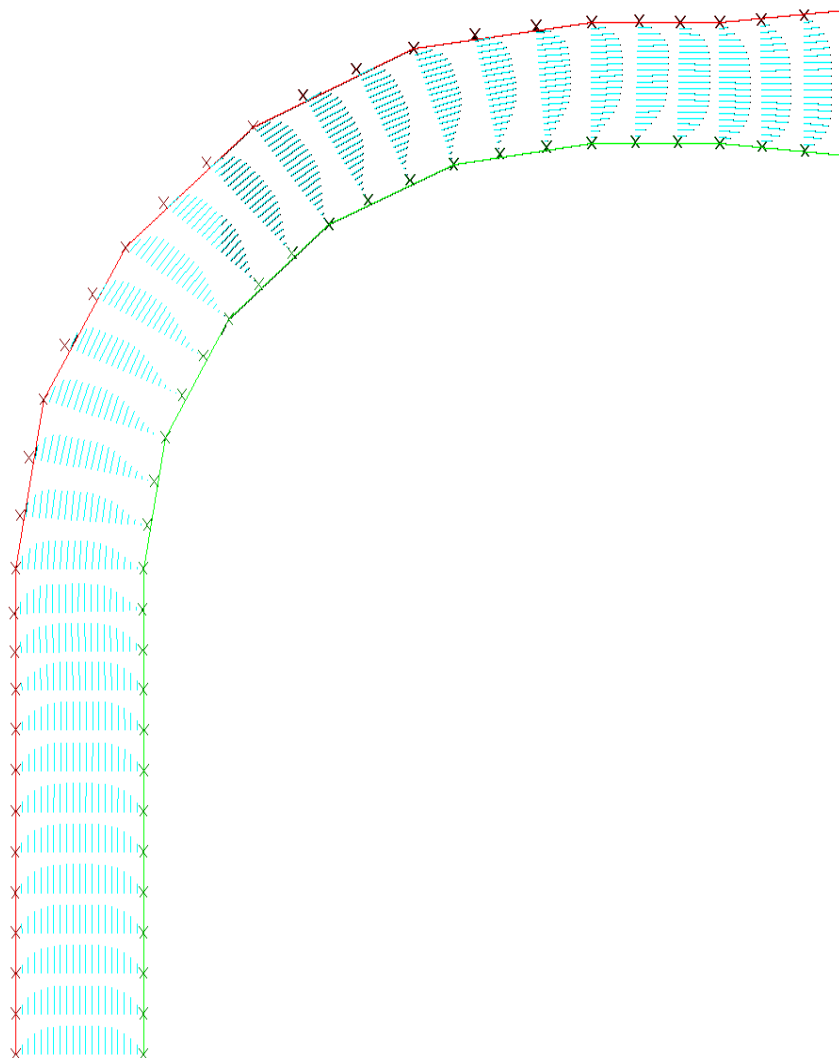


Abbildung 5: Strömungs- und Tiefenprofile in einer Kurve

In der nachstehenden Tabelle 2 sind alle wichtigen Parameter der drei Flussstrecken mit unterschiedlichen Wasserständen zusammengefasst.

	Abschnitt	Rhein	Wasser- tiefe	Fahrinnen- breite	Fluss- breite	Strömungs- geschwin- digkeit
			[m]	[m]	[m]	[km/h]
Niedrigwas- ser	I	Niederrhein	2,80	150	300	4,2
	II	Mittelrhein	1,90	120	250	4,6
	III	Oberrhein	2,10	92	150	5,6
Mittelwasser	I	Niederrhein	4,65	150	300	5,3
	II	Mittelrhein	3,20	120	250	6,1
	III	Oberrhein	3,10	92	150	6,6
Hochwasser	I	Niederrhein	9,85	150	300	8,3
	II	Mittelrhein	5,70	120	250	8,2
	III	Oberrhein	4,70	92	150	8,4

Tabelle 2: Streckenparameter

Für das Training werden die drei Flussstrecken in einem Fahrgebiet nebeneinander bereitgestellt, siehe Abbildung 6. Links ist die Streckenführung bei Niedrigwasser, in der Mitte bei Mittelwasser und rechts bei Hochwasser dargestellt. Die Flussstrecken haben alle die gleichen Breitenkoordinaten, sie unterscheiden sich in der geographischen Länge um 0.1° , d.h. sie liegen im Abstand von 6,841 km nebeneinander. Die einzelnen Abschnitte Nieder-, Mittel- und Oberrhein sind durch Brücken voneinander abgetrennt.



Abbildung 6: Testgebiet TOPOFAHRT

Die Strömungsrichtung ist immer von Süd nach Nord (wie auf dem Rhein). Im Fall einer Talfahrt sind die Schiffe mit Kurs 0° auf der Abbildung 6 „unten“, bei der Bergfahrt mit Kurs 180° auf der Abbildung 6 „oben“ im Fahrgebiet zu platzieren.

Fahrzeuge für das Training

Die Algorithmen der Fahrzeuge des Flachwasserfahrersimulators berücksichtigten keine Angaben und Ausgaben des Leistungsverbrauchs, die für die vorliegenden Aufgaben zwingend erforderlich waren. Anhand von Modellversuchen aus abgeschlossenen Forschungsvorhaben konnten jedoch Propulsionsdaten herangezogen werden, um den für das Training ausgewählten Schiffstypen eine realitätsnahe Propulsionscharakteristik zuzuweisen. Die Propulsionsdaten wurden mit einer heute üblichen Verbrauchsabhängigkeit der computergeregelten Antriebsmotoren gekoppelt, so dass ein energetischer und topografie-abhängiger Ausgabewert bereitgestellt werden konnte.

Diese Ausgabe, siehe Abbildung 7 wird bei Fahrt der Fahrzeuge sekundlich aktualisiert und zeigt den Verbrauch in Liter pro Stunde (l/h) und gekoppelt mit den GPS-Signalen den Verbrauch in Liter pro Kilometer (l/km ü. G.), siehe Abbildung 7 unten rechts. Diese Verbrauchsanzeigen wurden gewählt, weil sie auch auf den Schiffen vergleichsweise kostengünstig installiert werden können oder teilweise schon vorhanden sind. Dadurch ist die Schnittstelle vom „TOPO-Training“ zum praktischen Schiffsbetrieb gegeben.

Schiffsstatus	
Kurs	Geschwindigkeit
Gyro <input type="text" value="000.4 Deg"/>	<input type="text" value="> 0.0 km/h"/>
Mag <input type="text" value="003.4 Deg"/>	ü.G. <input type="text" value="9.2 km/h"/>
Wendegeschwindigkeit	<input type="text" value="< 0.1 km/h"/>
<input type="text" value="> 1.0 Deg/min"/>	Weg <input type="text" value="408 m"/> <input type="button" value="Reset"/>
Ruderlage	Echolot
<input type="text" value="> 0.0 Deg"/>	Bug <input type="text" value="0.6 m"/>
	Heck <input type="text" value="0.6 m"/>
Rel. Wind	Uhrzeit
Richtung <input type="text" value="359 Deg"/>	<input type="text" value="12:04:27"/>
Geschw. <input type="text" value="5.0 kts"/>	
	<input type="text" value="112.4 l/h"/>
	<input type="text" value="12.2 l/km ü.G."/>

Abbildung 7: Verbrauchsanzeige

Diese Verbrauchswerte können von den Schiffsführern entweder handschriftlich oder mit Hilfe eines vorbereiteten Excel-Tools auf dem Computer erfasst und für die weitere Streckenplanung genutzt werden. Auch dieses Vorgehen ist praxisnah orientiert und kann mit der Übertragung auf reale Fahrstrecken direkt oder modifiziert übernommen werden.

Für die Trainingsaufgaben wurden 4 Schiffstypen definiert:

- Motorschiff „Johann Welker“ (L = 80 m, B = 9,5 m)
- Großmotorschiff (L = 110 m, B = 11,4 m)
- Koppverband (L = 185 m, B = 11,4 m)
- 4-er Schubverband (L = 188 m, B = 22,8 m)

Für die 3 verschiedenen Wasserstände (Niedrigwasser, Mittelwasser und Hochwasser) können die Schiffe teilweise nicht voll abgeladen eingesetzt werden. Aus diesem Grund werden von jedem Typ 5 Varianten mit einheitlichen Tiefgängen (3,5 m, 3,2 m, 2,8 m, 2,2 m und 1,7 m) bereitgestellt.

Damit können je nach Fahrtgebiet (Wasserstand) unterschiedliche Szenarien geübt werden, um ein Verständnis für die vom Simulator nachgebildeten hydrodynamischen Effekte zu erhalten.

Diese Effekte umfassen:

- Flachwassereinfluss

Je geringer das Flottwasser ist (UKC = Under Keel Clearance) umso geringer wird die erreichbare Endgeschwindigkeit. Der Abfall folgt folgender Kurve, die über dem Parameter T/h (Tiefgang / Wassertiefe) aufgetragen ist. Mit Tiefgang ist hier die tatsächliche Tauchung, also Ruhetiefgang + Absenkung, gemeint.

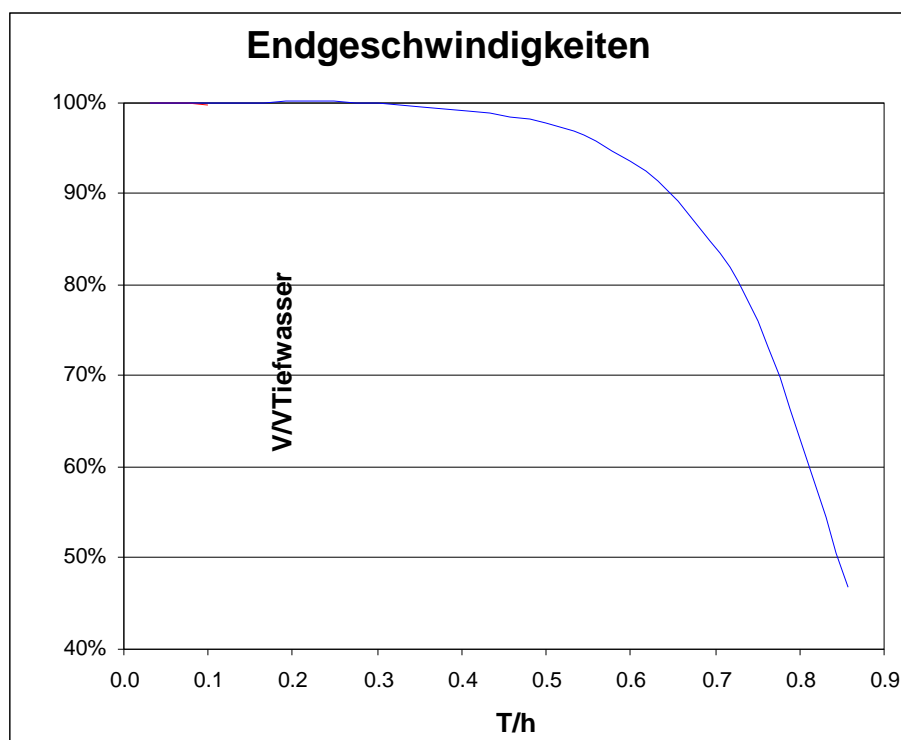


Abbildung 8: Endgeschwindigkeiten

- Dynamische Absenkung

Je schneller ein Schiff fährt, umso tiefer sinkt es in die Mulde des Primärwellensystems ein. Im Simulator ist dies durch eine quadratische Abhängigkeit der Absenkung von der Geschwindigkeit dargestellt mit einem Maximalwert bei Erreichen der Höchstgeschwindigkeit. Eine Änderung der Absenkung mit der Wassertiefe ist momentan noch nicht implementiert, aber in Vorbereitung.

In der Tabelle 3 sind die Hauptdaten der 4 Schiffstypen wiedergegeben:

Typ	Kurz- bez.	Länge m	Breite m	Tiefg m	Verdr m ³	V _{tief} km/h	V _{tief} kn
MS	MS 80 T35	80	9,5	3,5	2421	17,1	9,3
MS	MS 80 T32	80	9,5	3,2	2189	17,6	9,5
MS	MS 80 T28	80	9,5	2,8	1894	18,2	9,8
MS	MS 80 T22	80	9,5	2,2	1455	19,3	10,4
MS	MS 80 T17	80	9,5	1,7	1085	20,6	11,1
GMS	GMS 110 T35	110	11,4	3,5	3950	19,5	10,5
GMS	GMS 110 T32	110	11,4	3,2	3571	20,1	10,8
GMS	GMS 110 T28	110	11,4	2,8	3055	20,7	11,2
GMS	GMS 110 T22	110	11,4	2,2	2345	22,0	11,9
GMS	GMS 110 T17	110	11,4	1,7	1748	23,4	12,6
KV	KV 185 T35	185	11,4	3,5	6643	20,8	11,2
KV	KV 185 T32	185	11,4	3,2	6006	21,4	11,6
KV	KV 185 T28	185	11,4	2,8	5138	22,1	11,9
KV	KV 185 T22	185	11,4	2,2	3944	23,5	12,7
KV	KV 185 T17	185	11,4	1,7	2940	25,0	13,5
SV	SV 188 T35	188	22,8	3,5	13502	17,6	9,5
SV	SV 188 T32	188	22,8	3,2	12208	18,1	9,8
SV	SV 188 T28	188	22,8	2,8	10442	18,7	10,1
SV	SV 188 T22	188	22,8	2,2	8016	19,9	10,7
SV	SV 188 T17	188	22,8	1,7	5975	21,1	11,4

Tabelle 3: Fahrzeugdaten

Bezüglich Motorisierung und Ausstattung der Steuerorgane unterscheiden sich die Schiffe innerhalb einer Familie nicht. Die unterschiedlichen Endgeschwindigkeiten auf tiefem Wasser sind nur durch die abgestuften Tiefgänge und die daraus resultierenden Verdrängungen bestimmt.

3.2 Konzipierung von Qualifizierungsmaßnahmen

3.2.1 Theoretischer Lösungsansatz

In einem ersten Schritt wurden für die ausgewählten 4 Schiffsfamilien die wasserstandsabhängigen vorhandenen Propulsionsprofile des Flachwasserfahr-simulators überprüft. Aufgrund der festgestellten Abweichungen der Propulsions-profile von der Realität wurden die Algorithmen mit Hilfe von Ergebnissen aus abgeschlossenen Forschungsvorhaben korrigiert und angepasst. Den genutzten Antriebsleistungen wurde eine Verbrauchsfunktion zugeordnet. Zur Darstellung des aktuellen Verbrauchs ist eine Verbrauchsanzeige programmiert und visualisiert worden.

Für das Training wurden synthetische Strecken aufgebaut, die die physikalischen Abhängigkeiten erkennen lassen und eine Strecke, die mit wechselnden Wassertiefen, Strömungen und Kurvenverläufen einen realitätsnahen Flussverlauf abbildet.

Für ein Fahrzeug wurden beispielhaft die wasserstandsabhängigen Propulsions-profile für das Training grafisch und tabellarisch dargestellt, um die Abhängigkeit des Brennstoffverbrauchs bei unterschiedlichen Wassertiefen mit und ohne Strömung zu vermitteln. Ebenso wurde dieses Fahrzeug eingesetzt, um die Verbrauchsrelationen bei Fahrt über die einzelnen Streckenabschnitte für das Training sichtbar aufzuzeigen. Die physikalischen Effekte können deshalb nicht nur theoretisch dargestellt, sondern zusätzlich auch quantifiziert werden.

Fahrten mit maximalem Verbrauch und mit einer tendenziell geringen Fahrzeit wurden ermittelt und für das Training grafisch und in Form eines Excel-Tools aufbereitet. Durch diese Maßnahme wurde der Parameter Fahrzeit, der für die Erstellung eines Reiseplans mit Abfahrt- und Ankunftszeit sowie für eine Strecken-optimierung unabdingbar ist, eingeführt. Die Probanden erhalten eine Zeitvorgabe, die länger ist als die Fahrzeit mit maximaler Antriebsleistung, und müssen innerhalb der Strecken den Brennstoffverbrauch nach den topografischen Bedingungen unter Beachtung der erlernten physikalischen Einflüsse optimieren. Der auf dieser Basis entstandene Reiseplan wird im praktischen Trainingsteil mit der Fahrt am Simulator überprüft. Im Ergebnis zeigen sich die prozentualen Brennstoffeinsparungen und der eingehaltene Reiseplan.

Der theoretische und praktische Trainingsaufbau wird in dem Dokument „Trainingskonzeption TOPO-Training für Schiffsführer/innen: Intelligent Fahren – Kraftstoff sparen“ gezeigt.

3.2.2 Formulierung der Handlungsempfehlungen

Eine wesentliche Handlungsempfehlung, die den Probanden mitgegeben wird, ist eine tendenzielle Aussage: Bei tiefem Fahrwasser kann eine hohe Antriebsleistung eingesetzt und bei flachem Wasser sollte die Antriebsleistung niedriger eingestellt werden. Gleichzeitig muss bei der Reiseplanung die disponierte Ankunftszeit erreicht werden. Die Maßnahmen an Bord müssen in angemessener Absprache mit dem

Disponenten erfolgen, denn ein größeres Zeitfenster für den Transport ermöglicht eine Reduzierung des Brennstoffverbrauch und damit der Emissionen, weil die Topografie der Wasserstraße besser ausgenutzt werden kann.

Damit die Probanden im praktischen Schiffsbetrieb eine Verbrauchsoptimierung durchführen können, werden Excel-Tools bereitgestellt, mit denen die Schiffsführer/innen die individuellen Propulsionsprofile ihres Schiffstyps erfassen und eine Grundlage erarbeiten können, um die topografische Beschaffenheit ihrer Wasserstraße brennstoffsparend auszunutzen.

3.2.3 Konzipierung von Trainingsinhalten

In enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden - basierend auf den theoretischen Lösungsansätzen - die Trainingsinhalte konzipiert. Dabei stellte das DST Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. die wissenschaftlichen Beiträge und die strukturell nachhaltige Ausrichtung für eine topografie-orientierte Fahrweise zusammen. Die Universität Duisburg-Essen war für die didaktische Aufbereitung der Trainingsinhalte und die wissenschaftliche Fundierung des Trainingskonzeptes verantwortlich.

3.2.4 Schulung von Lehrkräften

Die Lehrkräfte waren von Beginn an in die Projektarbeit innerhalb des Vorhabens eingebunden und wurden kontinuierlich durch die Weiterentwicklung des Trainings ausgebildet.

3.2.5 Dokumentation der Ergebnisse

Die abschließenden Ergebnisse des Vorhabens sind in einem Trainingshandbuch zusammengefasst. Darüber hinaus hat die Universität Duisburg-Essen die eingesetzten wissenschaftlichen Konzepte und Theorien, auf die das Training aufbaut, in dem Dokument „Trainingskonzeption TOPO-Training für Schiffsführer/innen: Intelligent Fahren – Kraftstoff sparen“ formuliert.

Das Trainingshandbuch enthält die PowerPoint Folien, die Wortlaute und die Aufgaben und Lösungen zur Überprüfung des Lernerfolgs. Zusätzlich wurde eine DVD mit sämtlichen für das Training benötigten Materialien, wie Handouts, PowerPoint Präsentation und Abschlussklausuren, erstellt.

4. Darstellung der Arbeitsschritte, die nicht zum Erfolg geführt haben

Die Projektabschnitte wurden alle erfolgreich durchgeführt

5. Bewertung der erzielten Ergebnisse

Das Training ermöglicht den Probanden, ihr eigenes Fahrzeug mit seinen individuellen Propulsionseigenschaften energetisch einzuschätzen und die Topografie der zu befahrenden Wasserstraße auszunutzen, um den Brennstoffeinsatz und damit die Emissionen zu reduzieren. Damit wurden die Ziele des Projektes vollständig erreicht.

Das Training wurde nach erfolgter Testvorführung mit 5 Schiffsführern von der Stiftung **Green Award Binnenschifffahrt, Rotterdam** beurteilt und in das Pflichtenheft aufgenommen für die GA-Zertifizierung von umweltfreundlichen Binnenschiffen.

6. Angaben über Auswertung, Nutzung und Verbreitung der Ergebnisse

Das Training wurde in das Fort- und Weiterbildungsprogramm des Bundesverbandes der Deutschen Binnenschifffahrt, BDB aufgenommen und wird in diesem Jahr 2014 an 2 Terminen und nachfolgend regelmäßig stattfinden.

Redaktionelle Veröffentlichungen zum Projekt finden sich im Newsletter „Komplexität und Lernen“, auf den Webseiten der Universität Duisburg-Essen bzw. des DST, in lokalen Tageszeitungen sowie in Funk und TV. Weiterhin sind Veröffentlichungen in Fachzeitschriften geplant.

7. Auswirkungen auf die Beschäftigten

Die Schiffsführer/innen werden zu einer ökologischen Fahrweise geführt, ohne die logistischen Randbedingungen auszuschalten. Schon das Vorhandensein einer Verbrauchsanzeige sensibilisiert die Schiffsführer/innen zu einem energiesparenden Fahren. Das Training vermittelt Möglichkeiten, die Reise energetisch zu optimieren. Die Auswirkungen auf die Beschäftigten führen zu einer Verhaltensänderung, die im positiven Sinne wirkt.

Negative Auswirkungen können nicht festgestellt werden.

8. Angaben über Einsatz oder Absatz der geförderten Produkte oder Verfahren

Das Training bietet der Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt, BDB innerhalb seines Fort- und Weiterbildungsprogramm für Schiffsführer/innen an.

9. Veröffentlichungen und Schutzrechte

Bei dem Vorhaben TOPOFAHRT handelt es sich um ein mit öffentlichen Mitteln gefördertes Projekt. Die Grundlagen der Entwicklung des Trainingsprogramms werden in wissenschaftlich üblicher Weise in Form von Publikationen veröffentlicht. Das geistige Eigentum verbleibt bei den jeweiligen Projektpartner/innen und den einzelnen Projektmitarbeiter/innen.

10. Zusammenfassung

Die Zusammenarbeit mit der Universität Duisburg-Essen und dem Schiffer-Berufskolleg RHEIN führte zu einer zielorientierten Konzeption eines Trainings für eine topografie-orientierte Fahrweise, um den Brennstoffverbrauch zu reduzieren. Die Mitarbeiter des Schiffer-Berufskollegs RHEIN brachten ihre Ausbildungserfahrungen mit Binnenschiffern ein und ermöglichten die konkrete Ausrichtung des Konzeptes auf die Eingangsvoraussetzungen der Probanden. Mit der Weiterentwicklung des Flachwasserfahrersimulators „SANDRA“ auf die Schwerpunkte des Vorhabens konnte durch das DST das Bewegungsverhalten der Schiffe nicht nur für dieses Projekt, sondern generell für die allgemeinen Fortbildungsmaßnahmen optimiert werden. Die vom DST erarbeiteten wissenschaftlichen Beiträge für das Training und die nachhaltig strukturelle Ausrichtung wurden von der Universität Duisburg-Essen aufgenommen und didaktisch umgesetzt. Weiterhin war die Universität Duisburg-Essen verantwortlich für die wissenschaftliche Fundierung des Trainingskonzeptes.

Mit dem konzipierten Training werden die Schiffsführer/ innen in die Lage versetzt, physikalische Zusammenhänge direkt in den praktischen Schiffsbetrieb zu übernehmen und Brennstoffeinsparpotenziale bei gegebener Wasserstraße zu nutzen. Mit der Reduzierung des Brennstoffeinsatzes werden auch die Emissionen verringert.

Duisburg, Juli 2014



Dr.-Ing. A. Gronarz
Projektingenieur



Dipl.-Ing. H. Broß
Projektingenieur



Dipl.-Ing. B. Holtmann
Projektleiter



Prof. Dr.-Ing. E. Müller
Institutsdirektor