



Materialien

Nr. 56

Emissionen luftverunreinigender Stoffe
durch den Schiffsverkehr in
Nordrhein-Westfalen



Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

Luft

Wasser

Boden

Abfall

Technik
Verfahren

Materialien

Nr. 56

**Emissionen luftverunreinigender Stoffe
durch den Schiffsverkehr in
Nordrhein-Westfalen**

Ein Modell zur Berechnung der
Schadstoffverteilung auf Wasserstraßen, in
Schleusen und Häfen

Versuchsanstalt für Binnenschifffahrt e.V. Duisburg (VBD)

im Auftrag des Landesumweltamtes NRW

Essen 2001

Vorwort

In den letzten Jahrzehnten hat sich der Verkehr zu einem der Hauptverursacher von Luftschadstoffen entwickelt. Verkehrsabläufe im Bereich des Straßenverkehrs sind mit hohem Aufwand untersucht und Emissionen modelliert worden. Sie haben als belastbare Aussagen in Gesetzgebung und Planungsmaßnahmen Eingang gefunden.

Die Luftschadstoffemissionen des Verkehrsträgers „Binnenschifffahrt“ sind dagegen lange Zeit vernachlässigt worden, weil sie im Vergleich zum Straßenverkehr eher eine untergeordnete Rolle spielen. Dennoch erlangen sie bei einer kleinräumigen Betrachtungsweise sehr wohl große Bedeutung. Trotz dieser Tatsache liegt bisher kein Emissionsmodell vor, das den realen Verhältnissen Rechnung trägt. Alle bisherigen Ansätze bedienen sich einer sehr vereinfachten Herangehensweise und basieren auf nur sehr wenigen starren Eingangsgrößen.

Um ein genaues Bild über die tatsächliche Emissionsbilanz des Schiffsverkehrs in NRW zu gewinnen, ist die Binnenschifffahrt mit Unterstützung des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen in einem Forschungsvorhaben untersucht worden. In Zusammenarbeit mit der Versuchsanstalt für Binnenschifffahrt e.V., Duisburg, hat das Landesumweltamt NRW ein sehr detailliertes Berechnungsmodell entwickelt und Brennstoffverbräuche sowie Emissionen des Schiffsverkehrs auf den Wasserstraßen, in Schleusen und Häfen innerhalb der Grenzen von NRW berechnet. Die Ergebnisse der Fehlerbetrachtung und ein Vergleich mit tatsächlichem Brennstoffverbrauch belegen die Richtigkeit des Modells. In der Zukunft werden die Resultate z. B. bei der Ozonmodellierung Verwendung finden.

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde hat innerhalb eines Umweltprogramms zeitgleich eine Software entwickeln lassen, um die Schadstoffausbreitung aus dem Schiffsverkehr beurteilen zu können. Die Modelle beider Institutionen sind aufeinander abgestimmt worden und liefern vergleichbare Ergebnisse. Dieser Bericht wendet sich aber auch an Schifffahrtsverbände, Logistik- und Transportunternehmen, um auf die Umweltvorteile des Verkehrsmittels Binnenschiff aufmerksam zu machen. Eine ressourcenschonende Verkehrspolitik kann nur im Verbund aller Verkehrsträger stattfinden. Voraussetzung sind gesicherte Emissionsbilanzen, um bei einer integrierten Verkehrspolitik alle Emissionsminderungspotentiale ausschöpfen zu können.



Essen, 2001

Dr.-Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes NRW

Vorwort	3
1. Einleitung	9
2. Vorgehensweise	9
3. Ermittlung der Verkehrsdaten der nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen	14
3.1 Die nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen	14
3.2 Verkehrsdaten des Rheins	17
3.3 Verkehrsdaten der übrigen nordrhein-westfälischen Wasserstraßen	21
4. Berechnung von Flottenstruktur und resultierenden Tiefgängen	24
4.1 Rhein	24
4.1.1 Flottenstruktur	24
4.1.1.1 Motorschiffsflotte	24
4.1.1.2 Leichterflotte	31
4.1.2 Ermittlung der Tiefgänge	34
4.1.2.1 Beladene Schiffe	34
4.1.2.2 Unbeladene Schiffe	37
4.2 Ruhr	37
4.2.1 Flottenstruktur	38
4.2.2 Tiefgänge	38
4.2.2.1 Beladene Schiffe	38
4.2.2.2 Unbeladene Schiffe	39
4.3 Weser und Abzweige in den Mittelland-Kanal (MLK)	39
4.3.1 Flottenstruktur	40
4.3.2 Tiefgänge	40
4.3.2.1 Beladene Schiffe	40
4.3.2.2 Unbeladene Schiffe	40
4.4 Rhein-Herne-Kanal (RHK)	41
4.4.1 Flottenstruktur	41
4.4.2 Tiefgänge	41
4.5 Wesel-Datteln-Kanal (WDK)	42
4.5.1 Flottenstruktur	42
4.5.2 Tiefgänge	42
4.6 Datteln-Hamm-Kanal (DHK)	43
4.6.1 Flottenstruktur	43
4.6.2 Tiefgänge	43
4.7 Mittelland-Kanal (MLK)	44
4.7.1 Flottenstruktur	44
4.7.2 Tiefgänge	45

4.8	Dortmund-Ems-Kanal (DEK) _____	45
4.8.1	Flottenstruktur _____	45
4.8.2	Tiefgänge _____	45
5.	Ermittlung der eingesetzten Leistung bzw. des Brennstoff- verbrauchs _____	46
5.1	Frei fließender Fluss _____	47
5.2	Staugeregelter Fluss und Kanalsystem _____	48
6.	Ermittlung der Emissionen _____	50
7.	Schleusen, Häfen und sonstige Schifffahrt _____	52
7.1	Schleusen _____	52
7.1.1	Allgemein _____	52
7.1.2	Beschreibung des Schleusenvorgangs _____	52
7.1.3	Berechnung des Brennstoffbedarfs _____	53
7.2	Häfen _____	55
7.2.1	Allgemein _____	55
7.2.2	Flottenstruktur _____	55
7.2.3	Brennstoffverbrauchsrechnung in den Häfen _____	57
7.3	Passagierschifffahrt, Behörden- und sonstige Fahrzeuge _____	58
7.3.1	Passagierschifffahrt _____	58
7.3.1.1	Kabinenschiffe _____	58
7.3.1.2	Tagesschiffe _____	59
7.3.1.3	Resümee _____	60
7.3.2	Behörden- und sonstige Fahrzeuge _____	61
7.4	Verteilung der Brennstoffverbräuche und Emissionen auf bestimmte Zeitintervalle _____	61
7.4.1	Rhein _____	61
7.4.1.1	Güterschifffahrt _____	61
7.4.1.2	Passagierschifffahrt _____	67
7.4.2	Übrige Wasserstraßen _____	67
8.	Ergebnisse _____	69
8.1	Brennstoffverbrauch und Emissionen auf den Wasser- straßen _____	69
8.2	Brennstoffverbrauch und Emissionen in den Schleusen _____	70
8.3	Brennstoffverbrauch und Emissionen in den Häfen _____	71
9.	Grafische Darstellung der Wasserstraßen, Häfen und Schleusen _____	73
9.1	Darstellung der Wasserstraßen _____	73
9.2	Darstellung der Häfen _____	73
9.3	Darstellung der Schleusen _____	73

10.	Darstellung der Emissionen _____	74
10.1	Definition der Rasterquadrate _____	74
10.2	Zuordnung der Emissionen zu den Linienquellen und den Rasterquadraten _____	74
11.	Darstellung des Brennstoffverbrauchs und der HC-Emissionen des Schiffsverkehrs in NRW _____	76
11.1	Brennstoffverbrauch und HC-Emissionen auf den Wasserstraßen _____	76
11.2	Brennstoffverbrauch und HC-Emissionen in den Rasterquadraten _____	76
11.3	Brennstoffverbrauch und HC-Emissionen in den Häfen _____	77
11.4	Brennstoffverbrauch und HC-Emissionen in den Schleusen _____	77
11.5	Der Hafen Duisburg-Ruhrort _____	78
11.6	Der Hafen Dortmund _____	79
12.	Fehlerrechnung _____	80
12.1	Fehlerrechnung für den Brennstoffverbrauch _____	80
12.2	Fehlerrechnung für die Abgasemissionen _____	83
13.	Zusammenfassung und Diskussion _____	85
14.	Variablenverzeichnis _____	86
15.	Literatur _____	89
16.	Anlagen _____	90
	Liste der bisher erschienenen LUA-Materialien _____	106

1. Einleitung

In der vorliegenden Untersuchung werden im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen die Emissionen des Schiffsverkehrs auf den nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen für das Bezugsjahr 1996 ermittelt und mit dem geographischen Informationssystem SICAD/SD dargestellt. Schwerpunkt dieser Untersuchung ist der Bereich des Güterverkehrs, während die übrige Schifffahrt, wie z.B. Personenverkehr und Behördenschiffe, nur einen sehr geringen Anteil am gesamten Emissionsvolumen einnehmen.

2. Vorgehensweise

Im folgenden Ablaufdiagramm (Abb. 2.1) ist die Vorgehensweise zur Ermittlung der brennstoffspezifischen Emission dargestellt.

Im ersten Schritt werden die nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen, auf denen Güterverkehr stattfindet, in Wasserstraßenabschnitte unterteilt, wobei Häfen und Kanal- bzw. Nebenflusseinmündungen Berücksichtigung finden. Daran schließt die Erfassung der Güterverkehrsdaten auf den gerade festgelegten Abschnitten an. Es handelt sich hierbei um die Anzahl der leeren und beladenen Schiffe für die verschiedenen Fahrtrichtungen, unterteilt in Schiffe mit und ohne Antrieb einschließlich ihrer gesamten Tragfähigkeit und der von ihnen transportierten Gütermenge. Die Verkehrsdaten des Rheins, der mit Abstand am stärksten befahrenen Wasserstraße, können aus den Aufzeichnungen der Grenzstelle Emmerich abgeleitet werden. Für die übrigen Wasserstraßen werden die an den entsprechenden Schleusen registrierten Daten herangezogen.

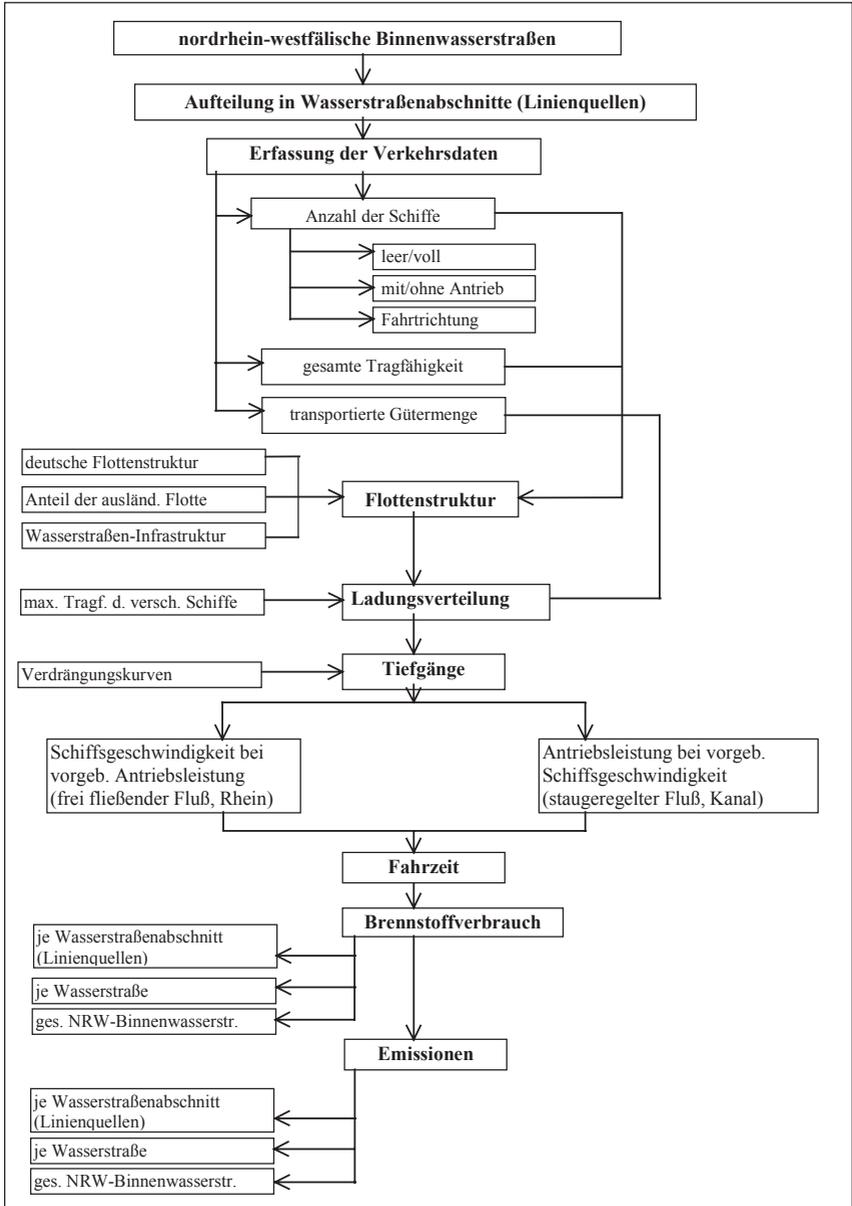


Abb. 2.1: Vorgehensweise bei der Ermittlung der brennstoffspezifischen Emissionen

Die jeweilige Flottenstruktur der Binnenwasserstraßen wird über die Anzahl der Schiffe, ihrer gesamten Tragfähigkeit unter Berücksichtigung der deutschen Flottenstruktur und deren mittlerer Tragfähigkeit pro Schiff, der Zahl der ausländischen Flotten und deren Anteil am Transportvolumen sowie der maximalen Schiffsabmessungen auf den jeweiligen Binnenwasserstraßen ermittelt.

Die transportierte Gütermenge dieser Flotten wird gemäß ihrer maximalen Tragfähigkeit anteilig auf die verschiedenen Schiffstypen verteilt. Ordnet man diesen Schiffstypen Lademengen zu, lassen sich die entsprechenden Schiffstiefgänge abschätzen.

Bei der Errechnung der Brennstoffverbräuche ist zwischen "frei fließendem Fluss" und "staugeregeltem Fluss" bzw. Kanal zu unterscheiden. Beim frei fließenden Fluss wird von der zur Verfügung stehenden Antriebsleistung ausgegangen, die in der Regel auch zum größten Teil auf diesem Transportweg eingesetzt wird. Hierbei handelt es sich um die am Abtriebsflansch der Hauptmaschine zur Verfügung stehende Antriebsleistung der jeweiligen Schiffstypen. Sie entspricht zumindest bei neueren Motoren der ISO-Standardleistung gemäß DIN 3046, Teil I. In Abhängigkeit von dieser Leistung ergibt sich für die verschiedenen Schiffstypen - entsprechend ihrem Tiefgang - eine bestimmte Schiffsgeschwindigkeit. Aus Antriebsleistung, Schiffsgeschwindigkeit und spezifischem Brennstoffverbrauch, der mit $b_e = 0,2 \text{ kg/kWh}$ zugrunde gelegt wird, lässt sich der Brennstoffverbrauch ermitteln.

Im Gegensatz zum Rhein darf auf den übrigen Wasserstraßenbereichen eine Maximalgeschwindigkeit - sie wird in den Berechnungen auf 11 km/h festgelegt -, nicht überschritten werden. Damit wird nur ein Teil der zur Verfügung stehenden Antriebsleistung eingesetzt. Auf Basis dieser Maximalgeschwindigkeit wird für die verschiedenen Schiffstypen und Tiefgänge die jeweils erforderliche Antriebsleistung bestimmt. Mit der so ermittelten Antriebsleistung und der zuvor festgelegten maximalen Schiffsgeschwindigkeit von 11 km/h sowie dem spezifischen Brennstoffverbrauch von $b_e = 0,2 \text{ kg/kWh}$ kann der Brennstoffverbrauch errechnet werden.

Zur Ermittlung der brennstoffspezifischen Emission wird von Mittelwerten ausgegangen, ohne hierbei z.B. einen erhöhten CO-Ausstoß bei Teillastbetrieb des Motors zu berücksichtigen. Da der Teillastbetrieb nur auf staugeregelten Flüssen bzw. Kanälen anzutreffen ist, d.h. in Bereichen, in denen im Vergleich zum Rhein nur ein verhältnismäßig geringer Gütertransport stattfindet, und auch in der Literatur grundsätzlich unterschiedliche Angaben über die Emissionsfaktoren zu finden sind, können die zugrunde gelegten Mittelwerte als repräsentativ angesehen werden. Das Emissionsmodell ist jedoch so aufgebaut, dass alternative Emissionsfaktoren jederzeit eingefügt und berücksichtigt werden können. Entsprechend dieser Vorgehensweise ergeben sich für die Wasserstraßen nachfolgende Berechnungsformeln:

EMISSION

$$E_{\text{Schad}} = BrV \cdot K_{\text{Schad}} \quad (1)$$

E_{Schad}	die verschiedenen Luftschadstoffe (kg oder t im betrachteten Zeitintervall)
BrV	Brennstoffverbrauch gesamt (kg oder t im betrachteten Zeitintervall)
K_{Schad}	spezifischer Emissionsfaktor (kg/t (DK) oder g/kg (DK))

BRENNSTOFFVERBRAUCH

$$\text{BrV} = \text{BrV}_{\text{Berg, bel.}} + \text{BrV}_{\text{Berg, leer}} + \text{BrV}_{\text{Tal, bel.}} + \text{BrV}_{\text{Tal, leer}} \quad (2)$$

$\text{BrV}_{\text{Berg, bel.}}$	Brennstoffverbrauch der beladenen Schiffe in der Bergfahrt
$\text{BrV}_{\text{Berg, leer}}$	Brennstoffverbrauch der leeren Schiffe in der Bergfahrt
$\text{BrV}_{\text{Tal, bel.}}$	Brennstoffverbrauch der beladenen Schiffe in der Talfahrt
$\text{BrV}_{\text{Tal, leer}}$	Brennstoffverbrauch der leeren Schiffe in der Talfahrt

für $\text{BrV}_{\text{Berg, bel.}}$ usw. gilt:

$$\text{BrV}_{\text{Berg, bel.}} = \text{BrV}_{\text{MSI}} + \text{BrV}_{\text{MSII}} + \dots + \text{BrV}_{\text{KV}} + \text{BrV}_{\text{SV}} \quad (3)$$

$\text{BrV}_{\text{MSI, MSII}}$	Brennstoffverbrauch der Motorschiff-Typenklasse I, II, usw., z.B. Typenklasse "Johann Welker" oder "GMS"
BrV_{KV}	Brennstoffverbrauch der Koppelverbände
BrV_{SV}	Brennstoffverbrauch der Schubverbände

Für die Schiffstypen wird analog vorgegangen, wobei für die verschiedenen Bezeichnungen $\text{BrV}_{\text{MSI, MSII, ...}}$, BrV_{KV} und BrV_{SV} die Bezeichnung BrV_{Typ} verwendet wird.

Für BrV_{Typ} gilt:

$$\text{BrV}_{\text{Typ}} = \frac{n_{\text{Typ}} \cdot N_{\text{Typ}} \cdot b_e \cdot L}{V_{\text{Typ}}} \quad (4)$$

n_{Typ}	Anzahl der Schiffseinheiten in der jeweiligen Typenklasse
N_{Typ}	Leistung pro Schiffseinheit in der jeweiligen Typenklasse (kW)
-	im Falle des Rheins vorgegeben;
-	im Falle der Kanäle aus der dort maximal zulässigen Geschwindigkeit, hier auf 11 km/h festgelegt;
	die Leistung zum Erreichen der zulässigen Geschwindigkeit wird unter Berücksichtigung des Tiefgangs den entsprechenden Leistungs/Geschwindigkeitsdiagrammen entnommen.

Der Tiefgang des Schiffes ist eine Funktion von Verdrängungsverlauf und zugeordneter Ladungsmenge. Die Ladungsmenge ergibt sich aus der statistischen Gesamtmenge, die im Verhältnis zur maximalen Tragfähigkeit der jeweiligen Schiffstypen auf die Schiffs-Typengruppen und anschließend zu gleichen Anteilen auf jedes Einzelschiff innerhalb der Schiffs-Typengruppe verteilt wird.

b_e	spezifischer Brennstoffverbrauch, mit 0,2 kg/kWh angesetzt
L	Länge eines Wasserstraßenabschnittes (km)

V_{Typ}

Geschwindigkeit der Schiffseinheit gegenüber Land (km/h)

- im Falle des Rheins aus der vorgegebenen Antriebsleistung unter Berücksichtigung der Strömungsgeschwindigkeit V_{Wasser}

$$\text{z.B. } V_{Typ, Berg} = V_{Typ, Wasser} - V_{Ström}$$

$$V_{Typ, Tal} = V_{Typ, Wasser} + V_{Ström}$$

$V_{Typ, Wasser}$ Geschwindigkeit des Motorschiffsverbandes durch das Wasser; diese Geschwindigkeit ist abhängig vom Tiefgang und wird den entsprechenden Leistungs/Geschwindigkeitsdiagrammen entnommen.

- im Falle der Kanäle vorgegeben mit 11 km/h

für n_{Typ} gilt:

$$n_{Typ} = n_{MS ges.} \cdot K_{Typ} \quad (5)$$

$n_{MS ges.}$

statistische Gesamtanzahl der Motorschiffe

K_{Typ}

Anzahl-Verteilungsfaktor für die jeweilige Typenklasse; dieser Faktor ergibt sich aus der Flottenstruktur im jeweiligen Fahrtgebiet.

3. Ermittlung der Verkehrsdaten der nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen

3.1 Die nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen

Die innerhalb des Projektes berücksichtigten nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen sind in der Abb. 3.1 tabellarisch und in Abb. 3.2 graphisch dargestellt.

1.	Rhein von km 630,6 bis km 864,8	Landesgrenze zu Rheinland-Pfalz, Nähe Remagen-Rolandseck Bundesgrenze zu Niederlanden, Nähe Bimmen
2.	Ruhr von km 0 bis km 8,2	Einmündung in den Rhein, km 780,1, Duisburg Stadthafen Mülheim
3.	Weser von km 204 bis km 232	Alter Hafen Minden Landesgrenze zu Niedersachsen, Nähe Holzminden einschließlich Abzweig zum MLK
4.	Rhein-Herne-Kanal von km 0 bis km 48,72	Kanalanschluss, Abzweig aus Rhein, km 780,4, Duisburg Kanalende, Einmündung in DEK, km 15,4, Nähe Datteln
5.	Wesel-Datteln- Kanal von km 0 bis km 60,3	Kanalanschluss, Abzweig von Rhein, km 813, Emmelsum Kanalende, Einmündung in DEK, km 21,3, Nähe Datteln
6.	Datteln-Hamm- Kanal von km 0 bis km 34,4	Kanalanschluss, Abzweig von DEK, km 19,5, Nähe Datteln Kanalende, Nähe Schmehausen
7.	Mittellandkanal ¹⁾ von km 0 bis km 106,4	Kanalanschluss, Abzweig aus DEK, km 108,4, Nähe Bergeshövede Landesgrenze zu Niedersachsen, Nähe Eversen
8.	Dortmund-Ems-Ka- nal von km 0 bis km 121,4	Kanalbeginn, Stadthafen Dortmund Landesgrenze zu Niedersachsen, Nähe Spelle-Venhaus
1) berücksichtigt wird nur der in NRW liegende Teil des MLK		

Abb. 3.1: Nordrhein-westfälische Binnenwasserstraßen, die innerhalb des Projekts berücksichtigt werden

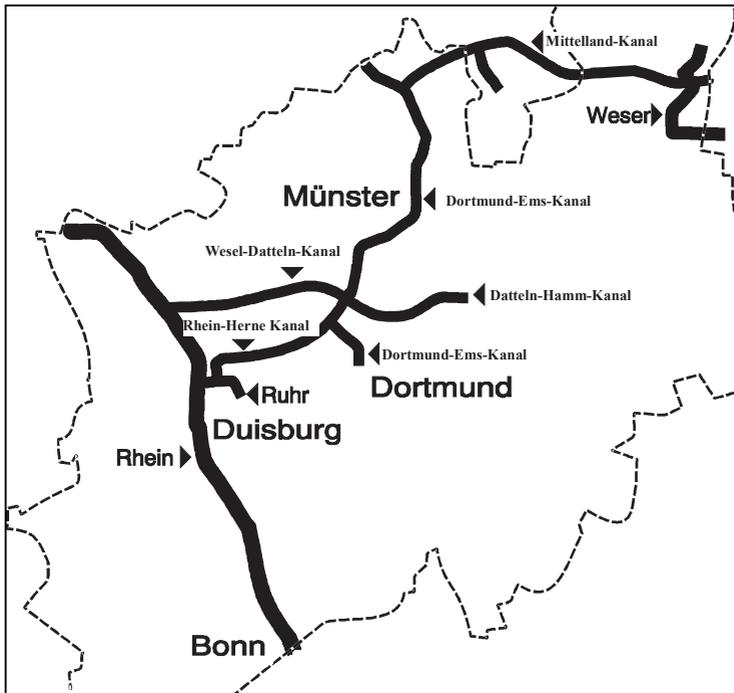


Abb. 3.2: Nordrhein-westfälische Binnenwasserstraßen

Inwieweit in diesen Bereichen auch Behörden- und Passagierschifffahrt bzw. motorisierter Wassersport stattfinden und wie diese Schifffahrt jeweils zu bewerten ist, wird an späterer Stelle (Kapitel 7) aufgegriffen. Der überwiegende Teil der auf den nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen durchgeführten Güterverkehre existiert auf dem Rhein (siehe Abb. 3.3). Im Vergleich hierzu ist der Güterverkehr auf dem Kanalnetz zwar deutlich geringer, stellt aber von seiner absoluten Größe her ebenfalls ein beträchtliches Transportvolumen dar. Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den Verkehrsmengen im Bereich der Seehäfen um Seeschifftransporte handelt.

det. Inwieweit diese Registrierstelle unter Berücksichtigung einer weiter fortschreitenden Liberalisierung der europäischen Verkehrsmärkte in Zukunft für die Datenerfassung noch zur Verfügung stehen wird, bleibt abzuwarten.

Für die Grenzstelle Emmerich sind die Verkehrsdaten für die Monate Januar bis Dezember des Jahres 1996, unterschieden zwischen Berg- und Talfahrt, aus [2] entnommen und in Datenblättern dargestellt worden. Eine separate Darstellung der einzelnen Monate wird gewählt, um möglicherweise vom Wasserstand des Rheins abhängige Veränderungen der Transportströme darstellen zu können.

In den nachfolgenden Abbildungen werden die transportierten Gütermengen der beladenen Motorschiffe (Schiffe mit eigener Triebkraft) ihrer jeweiligen Tragfähigkeit gegenübergestellt. Die Bergfahrt ist in Abb. 3.4, die Talfahrt in Abb. 3.5 dargestellt.

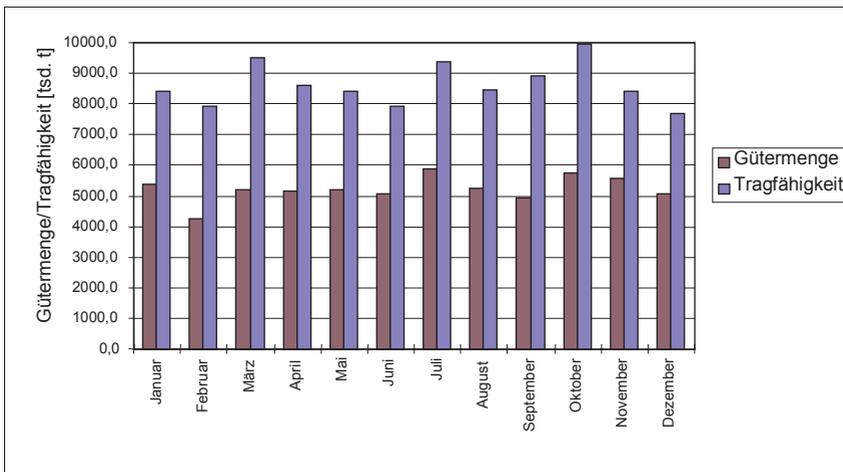


Abb. 3.4: Transportierte Gütermenge und Tragfähigkeit der beladenen Motorgüterschiffe, Grenzstelle Emmerich, Bergfahrt, 1996

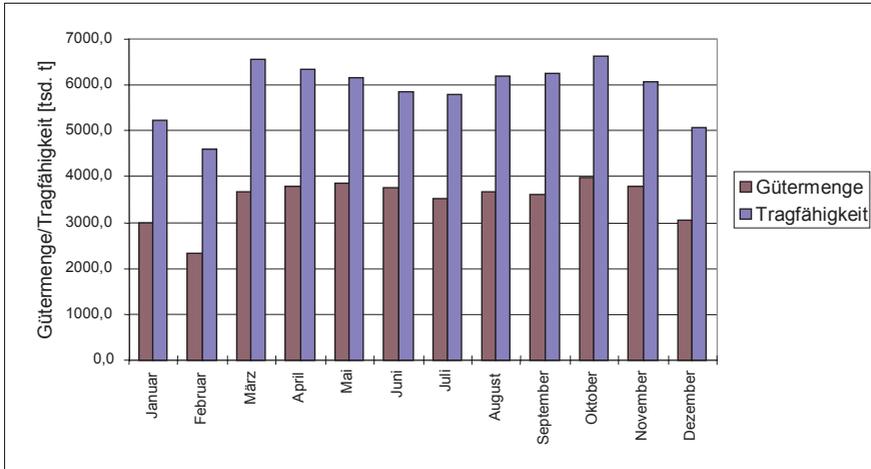


Abb. 3.5: Transportierte Gütermenge und Tragfähigkeit der beladenen Motorgüterschiffe, Grenzstelle Emmerich, Talfahrt, 1996

Weiterhin ist berücksichtigt worden, dass in 1996 gegenüber den Vorjahren eine relativ lange Niedrigwasserperiode herrschte, was durch die Wasserstandslinien in Abb. 3.6 deutlich wird.

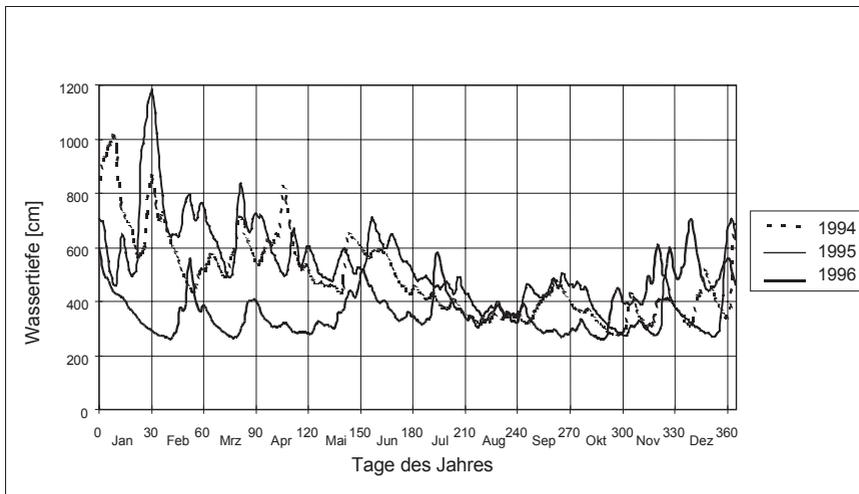


Abb. 3.6: Verlauf der Wassertiefe (Wasserstandslinien) für den Pegelort Ruhrort für verschiedene Bezugsjahre

Ein Vergleich der Abb. 3.4 und 3.5 mit Abb. 3.6 zeigt keinen direkten Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Wassertiefe für 1996 und der transportierten Gütermenge. Zwar sind im Februar die geringsten Gütermengen in der Berg- und Talfahrt wie auch zeitweise die geringsten Wassertiefen festzustellen, jedoch steigen in den folgenden Monaten mit ebenfalls geringen Wassertiefen (März bis Mai) die transportierten Gütermengen an. Auf die Frage, ob die relativ geringe Wassertiefe in 1996 dennoch einen Einfluss auf die Anzahl der eingesetzten Schiffe und damit auf die Emission hat, wird in Kapitel 7.4 erneut eingegangen.

Einschränkungen des Gütertransports durch Eis treten im betrachteten Rheinabschnitt nicht auf. Auch die Beeinträchtigung durch Hochwasser ist verhältnismäßig gering. So wird z. B. im Bereich der Rheinstrecke zwischen Emmerich und Köln die Hochwassermarken II, d. h. Einstellung der Schifffahrt, nur an wenigen Tagen in der Zeit zwischen 1982 und 1994 erreicht (siehe Abb. 3.7). Damit kann dieser Einfluss vernachlässigt werden.

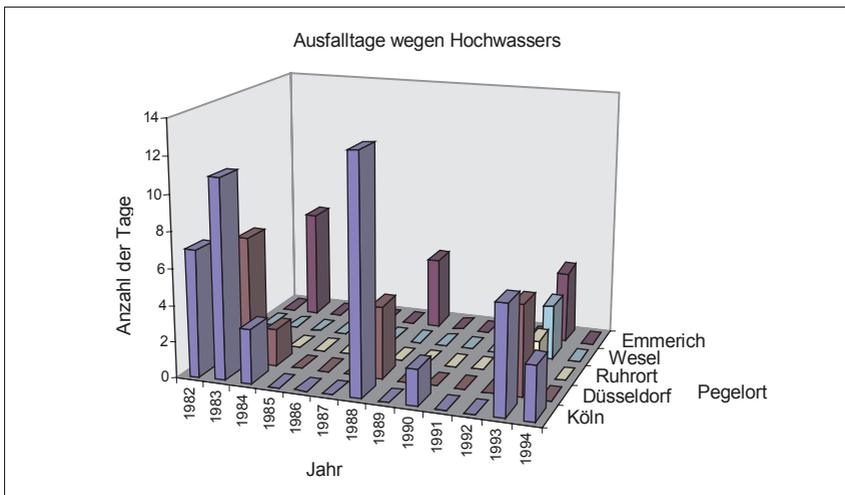


Abb. 3.7: Anzahl der Tage, an denen die Hochwassermarken II erreicht oder überschritten wurde, sowie deren zeitliche Verteilung zwischen 1982 und 1994

Ausgehend von den Verkehrsdaten der Grenzstelle Emmerich werden unter Berücksichtigung der Ankünfte und Abgänge der Häfen und Nebenwasserstraßen des Rheins die Verkehrsdaten in den jeweiligen Rheinabschnitten ermittelt und in den Datenblättern dargestellt. Ankunfts- und Abgangsdaten können, soweit sie Häfen betreffen, aus [4] und, im Fall der Nebenwasserstraßen des Rheins, aus den Schleusendaten [3] entnommen werden. Die Statistiken erfassen nicht sämtliche leeren Schiffe, die Emmerich zu Tal passieren bzw. die Häfen verlassen. Dies führt zu einer Differenz zwischen den Schiffen, die die Grenzstelle Emmerich in der Berg- bzw. Talfahrt passieren und zwischen den ein- bzw. ausfahrenden Schiffen der Häfen. Da jedoch keine Schiffe unterhalb Emmerichs oder in den Häfen „verschwinden“, ist die Zahl der leeren Schiffe so erhöht worden, dass die Anzahl der aus- und einfahrenden Schiffe gleich wird. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die „hinzugefügten“ leeren Schiffe in die gleiche Richtung abgehen, aus der sie beladen gekommen sind.

Für den Verkehr auf dem Wesel-Datteln-Kanal (WDK) und dem Rhein-Herne-Kanal (RHK) wird in gleicher Weise vorausgesetzt, dass alle nach Osten fahrenden Schiffe im Beobachtungszeitraum auch wiederum nach Westen fahrend zurückkehren. Demzufolge wird die Differenz anhand der Anzahl der unbeladenen Schiffe ausgeglichen.

In Abb. 3.8 sind die Häfen und Wasserstraßeneinmündungen dargestellt, die bei der Ermittlung der Rheindaten bezüglich ihrer Ankünfte und Abgänge berücksichtigt worden sind.

Nr. der Rheinabschnitte	Hafen/Wasserstraßeneinmündung	Ufer	Strom-km
1	Grenzstelle Emmerich → Schiffahrtsweg Rhein-Kleve	li. → li.	864,75 → 863,87
2	Schiffahrtsweg Rhein-Kleve → Hafen Emmerich	li. → re.	863,87 → 851,80
3	Hafen Emmerich → Hafen Wesel	re. → re.	851,80 → 814,56
4	Hafen Wesel → Einmündung Wesel-Datteln-Kanal	re. → re.	814,56 → 812,97
5	Einmündung Wesel-Datteln-Kanal → Rheinhafen Ossenber/Solvay	re. → li.	812,97 → 807,08
6	Rheinhafen Ossenber/Solvay → Rheinhafen Orsoy	li. → li.	807,08 → 793,61
7	Rheinhafen Orsoy → Nordhafen Walsum	li. → re.	793,61 → 792,81
8	Nordhafen Walsum → Hafen Schwelgern (Duisburg III)	re. → re.	792,81 → 789,87
9	Hafen Schwelgern (Duisburg III) → Homburg Rheinpreußen-Hafen	re. → li.	789,87 → 789,87
10	Homburg Rheinpreußen-Hafen → Duisburg-Ruhrort, Hafenbecken A/B/C	li. → re.	789,87 → 780,52
11	Duisburg-Ruhrort, Hafenbecken A, B, C → Einmündung Hafenkanal	re. → re.	780,52 → 780,52
12	Einmündung Hafenkanal → Rheinhafen Homberg-Sachtleben	re. → li.	780,52 → 778,51
13	Rheinhafen Homberg-Sachtleben → Duisburg, Parallel-, Außen-, Innenhafen	li. → re.	778,51 → 776,60
14	Duisburg, Parallel-, Außen-, Innenhafen → Rheinhafen Duisburg-Hochfeld (Duisburg IV)	re. → re.	776,60 → 773,90
15	Rheinhafen Duisburg-Hochfeld (Duisburg IV) → Hafen Rheinhausen	re. → li.	773,90 → 773,25
16	Hafen Rheinhausen → Rheinhafen Duisburg-Huckingen (Duisburg II)	li. → re.	773,25 → 770,04
17	Rheinhafen Duisburg-Huckingen (Duisburg II) → Hafen Krefeld-Uerdingen	re. → li.	770,04 → 763,60
18	Hafen Krefeld-Uerdingen → Hafen Düsseldorf	li. → re.	763,60 → 742,75
19	Hafen Düsseldorf → Hafen Neuss	re. → li.	742,75 → 740,07
20	Hafen Neuss → Rheinhafen Leverkusen	li. → re.	740,07 → 706,47
21	Rheinhafen Leverkusen → Hafen Köln (Niehl)	re. → li.	706,47 → 695,46
22	Hafen Köln (Niehl) → Hafen Wesseling	li. → li.	695,46 → 672,12
23	Hafen Wesseling → Hafen Lülldorf	li. → re.	672,12 → 667,34
24	Hafen Lülldorf → Hafen Bonn-Rheindorf	re. → li.	667,34 → 657,81
25	Hafen Bonn-Rheindorf → Grenze zu Rheinland-Pfalz	li. → re.	657,81 → 639,77

Abb. 3.8: Rheinabschnitte im Bereich NRW

Bei den Strom-Kilometern und den resultierenden Distanzen in Abb. 3.8 sowie den nachfolgenden Abbildungen und Datenblättern handelt es sich um die exakten Werte, die den topographischen Karten (TK 50) entnommen werden und den Berechnungen zugrunde liegen. Diese weichen allerdings in geringem Umfang von den Kilometrierungen des offiziellen Schifffahrtskalenders (WESKA) ab.

3.3 Verkehrsdaten der übrigen nordrhein-westfälischen Wasserstraßen

Bei der Verkehrsdatenermittlung der übrigen nordrhein-westfälischen Wasserstraßen wird in der gleichen Weise wie beim Rhein vorgegangen, wobei die Schleusendaten aus [3] die maßgeblichen Ausgangswerte der entsprechenden Wasserstraßen liefern.

Die Abb. 3.9 bis 3.15 stellen die Häfen und Wasserstraßenabschnitte dar, die bei der Ermittlung der Verkehrsdaten der übrigen Wasserstraßen berücksichtigt wurden. Die resultierenden Verkehrsdaten sind ebenfalls in den Datenblättern aufgeführt.

Ruhr, Basis: Ruhrschleuse Raffelberg		
Nr. der Ruhrabschnitte	Hafen, Schleuse, Wasserstraßeneinmündung	Wasserstraßen-km
1	Einmündung in den Rhein → Stadthafen Mülheim	0,00 → 8,72

Abb. 3.9: Ruhrabschnitte

Weser, Basis: Schleuse Minden		
Nr. der Weserabschnitte	Hafen, Schleuse, Wasserstraßeneinmündung	Wasserstraßen-km
Wasserstraßenkreuz Minden	nördlicher Abzweig zum MLK → südlicher Abzweig zum MLK	1,30 → 1,44
1	südlicher Abzweig zum MLK Hafen Minden → nördlicher Abzweig zum MLK	0,00 ¹⁾ → 1,68
2	nördlicher Abzweig zum MLK → Landesgrenze Niedersachsen	1,68 → 29,36
¹⁾ km 0 entspricht Weser km 204,4		

Abb. 3.10: Weserabschnitte im Bereich NRW

Rhein-Herne-Kanal (RHK), Basis: Schleuse Duisburg-Meiderich		
Nr. der RHK-Abschnitte	Hafen, Schleuse, Wasserstraßeneinmündung	Wasserstraßen-km
1	Abzweig vom Rhein → Hafen Bottrop--Essen	0,00 → 19,78
2	Hafen Bottrop-Essen → Stadthafen Gelsenkirchen	19,78 → 27,23
3	Stadthafen Gelsenkirchen → Hafen Wanne West	27,23 → 33,56
4	Hafen Wanne West → Einmündung in den DEK	33,56 → 48,72

Abb. 3.11: Abschnitte des RHKS

Wesel-Datteln-Kanal (WDK), Basis: Schleuse Friedrichsfeld		
Nr. der WDK-Abschnitte	Hafen, Schleuse, Wasserstraßeneinmündung	Wasserstraßen-km
1	Abzweig vom Rhein → Hafen Dorsten	0,00 → 31,61
2	Hafen Dorsten → Hafen Marl	31,61 → 37,89
3	Hafen Marl → Einmündung in den DEK	37,89 → 60,15

Abb. 3.12: Abschnitte des WDKs

Datteln-Hamm-Kanal (DHK), Basis: Hafen Hamm		
Nr. der DHK-Abschnitte	Hafen, Schleuse, Wasserstraßeneinmündung	Wasserstraßen-km
1	Abzweig vom DEK → Stadthafen Lünen	0,00 → 11,65
2	Stadthafen Lünen → Stadthafen Hamm	11,65 → 35,15

Abb. 3.13: Abschnitte des DHKS

Mittellandkanal (MLK), Basis: Schleusen Münster und Bevergen		
Nr. der MLK-Abschnitte	Hafen, Schleuse, Wasserstraßeneinmündung	Wasserstraßen-km
1	Abzweig vom DEK → Kanalhafen Münster	0,00 → 100,50
2	Kanalhafen Münster → Abzweig Verbindungskanal Nord zur Weser	100,50 → 101,62
3	Abzweig Verbindungskanal Nord zur Weser → Landesgrenze Niedersachsen	101,62 → 106,35

Abb. 3.14: Abschnitte des MLKs im Bereich NRW

Dortmund-Ems-Kanal (DEK), Basis: Schiffshebewerk Henrichenburg, Schleusen Münster und Bervergen		
Nr. der DEK-Abschnitte	Hafen, Schleuse, Wasserstraßeneinmündung	Wasserstraßen-km
1	Hafen Dortmund → Einmündung des RHKs	0,00 → 15,44
2	Einmündung des RHKs → Hafen Münster	15,44 → 66,53
3	Hafen Münster → Hafen Dörenthe	66,53 → 99,05
4	Hafen Dörenthe → Abzweig des MLKs	99,05 → 107,76
5	Abzweig des MLKs → Landesgrenze Niedersachsen	107,76 → 121,36

Abb. 3.15: Abschnitte des DEKs im Bereich NRW

4. Berechnung von Flottenstruktur und resultierenden Tiefgängen

Grundlage zur Berechnung der Flottenstruktur ist die Statistik über die Anzahl der Schiffe und deren Gesamttragfähigkeit. Die Zahl der verschiedenen Schiffe sowie die Summe ihrer Tragfähigkeiten sollten mit den Statistikwerten grob übereinstimmen.

Eine detaillierte Flottenstruktur kann nicht aufgestellt werden, da die erforderlichen Daten nicht in der notwendigen Auflösung zur Verfügung stehen. Deshalb wird bei den leeren und beladenen sowie den zu Berg und zu Tal bzw. in entgegengesetzte Richtungen fahrenden Motorschiffen von der gleichen Flottenstruktur ausgegangen. Die entstehende Fehlerquote wird als gering bewertet.

Bei der Herleitung der Flottenstruktur wird zunächst zwischen Motorschiffen und Leichtern (Schiffe ohne eigenen Antrieb) unterschieden. Während die Motorschiffe in verschiedenen großen Einheiten (Typschiffe) unterteilt werden, können die Leichter in Schub- und Koppelverbände aufgeteilt werden.

4.1 Rhein

Randbedingungen:

frei fließender Fluss, Fließgeschwindigkeit:	ca. 6 km/h
Wasserstraßenklasse:	VI
Maximale Schiffsabmessungen:	
Einzelfahrer (Motorschiff):	Länge 110,0 m (135 m ¹) Breite 22,8 m

Schubverband²:

Bergfahrt	Länge 269,50 m Breite 22,90 m
Talfahrt	Länge 193,00 m Breite 34,35 m

Abladetiefe gemäß Wasserstand

4.1.1 Flottenstruktur

4.1.1.1 Motorschiffsflotte

Für die gesamte Rheinflotte wie auch für die jeweiligen Flotten der an der Rheinschifffahrt beteiligten Länder liegen keine Flottenstrukturdaten vor, weshalb zunächst die Strukturdaten der gesamten deutschen Binnenschiffsflotte gemäß [5] als Basis herangezogen werden. Die Daten sind in Abb. 4.1 dargestellt und beinhalten die Motorgüter- und Motortankschiffe,

¹ 135 m zwischen Mannheim und der deutsch/niederländischen Grenze unter bestimmten Voraussetzungen gemäß "Vorübergehende Anordnung zu §11.01 der RheinschifffahrtsPolizeiverordnung (RheinSchPV)"

² nur zulässig auf der Strecke zwischen Bad Salzig und deutsch/niederländischer Grenze, oberhalb Bad Salzig geringere Abmessungen gem. §11.03 der RheinSchPV

wobei den jeweiligen Tragfähigkeitsklassen die jeweiligen Motorschiffstypen zugeordnet werden.

Tragfähigkeit bis 650 t Karl Vortisch + Oskar Teubert		Tragfähigkeit 650 - 1500 t Gustav Koenigs + Johann Welker		Tragfähigkeit größer 1500 t Großmotorschiff (GMS)		Summe	
Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil
348	19	1.162	63	322	18	1.832	100

Abb. 4.1: Struktur der deutschen Motorschiffsflotte und Anteil der verschiedenen Schiffstypen gemäß [5], 1996

Bei der Übertragung dieser Flottenstruktur auf den Rhein ist eine Flottenstruktur zu erarbeiten, die aus Schiffen besteht, welche wesentlich am Gütertransport beteiligt sind. D.h., dass sich besonders die größeren, neueren Einheiten aus wirtschaftlichen Gründen häufiger im Einsatz befinden als die kleineren, älteren Einheiten. Aus diesem Grund unterscheidet sich die tatsächlich eingesetzte Flotte deutlich von der Bestandsstruktur. So sind z.B. die Schiffstypen "Karl Vortisch" und "Oskar Teubert" insbesondere in der Rheinschifffahrt nur noch selten anzutreffen und haben aufgrund ihrer relativ geringen Tragfähigkeit einen äußerst geringen Anteil am Gütertransport. Aus diesem Grund wird die Tragfähigkeitsklasse bis 650 t bei der Festlegung der Flottenstruktur des Rheins im weiteren nicht mehr berücksichtigt. Die Größenklasse 650 – 1.500 t kann zu einem Drittel dem kleineren Schiffstyp "Gustav Koenigs" (bis 1.100 t Tragfähigkeit, siehe Anlage 1, Anlage 2) und zu zwei Dritteln dem Schiffstyp "Johann Welker" (bis 1.350 t) zugeordnet werden. Mit diesen Randbedingungen ergibt sich die Struktur der deutschen Rheinflotte wie sie in Abb. 4.2 dargestellt ist.

Tragfähigkeit 650 - 1500 t Gustav Koenigs + Johann Welker		Tragfähigkeit größer 1500 t Großmotorschiff (GMS)		Summe	
Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil
1.162	63	322	18	1.832	100

aufgeteilt zu

1/3

2/3

Gustav Koenigs		Johann Welker		Großmotorschiff (GMS)		Summe	
Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	%-Anteil
387	26	775	52	322	22	1.484	100

Abb. 4.2: Struktur der deutschen Rheinflotte und Anteil der verschiedenen Schiffstypen, 1996

Ein wesentlicher Teil der auf dem Rhein transportierten Gütermengen wird von ausländischen und hier besonders von der holländischen Flotte bewältigt. Diese Tatsache ist bei der Festle-

gung der Flottenstruktur und den Transportanteilen weitmöglichst zu berücksichtigen. Der Anteil am Transportvolumen der wichtigsten Rheinschiffahrtsländer, gemessen an der Grenzstelle Emmerich, ist in Abb. 4.3 dargestellt.

Staat	Güterverkehr Grenzstelle Emmerich [in 1000 t]	%-Anteil am Güterverkehr Grenzstelle Emmerich
Deutschland	29.520	21,0
Niederlande	90.268	65,0
Belgien	9.633	7,0
Frankreich	2.137	1,5
Schweiz	4.510	3,0
Sonstige	2.411	1,5
Summe	138.479	100,0

Abb. 4.3: Anteile am Transportvolumen der wichtigsten westeuropäischen Rheinschiffahrtsländer in 1996 [5]

Bei der Festlegung der ausländischen Flotten auf dem Rhein wird davon ausgegangen, dass sich der Anteil der eingesetzten größeren bzw. kleineren Einheiten entsprechend der jeweiligen durchschnittlichen Tragfähigkeit pro Schiff ändert. Dementsprechend ist die durchschnittliche Tragfähigkeit pro Schiff der an der Rheinschiffahrt beteiligten Länder ermittelt und mit der deutschen Flotte verglichen worden (siehe Abb. 4.4).

Motorschiffe				
Staat	Anzahl	ges. Tragfähigkeit [t]	durchschnittl. Tragfähigkeit/Schiff [t]	bezogen auf die deutsche Flotte
Deutschland	1.845	2.078.559	1.127	1,000
Niederlande	4.362	4.110.904	942	0,836
Belgien	1.500	1.249.822	833	0,739
Frankreich	623	272.431	437	0,387
Schweiz	91	176.564	1.941	1,722
Insgesamt	8.421	7.888.280		

Abb. 4.4: Durchschnittliche Tragfähigkeit pro Schiff der an der Rheinschiffahrt beteiligten Länder und auf die deutsche Flotte bezogenes Tragfähigkeitsverhältnis, 1996

So beträgt z.B. im Falle der Niederlande die durchschnittliche Tragfähigkeit pro Schiff 942 t. Damit ergibt sich - bezogen auf die deutsche Flotte - ein Tragfähigkeitsverhältnis von 0,836. Dementsprechend besteht die niederländische Flotte aus einem größeren Anteil kleinerer bzw.

einem kleineren Anteil größerer Schiffe im Vergleich zur deutschen Flotte. Im Falle der Schweizer Flotte ist es umgekehrt. Mit einer durchschnittlichen Tragfähigkeit von 1.941 t ist der Anteil der kleineren Schiffe geringer bzw. der Anteil größerer Schiffe größer, verglichen mit der deutschen Flotte. Das Tragfähigkeitsverhältnis liegt bei 1,722.

Unter Berücksichtigung dieser unterschiedlichen Tragfähigkeitsverhältnisse wird im Rechenmodell zunächst von einem als Basiswert anzusehenden unveränderten Flottenverhältnis beim Schiffstyp "Gustav Koenigs" ausgegangen. Über einen konstanten Faktor „X“ für die Schiffstypen "Johann Welker" und "GMS" wird deren Anteil am Flottenverhältnis verändert.

Die sich hieraus ergebende Berechnungsformel lautet:

$$A_{GK} + X \cdot A_{JW} + X \cdot A_{GMS} = Y \quad (6)$$

Damit folgt für X:

$$X = \frac{Y - A_{GK}}{A_{JW} + A_{GMS}} \quad (7)$$

- X Vergrößerungs- bzw. Verkleinerungsfaktor des Flottenverhältnisses der Schiffstypen "Johann Welker" und "GMS"
- A_{GK} Anteil des Schiffstyps "Gustav Koenigs" an der deutschen Rheinflotte (gem. Abb. 4.2; $A_{GK} = 0,26$)
- A_{JW} Anteil des Schiffstyps "Johann Welker" an der deutschen Rheinflotte (gem. Abb. 4.2; $A_{JW} = 0,52$)
- A_{GMS} Anteil des Schiffstyps "GMS" an der deutschen Rheinflotte (gem. Abb. 4.2; $A_{GMS} = 0,22$)
- Y Tragfähigkeitsverhältnis der an der Rheinschifffahrt beteiligten ausländischen Flotte bezogen auf die deutsche Flotte (gem. Abb. 4.4)

Werden die Anteilswerte eingesetzt, so ergibt sich:

$$X = \frac{Y - 0,26}{0,52 + 0,22} = \frac{Y - 0,26}{0,74}$$

Mit dieser Gleichung lassen sich die veränderten Mengenverhältnisse zwischen den verschiedenen Schiffstypen der ausländischen Flotten abschätzen und daraus die prozentualen Anteile, d.h. die jeweilige Flottenstruktur, errechnen:

Niederlande: $X = \frac{0,836 - 0,26}{0,74} = 0,778$

	Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Summe
Verhältnis	0,26	0,405	0,171	0,836
%-Anteil	32	48	20	100

Belgien:
$$X = \frac{0,739 - 0,26}{0,74} = 0,647$$

	Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Summe
Verhältnis	0,26	0,336	0,142	0,739
%-Anteil	35	46	19	100

Frankreich:
$$X = \frac{0,387 - 0,26}{0,74} = 0,172$$

	Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Summe
Verhältnis	0,26	0,089	0,038	0,387
%-Anteil	67	23	10	100

Schweiz:
$$X = \frac{1,722 - 0,26}{0,74} = 1,975$$

	Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Summe
Verhältnis	0,26	1,027	0,435	1,722
%-Anteil	15	60	25	100

Zur endgültigen Festlegung der Flottenstruktur des Rheins werden die zuvor ermittelten Flottenstrukturen der verschiedenen Länder mit ihrem jeweiligen Transportanteil gemäß Abb. 4.3 gewichtet und in Abb. 4.5 dargestellt.

	Gustav Koenigs			Johann Welker			GMS			Summe
	1 ¹⁾	2 ²⁾	3	1 ¹⁾	2 ²⁾	3	1 ¹⁾	2 ²⁾	3	
	%-Anteil d. Schiffs- flotte Rhein	%-Anteil d. Trans- portvo- lum. Emme- rich	Produkt aus 1 + 2	%-Anteil d. Schiffs- flotte Rhein	%-Anteil d. Trans- portvo- lum. Emme- rich	Produkt aus 1 + 2	%-Anteil d. Schiffs- flotte Rhein	%-Anteil d. Trans- portvo- lum. Emme- rich	Produkt aus 1 + 2	
D	26	21	546	52	21	1.092	22	21	462	2.100
NL	32	65	2.080	48	65	3.120	20	65	1.300	6.500
B	35	7	245	46	7	322	19	7	133	700
F	67	15	101	23	1,5	34	10	1,5	15	150
CH	15	3	45	60	3	180	25	3	75	300
Summe			3.017			4.748			1.985	9.750
%-Anteil an d. ges. Flotte			31			49			20	100

1) Aus Abb. 4.2 und vorhergehenden Betrachtungen

2) Aus Abb. 4.3

Abb. 4.5: Wichtung der Flottenstruktur der verschiedenen Länder mit ihrem jeweiligen Transportanteil und Ermittlung der Flottenstruktur aller an der Rheinschifffahrt beteiligten Schiffseinheiten

Diese so errechnete Struktur entspricht im wesentlichen der niederländischen Flottenstruktur und setzt sich zusammen aus:

31 %	“Gustav Koenigs”
49 %	“Johann Welker”
20 %	“GMS”

Kontrollrechnung:

Die Kontrollrechnungen für die ermittelte Flottenstruktur des Rheins erfolgt durch Vergleich der Gesamttragfähigkeiten, die sich zum einen aus der zuvor ermittelten Flottenstruktur und zum anderen aus den Statistiken ergeben. Hierbei werden beispielhaft für folgende Fälle die Kontrollrechnungen gemäß Abb. 4.6 durchgeführt:

- beladene und leere Schiffe in der Bergfahrt, Rheinabschnitt 1 (RA1)
- nur beladene Schiffe in der Bergfahrt, RA1
- nur beladene Schiffe in der Bergfahrt, RA17

		Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Summe	Werte aus Statistik/ Differenz absolut/ und in %
	%-Anteil	31	49	20	100	
	Tragf./Schiff [t]	1.100	1.350	3.000		
RA 1	Anz. d. Schiffe	23.766	37.565	15.333	76.663	
Bergfahrt beladen + leer	ges. Tragfähk. [1.000 t]	26.142	50.713	45.998	122.853	118.527/ + 4.326/ +3,6 %
RA 1	Anz. d. Schiffe	19.343	30.575	12.480	62.398	
Bergfahrt nur beladen	ges. Tragfähk. [1.000 t]	21.278	41.276	37.439	99.992	103.599/ -3.607/ -3,5 %
RA 17	Anz. d. Schiffe	18.195	29.898	12.203	61.016	
Bergfahrt nur beladen	ges. Tragfähk. [1.000 t]	20.806	40.362	36.610	97.778	100.354/ -2.576/ -2,6 %

Abb. 4.6: Kontrollrechnung für die Flottenstruktur des Rheins durch Vergleich der Gesamttragfähigkeiten

Mit der festgelegten Flottenstruktur zeigt die Kontrollrechnung, dass die Gesamttragfähigkeit in der Bergfahrt im RA 1 bei der gesamten Flotte (beladene und leere Schiffe) ca. 3,6 % höher ist als der jeweils statistisch ermittelte Wert. Unter den gleichen Voraussetzungen liegt das Ergebnis bei beladenen Schiffen um ca. 3,5 % und bei den beladenen Schiffen im RA 17 um ca. 2,6 % niedriger im Vergleich zu dem statistischen Resultat.

Es ist davon auszugehen, dass die Flottenstruktur in der Berg- und Talfahrt identisch ist (es gehen keine Schiffe verloren). Aufgrund der schlechten Datenlage einerseits und des geringen Einflusses auf den zu ermittelnden Brennstoffverbrauch andererseits erscheint es nicht sinnvoll, in den nachfolgenden Rechnungen unterschiedliche Flottenstrukturen in den verschiedenen Wasserstraßenabschnitten bzw. bei beladenen und unbeladenen Schiffen zu berücksichtigen. Darüber hinaus zeigen auch die errechneten Tragfähigkeitswerte, dass eine als ausrei-

chend genau anzusehende Flottenstruktur der Motorgüterschiffe festgelegt werden konnte, weshalb diese Flottenstruktur den nachfolgenden Rechnungen zugrunde gelegt wird.

Weiterhin ist bei der Darstellung der Flottenstruktur zu berücksichtigen, dass ein Teil der Motorschiffe gemeinsam mit den Leichtern als Koppelverband eingesetzt werden. Für den Koppelverband kommen grundsätzlich die größeren, d.h. die neueren und stärker motorisierten Motorgüterschiffe, in Frage. Hierbei handelt es sich vornehmlich um den Schiffstyp "GMS" und in verringerter Anzahl um den Typ "Johann Welker". Aus diesem Grund wird für die Schiffstypen "Johann Welker" und "GMS" eine noch festzulegende Anzahl von Schiffen, die innerhalb von Koppelverbänden eingesetzt werden, von der Anzahl der Motorschiffe abgezogen. Da verlässliche Zahlen über die Aufteilung zwischen "GMS" und "Johann Welker" als Koppelverband nicht vorliegen, jedoch dem verstärkten Einsatz größerer und stärkerer Schiffe als "schiebende" Motorgüterschiffe Rechnung getragen werden soll, wird nachfolgend davon ausgegangen, dass Koppelverbände zu 1/3 vom Schiffstyp "Johann Welker" und zu 2/3 vom Schiffstyp "GMS" geschoben werden. Die Anzahl der Koppelverbände ergibt sich aus der Flottenstruktur der Leichter.

4.1.1.2 Leichterflotte

Bei der Leichterflotte geht es im wesentlichen darum, die statistisch aufgeführten "Schiffe ohne eigenen Antrieb" den Schub- und Koppelverbänden zuzuordnen. Weil die Schleppschiffahrt im Gütertransport nicht mehr praktiziert wird, kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den "Schiffen ohne eigenen Antrieb" ausschließlich um Leichter und nicht im Schleppkähne handelt.

Durch die Ermittlung der Tragfähigkeit pro Leichter wird zunächst festgestellt, um welche Leichtergrößen es sich handelt. Beim Gesamtverkehr (Berg- und Talfahrt) ergibt sich für den RA 1:

$$\text{beladen: } \frac{\text{gesamte Tragfähigkeit}}{\text{gesamte Anzahl}} = \frac{45.838\text{t}}{18.889} = 2.427 \text{ t}$$

$$\text{leer: } \frac{\text{gesamte Tragfähigkeit}}{\text{gesamte Anzahl}} = \frac{37.576\text{t}}{14.935} = 2.516 \text{ t}$$

Hieraus resultiert der Europa Typ Ila-Leichter mit ca. 2.400 t Tragfähigkeit bei 3,5 m Tiefgang (siehe Anlage 1).

Die Leichter werden in Schubverbände bestehend aus 4 Leichtern und einem Schubboot (Symbol ) und Koppelverbände bestehend aus einem schiebenden Motorschiff und einem Leichter (Symbol ) aufgeteilt.

Innerhalb der betrachteten Rheinabschnitte befinden sich Häfen, die überwiegend oder sogar ausschließlich von Schubverbänden angelaufen werden. Dies wird bei der Aufteilung der Leichter in Koppel- und Schubverbände berücksichtigt, wodurch sich das Verhältnis Schubverbände/Koppelverbände auf diesen Rheinabschnitten verändert.

In der Bergfahrt erfolgt die Unterteilung der Schub- und Koppelverbände für die verschiedenen Rheinabschnitte gemäß Abb. 4.7 und Abb. 4.8. Statistische Daten und die wichtigsten Anlaufhäfen Schwelgern, Duisburg-Ruhrort und Duisburg-Huckingen werden berücksichtigt.

In den Rheinabschnitten zwischen diesen Häfen und den nördlichen und südlichen Grenzstellen wird ein gleichbleibendes Verhältnis zwischen Schubverband und Koppelverband zugrunde gelegt. Andere Häfen, die von Schub- und Koppelverbänden angelaufen werden, besitzen aufgrund der relativ kleinen Schiffsanzahl nur einen geringen Einfluss auf das Verhältnis von Schub- und Koppelverband.

Ausgehend von der Grenzstelle Emmerich zeigt die Abb. 4.7 die Ankünfte der Leichter im Bereich der wichtigsten Anlaufhäfen für Schub- und Koppelverbände und deren Zuordnung zu Schub- und Koppelverbänden. Obwohl es sich um relativ grobe Abschätzungen handelt, so ist die Aufteilung der Leichter in Schub- und Koppelverbände dennoch als repräsentativ anzusehen.

Rheinabschnitt	Ort	Anzahl gem. Statistik	Anteil		sich ergebende Anzahl der Leichter für	
			 / 			
RA 1-8	Emmerich	16.600				
	Schwelgern	6.100	1 / -	6.100		
RA 9-10	DU-Ruhrort	1.800	1 / 1	1.440	360	
RA 11-16	Huckingen	3.400	1 / 1	2.720	680	
RA 17-25	Rest weiter zu Berg	5.300	1 / 4	2.650	2.650	

Abb. 4.7: Ankünfte der Leichter im Bereich der wichtigsten Anlaufhäfen für Schub- und Koppelverbände und deren Zuordnung zu Schub- und Koppelverbänden

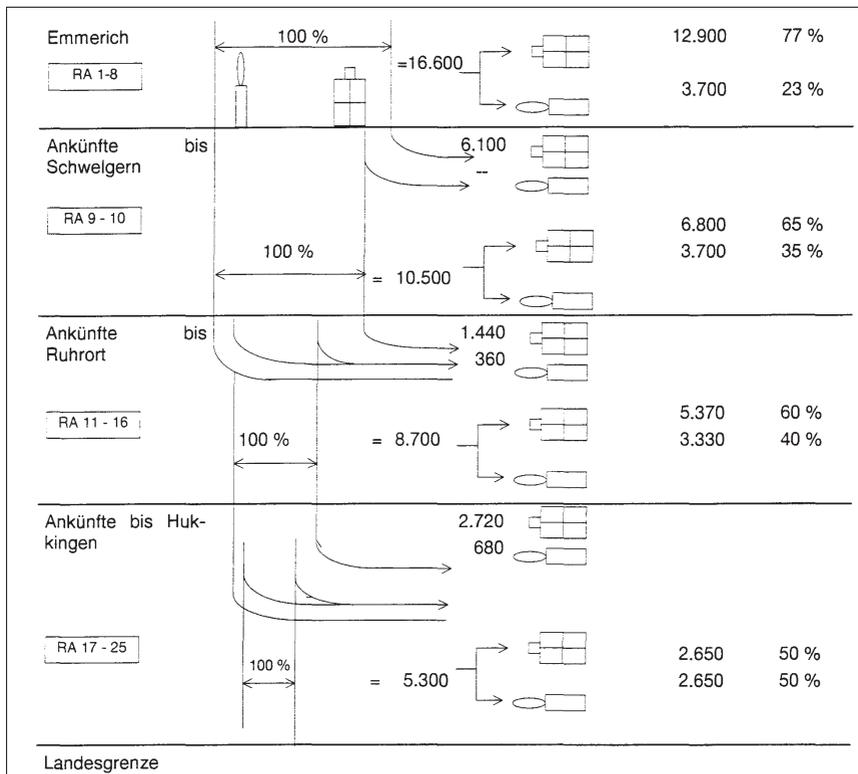


Abb. 4.8: Zuordnung der Leichter zu Schub- und Koppelverbänden sowie deren Leichteranteil in den jeweiligen Rheinabschnitten

In Abb. 4.8 sind die Ankünfte der Leichter im Bereich der wichtigsten Anlaufhäfen sowie deren Zuordnung zu Schub- und Koppelverbänden grafisch dargestellt. Die resultierende Flottenstruktur von Schub- und Koppelverbänden wird für den jeweiligen Rheinabschnitt ermittelt. Beispielsweise ergibt sich aufgrund dieser Berechnungen im Bereich zwischen RA1-8 eine Flottenstruktur, in der die Leichter zu 77 % den Schubverbänden und zu ca. 23 % den Koppelverbänden zugeordnet werden können.

Da besonders die Häfen im Raum Duisburg von einer relativ großen Anzahl von Schubverbänden angelaufen werden (Erzfahrt), verändert sich das Verhältnis zwischen den Leichtern, die den Schub- bzw. Koppelverbänden zuzuordnen sind, so dass ab RA17 die Leichter zu etwa gleichen Teilen in Schub- und Koppelverbände aufgeteilt werden können.

Wie bei den Motorgüterschiffen wird auch bei den Leichtern davon ausgegangen, dass keine Schiffe verloren gehen und dass Leichter, die z.B. innerhalb eines Koppelverbandes zu Berg fahren, sich auch in der Talfahrt innerhalb eines Koppelverbandes befinden und nicht mit dem Schubverband zu Tal gehen. Aus diesen Überlegungen folgt, dass die Flottenstruktur der zu Tal fahrenden Verbände sich nicht wesentlich von der der zu Berg fahrenden Verbände unter-

scheidet. Entsprechend dieser Aufteilung der Leichter in Schub- und Koppelverbände und der zuvor festgelegten Flottenstruktur der Motorschiffe ergibt sich für die gesamte Flottenstruktur in der Bergfahrt nachfolgendes Berechnungsschema (s. Abb. 4.9). Bei der Talfahrt wie auch für die leeren Einheiten werden aus bereits genannten Gründen die gleichen Flottenstrukturdaten vorausgesetzt.

Rhein- abschnitt	1	2	3	4	5
	Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Koppel- verband	Schub- verband
RA 1-8	Anzahl Motorsch. • 0,31	(Anzahl Motorsch. • 0,49) - 0,34 • Spalte 4	(Anzahl Motorsch. • 0,20) - 0,66 • Spalte 4	Anzahl Leichter • 0,23	Zahl Leichter • 0,77 4
RA 9-10	*****	*****	*****	Anzahl Leichter • 0,35	Zahl Leichter • 0,65 4
RA 11-16	*****	*****	*****	Anzahl Leichter • 0,40	Zahl Leichter • 0,60 4
RA 17-25	*****	*****	*****	Anzahl Leichter • 0,50	Zahl Leichter • 0,60 4

Abb. 4.9: Berechnungsschema für die Flottenstruktur des Rheins

Mit diesem Berechnungsschema lässt sich beispielsweise für die beladene Bergfahrt im RA1, ausgehend von 62.398 Motorschiffen und 16.601 Leichtern, nachfolgende Flottenstruktur darstellen:

“Gustav Koenigs”:	$62.398 \cdot 0,31$	= 19.343
“Johann Welker”:	$62.398 \cdot 0,49 - \text{Anz. Koppelverb.} \cdot 0,34$	= 29.277
“GMS”:	$62.398 \cdot 0,20 - \text{Anz. Koppelverb.} \cdot 0,66$	= 9.960
Koppelverband:	$16.601 \cdot 0,23$	= 3.818
Schubverband:	$\frac{16.601 \cdot 0,77}{4}$	= 3.196

4.1.2 Ermittlung der Tiefgänge

4.1.2.1 Beladene Schiffe

MOTORSCHIFFE

Zunächst wird die von allen Schiffen transportierte Gütermenge anteilig auf die jeweiligen Schiffs-Typengruppen verteilt. Die Verteilung erfolgt im Verhältnis zur maximalen Tragfähigkeit der jeweiligen Schiffstypen, wobei beim GMS zu berücksichtigen ist, dass der maximale Tiefgang von 3,5 m und damit auch die maximale Tragfähigkeit von 3.000 t aufgrund des Niedrigwassereinflusses weniger häufig zur Verfügung steht, als der maximale Tiefgang der Schiffstypen “Gustav Koenigs” und “Johann Welker” mit $T_{\max} = 2,50$ m.

In einer vom VBD durchgeführten Untersuchung hat sich beispielsweise für den Pegelort Ruhrort gezeigt, dass der über den Beobachtungszeitraum 1982 - 1994 gemittelte Tiefgang von 2,50 m an ca. 350 Tagen, der Tiefgang von 3,50 m nur an ca. 260 Tagen zur Verfügung stand (siehe Abb. 4.10).

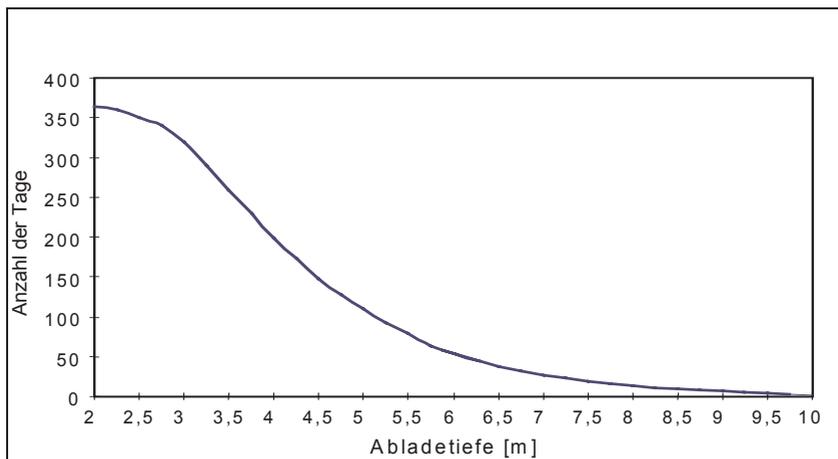


Abb. 4.10: Abladetiefe und Anzahl der Tage pro Jahr, an denen diese Abladetiefe zur Verfügung steht - Pegel Ruhrort, gemittelt über den Beobachtungszeitraum 1982 - 1994

Aus diesem Grund wird für das GMS die Tragfähigkeit berücksichtigt, die sich bei einem Tiefgang von 3,0 m ergibt (siehe auch Anlage 1).

Für die Verteilung der transportierten Gütermengen werden folgende Tragfähigkeiten eingesetzt:

	Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Summe
Tragfähigkeit [t]	1.100	1.350	2.400	4.850
%-Anteil (Tragfähigkeits-Verteilungsfaktor α)	22,68	27,84	49,48	100
bei einem Tiefgang von [m]	2,5	2,5	3,0	

Abb. 4.11: Tragfähigkeiten der verschiedenen Schiffstypen in Abhängigkeit vom Tiefgang

Die Aufteilung der transportierten Gütermenge nach Schiffs-Typengruppen steht somit im Verhältnis

$$\boxed{n_{GK} \cdot \alpha_{GK} / n_{JW} \cdot \alpha_{JW} / n_{MS} \cdot \alpha_{GMS}} \quad (8)$$

Der hieraus resultierende Ladungs-Verteilungsfaktor $K_{Typ,L}$ für die verschiedenen Schiffstypen errechnet sich mit:

$$\boxed{K_{Typ,L} = \frac{n_{Typ} \cdot \alpha_{Typ}}{\sum_{Typ} (n_{Typ} \cdot \alpha_{Typ})}} \quad (9)$$

Für die GMS-Flotte kann beispielsweise für den RA1 in der Bergfahrt der Ladungsverteilungsfaktor berechnet werden:

$$K_{GMS,L} = \frac{12.480 \cdot 0,4948}{19.343 \cdot 0,2268 + 30.575 \cdot 0,2784 + 12.480 \cdot 0,4948} = 0,3237$$

Für die übrigen Schiffstypen ergibt sich:

$$K_{GK,L} = 0,23$$

$$K_{JW,L} = 0,4463$$

Zur Festlegung der gemittelten Gütermenge pro Schiff wird die Gütermenge jeder Schiffstypengruppe durch die jeweilige Anzahl der Schiffe dividiert.

$$\boxed{G_{Typ} = \frac{G_{ges.S} \cdot K_{Typ,L}}{n_{Typ}}} \quad (10)$$

- G_{Typ} Gütermenge pro Schiff in der jeweiligen Schiffs-Typenklasse (t)
- $G_{ges.S}$ gesamte von den Motorschiffen transportierte Gütermenge (t)
- $K_{Typ,L}$ Faktor zur Verteilung der gesamten Gütermenge auf die Schiffs-Typengruppen
- n_{Typ} Anzahl der Schiffe innerhalb der Schiffs-Typengruppe

Damit ergibt sich z.B. bei einer transportierten Gesamtgütermenge von $62.660 \cdot 10^3$ t für den Schiffstyp "GMS" in der Bergfahrt im RA1 eine Gütermenge von:

$$G_{GMS} = \frac{62.660 \cdot 10^3 \text{ t} \cdot 0,3237}{12.480} = 1.626 \text{ t}$$

Für diese Gütermenge kann anhand der tabellarischen Tragfähigkeits-/Tiefgangskurve (Anlage 1) für jeden Schiffstyp der jeweilige Tiefgang festgelegt werden, womit sich für den betrachteten Schiffstyp "GMS" bei der errechneten Gütermenge von 1.626 t ein Tiefgang von ca. 2,40 m ablesen lässt.

LEICHTER

Bei den Leichtern wird in gleicher Weise wie bei den Motorschiffen vorgegangen. Hier wird jedoch nicht zwischen verschiedenen Leichtertypen unterschieden, so dass sich die folgende Gleichung aufstellen lässt:

$$G_L = \frac{G_{\text{ges. L}}}{n_L} \quad (11)$$

Die resultierende Gütermenge pro Einheit errechnet sich beispielsweise für den RA1 in der Bergfahrt wie folgt:

$$G_L = \frac{31.136 \cdot 10^3 \text{ t}}{16.601} = 1.875 \text{ t}$$

Aus der Tragfähigkeitskurve "Leichter" kann damit ein Tiefgang von $T = 2,90 \text{ m}$ entnommen werden.

KOPPELVERBAND

Beim Koppelverband hat der Tiefgang des vorne fahrenden Leichtern einen maßgeblichen Einfluss auf das Leistungs/Geschwindigkeitsverhalten des Verbandes. Aus diesem Grund wird in den nachfolgenden Berechnungen der Tiefgang der Leichter zugrunde gelegt.

4.1.2.2 Unbeladene Schiffe

Der Leertiefgang ist den Anlagen 1 oder 2 zu entnehmen:

"Gustav Koenigs"	0,65 m
"Johann Welker"	0,70 m
"GMS"	0,95 m
Koppelverband	0,95/0,60 m
Schubverband	0,60 m (nur Leichter)

4.2 Ruhr

Randbedingungen:

Staugeregelter Fluss

Wasserstraßenklasse: V a

Fließgeschwindigkeit: < 1 km/h (wird daher nicht berücksichtigt)

zulässige Schiffslänge: 110,00 m

zulässige Schiffsbreite: 11,45 m

Abladetiefe: 2,60 m

Fahrwasserbreite: 36,00 m

Die maximale Schleusenlänge Raffelberg beträgt 127 m, d.h. Schub- und Koppelverbände können den Bereich nicht befahren. Deshalb werden alle Leichter als Klein-Schubverbände, bestehend aus einem Kanalschubboot (klein) plus einem Leichter, berücksichtigt. Diese Einheit wird bezüglich der Leistungswerte wie ein "GMS" behandelt.

4.2.1 Flottenstruktur

Für den Ruhrabschnitt errechnet sich für die Bergfahrt, beladene Schiffe, die

$$\text{Tragfähigkeit pro Einheit} = \frac{680.000 \text{ t}}{579} = 1.174 \text{ t}$$

Aus diesen Zahlen ergibt sich eine Flottenstruktur, die im wesentlichen aus dem Schiffstyp "Gustav Koenigs" mit 1.100 t Tragfähigkeit und nur zu einem geringen Teil aus dem Schiffstyp "Johann Welker" mit 1.350 t besteht. Verteilt man die durchschnittliche Tragfähigkeit pro Motorschiff von 1.170 t proportional auf die maximalen Tragfähigkeiten dieser beiden Schiffstypen, so errechnet sich ein Flottenanteil von 80 % für den Typ "Gustav Koenigs" und 20 % für den Schiffstyp "Johann Welker".

Für die Struktur der Flotte kann nachfolgendes Berechnungsschema aufgestellt werden:

1	2	3
Gustav Koenigs	Johann Welker	Kleinverband (wie GMS)
Anz. Motorschiff • 0,80	Anz. Motorschiff • 0,20	Anz. Leichter

Abb. 4.12: Berechnungsschema für die Flottenstruktur auf der Ruhr

4.2.2 Tiefgänge

4.2.2.1 Beladene Schiffe

MOTORSCHIFFE

Wie zuvor für den Rhein wird zur Ermittlung des Tiefgangs die transportierte Gütermenge anteilig und zwar im Verhältnis zur maximalen Tragfähigkeit auf die jeweiligen Schiffstypen verteilt. Die maximale Tragfähigkeit und die sich ergebenden Verhältniswerte sind für einen Tiefgang von 2,50 m nachfolgend dargestellt.

	Gustav Koenigs	Johann Welker	Summe
max. Tragfähigkeit	1.100	1.350	2.450
%-Anteil (Tragfähigkeits-Ver- teilungsfaktor α)	44,9	55,1	100

Die Aufteilung der transportierten Gütermenge erfolgt für die jeweiligen Schiffstypen-Gruppen im Verhältnis:

$$\boxed{n_{\text{GK}} \cdot \alpha_{\text{GK}} / n_{\text{JW}} \cdot \alpha_{\text{JW}}} \quad (12)$$

Mit dem Ladungs-Verteilungsfaktor K_{Sch} gemäß Formel (9) errechnen sich die Verteilungsfaktoren zu:

$$\begin{aligned} K_{\text{GK}, L} &= 0,765 \\ K_{\text{JW}, L} &= 0,235 \end{aligned}$$

Die gemittelte Gütermenge pro Schiff lässt sich durch Dividieren der zuvor ermittelten Gruppen-Gütermenge mit der jeweiligen errechneten Anzahl der Schiffe gemäß Formel (10) darstellen. Der Tiefgang ist wiederum der Tabelle in Anlage 1 zu entnehmen.

LEICHTER

Gemäß Formel (11) ergibt sich für die Leichter bei Bergfahrt eine Gütermenge pro Einheit von:

$$G_L = \frac{29.000t}{26} = 1.115 t$$

Der entsprechende Tiefgang aus der Tragfähigkeitskurve "Leichter" beträgt $T = 2,00$ m.

4.2.2.2 Unbeladene Schiffe

Leertiefgang:

"Gustav Koenigs": 0,65 m

"Johann Welker": 0,70 m

Leichter: 0,95 m (Kleinschubverband, wie GMS)

4.3 Weser und Abzweige in den Mittelland-Kanal (MLK)

Randbedingungen:

frei fließender Fluss

Fließgeschwindigkeit: ca. 5 km/h

Wasserstraßenklasse:

unterhalb Mindener Kreuz: IV

oberhalb Mindener Kreuz¹: III

Die Größe der Schiffe richtet sich maßgeblich nach den Schleusenabmessungen im nördlichen bzw. südlichen Abzweig in den MLK:

Schleuse nördl. Abzweig in den MLK: 10 m x 85 m

Schleuse südl. Abzweig in den MLK: 10 m x 82 m

¹ In diesem Bereich findet Güterschifffahrt in verschwindend geringem Umfang statt, so dass dieser Bereich in den nachfolgenden Berechnungen nicht berücksichtigt wird.

4.3.1 Flottenstruktur

Um die Flottenstruktur festlegen zu können, wird der für diesen Abschnitt als repräsentativ anzusehende Weserabschnitt 2, beladene Schiffe, Bergfahrt, herangezogen. Es ist davon auszugehen, dass sich die Flottenstruktur im WA1 mit einer sehr geringen Binnenschifffahrt und in den Abzweigungen zum MLK nicht ändert.

MOTORSCHIFFE

Gemäß Weserabschnitt 2 beträgt die

$$\text{Tragfähigkeit pro Einheit} = \frac{1.134 \cdot 10^3 \text{ t}}{1.204} = 942 \text{ t}$$

Hieraus resultiert der Schiffstyp "Gustav Koenigs".

LEICHTER

Diese haben einen relativ kleinen Anteil und werden aufgrund der Tragfähigkeit pro Leichter ($\leq 1.000 \text{ t}$ Tragfähigkeit) wie der Schiffstyp "Gustav Koenigs" bewertet. Mit dieser Festlegung kann die Flottenstruktur mit folgendem Berechnungsschema festgelegt werden:

Gustav Koenigs
Anzahl Motorschiffe + Anzahl Leichter

Abb. 4.13: Berechnungsschema für die Flottenstruktur auf der Weser

4.3.2 Tiefgänge

4.3.2.1 Beladene Schiffe

Gütermenge pro Schiff und Tiefgang:

$$G_{\text{GK}} = \frac{888.000 \text{ t}}{1.204} = 738 \text{ t}$$

$T = 1,90 \text{ m}$ aus Tragfähigkeitskurve "Gustav Koenigs"

4.3.2.2 Unbeladene Schiffe

Leertiefgang:

"Gustav Koenigs": 0,65 m

4.4 Rhein-Herne-Kanal (RHK)

Randbedingungen:

Wasserstraßenklasse: IV

Schleusenabmessungen: 12 m x 190 m

4.4.1 Flottenstruktur

Die Ermittlung der Flottenstruktur erfolgt auf Basis der Daten des RHK-Abschnitt 1, beladene Schiffe, Fahrt nach Westen. Es ist davon auszugehen, dass die Flottenstruktur in östlicher und westlicher Richtung die gleiche ist, (es gehen keine Schiffe verloren) und demzufolge die Fahrt nach Westen willkürlich festgelegt wird.

MOTORSCHIFFE

$$\text{Tragfähigkeit pro Schiff} = \frac{9.014 \cdot 10^3 \text{ t}}{7.962} = 1.132 \text{ t}$$

Wie bei der Ruhr mit einer Tragfähigkeit pro Schiff von 1.170 t werden auch hier die Schiffstypen "Gustav Koenigs" und "Johann Welker" herangezogen und zwar ebenfalls zu 80 % bzw. 20 %.

LEICHTER

Die Größe der Schleusen mit 12 m x 190 m erlaubt das Befahren von Koppelverbänden. Da in den Kanälen der Typ "GMS" nur selten anzutreffen ist, werden Leichter im Koppelverband mit Motorschiff "Johann Welker" berücksichtigt. Für die Flottenstruktur ergibt sich folgendes Berechnungsschema:

1	2	3
Gustav Koenigs	Johann Welker	Koppelverband
Anz. Motorschiff • 0,8	Anz. Motorschiff • 0,2 -Spalte 3	Anzahl Leichter

Abb. 4.14: Berechnungsschema für die Flottenstruktur auf dem Rhein-Herne-Kanal (RHK)

4.4.2 Tiefgänge

Die Berechnung der Tiefgänge erfolgt in der gleichen Weise wie zuvor für die Ruhr in Abschnitt 4.2.2 beschrieben. Die Ladungs-Verteilungsfaktoren betragen somit

$$\begin{aligned} K_{GK, L} &= 0,765 \\ K_{JW, L} &= 0,235, \end{aligned}$$

weil das gleiche Flottenverhältnis zwischen “Gustav Koenigs” und “Johann Welker” mit 0,80 und 0,20 und der gleiche Tragfähigkeits-Verteilungsfaktor mit 0,449 zu 0,551 zugrunde gelegt werden.

4.5 Wesel-Datteln-Kanal (WDK)

Randbedingungen:

Wasserstraßenklasse: IV

Schleusenabmessungen: 12 m x 220 m

4.5.1 Flottenstruktur

Als Basis wird der WDK-Abschnitt 1, beladene Schiffe, Fahrt nach Westen, herangezogen.

MOTORSCHIFFE

$$\text{Tragfähigkeit pro Schiff} = \frac{7.539 \cdot 10^3 \text{ t}}{6.971} = 1.081 \text{ t}$$

Auch hier werden, wie bei der Ruhr mit einer Tragfähigkeit pro Schiff von 1.170 t, nur die Schiffstypen “Gustav Koenigs” mit einem Anteil von 80 % und “Johann Welker” mit 20 % berücksichtigt, obwohl im Kanal auch GMS, jedoch nur selten, anzutreffen sind.

LEICHTER

Diese werden wie beim RHK als Koppelverband mit dem Motorschiff “Johann Welker” berücksichtigt. Somit ergibt sich für die Berechnung der Flottenstruktur folgendes Schema:

1	2	3
Gustav Koenigs	Johann Welker	Koppel-verband
Anz. Motorschiff • 0,8	Anz. Motorschiff • 0,2 -Spalte 3	Anzahl Leichter

Abb. 4.15: Berechnungsschema für die Flottenstruktur auf dem Wesel-Datteln-Kanal (WDK)

4.5.2 Tiefgänge

Die Tiefgänge berechnen sich wie in Abschnitt 4.2.2 für die Ruhr beschrieben. Auch hier betragen die Ladungs-Verteilungsfaktoren

$$K_{GK, L} = 0,765$$

$$K_{JW, L} = 0,235.$$

4.6 Datteln-Hamm-Kanal (DHK)

Randbedingungen:

Wasserstraßenklasse: III

Schleusenabmessungen: 9,9 m x 82 m

4.6.1 Flottenstruktur

Als Basis dient der DHK-Abschnitt 1, beladene Schiffe, Fahrt nach Osten. Die Fahrt nach Osten wird im Gegensatz zu den vorherigen Kanälen deshalb gewählt, weil in westliche Richtung fast ausschließlich leere Schiffe verkehren. Beim DHK handelt es sich um einen nicht durchgehenden Kanal: Es werden vor allem Rohprodukte mit dem Binnenschiff hinein -, jedoch die hieraus gewonnenen Halb- und Fertigprodukte nur in geringem Umfang mit dem Binnenschiff herausgefahren.

MOTORSCHIFFE

$$\text{Tragfähigkeit pro Schiff} = \frac{2.000 \cdot 10^3 \text{ t}}{1.866} = 1.072 \text{ t}$$

Die errechnete Tragfähigkeit pro Schiff ist gering, weshalb nachfolgend nur der Schiffstyp "Gustav Koenigs" (1.100 t) berücksichtigt wird.

LEICHTER

Der relativ kleine Anteil wird wie "Gustav Koenigs" bewertet. Damit ergibt sich nachfolgendes Schema für die Berechnung der Flottenstruktur:

Gustav Koenigs
Anzahl Motorschiffe + Anzahl Leichter

Abb. 4.16: Berechnungsschema für die Flottenstruktur auf dem Datteln-Hamm-Kanal (DHK)

4.6.2 Tiefgänge

Die Berechnung der Tiefgänge wird wie zuvor für die Weser in Abschnitt 4.3.2 beschrieben vorgenommen.

4.7 Mittelland-Kanal (MLK)

Randbedingungen:

Wasserstraßenklasse:

III

Schleusenabmessungen:

keine Schleuse bis Minden, jedoch sind zu beachten:

DEK Münster 12 m x 223 m (größte Schleuse)

Bevergen 10 m x 163 m

4.7.1 Flottenstruktur

Für die Berechnung wird der MLK-Abschnitt 1, beladene Schiffe, Fahrt nach Westen, zugrunde gelegt.

MOTORSCHIFFE

$$\text{Tragfähigkeit pro Schiff} = \frac{6.272 \cdot 10^3 \text{ t}}{6.593} = 951 \text{ t}$$

Die gemittelte Tragfähigkeit pro Schiff ist kleiner als die des Schiffstyps "Gustav Koenigs" (1.100 t). Möglicherweise ist in diesem Wasserstraßenbereich ein relativ hoher Anteil kleinerer osteuropäischer Schiffe im Einsatz. Da eine Abschätzung dieses Flottenanteils aufgrund der Datenlage nicht möglich ist, andererseits davon ausgegangen werden kann, dass der Brennstoffverbrauch der kleineren osteuropäischen Schiffe sich nicht wesentlich von dem des größeren "Gustav Koenigs" unterscheidet, werden nachfolgend diese Einheiten ebenfalls wie "Gustav Koenigs" behandelt.

LEICHTER

$$\text{Tragfähigkeit pro Einheit} = \frac{99.000 \text{ t}}{140} = 707 \text{ t}$$

Der Anteil der Leichter ist mit weniger als 2 % relativ klein. Daneben ist die Tragfähigkeit pro Einheit deutlich geringer als die der Europa-Leichter. Der Grund ist, dass in diesem Fahrtbereich verstärkt auch Leichter der Deutschen Binnenreederei mit deutlich geringerer Tragfähigkeit eingesetzt werden. Bei den nachfolgenden Betrachtungen werden die Leichter wie der Schiffstyp "Gustav Koenigs" bewertet.

Es ergibt sich folgendes Schema für die Berechnung der Flottenstruktur:

Gustav Koenigs
Anzahl Motorschiffe + Anzahl Leichter

Abb. 4.17: Berechnungsschema für die Flottenstruktur auf dem Mittelland-Kanal (MLK)

4.7.2 Tiefgänge

Die Tiefgänge können wie bei der Weser (Abschnitt 4.3.2) abgeschätzt werden.

4.8 Dortmund-Ems-Kanal (DEK)

Randbedingungen:

Wasserstraßenklasse: IV

Schleusenabmessungen: Münster 12 m x 223 m (größte Schleuse)
Bevergen 10 m x 163 m

4.8.1 Flottenstruktur

Die Berechnung erfolgt auf Basis des DEK-Abschnitts 3 (Schleuse Münster), beladene Schiffe, Fahrt nach Süden.

MOTORSCHIFFE

$$\text{Tragfähigkeit pro Schiff} = \frac{6.395 \cdot 10^3 \text{ t}}{6.590} = 970 \text{ t}$$

Die Flottenstruktur und damit auch die Tragfähigkeitswerte pro Schiff sind mit denen des MLK vergleichbar, so dass auch in diesem Fall nur der Schiffstyp "Gustav Koenigs" in die Berechnungen einbezogen wird.

LEICHTER

$$\text{Tragfähigkeit pro Einheit} = \frac{94.000 \text{ t}}{133} = 706 \text{ t}$$

Diese Werte entsprechen ebenfalls denen des MLK, so dass von einer vergleichbaren Leichterstruktur auszugehen ist, und die Leichter wie der Schiffstyp "Gustav Koenigs" bewertet werden können. Es ergibt sich das nachfolgende Schema für die Berechnung der Flottenstruktur:

Gustav Koenigs
Anzahl Motorschiffe + Anzahl Leichter

Abb. 4.18: Berechnungsschema für die Flottenstruktur auf dem Dortmund-Ems-Kanal (DEK)

4.8.2 Tiefgänge

Die Abschätzung der Tiefgänge wird wie in Abschnitt 4.3.2 für die Weser dargestellt vorgenommen.

5. Ermittlung der eingesetzten Leistung bzw. des Brennstoffverbrauchs

In Kapitel 2 wird dargelegt, dass bei der Ermittlung der Brennstoff-Verbrauchswerte zwischen dem Fahrtgebiet "frei fließender Fluss", wie z.B. dem Rhein, und den übrigen Fahrtgebieten, wie dem "staugeregelten Fluss" bzw. Kanalsystem zu unterscheiden ist.

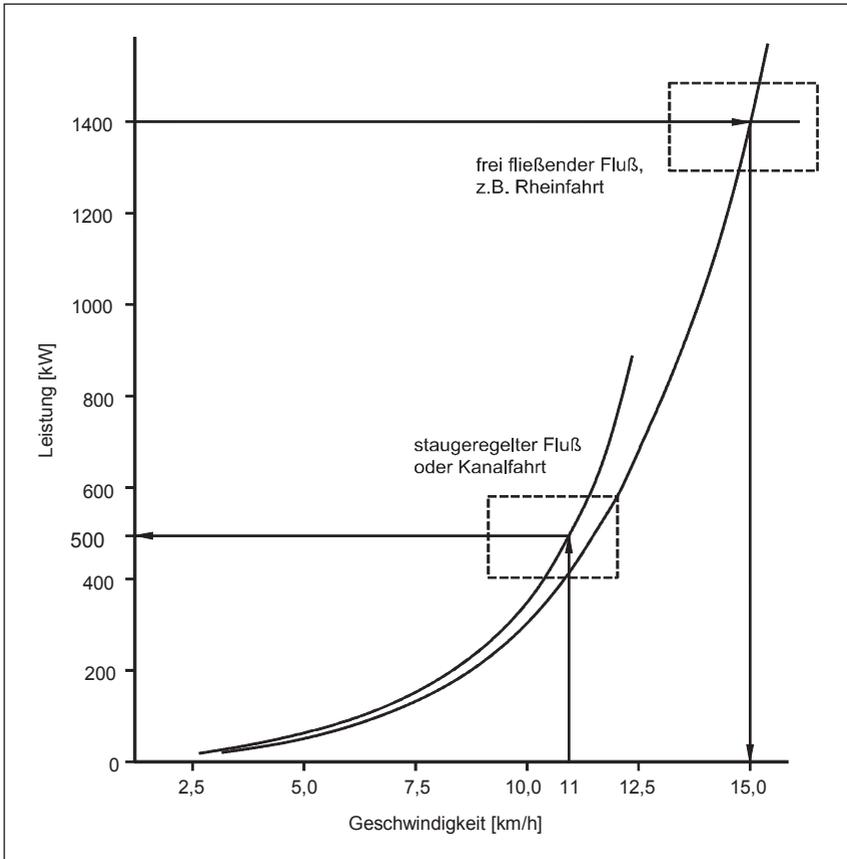


Abb. 5.1: Prinzipielle Darstellung des Leistungs-/Geschwindigkeitsverhaltens eines Schiffes

Den folgenden Überlegungen liegt das typische Leistungs-/Geschwindigkeitsverhalten eines Schiffes zugrunde, wie es in Abb. 5.1 prinzipiell dargestellt wird.

Da auf dem Rhein keine Geschwindigkeitseinschränkung besteht, wird dort die zur Verfügung stehende Leistung zur Erhöhung der Schiffsgeschwindigkeit weitgehend eingesetzt. Bei staugeregelten Flüssen und Kanälen darf eine maximale Geschwindigkeit nicht überschritten werden, weshalb die verfügbare Leistung nicht vollständig genutzt werden kann.

5.1 Frei fließender Fluss

Auf dem Rhein gilt gemäß Rheinschiffs-Untersuchungsordnung eine Mindestgeschwindigkeit gegenüber Wasser von 13 km/h. Es ist davon auszugehen, dass die installierte Antriebsleistung des Schiffes - zumindest in der Bergfahrt - größtenteils zur Anwendung kommt. Für die verschiedenen Schiffstypen werden deshalb folgende durchschnittlich zur Verfügung stehende Antriebsleistungen zugrunde gelegt.

Schiffstyp	zur Verfügung stehende Antriebsleistung [kW]
Gustav Koenigs	750
Johann Welker	1.000
GMS	1.200
Koppelverband	1.300
Schubverband	3.000

Abb. 5.2: Für die verschiedenen Schiffstypen durchschnittlich zur Verfügung stehende Antriebsleistung

Mögliche Abweichungen von den tatsächlich im praktischen Betrieb eingesetzten Leistungen besitzen keinen maßgeblichen Einfluss auf die zu ermittelnden Brennstoffverbräuche. Dies liegt darin begründet, dass sich die in die Verbrauchsrechnung einfließende Leistung und die resultierende Schiffsgeschwindigkeit aufgrund der geringen Krümmung der Leistungs-/Geschwindigkeitskurve in diesem Einsatzbereich (siehe Abb. 5.1) mehr oder weniger proportional verhalten. Eine möglicherweise zu hoch angesetzte Leistung wird durch die höhere Geschwindigkeit kompensiert.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass ein Koppelverband einen deutlich größeren Leistungsbedarf hat als ein allein fahrendes Motorschiff. Deshalb verfügen Motorschiffe, die für die Fahrt im Koppelverband konzipiert wurden, neben den erforderlichen Schubeinrichtungen noch über zusätzliche Antriebsleistungen.

Auf Basis diverser Modellversuchsergebnisse [6, 7] sind die Geschwindigkeiten durch das Wasser bei verschiedenen Leistungen und unterschiedlichen Tiefgängen festgestellt worden. Dabei wird berücksichtigt, dass bei Schubverbänden und Koppelverbänden in der Grobausführung ein um ca. 30 % und bei Motorschiffen ein um ca. 20 % höherer Leistungsbedarf gegenüber den Modellversuchsergebnissen erforderlich wird [6], weil im Modellversuch quasi ideale Randbedingungen herrschen. Einflussfaktoren, die den Leistungsbedarf im praktischen Betrieb erhöhen (Ruder-, Stopp- und Anfahrmanöver, Außenhautrauigkeit, Widerstände durch Anker, Bugstrahlöffnungen, usw.), treten hier nicht auf. Außerdem wird bei der Geschwindigkeitsermittlung eine Wassertiefe von 5 m zugrunde gelegt. Diese Wassertiefe stellt einen Mittelwert im Bereich des Niederrheins dar und berücksichtigt den sich z.T. stark ändernden Verlauf der Flusssole und die Wasserstände über einen mehrjährigen Zeitraum. Die resultierenden Schiffsgeschwindigkeiten durch das Wasser sind in tabellarischer Form in Anlage 3 dargestellt.

Geschwindigkeitswerte für die Bergfahrt:

Für die Berechnung der Geschwindigkeit V_{sBerg} gegenüber Land geht die Strömungsgeschwindigkeit des Rheins mit $V_{st} = 6 \text{ km/h}$ in die Rechnung ein.

Für die Fahrt zu Berg gilt:

$$V_{sBerg} = V_{sw} - 6 \text{ km/h.}$$

Geschwindigkeit für die Talfahrt:

In der Talfahrt werden üblicherweise geringere Leistungen als in der Bergfahrt eingesetzt. Da sich jedoch die entsprechenden Geschwindigkeiten gegen Wasser in etwa proportional zur Leistungsreduzierung verringern würden (siehe zuvor und Abb. 5.1), ist in der Talfahrt eine Umrechnung auf eine geringere Leistung nicht erforderlich, d.h., es können auch hier die Leistungswerte der Bergfahrt herangezogen werden.

Für die Berechnung der Geschwindigkeit V_{sTal} gegenüber Land wird ebenfalls die Strömungsgeschwindigkeit $V_{st} = 6 \text{ km/h}$ verwendet.

Für die Talfahrt gilt:

$$V_{sTal} = V_{sw} + 6 \text{ km/h.}$$

Auf der Weser gelten prinzipiell die gleichen Randbedingungen, wenn die Schiffsgeschwindigkeit gegenüber Land ermittelt werden soll. Bei der Berg- bzw. Talfahrt ist jedoch die Strömungsgeschwindigkeit von

$$V_{st} = 5 \text{ km/h}$$

zu berücksichtigen.

Mit diesen Schiffsgeschwindigkeiten gegenüber Land lassen sich die Fahrzeit der Schiffe und der Brennstoffverbrauch in jedem Streckenabschnitt errechnen, wenn ein spezifischer Brennstoffverbrauch von $b_e = 0,2 \text{ kg/kWh}$ sowie die errechnete Leistung zugrunde gelegt werden.

5.2 Staugeregelter Fluss und Kanalsystem

Wie bereits in Abb. 5.1 verdeutlicht, ist in diesen Fahrtgebieten zum Schutz der Wasserstraßen-Infrastruktur eine Maximalgeschwindigkeit vorgegeben. In der Kanalfahrt wird folglich nur ein Teil der installierten Leistung zum Erreichen der Maximalgeschwindigkeit genutzt. Zur Ermittlung des Brennstoffverbrauchs ist deshalb die Leistung ermittelt worden, bei der eine bestimmte Schiffsgeschwindigkeit im Kanalsystem bzw. im staugeregelten Fluss erreicht wird [6, 7, 8]. Hierbei wird eine Maximalgeschwindigkeit von 11 km/h bei einem auf den nordrhein-westfälischen Kanälen überwiegend anzutreffenden Trapez-Kanalprofil mit einer Breite von ca. 40 m und einer Wassertiefe von $3,50 \text{ m}$ zugrunde gelegt. Es sei ergänzend angemerkt, dass der Leistungsbedarf - gleiche Schiffsgeschwindigkeit vorausgesetzt - sehr stark vom Flächenverhältnis zwischen dem eingetauchten Schiffsquerschnitt und dem Kanalquerschnitt abhängt. Mit kleiner werdendem Kanalquerschnitt bzw. größer werdendem Schiffsquerschnitt steigt der Leistungsbedarf deutlich an. Dies erklärt sich zum Teil damit, dass in einem solchen Fall eine Erhöhung der "Rückströmung" neben dem Schiff und damit eine Widerstandserhöhung auftritt. Mit der erhöhten Rückströmung ist ein Absinken der Was-

seroberfläche neben dem Schiff und damit auch des Schiffes verbunden, so dass sich der Schiffsboden noch mehr dem Kanalboden nähert. Das führt zu einer weiteren Widerstandserhöhung und im Extremfall zu einer Grundberührung. Die Ergebnisse sind in tabellarischer Form in Anlage 4 dargestellt.

Mit der so ermittelten Antriebsleistung lässt sich der Brennstoffverbrauch in jedem Streckenabschnitt festlegen, wobei auch hier der spezifische Brennstoffverbrauch von $b_e = 0,2 \text{ kg/kWh}$ zugrunde gelegt wird und die erforderliche Verweildauer der Schiffe im jeweiligen Streckenabschnitt durch die festgesetzte Schiffsgeschwindigkeit von 11 km/h errechnet werden kann.

Zur Kontrolle des beschriebenen Berechnungsmodells sind die Verbrauchswerte eines Motorgüterschiffes auf der Fahrt von Ibbenbüren nach Frankfurt mit den tatsächlich gemessenen Werten verglichen und in Anlage 5 dargestellt worden. Der Transportweg umfasst ca. 132 km Kanalfahrt (DEK, RHK), 284 km Rheinfahrt zu Berg und ca. 30 km Fahrt auf einem staugeregelten Fluss (Main). Das Motorschiff "Attache", ein Schiffstyp zwischen den Typen "Gustav Koenigs" und "Johann Welker" transportiert 1.280 t Kohle. Dementsprechend werden die dargestellten Parameter für diesen speziellen Schiffstyp in den Anlagen 3 und 4 linear interpoliert. Der Vergleich des tatsächlich gemessenen und im Reisebericht Nr. 21 dokumentierten Wertes (6.480 l) mit dem errechneten Wert (6.365 l) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Es kann davon ausgegangen werden, dass das entwickelte Berechnungsmodell zu realitätsnahen Ergebnissen führt.

6. Ermittlung der Emissionen

Bei der Wahl der brennstoffspezifischen Emissionsfaktoren wird auf Daten aus [9] zurückgegriffen. Hierbei handelt es sich um Zahlenwerte, die vom Germanischen Lloyd, Hamburg, der MTU Motoren- und Turbinen-Union Friedrichshafen GmbH, Friedrichshafen, und den Motorenwerken Mannheim AG, Mannheim, festgelegt wurden.

Daneben liegen eine Publikation der "State Pollution Authority, Norway", sowie Arbeitspapiere, die im Rahmen des "Workshops zu Schiffsemissionen" in Oslo im Dezember 1989 und Juni 1990 erarbeitet worden sind, zugrunde.

Nach Auswertung der o.g. Quellen können für verschiedene Bezugsjahre Emissionsfaktoren gemäß [9] in [g/kg Dieselkraftstoff] angegeben werden:

Luftschadstoff	1985	1987	2000	2010
CO	6,5	6,5	5,0	5,0
HC	3,4	3,4	3,4	3,4
NO _x	57,0	54,0	41,0	27,0
SO ₂	4,7	4,0	2,7	2,0
Ruß	1,0	1,0	0,9	0,8
CO ₂	3,15 • 10 ³			

Abb. 6.1: Entwicklung der spezifischen Emissionsfaktoren in der Binnenschifffahrt 1985 bis 2010 nach Luftschadstoffen (g/kg Dieselkraftstoff) [9]

Zur Berechnung der SO₂-Emissionen werden dieselben Schwefelanteile im Brennstoff angenommen wie beim Dieselkraftstoff im Straßen- und Schienenverkehr. Bei den Emissionen von CO₂ wird - wie bei allen Verkehrsträgern - die vollständig Oxidation der CO- und HC-Emissionen unterstellt. Vergleicht man diese spezifischen Emissionswerte mit den Werten aus [10] und [11], sind zum Teil beträchtliche Unterschiede festzustellen, obwohl in allen Fällen Dieselkraftstoff (Marine-Gasöl nicht Marine-Dieselöl) als Brennstoff zugrunde gelegt wird. Es ist davon auszugehen, dass der bei Landfahrzeugen verwendete Dieselkraftstoff dem in der Schifffahrt eingesetzten Marine-Gasöl entspricht.

Die spezifischen Emissionsfaktoren nach [9] werden sowohl vom BMV als auch von der ZKR (Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Straßburg) für die Beurteilung der von der Binnenschifffahrt verursachten Umweltbelastung herangezogen. Deshalb soll im Emissionsmodell der Mittelwert der Jahre 1987 und 2000 den Berechnungen zugrunde gelegt werden. Hiernach ergeben sich nachfolgende spezifischen Emissionsfaktoren:

Luftschadstoff	K_{Schad} [g/km Dieseldieselkraftstoff]
CO	5,8
HC	3,4
NO _x	48,0
SO ₂	3,4
Ruß	1,0
CO ₂	$3,15 \cdot 10^3$

Abb. 6.2: In die Berechnung eingegangene spezifische Emissionsfaktoren K_{Schad} der verschiedenen Luftschadstoffe (g/kg Dieseldieselkraftstoff)

7. Schleusen, Häfen und sonstige Schifffahrt

7.1 Schleusen

7.1.1 Allgemein

Die Schleusen werden im Emissionsmodell als Punktquellen bewertet. Punktquellen liegen als stationäre Emissionsquellen in einem bestimmten Rasterquadrat und haben nur eine geringe räumliche Ausdehnung. Die Punktquelle Schleuse ist immer Teil einer Linienquelle des entsprechenden Gewässers, das in den bisherigen Berechnungen bereits ohne Berücksichtigung der Schleusen erfasst wurde. D.h., die Schiffe passieren bei der Erfassung der Emissionen längs dieser Linienquelle die Schleuse ohne Änderung ihres Betriebszustandes. Der Punktquelle Schleuse wird demnach lediglich der Differenzbetrag an Emissionen zugeordnet, der bei der Schleusung gegenüber der Durchfahrt ohne Schleusung entsteht. Die Emissionen, die der eigentliche Schleusungsvorgang durch den Betrieb der Schleuse freisetzt, finden keine Berücksichtigung, da die Schleusen elektrisch betrieben werden. Zusätzlich fallen leitungs- und wirkungsgradbedingte Verluste im Kraftwerk an. Das Kraftwerk und dessen Emissionen werden im Modell ebenfalls nicht erfasst.

7.1.2 Beschreibung des Schleusenvorgangs

Der Schleusenvorgang wird gemäß Abb. 7.1 in folgende Phasen unterteilt:

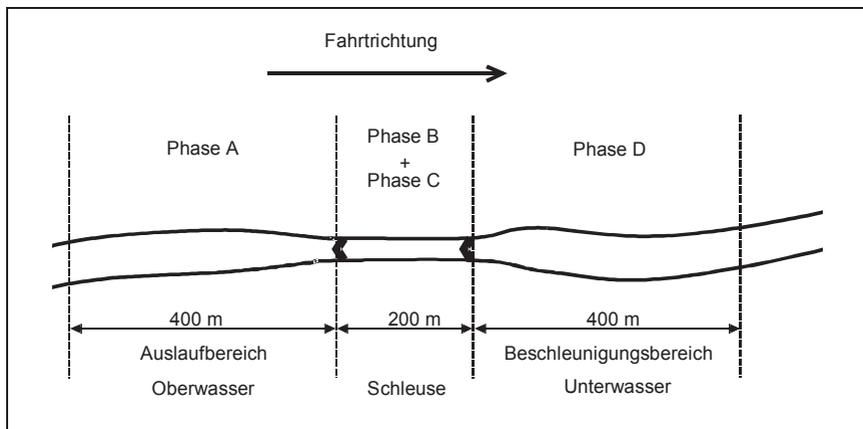


Abb. 7.1: Aufteilung der Schleusenvorgänge in verschiedenen Phasen

- A) Ca. 400 m vor der Schleuse wird die Vortriebsleistung reduziert. Als Leerlaufleistung zum Manövrieren und zum Betrieb der Hilfsaggregate werden 10 % der normalen Betriebsleistung angesetzt.

- B) Die Schleuse hat eine Länge von 200 m. Zum Einfahren in die Schleuse, zum Manövrieren und zum Ausfahren aus der Schleuse werden 20 % der normalen Betriebsleistung benötigt.
- C) Der eigentliche Schleusenvorgang dauert 30 Minuten. Als Leerlaufleistung und zum Betrieb der Hilfsaggregate müssen 10 % der normalen Betriebsleistung bereitgestellt werden.
- D) Nach Ausfahren aus der Schleuse legt das Schiff eine Wegstrecke von 400 m zurück, um bei normaler Betriebsleistung wieder auf die dem Gewässer entsprechende Geschwindigkeit zu kommen.

Der beschriebene Schleusenvorgang wird von allen Schiffen dieser Wasserstraße durchlaufen. Auch die Leistungsanteile in den verschiedenen Phasen der Schleusung sind für alle Schiffstypen gleich. Bei der Berechnung des Brennstoffverbrauchs und der Emissionen kann deshalb vom Streckenverbrauch der Schiffsflotte ausgegangen werden, die diese Wasserstraße befährt.

7.1.3 Berechnung des Brennstoffbedarfs

Bekannt sind:

Streckenverbrauch BrV [kg]

Geschwindigkeit auf dem Gewässerabschnitt V_g (11 km/h)

Der Verbrauch pro km errechnet sich aus

$$\boxed{BrV_s = BrV/L} \quad [\text{kg/km}] \quad (13)$$

Hieraus folgt der Brennstoffverbrauch pro Stunde

$$\boxed{BrV_h = BrV_s \cdot V_g} \quad [\text{kg/h}] \quad (13a)$$

und pro Schleusenphase

$$\boxed{BrV_{A-D} = BrV_s \cdot V_g \cdot t} \quad [\text{kg}] \quad (14)$$

Für die Schleusenphasen A und D wird eine gleichmäßige und gleich große Verzögerung bzw. Beschleunigung vorausgesetzt. Damit errechnet sich die Verzögerungs- bzw. Beschleunigungszeit zu

$$t_{A,D} = 2 \cdot s / V_g \quad [\text{h}]$$

Mit dem Verzögerungs- bzw. Beschleunigungsweg $s = 400$ m ergibt sich

$$t_{A,D} = 0,8 / V_g \quad [\text{h}]$$

Unter Berücksichtigung der Einsatzleistung von 10 % bzw. 100 % der Betriebsleistung kann der Brennstoffverbrauch mit

$$\text{BrV}_A = 0,08 \cdot \text{BrV}_s \quad [\text{kg}]$$

$$\text{BrV}_D = 0,8 \cdot \text{BrV}_s \quad [\text{kg}]$$

berechnet werden.

Für die Schleusenphase B wird eine konstante Einfahrtgeschwindigkeit angenommen, so dass für den Brennstoffverbrauch bei $s = 200 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{BrV}_B &= 0,2 \cdot \text{BrV}_s \cdot s \\ &= 0,04 \cdot \text{BrV}_s \quad [\text{kg}] \end{aligned}$$

angeben werden kann.

Die Schleusungsphase C dauert ca. 30 Minuten. Damit lautet der Brennstoffverbrauch wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{BrV}_C &= 0,1 \cdot 0,5 \cdot \text{BrV}_h \\ &= 0,1 \cdot 0,5 \cdot \text{BrV}_s \cdot V_g \\ &= 0,55 \cdot \text{BrV}_s \quad [\text{kg}] \end{aligned}$$

Fasst man die Brennstoffverbräuche der einzelnen Schleusungsphasen zusammen, ergibt sich für den gesamten Schleusenvorgang folgende Berechnungsformel:

$$\begin{aligned} \text{BrV}_{\text{Schl}} &= \text{BrV}_A + \text{BrV}_B + \text{BrV}_C + \text{BrV}_D = (0,08 + 0,04 + 0,55 + 0,8) \cdot \text{BrV}_s \\ \text{BrV}_{\text{Schl}} &= 1,47 \cdot \text{BrV}_s \quad [\text{kg}] \end{aligned}$$

und für den zusätzlichen Brennstoffbedarf

$$\text{BrV}_{\text{zus}} = 0,47 \cdot \text{BrV}_s \quad [\text{kg}]$$

Als Resultat kann festgehalten werden, dass sich der Brennstoffverbrauch der Schiffe kaum von dem Brennstoffverbrauch unterscheidet, der zum Durchfahren der gleichen Strecke ohne Schleuse benötigt worden wäre.

7.2 Häfen

7.2.1 Allgemein

Um den Brennstoffverbrauch in den Häfen zu modellieren, sind die statistischen Angaben herangezogen worden, die bereits für die Berechnung der Verbrauchswerte in den jeweiligen Wasserstraßenabschnitten verwendet worden sind. Auch hier gilt das Prinzip, dass keine Schiffe im Hafen "verschwinden", d. h. Anzahl der Schiffe und Flottenstruktur sind bei Einfahrt und Ausfahrt identisch. Aus diesem Grund wird die Anzahl der leeren Schiffe, wie bereits zuvor ausführlich beschrieben, erhöht, so dass die Zahl der aus- und einfahrenden Schiffe gleich wird.

7.2.2 Flottenstruktur

Die Flottenstruktur der Motorschiffe entspricht der auf der benachbarten Wasserstraße. Bei den Leichtern und ihre Aufteilung in Koppel- und Schubverbände können jedoch nicht die Werte der benachbarten Wasserstraße übernommen werden, weil in einigen Häfen nur Schubverbände (z. B. Schwelgern), in anderen nur Koppelverbände (z. B. Wesel) und in weiteren Koppel- und Schubverbände (z. B. Ruhrort) einlaufen. Aus diesem Grund ist jeder Hafen gesondert betrachtet und die Aufteilung in Koppel- und Schubverbände sowie der Koppelverbände auf die Motorschiffstypen "Johann Welker" und "GMS" auf der Rheinschiene gemäß Abb. 7.2 festgelegt worden.

Häfen und Abzweigungen	Aufteilung der Leichter in		
	Koppelverband		Schubverband
	Johann Welker	GMS	
Kleve	-	-	-
Emmerich	-	-	-
Wesel	100 %	-	-
	34 %	66 %	
Wesel-Datteln-Kanal	100 %	-	-
	100 %	-	
Ossenberg	100 %	-	-
	34 %	66 %	
Orsoy	100 %	-	-
	34 %	66 %	
Walsum	100 %	-	-
	34 %	66 %	
Schwelgern	-	-	100 %
	-	-	
Homberg Rheinpr.	100 %	-	-
	34 %	66 %	
Ruhrort	20 %	-	80 %
	34 %	66 %	
Hafenkanal	100 %	-	-
	100 %	-	
Homberg Sachtl.	100 %	-	-
	34 %	66 %	
Parallelhafen	20 %	-	80 %
	34 %	66 %	
Hochfeld	100 %	-	-
	34 %	66 %	
Rheinhausen	-	-	-
Huckingen	20 %	-	80 %
	34 %	66 %	
Krefeld-Uerdingen und sonstige Häfen	100 %	-	-
	34 %	66 %	

Abb. 7.2: Aufteilung der Leichter in Koppel- und Schubverbände sowie der Koppelverbände auf die Schiffstypen „Johann Welker“ und „GMS“ bei der Ein- und Ausfahrt der Häfen entlang der Rheinschiene

7.2.3 Brennstoffverbrauchsrechnung in den Häfen

Gemäß Formel (13) ist der Streckenverbrauch BrV [kg] bekannt, wobei auf den Flüssen zwischen BrV_{Berg} und BrV_{Tal} zu unterscheiden ist. Für die Fahrten in den Häfen werden ca. 20 % des aus Berg- und Talfahrt gemittelten Streckenverbrauchs für jede Schiffs-Typenklasse zugrunde gelegt. Der Brennstoffverbrauch pro Hafenkilometer errechnet sich nach der Formel:

$$\text{BrV}_{\text{S,Hafen}} = \sum_{\text{Typ}} \frac{\frac{\text{BrV}_{\text{Typ,Berg}} + \text{BrV}_{\text{Typ,Tal}}}{2} \cdot n_{\text{Typ,Hafen}}}{2 \cdot L} \cdot n_{\text{Typ,Hafen}} \cdot \text{PL} \quad (15)$$

BrV_{S, Hafen} Brennstoffverbrauch der Flotte im Hafen pro km [kg/km]
n_{Typ} Anzahl der Schiffe eines Typs auf der Wasserstraße
n_{Typ, Hafen} Anzahl der Schiffe eines Typs im Hafen
L Länge des Wasserstraßenabschnittes [km]
PL prozentualer Leistungsanteil für die Fahrt im Hafen (20 %)

Um den Brennstoffverbrauch abschätzen zu können, werden die Häfen in Hafenabschnitte unterteilt (siehe Hafenskizzen im Anhang). Die Aufteilung ist notwendig, weil die Aktivitäten innerhalb eines Hafens unterschiedlich verteilt sind. So passieren z.B. alle Schiffe den Hafeneingangsbereich, während andere Bereiche mehr oder weniger von den Schiffen angelaufen werden.

Beispielhaft sei hier die Berechnung des Brennstoffverbrauchs der Schiffe im Hafen Neuss dargestellt. Der Hafen Neuss ist in 5 Abschnitte eingeteilt. Für jeden Abschnitt wird festgelegt, wieviel Prozent der in den Hafen einfahrenden Schiffe diesen Abschnitt befahren, und wieviel Prozent der Länge dieses Abschnittes sie durchfahren. Legen Schiffe in dem betrachteten Abschnitt an, so wird eine Fahrtweite von 50 % angenommen. Für den Hafenabschnitt 1 beträgt der Anteil der Schiffe und der genutzten Länge 100 %, da alle Schiffe diesen Abschnitt in voller Länge durchfahren. Aus Abschnitt 1 fahren 30 % der Schiffe nach Abschnitt 2 und legen dort an. 70 % aller Schiffe durchfahren den Abschnitt 3 vollständig. Die Hälfte dieser Schiffe, nämlich jeweils 35 %, fahren in Abschnitt 4 und 5 und legen dort an. Daraus kann sich für jeden Hafenabschnitt ein Belegungsgrad Bg abgeleitet werden, der sich aus dem Anteil der Schiffe, die diesen Abschnitt befahren und dem Anteil der genutzten Länge in diesem Abschnitt ergibt. Für den Hafen Neuss sind in der folgenden Abb. 7.3 aufgeführt:

Hafenabschnitt	Anteil aller Schiffe [1]	genutzte Länge [2]	Belegungsgrad ([1]•[2])
1	1,00	1,00	1,00
2	0,30	0,50	0,15
3	0,70	1,00	0,70
4	0,35	0,50	0,175
5	0,35	0,50	0,175

Abb. 7.3: Ermittlung des Belegungsgrades im Hafen Neuss

Bei bekannter Länge des Hafenschnittes und bekanntem kilometerbezogenem Treibstoffverbrauch der Flotte im Hafen lässt sich mit dem Belegungsgrad der Treibstoffverbrauch für jeden Abschnitt ermitteln:

$$\boxed{\text{BrV}_{\text{Hafen}} = \text{Bg} \cdot L_{\text{Ab}} \cdot \text{BrV}_{\text{S,Hafen}}} \quad (16)$$

Häfen, die direkt an der Wasserstraße liegen und damit als Punktquelle definiert werden, wird zur Berechnung des Brennstoffverbrauchs eine Länge von 200 m zugewiesen. Bei der Festlegung der Hafenslänge wird davon ausgegangen, dass die Kailänge das Anlegen eines Koppelverbandes (ca. 185 m) oder von 2 hintereinander liegenden Motorschiffen ermöglicht. Sollten weitere Schiffe abgefertigt werden, besteht die Möglichkeit, dass diese außen neben den bereits festgemachten Schiffe anlegen. Die Summe der Verbrauchswerte innerhalb der Hafenschnittes ergibt den Gesamtverbrauch der Flotte im jeweiligen Hafen.

7.3 Passagierschiffahrt, Behörden- und sonstige Fahrzeuge

7.3.1 Passagierschiffahrt

Bei der Passagierschiffahrt auf den nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen handelt es sich bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Fährverkehr) um Freizeitschiffahrt. Der Einsatz der Schiffe findet überwiegend in den Sommermonaten statt. Da im Vergleich zu den Motorgüterschiffen die Anzahl deutlich geringer ist, und auch die Antriebsleistung weit unterhalb der eines Motorgüterschiffes liegt, spielen der Brennstoffverbrauch und damit auch die Emission nur eine untergeordnete Rolle. Am Beispiel des Rheins soll der Brennstoffverbrauch der Passagierschiffe ermittelt werden, wobei zunächst zwischen Kabinenschiffen und Tagesschiffen unterschieden wird.

7.3.1.1 Kabinenschiffe

Für die Kabinenschiffe gilt:

Nach [5] sind im Jahr 1996 25 deutsche Kabinenschiffe zwischen der deutsch-niederländischen Grenze und der Grenze zu Rheinland-Pfalz im Einsatz. Der Anteil ausländischer Fahrzeuge wird ebenfalls auf ca. 25 Einheiten geschätzt. Legt man eine Rundreisezeit von ca. 14 Tagen zugrunde, so ergibt sich für die Schifffahrtsaison folgendes Bild:

Schifffahrtssaison	Anteil eingesetzte Schiffe	Anzahl eingesetzte Schiffe	Passagen pro Tag (Berg + Tal)
Mai - Juni	50 %	25	2
Juli - September	80 %	40	3
Oktober	50 %	25	2

Abb. 7.4: Ermittlung der Passagen der Kabinenschiffe pro Tag

Daneben werden noch weitere Festlegungen getroffen:

durchschnittlich eingesetzte Leistung:	800 kW
Geschwindigkeit durch das Wasser:	25 km/h
Geschwindigkeit zu Berg (- 6 km/h):	19 km/h
Geschwindigkeit zu Tal (+ 6 km/h):	31 km/h
spezifischer Brennstoffverbrauch:	0,2 kg/kWh

Mit diesen Angaben errechnet sich ein Brennstoffverbrauch pro Durchfahrt und km gemäß der Gleichung

$$\text{BrV}_{\text{KS}} = \frac{N_{\text{KS}} \cdot b_e}{V_{\text{KS}}} \quad (17)$$

von:

BrV _{KS,Berg}	8,42 kg/km
BrV _{KS,Tal}	5,16 kg/km
<hr/>	
BrV _{KS,Berg + Tal}	13,6 kg/km
50 % Zuschlag für Küchen, Klima, Heizung usw.	6,8 kg/km
<hr/>	
BrV _{KSges,Berg + Tal}	20,4 kg/km

Wird dieser Wert auf die Schifffahrtssaison übertragen und legt man 30 Tage pro Monat zugrunde, so ergibt sich:

Schifffahrtssaison	Passagen pro Tag (Berg + Tal)	BrV _{KS, Tag} [kg/km Tag]	BrV _{KS, Saison} [t/km Saison]
Mai - Juni	2	41	2,46
Juli - September	3	61	5,49
Oktober	2	41	1,23
Gesamt			9,18

Abb. 7.5: Ermittlung des Brennstoffverbrauchs der Kabinenschiffe

7.3.1.2 Tagesschiffe

Einso wie Kabinenschiffe werden die Tagesschiffe nur in den Sommermonaten eingesetzt. Die Antriebsleistung der Schiffe richtet sich nach der Größe der Schiffe und liegt zwischen 100 und 800 kW. Schwerpunkte der Tagesschifffahrt auf dem Rhein sind Hafenrundfahrten im Raum Duisburg, Ausflugsverkehr im Raum Kaiserswerth-Düsseldorf-Zons und im Raum Köln-Bonn-Landesgrenze zu Rheinland-Pfalz (Siebengebirge) sowie auf der Ruhr zwischen Mülheim und Kettwig, auf der jedoch in diesem Bereich keine Güterschifffahrt stattfindet.

Am Beispiel des Ausflugsverkehrs im Raum Köln-Bonn-Landesgrenze soll der Brennstoffverbrauch der Tagesschifffahrt demonstriert werden, weil in diesem Bereich die Tagesschifffahrt deutlich intensiver betrieben wird als in den anderen Bereichen. Hierfür wird vorausgesetzt:

Saison:	Mai bis Oktober (6 Monate)
Fahrten:	15 Hin- und 15 Rückreisen pro Tag über den gesamten Zeitraum (Linienschiffahrt)
durchschnittlich eingesetzte Leistung:	500 kW
Geschwindigkeit (im Mittel):	20 km/h

Der Brennstoffverbrauch pro km und Tag errechnet sich nach der Gleichung:

$$\text{BrV}_{\text{TS,Tag}} = \frac{N_{\text{TS}} \cdot b_e \cdot Z}{V_{\text{TS}}} \quad (18)$$

Mit $Z = 15$ Hin- plus 15 Rückfahrten pro Tag ergibt sich

$$\text{BrV}_{\text{TS,Tag}} = 150 \text{ kg/km Tag,}$$

und mit 30 Tagen pro Monat für die gesamte Saison

$$\text{BrV}_{\text{TS,Saison}} = 27 \text{ t/km Saison.}$$

7.3.1.3 Resümee

Werden Kabinen- und Fahrgastschiffahrt für die Saison bzw. das gesamte Jahr zusammengefasst, ergibt sich für den Raum zwischen Köln und der Landesgrenze zu Rheinland-Pfalz ein Verbrauch von

$$\text{BrV}_{\text{PS}} = 36,18 \text{ t/km.}$$

Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem Wert für die Güterschiffahrt z.B. im RA 22 (Köln/Hafen Wesseling) mit ca. 1.628 t/km oder im RA 25 (Bonn-Rheindorf/Grenze zu Rheinland-Pfalz) mit ca. 1.631 t/km, so macht die Passagierschiffahrt auf dem Rhein maximal 2 % der Güterschiffahrt aus. Da dieser Anteil von 2 % sich auf den Teil des Rheins bezieht, auf dem die Passagierschiffahrt relativ stark und die Güterschiffahrt im Vergleich zum Niederrhein geringer ausgeprägt ist, sollte für die Passagierschiffahrt ein Durchschnittswert von ca. 1,0 % zugrunde gelegt werden. Auf den übrigen Binnenwasserstraßen, aber auch auf Binnen- und Stauseen, auf denen während der Sommermonate Passagierschiffahrt stattfindet (z.B. Möhne-, Sorpe- und Biggestausee) sind - mit Ausnahme der Ruhr zwischen Mülheim und Kettwig - die Brennstoffverbräuche gegenüber der Güterschiffahrt äußerst gering und können daher vernachlässigt werden. Für die Ruhr, auf der zwischen Mülheim und Kettwig Tagesschiffahrt aber keine Güterschiffahrt betrieben wird, gilt ebenso die Schifffahrtssaison zwischen Mai und Oktober. Auch für die Anzahl der Fahrten können hier im Mittel 15 Hin- und 15 Rückfahrten pro Tag veranschlagt werden. Im Vergleich zum Rhein sind die Schiffe im Mittel kleiner, und demzufolge ist die Antriebsleistung deutlich niedriger mit ca. 200 kW sowie die Geschwindigkeit mit ca. 15 km/h anzusetzen. Für diesen Teil der Ruhr errechnet sich ein Verbrauch pro km und Saison (Jahr) von

$$\text{BrV}_{\text{TS}} = 14,4 \text{ t/km Saison.}$$

7.3.2 Behörden- und sonstige Fahrzeuge

Am Brennstoffverbrauch für die Passagierschiffahrt wird deutlich, dass deren Anteil mit ca. 1 % des Brennstoffverbrauches der Motorgüterschiffe nur eine untergeordnete Rolle spielt. Überträgt man dieses Ergebnis auf die Behörden- und sonstigen Fahrzeuge (z.B. Freizeitschiffahrt), deren Einsatzzeiten z. T. deutlich unter denen der Passagierschiffe liegen, so sollte der Brennstoffverbrauch für diese vernachlässigt oder der Vollständigkeit halber mit 0,5 % berücksichtigt werden.

7.4 Verteilung der Brennstoffverbräuche und Emissionen auf bestimmte Zeitintervalle

Die Brennstoffverbräuche beziehen sich auf den Jahreszeitraum 1996, d. h. auf 360 Tage, wobei jeder Monat mit 30 Tagen veranschlagt wird. Soll der Verbrauch für andere Zeitintervalle, z. B. einen Tag ermittelt werden, sind diverse Randbedingungen und Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Zunächst ist zwischen dem Verkehr auf dem Rhein und den übrigen Wasserstraßen zu unterscheiden.

7.4.1 Rhein

Beim Rhein müssen Güter- und Passagierschiffahrt getrennt betrachtet werden.

7.4.1.1 Güterschiffahrt

Zeitliche Verteilung des Ladungsaufkommens

Einen wesentlichen Einfluss auf die zeitliche Verteilung des Brennstoffverbrauchs hat das Ladungsaufkommen. Abb. 3.4 und 3.5 stellen die monatlichen Schwankungen dar. Z.B. liegt die transportierte Gütermenge im Februar bei Talfahrt (Abb. 3.5) ca. 40 % unter der des Monats Mai.

Niedrigwasser

Einen weiteren Einfluss auf den Brennstoffverbrauch pro Zeiteinheit hat der Wasserstand des Rheins. Mit niedriger werdendem Wasserstand steigt die Anzahl der zur Bewältigung des Ladungsaufkommens erforderlichen Schiffe (siehe auch Kap. 3.2). Die Wirkung der Wasserstände auf die Anzahl der eingesetzten Schiffe wird bei jährlicher Betrachtung sowie durch die in der Statistik aufgeführte Zahl der eingesetzten Schiffe bereits berücksichtigt. Sollen Verbrauchswerte für kürzere Zeitintervalle ermittelt werden, z.B. pro Monat, so kann der jährliche Brennstoffverbrauch im Verhältnis zu den in diesen Zeiträumen eingesetzten **beladenen** Schiffseinheiten (Summe von Motorschiffen und Leichtern) aufgeteilt werden. **Diese Vorgehensweise berücksichtigt sowohl die zeitliche Verteilung des Ladungsaufkommens als auch die Beeinflussung durch Niedrigwasser und liefert damit Ergebnisse mit einer angemessenen Genauigkeit.**

Die leeren Schiffe werden hierbei nicht betrachtet, weil deren Brennstoffverbrauch im Vergleich zu den beladenen Schiffen relativ klein ist und weiterhin davon auszugehen ist, dass sich ihr Anteil im gleichen Verhältnis wie das der beladenen Schiffe ändert.

In der nachfolgenden Abb. 7.6 ist beispielsweise für den RA1 die monatliche Anzahl der eingesetzten beladenen Schiffe dargestellt, wobei die Schubboote gemäß Abb. 4.8 berücksichtigt sind. Daneben findet sich der prozentuale Anteil an der jährlichen Anzahl und der resultierende monatliche Brennstoffverbrauch. In Abb. 7.7 ist die grafische Verteilung über das Jahr abgebildet.

Monat	Summe aller beladenen Schiffseinheiten	Anteil an der Gesamtsumme[%]	Brennstoffverbrauch [t]
Januar	10.171	7,74	148
Februar	9.038	6,87	131
März	12.414	9,44	180
April	11.650	8,86	169
Mai	11.187	8,51	162
Juni	10.617	8,07	154
Juli	11.235	8,54	163
August	10.827	8,23	157
September	11.284	8,58	164
Oktober	12.448	9,47	181
November	11.055	8,42	161
Dezember	9.562	7,27	139
Gesamt	131.488	100,00	1.909

Abb. 7.6: Summe aller beladenen Schiffseinheiten im RA1 und die resultierende Verteilung des Brennstoffverbrauchs, 1996

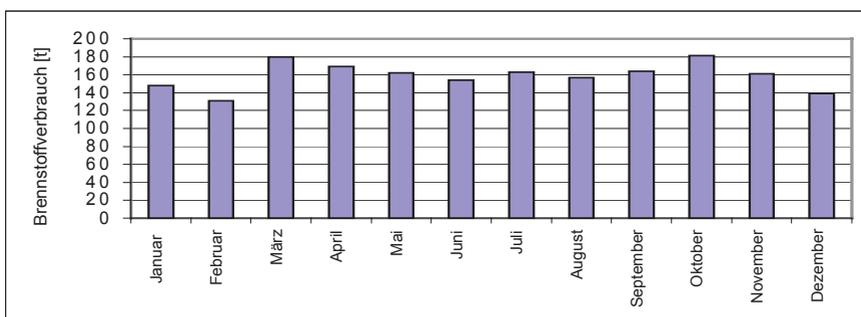


Abb. 7.7: Verteilung des Brennstoffverbrauchs über das Jahr 1996

Soll jedoch der Einfluss des Niedrigwassers direkt dargestellt werden, muss der aktuelle, d.h. auf die jeweilige Zeitspanne bezogene, "durchschnittliche Niedrigwasserpegel" mit dem Pe-

gelwert verglichen werden, bei dessen Überschreiten kein Niedrigwassereinfluss auftritt. Zum besseren Verständnis werden die Zusammenhänge zwischen Pegelanzeige und Schiffstiefgang nochmals in Abb. 7.8 und 7.9 deutlich gemacht.

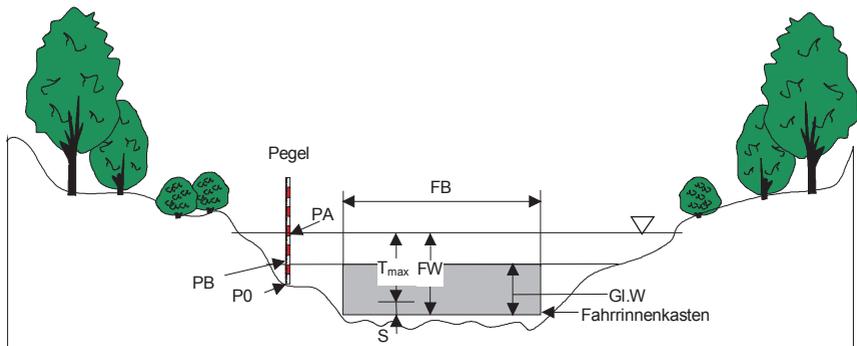


Abb. 7.8: Zusammenhang zwischen Gl.W, Pegelanzeige, Fahrwassertiefe und Schiffstiefgang

- FW = Fahrwassertiefe
- FB = Fahrwasserbreite
- Gl.W = Gleichwertiger Wasserstand
- PA = Pegelanzeige
- PB = Pegelbezugswert zum Gl.W
- PO = Pegelnull
- T_{max} = maximaler Schiffstiefgang
- S = Abstand zwischen Schiffsboden und Fahrinnenboden (Flottwasser)

Der Schiffstiefgang errechnet sich aus

$$T = FW - S.$$

Für die Fahrwassertiefe gilt

$$FW = PA + ZW,$$

wobei die Zuschlagswerte ZW für die Pegelorte im Rheinabschnitt zwischen Emmerich und Köln amtlich wie folgt festgelegt sind:

Pegelort	Zuschlagswert zum Ortspegel [m]
Köln	+ 1,05
Düsseldorf	+ 1,35
Ruhrort	+ 0,35
Wesel	+ 0,90
Emmerich	+ 1,55

Abb. 7.9: Zuschlagswerte zum Ortspegel für den Rheinabschnitt zwischen Emmerich und Köln

Somit ergibt sich für den Tiefgang am Pegel Ruhrort

$$T = PA + ZW - S$$

und mit $ZW = S = 0,35$ m

$$T = PA,$$

d.h. der Wert des Pegels Ruhrort entspricht in etwa dem maximalen Schiffstiefgang.

Der Niedrigwassereinfluss wird unbedeutend, wenn alle Schiffe bis zu ihrem maximalen Tiefgang, d.h. 3,50 m, abgeladen werden können (siehe Anlage 1). Hieraus lässt sich der "durchschnittliche Niedrigwasserpegel" ableiten. Es handelt sich um das arithmetische Mittel aller Pegelwerte $\leq 3,50$ m im betrachteten Zeitraum, wobei die Pegelwerte $> 3,50$ m mit 3,50 m in die Rechnung eingehen. Aus der Differenz von "durchschnittlichem Niedrigwasserpegel" und Pegelwert 3,50 m ergibt sich eine Verringerung des maximalen Tiefgangs und damit auch der Tragfähigkeit. Der Einfluss des Niedrigwassers ist bei beladenen Schiffen, und dort bei größeren Schiffen, stärker ausgeprägt als bei kleineren Einheiten. Deshalb verlaufen die Veränderungen nicht konstant über den Pegelverlauf, was bedeutet, dass Pegeländerungen im Bereich niedriger Pegelwerte einen stärkeren Einfluss besitzen als höhere Pegelwerte. Die Zusammenhänge sind für den Referenzort Ruhrort in Abb. 7.10 dargestellt. Obwohl eine **grobe Abschätzung**, erlaubt sie jedoch, den Einfluss des Niedrigwassers auf den veränderten Brennstoffverbrauch mit einer angemessenen Genauigkeit zu ermitteln.

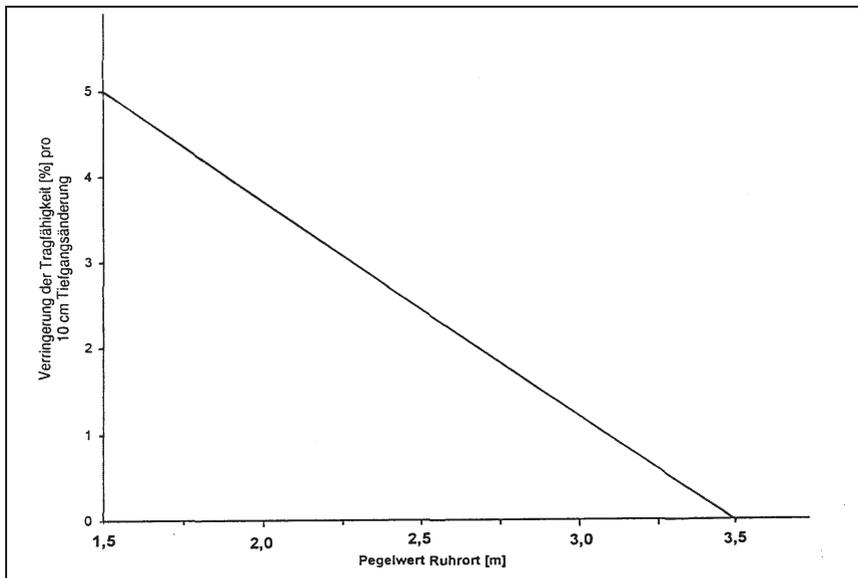


Abb. 7.10: Abhängigkeit der Tragfähigkeitsveränderung vom Pegelwert Ruhrort

Es wird im Modell von folgenden Überlegungen ausgegangen:

- Die Veränderung der Tragfähigkeit beträgt im Mittel ca. 5 % pro 10 cm Tiefgangsänderung (siehe auch Anlage 1).
- Die maximale Veränderung tritt bei einem niedrigen Pegelwert auf. Dieser Pegelwert entspricht einem Schiffstiefgang von ca. 1,50 m (Flottwasser mit 0,35 m veranschlagt). Der Tiefgang von 1,50 m wird als "wirtschaftliche Grenze" angesehen, d. h., die Schifffahrt ist unterhalb dieser Wassertiefe aufgrund der geringen Tragfähigkeit nicht rentabel.
- Die Veränderung der Tragfähigkeit wird Null, wenn die Wassertiefe mehr als 3,50 m beträgt und damit die Beladung der Schiffe größtenteils bis zu 100 % erfolgen kann.
- Die Abhängigkeit der Tiefgangs- bzw. Tragfähigkeitsveränderung vom Wasserstand bzw. Pegelwert wird als linear vorausgesetzt.
- Die Verringerung der Tragfähigkeit wird in der Praxis durch den Einsatz weiterer Schiffe kompensiert, so dass in längeren Niedrigwasserperioden trotz einer allgemeinen Schiffsüberkapazität der Schiffsraum knapp wird. (Hierbei wird vorausgesetzt, dass die prozentuale Tragfähigkeitsverringerng durch eine gleich große prozentuale Flottenvergrößerung ausgeglichen wird.)
- Mit der Anzahl der zusätzlich eingesetzten Schiffe steigt der Brennstoffverbrauch proportional. Vorausgesetzt wird eine identische Flottenstruktur bei Niedrigwasser und bei "normalen" Wasserverhältnissen. Aus diesen Überlegungen folgt, dass verursachte Tragfähigkeitsverlust der Flotte infolge Niedrigwasser durch eine gleich große prozentuale Erhöhung der eingesetzten Schiffe kompensiert wird. Dies hat einen im gleichen Verhältnis ansteigenden Brennstoffverbrauch zur Folge.

Durch Festlegung des “durchschnittlichen Niedrigwasserpegels” kann für jeden beliebigen Zeitabschnitt der Einfluss des Niedrigwassers auf den Brennstoffverbrauch und damit auf die brennstoffspezifischen Emissionen ermittelt werden. Beispielsweise ergibt sich für Februar 1996 ein “durchschnittlicher Niedrigwasserpegel” von 3,07 m. Gemäß Abb. 7.10 verringert sich die Tragfähigkeit um ca. 1,00 % pro 10 cm Tiefgangsveränderung. Bezogen auf den “durchschnittlichen Niedrigwasserpegel” von 3,07 m ergibt sich hieraus eine gesamte Tragfähigkeitsverminderung bzw. eine Brennstoffverbrauchserhöhung von ca. 4,3 %. Für den gesamten Betrachtungszeitraum 1996 beträgt der “durchschnittliche Niedrigwasserpegel” 3,20 m, was einer Verringerung der Tragfähigkeit durch Niedrigwasser von ca. 0,70 % pro 10 cm Tiefgangsveränderung entspricht. Hieraus resultiert eine gesamte Tragfähigkeitsverminderung bzw. eine Erhöhung des Brennstoffverbrauchs um ca. 2,1 %.

Hochwasser

Wie in Kapitel 3.2 und Abb. 3.7 bereits angedeutet, gibt es nur wenige Tage im Jahr, an denen die Hochwassermarke II erreicht und die Schifffahrt eingestellt wird. Die Hochwassermarke tritt häufig nur in Teilbereichen des Rheins auf, in diesen Bereichen geht der Brennstoffverbrauch dann gegen Null.

Eis und sonstige Wetterbedingungen

Eis tritt auf den betrachteten Rheinabschnitten nicht auf. Schwerer Regen, Gewitter, Sturm, Nebel usw. haben keinen Einfluss auf den Einsatz der Schiffe.

Tag- und Nachtfahrt

Ein großer Teil der Fahrzeuge verfügt über eine Fahrerlaubnis für den 24stündigen Betrieb (Betriebsform “B”, ständige Fahrt). Alle übrigen Fahrzeuge sind gezwungen, die Fahrtzeit zu unterbrechen (Betriebsform “A1”, bis 14 Std. pro Tag und Betriebsform “A2”, bis 18 Std. pro Tag). Diese Unterbrechung wird üblicherweise in die Nachtzeit gelegt, so dass in der Nacht weniger Fahrzeuge als am Tage verkehren. Über die Aufteilung der Tag- und Nachtfahrt gibt es keine Daten, so dass das Verhältnis von Tag- und Nachtfahrt mit 100 : 70 veranschlagt wird.

Sonn- und Feiertage

An diesen Tagen kann die Schifffahrt ohne Einschränkungen betrieben werden. Es zeigt sich jedoch, dass sonn- und feiertags weniger Schiffe verkehren. Das Verhältnis wird deshalb auf 100 : 80 festgelegt.

7.4.1.2 Passagierschifffahrt

Schifffahrtssaison

Wie in Kapitel 7.3 beschrieben, findet die Passagierschifffahrt fast ausschließlich in der Zeit zwischen Mai und Oktober statt. Für die Kabinenschifffahrt beträgt die Anzahl der Schiffe zwischen Mai bis Juni 25, von Juli bis September 40 und im Oktober 25 pro Tag. In diesem Verhältnis werden die Brennstoffverbräuche auf die entsprechenden Monate umgelegt. Für die Tagesschifffahrt sind über die gesamte Saison konstante Verbrauchswerte errechnet worden.

Niedrigwasser, Hochwasser, Eis, Wetterbedingungen

Hochwasser und Eis haben auf die zeitliche Verteilung des Brennstoffverbrauchs keinen Einfluss. Der Einfluss von Niedrigwasser ist bei Passagierschiffen vernachlässigbar klein, weil diese über einen relativ geringen Tiefgang verfügen (überwiegend $< 1,5$ m).

Wetterbedingungen wie Regen oder Sonnenschein beeinflussen das Passagieraufkommen. Da jedoch die Passagierschiffe fast ausschließlich im Linienverkehr eingesetzt werden, d. h., auch bei Regen wird mit einer geringen Passagierzahl gefahren, besitzen die Wetterbedingungen keinen nennenswerten Einfluss.

Tag- und Nachtfahrt

Hier ist zwischen Kabinenschifffahrt und Tagesschifffahrt zu unterscheiden. Während die Kabinenschifffahrt kontinuierlich, d. h. 24 Stunden pro Tag, betrieben wird, beschränkt sich die Tagesschifffahrt auf den Tag und den Abend, d.h. auf die Zeit zwischen ca. 08.00 - 22.00 Uhr.

Sonn- und Feiertage

Hier findet ebenfalls eine Unterscheidung nach Kabinenschifffahrt und Tagesschifffahrt statt. Bei den Kabinenschiffen gibt es keine Unterschiede zwischen Werktagen und Sonn- bzw. Feiertagen. Bei den Tagesschiffen sind die Fahrpläne so gestaltet, dass an Sonn- und Feiertagen mehr Schiffe unterwegs sind als an Werktagen. Das Verhältnis wird deshalb mit ca. 100 : 50 zugunsten der Sonn- und Feiertage veranschlagt.

7.4.2 Übrige Wasserstraßen

Bei der Ruhr und den Kanälen wird von einer zeitlich gleichmäßigen Verteilung des Ladungsaufkommens ausgegangen. Beeinflussungen durch Niedrigwasser, Hochwasser und Wetterbedingungen treten nicht auf. In strengen Wintern führt allerdings Eisbildung zum Erliegen der Schifffahrt. Durch verstärktes Heizen der Wohnung und des Maschinenraums sowie durch den Einsatz von Eisbrechern wird Brennstoff benötigt. Der Verbrauch wird auf 10 % des Normalverbrauchs festgelegt.

Die Betriebszeiten der Schleusen beeinflussen ebenfalls die zeitliche Verteilung der Kraftstoffverbräuche innerhalb folgender Zeiten:

werktags:	06:00 - 22:00
sonn- und feiertags:	06:00 - 14:00
an besonderen Feiertagen , z.B. erster Weihnachtstag:	geschlossen

Die Schifffahrt ist bestrebt, noch kurz vor Ende der Schleusenbetriebszeit eine Schleusung durchzuführen, um dann anschließend während der Nacht bzw. Sonntags nachmittags bis zur nächsten Schleuse zu fahren. Auf diese Weise wird die Einsatzzeit der Schiffe, entsprechend dem Abstand der Schleusen, deutlich verlängert. Als Mittelwert sollen 3 Stunden nach Ende der Schleusenbetriebszeit berücksichtigt werden.

8. Ergebnisse

8.1 Brennstoffverbrauch und Emissionen auf den Wasserstraßen

Mit dem Emissionsmodell ist der Brennstoffverbrauch auf den Wasserstraßen, in den Häfen und in Schleusen berechnet worden. Die Gesamtergebnisse zeigt die Abb. 8.1.

	Länge insgesamt ¹⁾ [km]	erfasste Länge [km]	Anteil der erfassten Länge [%]
Rhein	778	224,98	37,85
Ruhr	30	8,2	1,38
Weser	440	32,09	5,40
Rhein-Herne-Kanal ²⁾	45,6	48,72	8,20
Wesel-Datteln-Kanal	60,3	60,15	10,12
Datteln-Hamm-Kanal	47,1	35,15	5,91
Mittelland-Kanal ³⁾	321,3	63,79	10,73
Dortmund-Ems-Kanal	269	121,36	20,42
Summe	1.991,3	594,43	100,00

	Brennstoffverbrauch							
	Wasserstraßen		Häfen		Schleusen ⁴⁾		Gesamt	
	[t]	Anteil [%]	[t]	Anteil [%]	[t]	Anteil [%]	[1000 t]	Anteil [%]
Rhein	421.704	95,42	413	97,98	-	-	422.117	95,31
Ruhr	47	0,01	0,2	0,05	5,1	0,97	52,3	0,01
Weser	979	0,22	-	-	46,7	8,90	1.025,7	0,23
Rhein-Herne-Kanal ²⁾	3.364	0,76	0,2	0,05	158	30,16	3.522,5	0,80
Wesel-Datteln-Kanal	5.252	1,19	-	-	241,0	45,91	5.492,0	1,24
Datteln-Hamm-Kanal	327	0,07	0,4	0,10	-	-	327,4	0,07
Mittelland-Kanal ³⁾	3.553	0,80	0,1	0,02	-	-	3.553,1	0,80
Dortmund-Ems-Kanal	6.698	1,52	7,6	1,80	73,8	14,06	6.779,4	1,54
Summe	441.924	100,00	422	100,00	525	100,00	442.871	100,00

¹⁾ Quelle: StBA, Statistisches Jahrbuch 1996, S. 16

²⁾ Die Kilometrierung nach StBA beginnt am Ende des Hafenkanales in Duisburg. Bei der Längenerfassung des RHK wird die Strecke ab Mitte Fahrwasser Rhein berücksichtigt, inklusive des Hafenkanales, da die Schiffe vom Rhein kommend den Hafenkanales durchfahren müssen.

³⁾ Berücksichtigt ist nur der in NRW liegende Teil des MLK.

⁴⁾ Differenzbetrag, der bei der Schleusung gegenüber der Durchfahrt ohne Schleusung entsteht.

Abb. 8.1: Brennstoffverbrauch auf den nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen, Häfen und Schleusen, Bezugsjahr 1996

1996 sind ca. 443.000 t Dieselkraftstoff auf 594 km der Binnenstraßen in NRW einschließlich der Häfen und Schleusen „verfahren“ worden. Der weitaus größte Teil von rd. 95 % des Brennstoffverbrauchs - damit auch der Emissionen - entfällt auf den Rhein mit einer erfassten Länge von 225 km. Obwohl das restliche Wasserstraßennetz in NRW etwa eine Ausdehnung von 370 km hat, wird hier nur ca. 5 % des Brennstoffs verbraucht.

Den kalkulierten Verbrauchswerten steht eine Transportleistung von rd. 35 Mrd. tkm gegenüber. Mit dieser Angabe kann ein Brennstoffverbrauch pro Transportleistung (BrV_{Schiff}) von ca. 1,26 kg DK/100 tkm berechnet werden. Leerfahrten, Teilbeladungen, Wartezeiten und sonstige mit dem Gütertransport zusammenhängende Verbräuche sind eingeschlossen. Der leistungsbezogene Verbrauchswert des LKW-Güterfernverkehrs liegt mit ca. 3,8 kg DK/100 tkm [12] um etwa den Faktor 3 höher als bei der Binnenschifffahrt.

Aus den Brennstoffverbrauchswerten können die brennstoffspezifischen Emissionen von CO, HC, NO_x, SO₂, Ruß und CO₂ auf den Binnenwasserstraßen berechnet werden und sind in Abb. 8.2 für Gesamt-NRW dargestellt:

	Brennstoffspezifische Emissionen					
	[t]					
	CO	HC	NO _x	SO ₂	Ruß	CO ₂
Rhein	2.448,3	1.435,2	20.261,6	1.435,2	422,1	1.329.668,9
Ruhr	0,4	0,2	2,5	0,2	0,1	164,7
Weser	6,0	3,5	49,2	3,5	1,0	3.231,0
Rhein-Herne-Kanal	20,4	11,9	168,6	11,9	3,5	11.095,9
Wesel-Datteln-Kanal	31,9	18,7	263,6	18,7	5,5	17.303,0
Datteln-Hamm-Kanal	1,9	1,1	15,7	1,1	0,3	1.031,3
Mittelland-Kanal	20,6	12,1	171,0	12,1	3,6	11.192,3
Dortmund-Ems-Kanal	39,3	23,1	324,9	23,1	6,8	21.355,1
Summe	2.568,8	1.505,8	21.257,1	1.505,8	442,9	1.395.042,2

Abb. 8.2: Brennstoffspezifische Emissionen auf den nordrhein-westfälischen Binnenwasserstraßen, Bezugsjahr 1996

8.2 Brennstoffverbrauch und Emissionen in den Schleusen

Der gesamte Brennstoffverbrauch in den nordrhein-westfälischen Schleusen kann mit ca. 526 t angegeben werden. (Anmerkung: Die Schleuse Brienen ist in Abb. 8.1 dem Hafen Kleve zugeschlagen worden.) In Abb. 8.3 sind die Resultate nach Schleusen differenziert aufgelistet. Der am stärksten befahrene Kanal, der Wesel-Datteln-Kanal, weist den größten Brennstoffverbrauch beim Schleusen mit ca. 241 t auf, gefolgt vom Rhein-Herne-Kanal mit etwa 158 t.

Wasserstraße/Schleuse	Brennstoffverbrauch [kg]	CO [kg]	HC [kg]	NO _x [kg]	SO ₂ [kg]	Ruß [kg]	CO ₂ [kg]
Weser							
S-Petershagen	15.869	92	54	762	54	16	49.988
S-Schlüsselburg	15.869	92	54	762	54	16	49.988
S-Minden-Süd	69	0	0	3	0	0	216
S-Minden-Nord	14.849	86	50	713	50	15	46.774
Summe	46.656	271	159	2.239	159	47	146.966
Dortmund-Ems-Kanal							
Schiffshebewerk Henrichenburg	11.543	67	39	554	39	12	36.359
S-Münster	29.399	171	100	1.411	100	29	92.607
S-Bergeshövede/Bevergen	10.968	64	37	526	37	11	34.550
DS-Rodde	10.968	64	37	526	37	11	34.550
S-Altenrheine	10.968	64	37	526	37	11	34.550
Summe	73.846	428	251	3.545	251	74	232.616
Wesel-Datteln-Kanal							
DS-Datteln	36.742	213	125	1.764	125	37	115.736
DS-Ahsen	36.742	213	125	1.764	125	37	115.736
DS-Faesheim	36.742	213	125	1.764	125	37	115.736
DS-Dorsten	43.598	253	148	2.093	148	44	137.334
DS-Hünxe	43.598	253	148	2.093	148	44	137.334
DS-Friedrichsfeld	43.598	253	148	2.093	148	44	137.334
Summe	241.019	1.398	819	11.569	819	241	759.208
Rhein-Herne-Kanal							
S-DU-Meiderich	38.961	226	132	1.870	132	39	122.727
DS-Oberhausen	38.961	226	132	1.870	132	39	122.727
S-Gelsenkirchen	35.073	203	119	1.684	119	35	110.480
DS-Wanne-Eickel	22.644	131	77	1.087	77	23	71.330
DS-Herne	22.644	131	77	1.087	77	23	71.330
Summe	158.284	918	538	7.598	538	158	498.595
Ruhr							
Ruhr-S-DU-Meiderich	2.554	15	9	123	9	3	8.045
S-MH-Raffelberg	2.554	15	9	123	9	3	8.045
Summe	5.108	30	17	245	17	5	16.090
Rhein-Kleve-Wasserweg							
S. Brienien	685	4	2	33	2	1	2.158
Summe	685	4	2	33	2	1	2.158
Gesamtsumme	525.598	3.048	1.787	25.229	1.787	526	1.655.633

Abb. 8.3: Brennstoffverbrauch und Emissionen in den Schleusen von Nordrhein-Westfalen, Bezugsjahr 1996

8.3 Brennstoffverbrauch und Emissionen in den Häfen

Die Abb. 8.4 zeigt Brennstoffverbrauch und Emissionen in den Häfen entlang der untersuchten Binnenwasserstraßen. Die größten Emissionen werden erwartungsgemäß in den Häfen Duisburg, Neuss und Köln Niel entlang des Rheins freigesetzt. Die Schadstofffreisetzungen in den Häfen der übrigen Wasserstraßen und Kanäle sind mit Ausnahme des Hafens Dortmund vergleichsweise gering.

Wasserstraße/Hafen	Brennstoffverbrauch [kg]	CO [kg]	HC [kg]	NO _x [kg]	SO ₂ [kg]	Ruß [kg]	CO ₂ [kg]
Rhein							
Kleve*)	17.201,3	99,8	58,5	825,7	58,5	17,2	54.184,1
Emmerich	4.185,5	24,3	14,2	200,9	14,2	4,2	13.184,2
Wesel	1.166,6	6,8	4,0	56,0	4,0	1,2	3.674,9
Ossenberg	5.322,5	30,9	18,1	255,5	18,1	5,3	16.765,9
Orsoy	690,1	4,0	2,3	33,1	2,3	0,7	2.173,8
Nordh. Walsum	8.336,8	48,4	28,3	400,2	28,3	8,3	26.260,8
Schwelgern	15.681,5	91,0	53,3	752,7	53,3	15,7	49.396,8
Homberg Rheinpr.	1.474,8	8,6	5,0	70,8	5,0	1,5	4.645,5
Duisburg, Hafenecken A,B,C, Nord- u. Südhafen	161.128,4	934,5	547,8	7.734,2	547,8	161,1	507.554,4
Homberg Sachtl.	586,3	3,4	2,0	28,1	2,0	0,6	1.846,9
Duisburg Parallel-, Außen-, Innenhafen	22.886,0	132,7	77,8	1.098,5	77,8	22,9	72.091,0
Duisburg Hochfeld	862,0	5,0	2,9	41,4	2,9	0,9	2.715,3
Duisburg Rheinhausen	73,0	0,4	0,2	3,5	0,2	0,1	229,9
Duisburg Huckingen	6.077,3	35,2	20,7	291,7	20,7	6,1	19.143,6
Krefeld Ürdingen	14.762,3	85,6	50,2	708,6	50,2	14,8	46.501,4
Düsseldorf	3.013,1	17,5	10,2	144,6	10,2	3,0	9.491,3
Neuss	77.237,4	448,0	262,6	3.707,4	262,6	77,2	243.297,9
Leverkusen	3.837,6	22,3	13,0	184,2	13,0	3,8	12.088,5
Köln Niel	63.953,9	370,9	217,4	3.069,8	217,4	64,0	201.454,6
Köln Wesseling	3.313,8	19,2	11,3	159,1	11,3	3,3	10.438,3
Lülsdorf	319,9	1,9	1,1	15,4	1,1	0,3	1.007,8
Bonn	1.008,3	5,8	3,4	48,4	3,4	1,0	3.176,1
Summe	413.118,4	2.396,1	1.404,6	19.829,7	1.404,6	413,1	1.301.323,1
Ruhr							
Mülheim	168,3	1,0	0,6	8,1	0,6	0,2	530,2
Summe	168,3	1,0	0,6	8,1	0,6	0,2	530,2
Weser							
keine Häfen							
Rhein-Herne-Kanal							
Bottrop-Essen	108,7	0,6	0,4	5,2	0,4	0,1	342,5
Gelsenkirchen	119,9	0,7	0,4	5,8	0,4	0,1	377,8
Wanne-West	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	228,7	1,3	0,8	11,0	0,8	0,2	720,3
Wesel-Datteln-Kanal							
Dorsten	12,7	0,1	0,0	0,6	0,0	0,0	40,0
Marl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,7	0,1	0,0	0,6	0,0	0,0	40,0
Datteln-Hamm-Kanal							
Lünen	101,3	0,6	0,3	4,9	0,3	0,1	319,1
Hamm	300,7	1,7	1,0	14,4	1,0	0,3	947,2
Summe	402,0	2,3	1,4	19,3	1,4	0,4	1.266,3
Mittelland-Kanal							
Minden	59,0	0,3	0,2	2,8	0,2	0,1	186,0
Summe	59,0	0,3	0,2	2,8	0,2	0,1	186,0
Dortmund-Ems-Kanal							
Dortmund	7.281,5	42,2	24,8	349,5	24,8	7,3	22.936,8
Münster	302,7	1,8	1,0	14,5	1,0	0,3	953,6
Dörenthe	49,7	0,3	0,2	2,4	0,2	0,0	156,7
Summe	7.634,0	44,3	26,0	366,4	26,0	7,6	24.047,1
Gesamtsumme	421.623,1	2.445,4	1.433,5	20.237,9	1.433,5	421,6	1.328.112,9

*) Brennstoffverbrauchsrechnung inkl. Schleuse Bienen

Abb. 8.4: Brennstoffverbrauch und Emissionen in den Häfen von Nordrhein-Westfalen, 1996

9. Grafische Darstellung der Wasserstraßen, Häfen und Schleusen

Die grafische Visualisierung erfolgt mit dem geografischen Darstellungssystem SICAD/SD, mit dem geografische Informationen an Sachdaten gekoppelt und in beliebiger Darstellung ausgegeben werden können.

9.1 Darstellung der Wasserstraßen

Auf den ausgewählten Karten - in der Regel mit einem Maßstab von 1 : 25.000 - werden die Wasserstraßen abschnittsweise digitalisiert, wobei die einzelnen Abschnitte als Linienquellen bezeichnet und ihnen die Abkürzung des jeweiligen Abschnitts als Kennung zugewiesen werden.

9.2 Darstellung der Häfen

Für die grafische Abbildung der Häfen werden verschiedene Verfahren gewählt.

- a) Der Hafen ist als Punktquelle markiert:
Diese Punktquelle liegt an der Zufahrt zum Hafen in der Mittellinie des Gewässers, an der der Hafen liegt. Liegt der Hafen am Ende oder Anfang eines Gewässers, wie z.B. der Hafen Dortmund, so wird für die Lage der Punktquelle die Mitte des Hafens gewählt. Die Kennung der Punktquelle ist identisch mit der Abkürzung des Hafens.
- b) Der Hafen ist als einzelne oder als Summe von Flächenquellen ausgewiesen: Jeder Hafen wird in einzelne Teilflächen unterteilt, denen die entsprechenden Abkürzungen als Kennung zugewiesen wird. Liegt der Hafen am offenen Strom oder Kanal, d.h. der Hafen hat keine eigene Wasserfläche, so wird der Hafen als Linienquelle dargestellt und ihm eine Länge von 200 m zugeordnet.
- c) Der Hafen wird als einzelne oder als Summe mehrerer Linienquellen dargestellt: Als Grundlage für die Linienquellen dienen die Mittellinien der Teilflächen. Liegt der Hafen am offenen Strom oder Kanal, so wird er wie unter Punkt b) als Linienquelle dargestellt. Die Kennung der Linienquellen ist analog der der Flächenquellen.

Da die verschiedenen Darstellungen in unterschiedlichen Ebenen in SICAD/SD gespeichert sind, wird für jede jeweils die gleiche Kennung verwendet. Besteht ein Hafen aus mehreren Teilen, so werden die Teile durchnummeriert und die Kennung um die entsprechende Ziffer ergänzt.

9.3 Darstellung der Schleusen

Die Schleusen in NRW werden als Punkte dargestellt. Die ausgewiesenen Werte bezeichnen den Mehrverbrauch oder die zusätzlichen Emissionen des Schiffsverkehrs gegenüber einer Fahrt auf demselben Gewässerabschnitt ohne Schleuse.

10. Darstellung der Emissionen

Emissionen treten längs eines Transportweges oder punktförmig an bestimmten Knotenpunkten, wie z.B. an Schleusen, auf. Bei der Berechnung der Emissionen werden der Transportweg wie auch die zum Teil kilometerlangen Häfen in einzelne emissionshomogene Abschnitte, den sogenannten Linienquellen, unterteilt, der Rhein z.B. in 25 Rheinabschnitte.

10.1 Definition der Rasterquadrate

Die Fläche Nordrhein-Westfalens wird in Rasterquadrate mit einer Kantenlänge von 1 km eingeteilt. Geographisch ist die Lage der Rasterquadrate durch den zweiten Streifen des Gauß-Krüger-Koordinatensystems bestimmt. Dieses Koordinatensystem wird auf das gesamte Untersuchungsgebiet angewendet, wobei die Bezeichnung der Rasterquadrate durch die Koordinaten ihres linken unteren Quadrat-Eckpunktes festgelegt ist. Die beiden Koordinatenwerte werden hintereinander geschrieben, z.B.:

- rechter Rasterwert des linken unteren Quadrat-Eckpunktes: 2518,
- linker Rasterwert (Höhenwert) des linken unteren Quadrat-Eckpunktes: 5742.

Demnach hat dieses Rasterquadrat die Bezeichnung 25185742 (rechter Wert * 10 000 + Höhenwert). Jedes Rasterquadrat ist dadurch eindeutig definiert. Der jeweilige Abschnitt einer Linienquelle innerhalb eines Rasterquadrats wird diesem Quadrat zugeordnet. Einem Rasterquadrat können auch mehrere Teilstücke verschiedener oder einer Linienquelle zugeordnet sein, z.B. wenn sich gerade dort ein Transportweg verzweigt.

10.2 Zuordnung der Emissionen zu den Linienquellen und den Rasterquadrate

Aus dem Brennstoffverbrauch aller Fahrzeuge auf einem bestimmten Fluss- oder Kanalabschnitt werden die Emissionen errechnet. An den Abschnittsgrenzen, wie z.B. Häfen oder Abzweigungen der Wasserstraßen, verändern sich die Verkehrsdaten durch abgehende oder hinkommende Schiffe und damit auch der Brennstoffverbrauch bzw. die Emissionen. Unter Berücksichtigung der Fluss- oder Kanalabschnittslängen lassen sich für jeden Abschnitt der Treibstoffverbrauch und die Emissionen pro Kilometer errechnen. Durch Überlagerung der Fluss- und Kanalabschnitte mit den zuvor beschriebenen Rasterquadrate können die längsbezogenen Verbrauchs- und Emissionswerte diesen Flächen zugeordnet werden. Da in der Regel die Grenzen der Fluss- und Kanalabschnitte nicht mit den Grenzlinien der Rasterquadrate übereinstimmen, müssen die Verbrauchs- und Emissionswerte für ein solches Rasterquadrat aus den verschiedenen Fluss- und Kanalabschnitten ermittelt und dem Rasterquadrat zugeordnet werden. In Abb. 10.1 ist ein solcher Fall beispielhaft dargestellt.

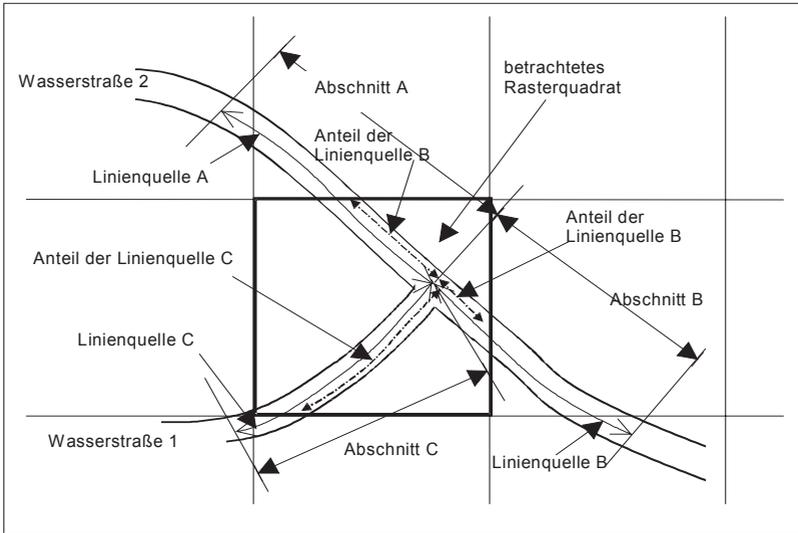


Abb. 10.1: Beispiel für die Zuordnung verschiedener Linienquellen-Anteile auf ein Rasterquadrat

11. Darstellung des Brennstoffverbrauchs und der HC-Emissionen des Schiffsverkehrs in NRW

11.1 Brennstoffverbrauch und HC-Emissionen auf den Wasserstraßen

Die Anlagen 6 und 7 zeigen die Verteilung des Brennstoffverbrauchs und der HC-Emissionen auf den Wasserstraßen in NRW. (Die farbliche Darstellung ist in allen Abbildungen gleich, weil die Emissionswerte mittels konstanter Emissionsfaktoren aus den Brennstoffverbräuchen berechnet werden. Die gleichen Emissionsfaktoren fließen in die Festlegung der Farbskala mit ein.)

Die Verteilung des Brennstoffverbrauchs auf den Wasserstraßen wird stellvertretend für alle Emissionsverteilungen diskutiert. In Anlage 6 sind die Brennstoffverbräuche in $t/(km \cdot a)$ angegeben. In der Legende ist ein großer Sprung der Werte zwischen Rhein und den übrigen Wasserstraßen erkennbar. Der Rhein ist gekennzeichnet durch die Farben gelb, hellrot und braun. Beginnend an der südlichen Landesgrenze von NRW bis zum Hafen Düsseldorf ist der Strom gelb eingefärbt, d.h. der Brennstoffverbrauch liegt zwischen 1.500 und 1.800 $t/(km \cdot a)$. Im weiteren Verlauf bis zum Hafen Duisburg-Ruhrort/Einmündung des Hafenkanals wechselt die Farbe nach hellrot. Entsprechend bewegt sich in diesem Bereich der Verbrauch zwischen 1.800 und 2.000 $t/(km \cdot a)$. Von Duisburg-Ruhrort bis zur Landesgrenze bei Emmerich wechselt die Farbe zu braun. Hier liegt der höchste Brennstoffverbrauch vor und zwar zwischen 2.000 und 2.500 $t/(km \cdot a)$.

Betrachtet man das übrige Wasserstraßennetz von NRW, befinden sich alle Wasserstraßen im niedrigen Verbrauchsbereich, gekennzeichnet durch die Farben hellgrün, blau und hellblau. Sowohl die Ruhr und die Weser als auch der Datteln-Hamm-Kanal sowie die Abschnitte des Dortmund-Ems-Kanals von Dortmund bis zum Schiffshewerk Henrichenburg und vom "Nassen Dreieck" bis zur Landesgrenze weisen im hellblauen Bereich einen Brennstoffverbrauch bis zu 35 $t/(km \cdot a)$ auf. Auch der Mittellandkanal vom "Nassen Dreieck" bis zum Hafen Minden ist hellblau eingefärbt. Der Rhein-Herne-Kanal vom Stadthafen Gelsenkirchen bis zur Einmündung in den Dortmund-Ems-Kanal und nachfolgend der Dortmund-Ems-Kanal bis zum "Nassen Dreieck" zeigen eine blaue Färbung, die einem Brennstoffverbrauch zwischen 35 und 70 $t/(km \cdot a)$ entspricht. Gleiches trifft auf den Mittellandkanal vom Hafen Minden bis zur östlichen Landesgrenze zu. Den höchsten Verbrauch in diesem Wasserstraßenbereich - gekennzeichnet durch die grüne Einfärbung und 70 - 130 $t/(km \cdot a)$ - weisen der Wesel-Datteln-Kanal und der Rhein-Herne-Kanal vom Duisburger Hafen bis zum Stadthafen Gelsenkirchen aus.

Anlage 7 zeigt die HC-Emissionen des Schiffsverkehrs auf den Wasserstraßen in NRW.

11.2 Brennstoffverbrauch und HC-Emissionen in den Rasterquadraten

Alle ermittelten Verbrauchs- und Emissionsdaten können in Rasterquadratdarstellung visualisiert werden und sind somit als Eingangsdaten für Ausbreitungsmodelle geeignet.

11.3 Brennstoffverbrauch und HC-Emissionen in den Häfen

Die Häfen werden in den Abbildungen als Punkte angezeigt und sollen ebenfalls am Beispiel des Brennstoffverbrauchs interpretiert werden. Die Häfen mit dem größten Verbrauch liegen am Rhein, wobei der Hafen Duisburg-Ruhrort die höchsten Werte ausweist. Allgemein ist erkennbar, dass die Brennstoffverbrauchsmenge der einzelnen Häfen im Rheinbereich das gesamte erfasste Mengenspektrum abdeckt. Im Gegensatz hierzu liegen die Daten der Häfen an den übrigen Gewässern alle im untersten, im hellblauen, Bereich mit Ausnahme des Hafens Dortmund, der durch eine blaue Einfärbung gekennzeichnet ist.

Der Brennstoffverbrauch und die HC-Emissionen in den Häfen sind in den Anlagen 8 bzw. 9 dargestellt.

11.4 Brennstoffverbrauch und HC-Emissionen in den Schleusen

Die Schleusen werden ebenfalls als Punkte dargestellt. Die aufgezeigten Brennstoffverbräuche und HC-Emissionen sind immer die Differenzwerte gegenüber einer Fahrt auf dem gleichen Abschnitt ohne Schleuse. Am Rhein und am Mittellandkanal gibt es im betrachteten Bereich keine Schleusen. Die höchsten Werte sind an den Schleusen des Wesel-Datteln-Kanals zu finden. Die drei westlichen Schleusen weisen eine braune Färbung - 40 bis 60 t/a - aus, die drei östlichen eine hellrote Färbung, was einem Brennstoffverbrauch von 30 bis 40 t/a entspricht.

Die gleiche west-östliche Teilung zeigen die Schleusen am Rhein-Herne-Kanal, wo die drei westlichen Schleusen im hellroten, die beiden östlichen im gelben Bereich (von 30 bis 40 t/a bzw. von 20 bis 30 t/a) liegen. Eine gelbe Einfärbung weist auch die Schleuse Münster auf. Der nächst niedrigere Bereich, gekennzeichnet mit grün entsprechend den Werten 15 bis 20 t/a, kommt nur bei den beiden Weserschleusen vor. Im dunkelblauen Bereich, d.h. 10 bis 15 t/a, liegen das Schiffshebewerk Henrichenburg und die drei übrigen Schleusen des Dortmund-Ems-Kanals sowie die nördliche Verbindungsschleuse zwischen Weser und dem Mittellandkanal. Im untersten Emissionsbereich bis 10 t/a - gekennzeichnet durch hellblau - liegen die zwei Ruhrschleusen sowie die südliche Verbindungsschleuse zwischen Weser und dem Mittellandkanal.

Die grafische Darstellung der zusätzlichen Brennstoffverbräuche und zusätzlichen HC-Emissionen in den Schleusen ist in den Anlagen 10 und 11 zu sehen.

11.5 Der Hafen Duisburg-Ruhrort

Der Hafen Duisburg-Ruhrort ist für die Darstellung der Brennstoffverbräuche und HC-Emissionen gemäß Abb. 11.1 in sechs Bereiche unterteilt worden.

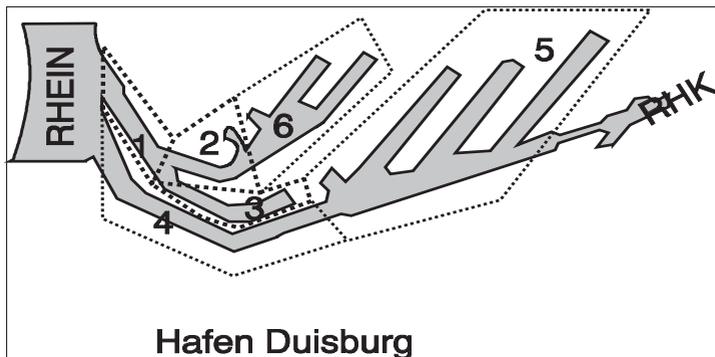


Abb. 11.1: Aufteilung des Hafens Duisburg-Ruhrort

Brennstoffverbräuche und HC-Emissionen, die auf die Hafensflächen bezogen werden, sind in den Anlagen 12 und 13 dargestellt.

Die großen Hafenbecken befinden sich in den Bereichen 5 und 6. Sie sind gelb eingefärbt. Auch der Bereich 3 beinhaltet ein Hafenbecken, das jedoch geringer frequentiert wird und deshalb hellgrün ausgewiesen ist. Die Zufahrten zu den Hafenbecken haben eine hellrote oder braune Färbung, was den beiden höchsten Emissionsklassen entspricht. Die Abfolge der Farben und entsprechend die der Emissionsklassen muss bei dieser Darstellung nicht der Reihenfolge der einzelnen Hafengebiete, vom Hafeneingang aus gesehen, entsprechen. In einem Bereich mit absolut hohen Emissionswerten kann durch den Flächenbezug der ausgewiesenen Klassen ein niedriger Wert erscheinen. Dies ist der Fall bei dem Wechsel vom Bereich 1 (hellrot) zu den Bereichen 2 (braun) und 3 (hellgrün). Obwohl alle Emittenten (Schiffe), die in die Bereiche 2 und 3 einfahren, aus Bereich 1 gekommen sein müssen, weist der Bereich 1 eine geringere Emissionsklasse aus.

11.6 Der Hafen Dortmund

Dieser Hafen ist gemäß Abb. 11.2 in 4 Bereiche unterteilt worden.

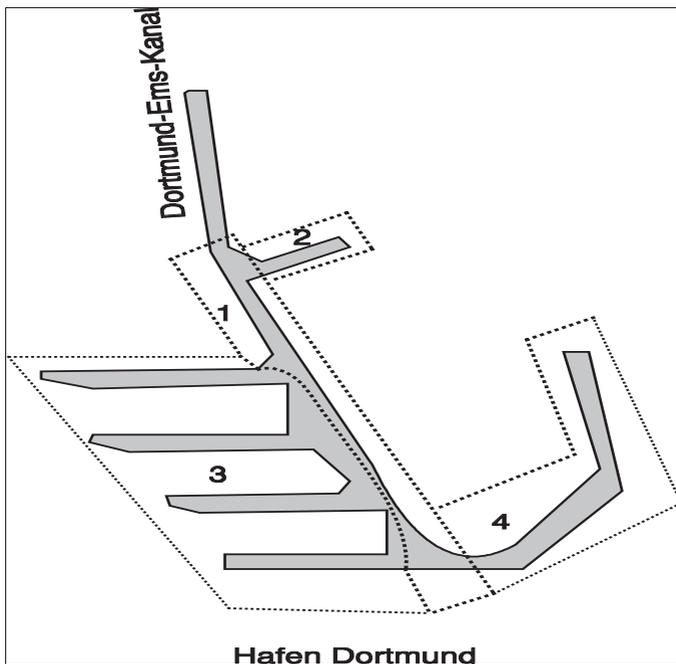


Abb. 11.2: Aufteilung des Hafens Dortmund

Brennstoffverbräuche und HC-Emissionen sind auf die Hafensflächen bezogen und in den Anlagen 14 bzw. 15 dargestellt worden.

Der Hafen Dortmund weist nur drei Brennstoffverbrauchs- und Emissionsklassen auf. Der Zugangskanal zu den Hafenbecken ist gelb eingefärbt. Die Hafenbecken selbst zeigen eine blaue Farbe. Das kleine, nach Osten weisende Becken am Hafeneingang hat eine hellblaue Einfärbung, was der niedrigsten Emissionsklasse entspricht.

12. Fehlerrechnung

Die Fehlerrechnung wird entsprechend dem ‘‘Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz’’ durchgeführt. Die Gleichung hierzu lautet:

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_k} \cdot \Delta x_k\right)^2} \quad (19)$$

und in den Fällen

$$y = x_1 \cdot x_2:$$

$$\frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2} \quad (20)$$

Δy : mittlerer Fehler

$\frac{\Delta y}{y}$: mittlerer relativer Fehler

Für den wesentlichen Teil der Daten, Faktoren usw., die im Modell verwendet werden, liegen keine einzelnen Fehlerbewertungen vor. Sie müssen deshalb geschätzt werden. Als Beispiel sei auf die herangezogenen statistischen Daten hingewiesen: der Einzelfehler geht beispielsweise bei der Registrierung an Schleusen im Falle der ‘‘Anzahl der beladenen Schiffe’’ gegen Null, bei der ‘‘transportierten Gütermenge’’, eine Angabe aus den Schiffspapieren, wird ein höherer Wert genannt. Weil eine Differenzierung jedoch nicht praktikabel ist, wird für die verschiedenen statistischen Werte bei der Fehlerbetrachtung ein gleicher Wert geschätzt. Deshalb müssen bei der Bewertung des Gesamtfehlers immer auch die in die Fehlerrechnung eingegangenen Einzelfehler kritisch betrachtet werden. Der Fehlerrechnung liegen die Berechnungsformeln gemäß Kapitel 2 zu Grunde.

12.1 Fehlerrechnung für den Brennstoffverbrauch

Ausgangsformel ist die Gleichung zur Ermittlung des Brennstoffverbrauchs innerhalb einer Schiffs-Typenklasse:

$$\text{BrV}_{\text{Typ}} = \frac{n_{\text{Typ}} \cdot N_{\text{Typ}} \cdot b_e \cdot L}{V_{\text{Typ}}} \quad (4)$$

n_{Typ}

N_{Typ}

b_e

L

V_{Typ}

Anzahl der Schiffseinheiten innerhalb einer Schiffs-Typenklasse

Leistung pro Schiffseinheit

spezifischer Brennstoffverbrauch

Länge eines Wasserstraßenabschnittes

Geschwindigkeit der Schiffseinheit

Für die jeweiligen Einzelfehler werden keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Schiffs-Typenklassen gemacht.

Bestimmung der Einzelfehler:

a) für n_{Typ} gilt:

$$n_{Typ} = n_{ges} \cdot K_{Typ}$$

n_{ges} statistische Gesamtanzahl der Schiffe, hier wird ein Einzelfehler von $\pm 5\%$ veranschlagt

K_{Typ} Verteilungsfaktor für die jeweilige Schiffs-Typenklasse, hier wird ein Einzelfehler von $\pm 5\%$ veranschlagt (siehe auch Kontrollrechnung in Abb. 4.6)

Gemäß Gleichung 20 ergibt sich:

$$\frac{\Delta n_{Typ}}{n_{Typ}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta n_{ges.}}{n_{ges.}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta K_{Typ}}{K_{Typ}}\right)^2} = \sqrt{2 \cdot (0,05)^2} = \pm \underline{\underline{0,071}}$$

b) für N_{Typ} und V_{Typ} gilt:

N_{Typ} bzw. V_{Typ} sind abhängig von der Genauigkeit des Tiefgangs T und der Leistungs/Geschwindigkeitskurven Q .

Der Tiefgang ist wiederum abhängig von der Genauigkeit der auf die Schiffe verteilten Ladungsmenge M und der zugrunde gelegten Verdrängungskurve D .

Für die Leistungs/Geschwindigkeitskurven wird eine Fehlerquote $\frac{\Delta Q}{Q} = \pm 5\%$, für die verteilten Ladungsmengen von

$$\frac{\Delta M}{M} = \pm 5\% \text{ und für die Verdrängungskurven } \frac{\Delta D}{D} = \pm 3\%$$

veranschlagt.

Beide Abhängigkeiten gehen multiplikativ in die Fehlerrechnung ein, so dass sich gemäß Gleichung (20) ergibt:

$$\frac{\Delta T}{T} = \sqrt{\left(\frac{\Delta M}{M}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2} = \sqrt{(0,05)^2 + (0,03)^2} = \pm 0,058$$

Auch der Fehlerquotient der Leistungs/ Geschwindigkeitskurve ΔQ soll multiplikativ in die Rechnung eingehen, so dass gemäß Gleichung (20) gilt:

$$\frac{\Delta N_{Typ}}{N_{Typ}} \text{ bzw. } \frac{\Delta V_{Typ}}{V_{Typ}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta Q}{Q}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2} = \sqrt{(0,05)^2 + (0,058)^2} = \pm 0,0766$$

- c) für b_e wird ein Fehler von $\frac{\Delta b_e}{b_e} = \pm 10\%$ angenommen
- d) für L wird ein Fehler von $\frac{\Delta L}{L} = \pm 2\%$ festgelegt.

Zusammengefasst ergeben sich für die weiteren Berechnungen folgende mittlere relative Fehler:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta n_{Typ}}{n_{Typ}} &= \pm 7,1\% \\ \frac{\Delta N_{Typ}}{N_{Typ}} &= \pm 7,66\% \\ \frac{\Delta b_e}{b_e} &= \pm 10\% \\ \frac{\Delta L}{L} &= \pm 2\% \\ \frac{\Delta V_{Typ}}{V_{Typ}} &= \pm 7,66\%\end{aligned}$$

Unter Berücksichtigung der Gleichung (4) und nach partieller Ableitung nach Gleichung (19) stellt sich der mittlere Fehler des Brennstoffverbrauchs folgendermaßen dar:

$$\Delta BrV_{Typ} = \sqrt{\left(\frac{N_{Typ} \cdot b_e \cdot L}{V_{Typ}} \cdot \Delta n_{Typ}\right)^2 + \left(\frac{n_{Typ} \cdot b_e \cdot L}{V_{Typ}} \cdot \Delta N_{Typ}\right)^2 + \left(\frac{n_{Typ} \cdot N_{Typ} \cdot L}{V_{Typ}} \cdot \Delta b_e\right)^2 + \left(\frac{n_{Typ} \cdot N_{Typ} \cdot b_e}{V_{Typ}} \cdot \Delta L\right)^2 + \left(\frac{n_{Typ} \cdot N_{Typ} \cdot b_e \cdot L}{(-V_{Typ})^2} \cdot \Delta V_{Typ}\right)^2}$$

Am Beispiel der Rheinfahrt, RA8, zu Berg, beladen, Motorschiff "Johann Welker" soll der mittlere Fehler ermittelt werden. Die beladene Schiffs-Typenklasse "Johann Welker" in der Bergfahrt wird deshalb ausgewählt, weil ihr Brennstoffverbrauch deutlich den aller anderen Varianten übersteigt und somit auch der resultierende absolute Fehler - bei nicht veränderten Einzelfehlern - über dem der anderen Möglichkeiten liegt.

$n_{Typ} = 28.970$	$\frac{\Delta n_{Typ}}{n_{Typ}} = \pm 0,071$	$\Delta n_{Typ} = \pm 2.057$
$N_{Typ} = 1.000 \text{ kW}$	$\frac{\Delta N_{Typ}}{N_{Typ}} = \pm 0,0766$	$\Delta N_{Typ} = \pm 77 \text{ kW}$
$b_e = 0,2 \text{ kg/kWh}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e} = \pm 0,1$	$\Delta b_e = \pm 0,02 \text{ kg/kWh}$
$L = 2,94 \text{ km}$	$\frac{\Delta L}{L} = \pm 0,02$	$\Delta L = \pm 0,059 \text{ km}$
$V_{Typ} = 11,35 \text{ km/h}$	$\frac{\Delta V_{Typ}}{V_{Typ}} = \pm 0,0766$	$\Delta V_{Typ} = \pm 0,869 \text{ km/h}$
$BrV_{Typ} = 1.501,8 \text{ t}$		

Hieraus errechnet sich für den mittleren Fehler:

$$\Delta BrV_{JW,Berg,bel.} = \sqrt{(106,6)^2 + (116)^2 + (150,1)^2 + (30,1)^2 + (-115)^2} = \sqrt{61.481} = \pm 248 \text{ t}$$

und für den mittleren relativen Fehler

$$\frac{\Delta BrV_{JW,Berg,bel.}}{BrV_{JW,Berg,bel.}} = \pm 0,165$$

Es besteht kein Grund, die Einzelfehler bei den übrigen Varianten sowie in den anderen Rhein- und Kanalabschnitten zu verändern, deshalb bleibt auch dort der mittlere relative Fehler $\left(\frac{\Delta y}{y} = \pm 0,165\right)$ in etwa gleich. Somit errechnet sich für den gesamten Brennstoffverbrauch der

$$\boxed{\text{mittlere relative Fehler des BrV} = \pm 16,5 \%}$$

12.2 Fehlerrechnung für die Abgasemission

Gemäß Gleichung 1 in Kapitel 2 berechnet sich die Abgasemission mit

$$E_{Schad} = BrV \cdot K_{Schad}$$

BrV Brennstoffmenge, der dazugehörigen Einzelfehler beträgt gemäß vorheriger Rechnung $\pm 16,5 \%$

K_{Schad} spezifischer Emissionsfaktor; hier wird ein Einzelfehler von $\frac{\Delta K}{K} = \pm 0,10$ veranschlagt.

Der mittlere relative Fehler errechnet sich gemäß Gleichung (20):

$$\frac{\Delta E_{\text{Schad}}}{E_{\text{Schad}}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \text{BrV}}{\text{BrV}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta K_{\text{Schad}}}{K_{\text{Schad}}}\right)^2} = \sqrt{(0,165)^2 + (0,10)^2} = \pm 0,193$$

Für die Emission ergibt sich somit ein

mittlerer relativer Fehler der Emissionen = $\pm 19,3 \%$

13. Zusammenfassung und Diskussion

Mit dem entwickelten Emissionsmodell kann der Brennstoffverbrauch des Schiffsverkehrs auf den Wasserstraßen, in Schleusen und Häfen innerhalb des Landes Nordrhein-Westfalen berechnet und streckenbezogen dargestellt werden. Die wichtigsten Eingangsgrößen sind Flottenstruktur, Gütermenge, Tiefgang, Antriebsleistung und Fahrgeschwindigkeit. Mit den entsprechenden Emissionsfaktoren lassen sich bei bekanntem Brennstoffverbrauch die Schadstoffemissionen von CO, CO₂, HC, SO₂ und Ruß bestimmen.

Darüber hinaus lassen sich alle Ergebnisse linien- bzw. punktscharf darstellen und den Rasterquadraten im Gauß-Krüger-Koordinatensystem zuordnen.

Das gesamte Berechnungsmodell ist einer Fehlerbetrachtung unterzogen worden. Als mittlerer relativer Fehler des Brennstoffverbrauchs kann eine Größe von $\pm 16,5\%$ abgeschätzt werden. Der mittlere relative Fehler der Emissionen liegt bei $\pm 19,5\%$.

Daneben ist der Vergleich mit dem tatsächlichen Brennstoffverbrauch eines Motorgüterschiffs entlang eines Transportwegs vorgenommen worden. Mit dem vorgestellten Emissionsansatz kann ein Ergebnis errechnet werden, das nur etwa 2 % vom realen Brennstoffverbrauch abweicht und damit die hohe Qualität des Modells belegt.

14. Variablenverzeichnis

Δy	[kg oder t]	mittlerer Fehler
$\frac{\Delta y}{y}$	[./.]	mittlerer relativer Fehler
α_{GK}	[./.]	Tragfähigkeits-Verteilungsfaktor für den Schiffstyp "Gustav Koenigs"
α_{GMS}	[./.]	Tragfähigkeits-Verteilungsfaktor für den Schiffstyp "GMS"
α_{JW}	[./.]	Tragfähigkeits-Verteilungsfaktor für den Schiffstyp "Johann Welker"
A_{GK}	[./.]	Anteil des Schiffstyps "Gustav Koenigs" an der deutschen Rheinflotte
A_{GMS}	[./.]	Anteil des Schiffstyps "GMS" an der deutschen Rheinflotte
A_{JW}	[./.]	Anteil des Schiffstyps "Johann Welker" an der deutschen Rheinflotte
B_e	[kg/kWh]	spezifischer Brennstoffverbrauch
B_g	[./.]	Belegungsgrad im Hafen
BrV	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch gesamt auf der Strecke
BrV_{A-D}	[kg]	Brennstoffverbrauch in den Schleusenphasen A-D
$BrV_{Berg, leer}$	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der leeren Schiffe in der Bergfahrt
$BrV_{Berg, bel.}$	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der beladenen Schiffe in der Bergfahrt
BrV_h	[kg/h oder t/h]	Brennstoffverbrauch pro Stunde
BrV_{KS}	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der Kabinenschiffe
BrV_{KV}	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der Koppelverbände
$BrV_{MSI, MSI.}$	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der verschiedenen Motorschiff-Typklassen
BrV_{PS}	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der Passagierschiffahrt
BrV_S	[kg/km oder t/km]	Brennstoffverbrauch pro km
$BrV_{S, Hafen}$	[kg/km]	Brennstoffverbrauch pro km der Flotte im Hafen
BrV_{Schl}	[kg]	Brennstoffverbrauch pro Schleusenvorgang
BrV_{SV}	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der Schubverbände
$BrV_{Tal, bel.}$	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der beladenen Schiffe in der Talfahrt
$BrV_{Tal, leer}$	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der leeren Schiffe in der Talfahrt
BrV_{TS}	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der Tagesschiffe

BrV _{Typ}	[kg oder t]	Brennstoffverbrauch der verschiedenen Schiffstypen (BrV _{MStI} , MSII..., BrV _{KV} und BrV _{SV})
BrV _{zus}	[kg]	zusätzlicher Brennstoffverbrauch pro Schleusenvorgang
E _{schad}	[kg oder t]	die verschiedenen Luftschadstoffe
FB	[m]	Fahrwasserbreite
FW	[m]	Fahrwassertiefe
G _{ges L}	[t]	gesamte von den Leichtern transportierte Gütermenge
G _{ges S}	[t]	gesamte von den Motorschiffen transportierte Gütermenge
G _{GK}	[t]	Gütermenge pro Schiffstyp "Gustav Koenigs"
G _{GMS}	[t]	Gütermenge pro Schiffstyp "GMS"
G _{JW}	[t]	Gütermenge pro Schiffstyp "Johann Welker"
G _L	[t]	Gütermenge pro Leichter
Gl.W	[m]	gleichwertiger Wasserstand
G _{typ}	[t]	Gütermenge pro Schiff in der jeweiligen Schiffstypklasse
K _{GK, L}	[./.]	Ladungs-Verteilungsfaktor für den Schiffstyp "Gustav Koenigs"
K _{GMS, L}	[./.]	Ladungs-Verteilungsfaktor für den Schiffstyp "GMS"
K _{JW, L}	[./.]	Ladungs-Verteilungsfaktor für den Schiffstyp "Johann Welker"
K _{schad}	[kg/t (DK) oder g/kg DK]	spezifischer Emissionsfaktor
K _{typ}	[./.]	Anzahl-Verteilungsfaktor für die jeweilige Typklasse
K _{Typ,L}	[./.]	Ladungs-Verteilungsfaktor für die verschiedenen Schiffstypen
L	[km]	Länge des Wasserstraßenabschnittes
L _{ab}	[km]	Länge des Hafensabschnittes
N _{ges}	[./.]	statistische Gesamtzahl der Schiffe
N _{GK}	[./.]	Anzahl der Schiffstypen "Gustav Koenigs"
N _{GMS}	[./.]	Anzahl der Schiffstypen "GMS"
N _{JW}	[./.]	Anzahl der Schiffstypen "Johann Welker"
N _{KS}	[kW]	Leistung pro Kabinenschiff
N _L	[./.]	Anzahl der Leichter
N _{TS}	[kW]	Leistung pro Tagesschiff
N _{Typ}	[./.]	Anzahl der Schiffeinheiten in der jeweiligen Typklasse

N_{Typ}	[kW]	Leistung pro Schiffseinheit in der jeweiligen Typklasse
$n_{\text{Typ, Hafen}}$	[./.]	Anzahl der Schiffe eines Typs im Hafen
PA	[m]	Pegelanzeige
PB	[m]	Pegelbezugswert zum Gl.W
PL	[./.]	Leistungsanteil für die Fahrt im Hafen
PO	[m]	Pegelnul
S	[m]	Abstand zwischen Schiffsboden und Fahrrinnenboden (Flottwasser)
$t_{A, D}$	[h]	Verzögerungs- bzw. Beschleunigungszeit in den Schleusenphasen A und D
T_{max}	[m]	maximaler Schiffstiefgang
V_g	[km/h]	Schiffsgeschwindigkeit auf dem jeweiligen Gewässer
V_{KS}	[km/h]	Geschwindigkeit des Kabinenschiffes
V_{SBerg}	[km/h]	Schiffsgeschwindigkeit gegenüber Land in der Bergfahrt
V_{st}	[km/h]	Strömungsgeschwindigkeit des Wassers
V_{STal}	[km/h]	Schiffsgeschwindigkeit gegenüber Land in der Talfahrt
V_{SW}	[km/h]	Schiffsgeschwindigkeit durch das Wasser
V_{TS}	[km/h]	Geschwindigkeit der Tagesschiffe
V_{typ}	[km/h]	Geschwindigkeit der Schiffseinheit gegenüber Land
X	[./.]	Vergrößerungs- bzw. Verkleinerungsfaktor des Flottenverhältnisses der Schiffstypen "Johann Welker" und "GMS"
Y	[./.]	Tragfähigkeitsverhältnis der an der Rheinschifffahrt beteiligten ausländischen Flotte bezogen auf die deutsche Flotte
Z	[./.]	Anzahl der Fahrten
ZW	[m]	Zuschlagswert zum Ortspegel

15. Literatur

- [1] Binnenschifffahrt 1996/1997, Geschäftsbericht 1996/1997 des BDB e.V., Duisburg
- [2] Statistisches Bundesamt, Verkehr, Fachserie 8, Reihe 4, Binnenschifffahrt, Jan - Dez. 1996
- [3] Verkehrsstatistik der Wasser und Schifffahrtsdirektion, Münster, 1996
- [4] Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NRW, Binnenschifffahrt in NRW, 1996
- [5] Binnenschifffahrt in Zahlen, Ausgabe 1996/1997
- [6] VBD-Bericht 1256: "Einfluß der Bug- und Heckform in Koppelverbänden aus schiebendem Gütermotorschiff und Leichter auf den Antriebsbedarf", 1990
- [7] VBD-Bericht 1146: "Systematische Widerstands- und Propulsionsversuche mit Keilspant-Leichterverbänden auf begrenzten Wassertiefen", 1985
- [8] Fachausschuß für Binnenschiffe des VBW und Schiffbautechnische Gesellschaft, "Schiffstechnische Planungsgrundlagen für Rhein-Main-Donau-Verkehre", unveröffentlichte Untersuchung, 1997
- [9] Prognos: "Entwicklung der Umweltbelastungen durch den Verkehr in der BRD", 1991
- [10] Gutachten des RW TÜV: "Fortschreibung der Emissionskatasters für den Schiffsverkehr im Belastungsgebiet West für das Bezugsjahr 1987 und Erstellung von Emissionsprognosen für 1992 und 1997", Essen, 1998
- [11] Agena, Hadler, Mon: "Verfahren zur Erstellung eines Emissionskatasters für den Schiffsverkehr im Hafen Hamburg", Staub, Reinhaltung der Luft, 7/8, 1986
- [12] Illgmann, G.: „Gewinner und Verlierer einer CO₂-Steuer im Güter- und Personenverkehr“, Ottobrunn, 1998

16. Anlagen

Anlage 1:

Tragfähigkeit [t] in Abhängigkeit des Tiefgangs [m] für verschiedene Schiffstypen

Tiefgang [m]	Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Leichter (Europa Typ IIa)
	Leertiefgang 0,65 m	Leertiefgang 0,70 m	Leertiefgang 0,95 m	Leertiefgang 0,60 m
	Tragfähigkeit [t]	Tragfähigkeit [t]	Tragfähigkeit [t]	Tragfähigkeit [t]
1,50	500	570	600	720
1,60	560	642	720	804
1,70	620	714	840	888
1,80	680	786	960	972
1,90	740	858	1.080	1.056
2,00	800	930	1.200	1.140
2,10	860	1.014	1.320	1.224
2,20	920	1.098	1.440	1.308
2,30	980	1.182	1.560	1.392
2,40	1.040	1.266	1.680	1.476
2,50	1.100	1.350	1.800	1.560
2,60			1.920	1.644
2,70			2.040	1.728
2,80			2.160	1.812
2,90			2.280	1.896
3,00			2.400	1.980
3,10			2.520	2.064
3,20			2.640	2.148
3,30			2.760	2.232
3,40			2.880	2.316
3,50			3.000	2.400

Anlage 2:

Technische Daten der verschiedenen Schiffstypen

Nr.	Schiffstyp	Leergewicht in [t]	Leertiefgang in [m]	Tragfähigkeit in [t] bei einer Wassertiefe von				Verdrängung in [t] bei einer Wassertiefe von							
				1,50m	2,00m	2,50m	3,00m	3,50m	1,50m	2,00m	2,50m	3,00m	3,50m		
1	Gustav Koenigs	350	0,65	500	800	1.100				850	1.150	1.450			
2	Johann Welker	450	0,70	570	930	1.350				1.020	1.380	1.800			
3	GMS	850	0,95	600	1.200	1.800	2.400	3.000		1.450	2.050	2.650	3.250	3.850	
4	Koppelverband GMS + I Leichter	1.250	0,95 / 0,60	1.325	2.340	3.365	4.375	5.400		2.575	3.590	4.615	5.625	6.650	
5	Schubverband SB + 4 Leichter	(nur Leichter) 4x400=1.600	(nur Leichter) 0,60	2.900	4.550	6.250	7.900	9.600		4.500	6.150	7.850	9.500	11.200	

Anlage 3:

Schiffsgeschwindigkeit [km/h] in Abhängigkeit des Tiefgangs [m] bei konstanter Leistung und einer Wassertiefe von 5 m im Rheingebiet für verschiedene Schiffstypen

Tiefgang	Schiffsgeschwindigkeit [km/h]				
	Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Koppelverband	Schubverband
leer	19,65	20,10	20,40	19,30	20,50
1,50	17,75	18,50	19,65		
1,60	17,55	18,25	19,50		
1,70	17,30	18,05	19,35		
1,80	17,05	17,80	19,20		
1,90	16,80	17,60	19,05		
2,00	16,55	17,35	18,90	17,10	18,50
2,10	16,30	17,15	18,75	16,80	18,25
2,20	16,00	16,85	18,60	16,50	18,00
2,30	15,70	16,60	18,45	16,20	17,75
2,40	15,45	16,30	18,28	15,90	17,50
2,50	15,15	16,05	18,10	15,60	17,25
2,60			17,93	15,30	17,00
2,70			17,75	15,00	16,75
2,80			17,60	14,70	16,45
2,90			17,40	14,40	16,15
3,00			17,20	14,10	15,90

Anlage 4:

Leistung [kW] in Abhängigkeit des Tiefgangs [m] im Kanalsystem mit einer Wassertiefe von 3,50 m bei einer maximalen Schiffsgeschwindigkeit von 11 km/h für verschiedene Schiffstypen

Tiefgang [m]	Leistung [kW]			
	Gustav Koenigs	Johann Welker	GMS	Koppelverband
	0,65 m	0,70 m	0,95 m	0,70 m
Leer	50	70	130	106
1,50	138	168	234	254
1,60	150	184	254	282
1,70	163	202	274	310
1,80	178	222	298	340
1,90	194	244	326	370
2,00	214	270	358	406
2,10	231	294	392	444
2,20	250	322	430	486
2,30	272	350	470	528
2,40	296	382	512	574
2,50	320	414	560	624

Anlage 5:

Vergleich des tatsächlichen Brennstoffverbrauchs mit den Ergebnissen der Modellierung

Basis: Reisebericht MS "Attache"
Motorgüterschiff, Schiffstyp zwischen "Gustav Koenigs" und "Johann Welker"
Reise von Ibbenbüren nach Frankfurt
vom 24.06.83; 11.00 Uhr bis 28.06.83, 10.00 Uhr

Ladung:	1.280 t Kohle
Tiefgang:	2,53 m
Betriebsstunden:	65
Verbrauch:	6.480 l Brennstoff 42 l Schmierstoff
Motorleistung:	960 PS = 707 kW

Vergleich mit Studie:

-	Fahrweg:	DEK	km 100 – 15	85 km	
		RHK	km ~47 – 0	<u>47 km</u>	
				~132 km	Kanal
	Rhein	km 780 – 496	284 km	zu Berg	
	Main	km 0 - ~ 30	30 km	wie Kanal	

- Verbrauch im Kanal:

Leistung im Kanal

(bei T = 2,50 m und V = 11 km/h, gemäß Anlage 3)

N = 370 kW

$b_e = 0,2 \text{ kg/kWh}$

$$\text{BrV}_{\text{Kanal}} = \frac{N \cdot b_e \cdot L}{V} = \frac{370 \cdot 0,2 \cdot 162}{11} = \underline{1.090 \text{ kg}}$$

- Verbrauch auf dem Rhein:
 Geschwindigkeit durch das Wasser
 (bei $T = 2,50$ m und $N \approx 70$ kW, gemäß Anlage 4 $V_{\text{Wasser}} \approx 15$ km/h
 Geschwindigkeit zu Berg (-6 km/h) $V_{\text{Berg}} \approx 9$ km/h

$$\text{BrV}_{\text{Rhein,Berg}} = \frac{700 \cdot 0,2 \cdot 284}{9} = \underline{4.418 \text{ kg}}$$

- Verbrauch pro Reise:

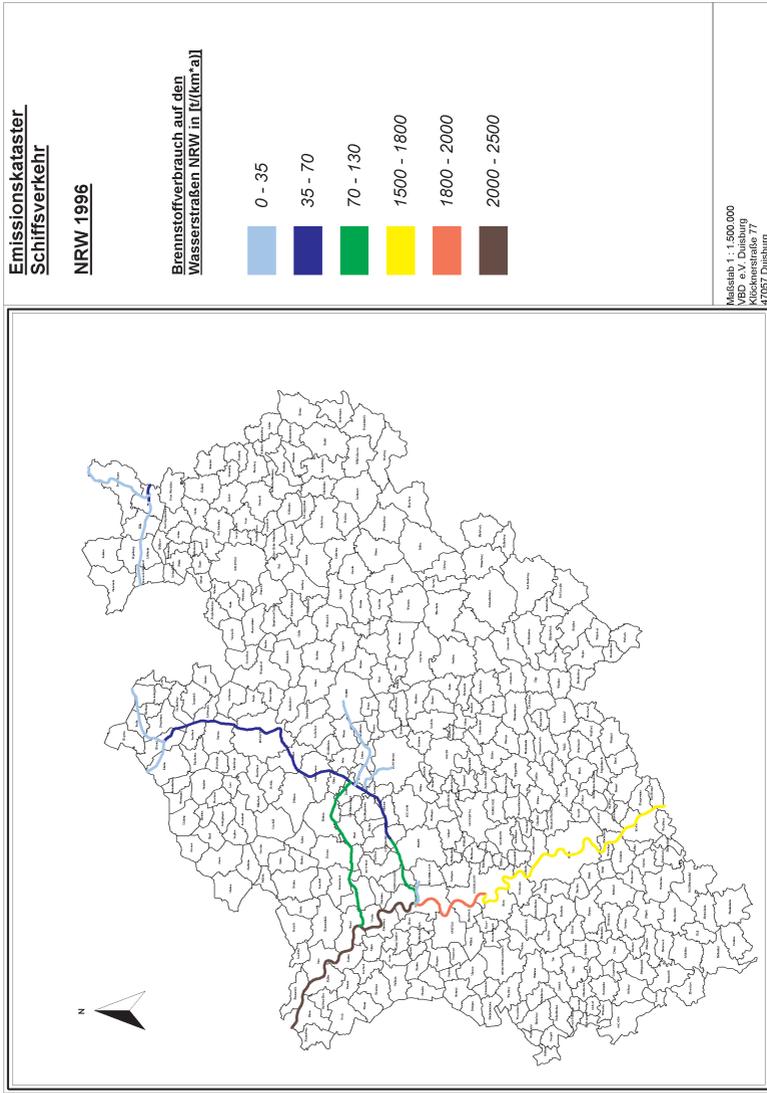
$$\text{BrV}_{\text{Reise}} = 5.508 \text{ kg}$$
 bei $\gamma_{\text{Brennstoff}} \approx 0,88$ 6.260 l
 plus ca. 3 % $\text{BrV}_{\text{Kanal}}$ für Schleusen 40 l
 (ca. 1 % DEK, ca. 5 % RHK)
 plus ca. 1 % $\text{BrV}_{\text{Reise}}$ für Stromerzeugung 65 l

- Verbrauch gesamt:

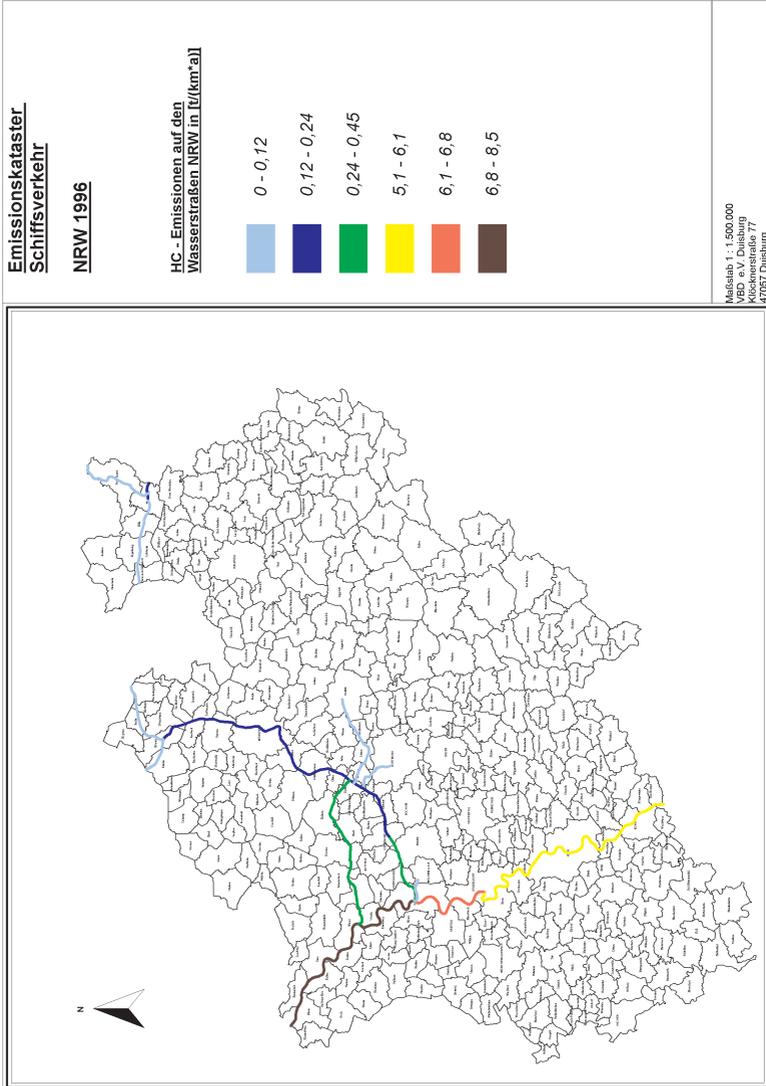
$$\text{BrV}_{\text{ges.}} = \underline{6.365 \text{ l}}$$

Dieser hier ermittelte Wert differiert um ca. -1,8 % gegenüber dem nach der Reise festgestellten Brennstoffverbrauch von 6.480 l.

Anlage 6:



Anlage 7:

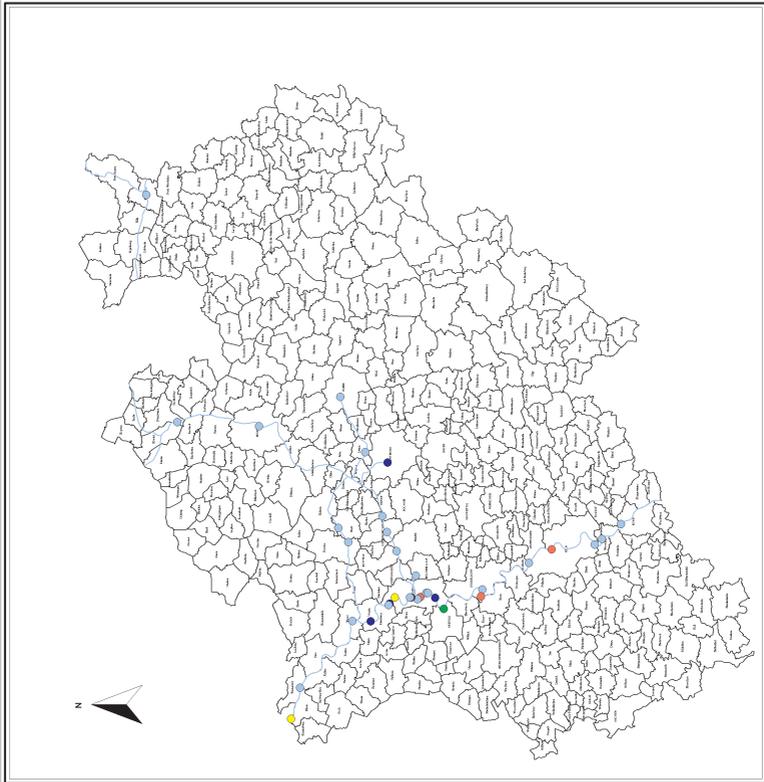
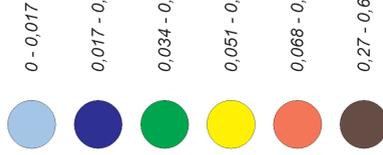


Anlage 9:

Emissionskataster Schiffsverkehr

NRW 1996

HC - Emissionen
in den Häfen (Punkt) in t/a



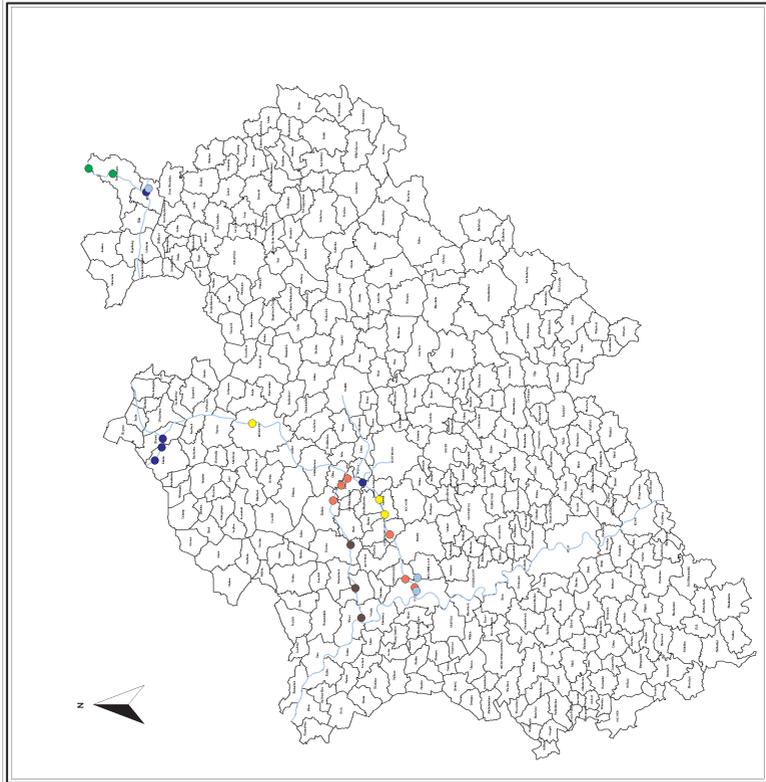
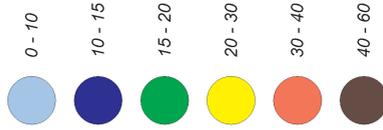
Maßstab 1: 1.500.000
WBG e.V. Duisburg
M7057 Duisburg

Anlage 10:

Emissionskataster Schiffsverkehr

NRW 1996

Brennstoffverbrauch
in den Schiffeisen in t(a)



Maßstab 1: 1.500.000
WBO e.V. Duisburg
M7057 Duisburg

Anlage 11:

Emissionskataster Schiffsverkehr

NRW 1996

HC - Emissionen
in den Schteusen in t/a

0 - 0,03



0,03 - 0,05



0,05 - 0,07



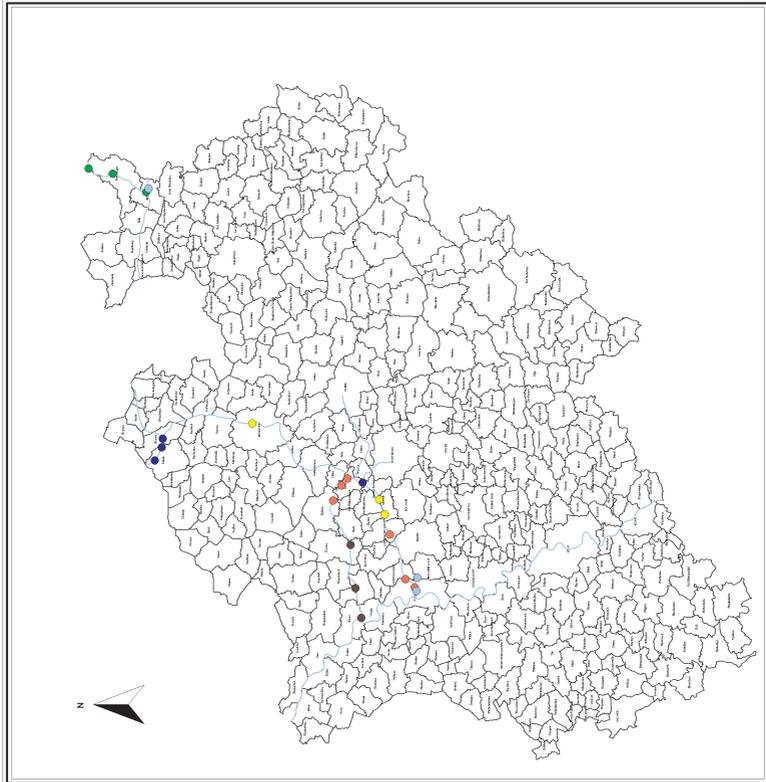
0,07 - 0,1



0,1 - 0,14

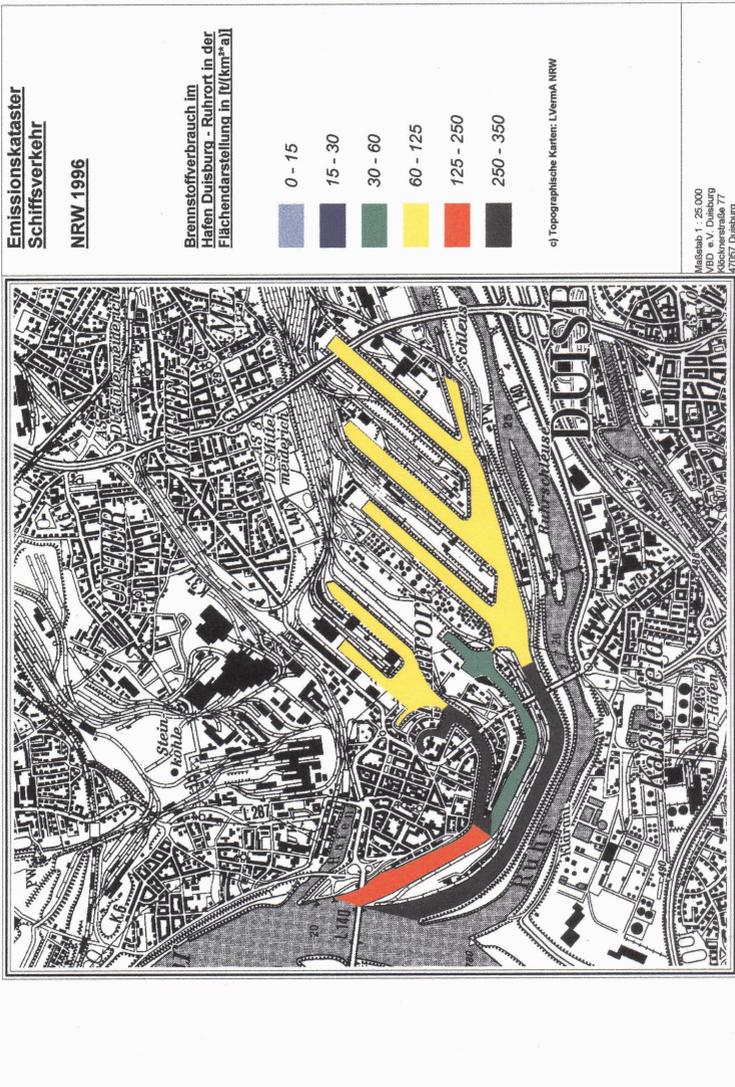


0,14 - 0,21

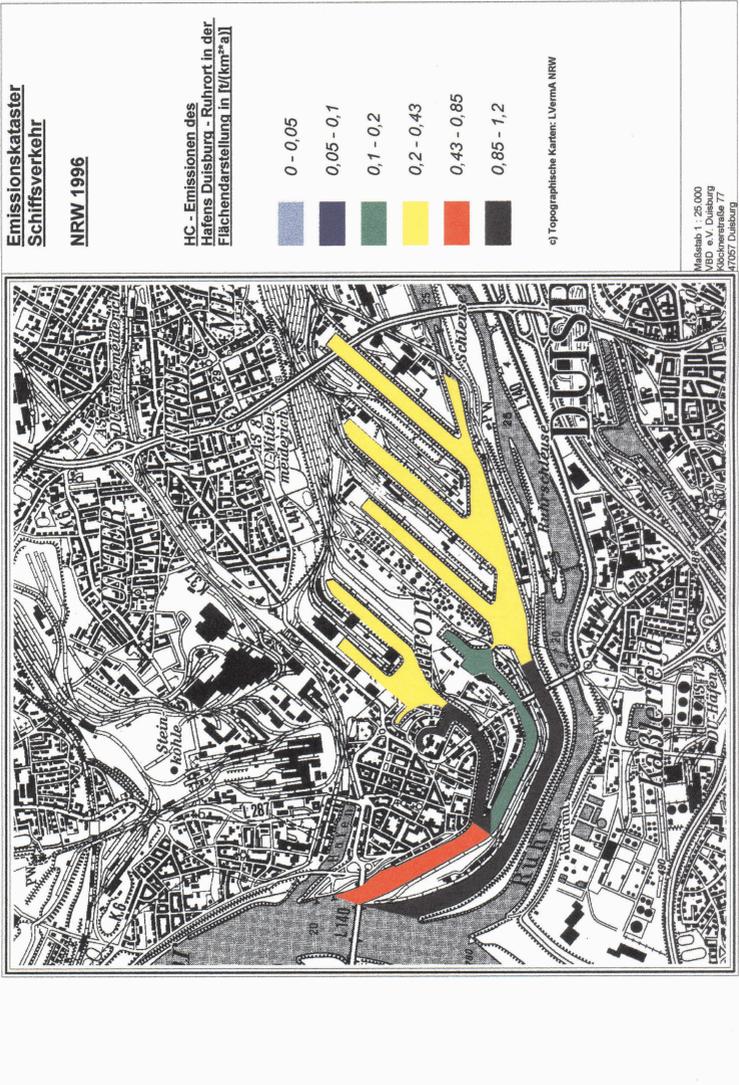


Maßstab 1: 1.500.000
WBO e.V. Duisburg
M7057 Duisburg

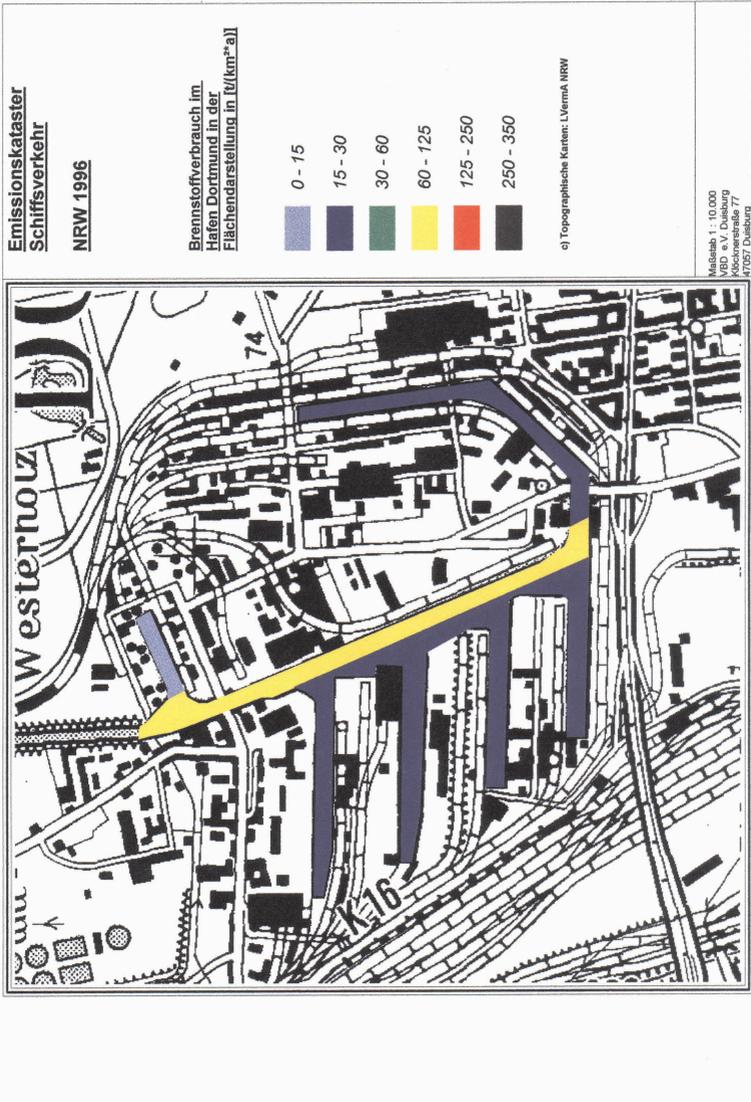
Anlage 12:



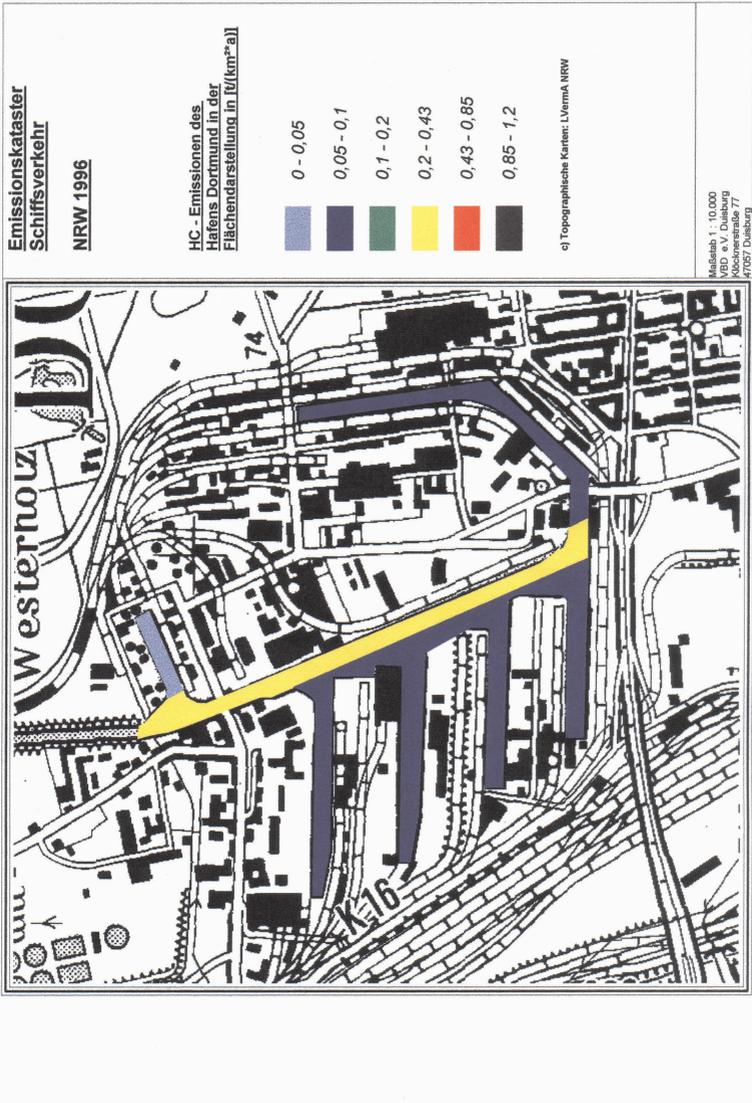
Anlage 13:



Anlage 14:



Anlage 15:



Seit 1. April 1994 sind bisher folgende „Materialien“ des Landesumweltamtes NRW erschienen:

1	Der Dynamische Daphnientest – Erfahrungen und praktische Hinweise – Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 44 S.	15,00 DM
2	Umsetzung der TA-Siedlungsabfall bei Deponien 2. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 99 S.	15,00 DM
3	Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 153 S.	20,00 DM
4	Einsatz alternativer Baustoffe in Abdichtungssystemen Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 91 S.	15,00 DM
5	Einwicklung im Bereich der Sonderabfallentsorgung Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 39 S.	15,00 DM
6	Ökologische Auswirkungen von Fischteichen auf Fließgewässer Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 208 S.	25,00 DM
7	Ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 462 S.	28,00 DM
8	Vermeidung von Bunkerbränden in Abfallverbrennungsanlagen mit Hilfe der Infrarot-Thermographie Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 53 S.	15,00 DM
9	Prozeßleittechnik in Anlagen der chemischen Industrie – Anlagenschutz und sicherheitsrelevante Komponenten Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 119 S.	20,00 DM
10	Sicherheitstechnische Hinweise und Anforderungen an Abschott- und Entlastungssysteme aus der Sicht der Störfall-Verordnung Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 40 S.	15,00 DM
11	Literaturstudien zum PCDD/F-Transfer vom Boden in die Nahrungskette Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 149 S.	25,00 DM
12	Die verlust- und kontaminationsfreie Probenahme und -vorbereitung von Wässern und Feststoffen Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 203 S.	28,00 DM
13	Essener Verfahren zur Bewertung von Altlastenverdachtsflächen – Erstbewertung und normierte Charakterisierung – Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 66 S.	15,00 DM
14	Optimierung der thermischen Behandlung organischer chlorhaltiger Problemabfälle Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 132 S.	25,00 DM
15	Entsorgungsbericht 1993 über Sonder- und Massenabfälle in NRW Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 75 S.	20,00 DM
16	Begleitende meßtechnische Erfolgskontrolle bei der Sanierung einer Textilreinigungsanlage Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 60 S.	15,00 DM

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen

- 17 Ausgewählte Untersuchungsergebnisse der halbertechnischen Versuchskläranlage
– Untersuchungen zur Stickstoffelimination –
– Praxiserprobung von Online-Meßtechnik –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 110 S. 20,00 DM
- 18 Vergleich verschiedener europäischer Untersuchungs- und Bewertungsmethoden für Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 140 S. 25,00 DM
- 19 Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen
– Ergebnisse der Erprobung in NRW –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 150 S. 25,00 DM
- 20 Information und Dokumentation bei Deponien
4. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch, 26. Oktober 1994
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 98 S. 20,00 DM
- 21 Ausbreitungsuntersuchungen von Gerüchen anhand einer Modellquelle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 57 S. 15,00 DM
- 22 Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs
– Prognose und Schutzmaßnahmen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 658 S. 40,00 DM
- 23 Naturraumspezifische Leitbilder für kleine und mittelgroße Fließgewässer in der freien Landschaft
Eine vorläufige Zusammenstellung von Referenzbach- und Leitbildbeschreibungen für die Durchführung von Gewässerstrukturgütekartierungen in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 127 S. 25,00 DM
- 24 Siedlungsabfalldeponien – Oberflächenabdichtung und Sickerwasser
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 162 S. 25,00 DM
- 25 Thermodynamische Analyse der Verfahren zur thermischen Müllentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 121 S. 25,00 DM
- 26 Normierung und Konventionen in der Abfallanalytik – Aufgaben und Ziele
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 188 S. 28,00 DM
- 27 Entsorgungsbericht 1994 über Sonder- und Massenabfälle in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 92 S. 20,00 DM
- 28 Umweltüberwachung im Spannungsfeld; integral/medial – privat/staatlich
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 289 S. 30,00 DM
- 29 Bauabfallentsorgung – von der Deponierung zur Verwertung und Vermarktung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 181 S. 28,00 DM
- 30 Ergebnisse von Dioxin-Emissionsmessungen an Industrieanlagen in NRW
– Dioxinmeßprogramm Nordrhein-Westfalen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 114 S. 20,00 DM
- 30 Results of Measurements of the Emissions of Dioxins by Industrial Plants in North Rhine-Westphalia – Dioxins Measurement Programme
North Rhine-Westphalia – Final Report 1996
English translation of the report LUA-Materialien No. 30 (1996); original edition published in German language – Translated by Edith Navé, Hohenbrunn, Germany

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen

31	Umsetzung der TA Siedlungsabfall bei Deponien in NRW Fortbildungsveranstaltung am 27./28. Juni 1995 im Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) in Essen Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 189 S.	28,00 DM
32	Medienübergreifendes Arbeiten im technischen Umweltschutz Beiträge aus dem Fachgespräch anlässlich der Verabschiedung von Herrn Abteilungsdirektor Dr.-Ing. H.-O. Weber am 06. Juli 1995 Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 78 S.	20,00 DM
33	Handbuch der Laborpraxis für Ver- und Entsorgerinnen/ Ver- und Entsorger – 1. und 2. Ausbildungsjahr – Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 186 S.	30,00 DM
34	Explosionsschutz bei der Lagerung brennbarer Flüssigkeiten Entwicklungen und Erkenntnisse Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 54 S.	18,00 DM
35	Physikalisch-chemische und biologische Auswirkungen bei der Verwendung von Waschbergen in Schifffahrtskanälen Untersuchungsbericht des Arbeitskreises „Waschberge im Wasserbau“ Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 154 S.	25,00 DM
36	Anforderungen an sachverständige Stellen für die Bekanntgabe und die Zulassung im Bereich des Immissionsschutzes Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 132 S.	25,00 DM
37	Schadstoffströme bei der Gebrauchtholzverwertung für ausgewählte Abfallarten Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 275 S.	30,00 DM
38	Zivile Anschlußnutzung von Militärstandorten – Risikofaktor Altlasten/Bodenbelastung – Tagungsband Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 168 S.	25,00 DM
39	Flächenhafter Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser – Abschlußbericht, Dezember 1994 Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 217 S.	30,00 DM
40	Gewässerüberwachung in Nordrhein-Westfalen Teil I: Oberirdische Gewässer Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 40 S.	15,00 DM
41	Brand- und Zersetzungsprodukte Abschlußbericht des Projekts „Integration von Daten zu Brand- und Zersetzungsprodukten in das Informationssystem für gefährliche/ umweltrelevante Stoffe (IGS)“ Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 134 S.	25,00 DM
42	Kreislaufwirtschaft und Abfallverwertung in thermischen Prozessen 9. Aachener Kolloquium am 5. Dezember 1996 – Tagungsband – Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 156 S.	25,00 DM
43	Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe (The European Dioxin Inventory) – Final Report – Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 926 S.	50,00 DM

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen

44	Emissionskataster der genehmigungsbedürftigen Anlagen im Lande Nordrhein-Westfalen Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 32 S.	15,00 DM
45	Entsorgungsbericht 1995 über Sonder- und Massenabfälle in Nordrhein-Westfalen Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 101 S.	22,00 DM
46	Validierung von Passivsammlern für Immissionsmessungen von Kohlenwasserstoffen Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 95 S.	22,00 DM
46	Validation of Passive Samplers for Measurements of Hydrocarbons in Ambient Air English translation of the report LUA-Materialien No. 46 (1998) original edition published in German language Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 92 S.	30,00 DM
47	Leitfaden für Analysen zur Bestimmung der Menge und Zusammensetzung von Abfällen aus Haushaltungen Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 131 S.	25,00 DM
48	Kommunale Abfallvermeidungs- und -Verwertungsmaßnahmen in NRW Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 92 S.	25,00 DM
49	Vollzugshilfe zum Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz • Dichtetabelle • EAK-Schlüssel-Kennzeichnung anhand von Nachweispflichten Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 66 S.	25,00 DM
50	Konzept zur Optimierung der Energieversorgung bei einem Unternehmen der Wellpappenherstellung Abschlußbericht des Forschungsvorhabens des Lehrstuhls für Nukleare und Neue Energiesysteme (NES) der Ruhr-Universität Bochum im Auftrag des Landesumweltamtes Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 131 S.	30,00 DM
51	Konzept zur Optimierung der Energieversorgung bei einem Unternehmen der Textilverarbeitung Abschlußbericht des Forschungsvorhabens des Lehrstuhls für Nukleare und Neue Energiesysteme (NES) der Ruhr-Universität Bochum im Auftrag des Landesumweltamtes Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 182 S.	30,00 DM
52	Analysenverfahren für Abwasser Essen: Landesumweltamt NRW 1999, 86 S.	22,00 DM
53	Entsorgungsbericht 1996/97 über Sonder- und Massenabfälle in Nordrhein-Westfalen Essen: Landesumweltamt NRW 1999, 104 S.	22,00 DM
54	Gezielte Infiltration von Wasser in einen Deponiekörper zur Reduzierung des Emissionspotentials Essen: Landesumweltamt NRW 1999, 104 S.	22,00 DM

- | | | |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 55 | Gewässerschutzbezogene Zielvorgaben für Pflanzenschutzmittel
Essen: Landesumweltamt NRW 1999, 66 S. | 20,00 DM |
| 56 | Emissionen luftverunreinigender Stoffe durch den Schiffsverkehr in
Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1999, 110 S. | 25,00 DM |